Aide à la décision pour la coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande

Emmanuelle Despontin-Monsarrat

▶ **To cite this version:**

Emmanuelle Despontin-Monsarrat. Aide à la décision pour la coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2004. Français. NNT : . tel-00008466

HAL Id: tel-00008466

https://theses.hal.science/tel-00008466

Submitted on 11 Feb 2005

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.

Thèse

Préparée au
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS

En vue de l'obtention du grade de
Docteur de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier

Spécialité : **Systèmes Industriels**

par

Emmanuelle DESPONTIN-MONSARRAT
Titulaire du Diplôme d'Études Approfondies en Systèmes Industriels

---

AIDE À LA DÉCISION POUR UNE COOPÉRATION INTER-ENTREPRISES DANS LE CADRE DE LA PRODUCTION À LA COMMANDE

---

soutenue le 10 décembre 2004 devant le jury :

Président du Jury :	**G. AUTHIE**,	Professeur des Universités
Rapporteurs :	**J.P. CAMPAGNE**,	Professeur des Universités
	J.P. BOURRIÈRES,	Professeur des Universités
Examinateur :	**D. TRENTESAUX**,	Professeur des Universités
Directeurs de thèse :	**C. BRIAND**,	Maître de Conférences
	P. ESQUIROL,	Maître de Conférences
Invité :	**Y. JEANNEROD**	

Cette thèse a été préparée au LAAS-CNRS
7 avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse cedex 4

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué dans le cadre d'une convention CIFRE (Convention Industrielle de Formation par la Recherhe) au L.A.A.S. (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes) du CNRS, en collaboration avec la société ORDOSOFTWARE. Je remercie Messieurs Jean-Claude Laprie et Malik Ghallab, directeurs successifs du L.A.A.S. de m'avoir accueillie dans ce laboratoire.

Je tiens à remercier particulièrement et à exprimer ma profonde reconnaissance à mes co-directeurs de thèse, Cyril Briand et Patrick Esquirol, Maîtres de Conférence. Leur sympathie, leur constante bonne humeur, leur disponibilité tout au long de ces trois années, leurs critiques et leur confiance m'ont permis de mener à bien ces travaux. Je ne saurais jamais assez les remercier de leur soutien, de leurs encouragements et de leur relecture attentive de mon manuscrit de thèse souvent dans des délais très serrés.

Je remercie Monsieur Alain Burq, Président Directeur Général d'ORDOSOFTWARE pour m'avoir acceuillie au sein de cette société malgré un contexte industriel peu favorable. Je remercie plus particulièrement Yves Jeannerod et Stéphane Debricon, respectivement Responsable Fonctionnel et Responsable Recherche et Développement d'ORDOSOFTWARE, pour leur gentillesse, leurs conseils, pour m'avoir soutenue durant ces quatre dernières années et surtout pour avoir toujours cru en mon travail.

Je remercie également également Messieurs Robert Valette, Directeur de Recherche et Pierre Lopez Chargé de Recherche au C.N.R.S., de m'avoir accueillie respectivement au sein des groupes "Organisation et Conduite de Systèmes Discrets" et "Modélisation, Optimisation et Gestion Intégrée d'Activités" (M.O.G.I.S.A) dont ils ont eu la responsabilité.

J'esprime toute ma gratitude aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail de thèse : Messieurs Jean-Pierre Campagne et Jean-Paul Bourrières, Professeurs des Universités, en leur qualité de rapporteurs, Monsieur Gérard Authié, Professeur des Universités, en sa qualité de président de jury, Monsieur Damien Trentesaux, Professeur des Universités, en sa qualité d'examinateur.

Je tiens à exprimer tout ma gratitude et mon amitié à François Roubellat. Sa rigueur, son expérience et ses exigences m'ont beaucoup apporté et aidé durant ces quatre dernières

années. Je tiens à le remercier plus particulièrement pour ses encouragements constants, son optimisme et sa relecture attentive de ce manuscrit de thèse.

Je tiens à remercier chaleureusement les collègues du groupe M.O.G.I.S.A qui ont réellement contribué à rendre ce travail de thèse très agréable. Je remercie mes collègues permanents pour leurs remarques constructives et leur gentillesse notamment lors de la préparation de ma soutenance. Je remercie mes collègues doctorants et plus particulièrement Yasemin, Carmen, Catherine et Steff pour m'avoir soutenue, reconfortée et surtout supportée durant la phase de rédaction.

Mes remerciements vont également aux personnels administratifs et techniques du L.A.A.S et plus particulièrement à Eliane Dufour et à Christian Berty pour leur aide précieuse et leur bonne humeur.

Je ne terminerai pas sans avoir exprimé des remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué à rendre ces trois années très agréables : toute l'équipe d'ORDOSOFTWARE, parmi lesquels Julien, Sébastien, Jean-Michel, ... ; mes collègues enseignants, Viviane, Gérard, Thierry, ... ; mais aussi mes amis proches, Anne, Nico, Tati, Juan, Cyril, Nath, Bertrand, Marie, Titi, Juju et les autres.

J'adresse une pensée particulière à Guillaume, mon époux, pour sa patience et son zen légendaire qui ont su créer un climat favorable sans lequel ce travail n'aurait jamais pu être achevé.

Enfin, durant trois années j'ai rencontré beaucoup de personnes que je ne citerai pas de peur d'en oublier... Je remercie donc tout simplement tout ceux qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Table des matières

Remerciements **iii**

Table des matières **viii**

Table des figures **xi**

INTRODUCTION GÉNÉRALE **1**

I COOPÉRATION ET PRODUCTION À LA COMMANDE **3**

Introduction **5**

1 Contexte général de l'étude **7**
1.1 Gestion de production - Rappels 7
1.1.1 Organisation et gestion d'un système de production 7
1.1.2 Structure décisionnelle multiniveaux 9
1.1.3 Différentes organisations de la production 9
1.2 La gestion de la chaîne logistique 10
1.2.1 Les différents types de relations industrielles 10
1.2.2 Définition de la chaîne logistique 11
1.2.3 Les flux d'une chaîne logistique 11

2 La coopération dans le cadre de la production à la commande **15**
2.1 La coopération dans les organisations productives 15
2.1.1 Les enjeux de la coopération 15
2.1.2 Différentes définitions 16
2.1.3 Les formes de la coopération 17
2.1.4 Instrumentation de la coopération 18
2.2 Organisation de la coopération 19
2.2.1 La notion de centre de décision 19
2.2.2 Organisation centralisée 21
2.2.3 Organisation distribuée 21
2.3 Quelques approches de la coopération 22

2.3.1 Approches par programmation linéaire . . . 23
2.3.2 Approches par Réseaux de Petri . . . 24
2.3.3 Approches probabilistes . . . 25
2.3.4 Approches par simulation à événements discrets . . . 27
2.3.5 Approches par contraintes . . . 28
2.4 Synthèse . . . 30

3 Une approche de coopération pour la relation client-fournisseur 33
3.1 Organisation coopérative adoptée . . . 33
3.1.1 Relations intra et inter-entreprises . . . 33
3.1.2 Mode de communication et instrumentation adoptés . . . 35
3.2 La notion de cadre de décision . . . 36
3.2.1 Position du problème . . . 36
3.2.2 Le cadre de décision . . . 37
3.2.3 Avantages et limites de ce concept . . . 40
3.3 Formalisation d'un processus de coopération inter-entreprises . . . 42
3.3.1 Le processus de négociation . . . 42
3.3.2 Le processus de coordination . . . 44
3.3.3 Le processus de renégociation . . . 45
3.3.4 Le contrat de coopération . . . 45
3.4 Flux d'informations inter et intra-entreprise . . . 47
3.4.1 Flux inter-entreprises . . . 47
3.4.2 Flux intra-entreprise . . . 48

Conclusion 51

II AIDE À LA DÉCISION POUR UNE COOPÉRATION INTER-ENTREPRISES : UNE APPROCHE PAR CONTRAINTES 53

Introduction 55

4 Modèles proposés pour l'aide à la décision 57
4.1 Problème de satisfaction de contraintes (CSP) . . . 57
4.1.1 Définition . . . 57
4.1.2 Exemple . . . 59
4.2 Propagation de contraintes dans les CSP . . . 59
4.2.1 Principe . . . 59
4.2.2 Mécanismes . . . 60
4.2.3 Exemple . . . 61
4.3 Approche proposée . . . 63
4.3.1 Principe . . . 63
4.3.2 Modélisation pour un centre de décision *service vente* . . . 64

4.3.3 Modélisation pour un centre de décision *service achat* 67
4.3.4 Illustration 69

5 Mécanismes de l'aide à la décision 75
5.1 Aide au positionnement d'un nouveau cadre de décision 75
5.1.1 Principes 75
5.1.2 Aide à la décision pour un *service vente* 77
5.1.3 Aide à la décision pour un *service achat* 83
5.2 Aide à l'ajustement d'un cadre de décision 88
5.2.1 Principes 88
5.2.2 Aide à la décision pour un *service vente* 89
5.2.3 Aide à la décision pour un *service achat* 92

Conclusion 99

III UN PROTOTYPE POUR L'AIDE À LA COOPÉRATION INTER-ENTREPRISES 101

Introduction 103

6 Description de l'architecture logicielle 105
6.1 Interactions entre l'outil de coopération et son environnement 105
6.1.1 Interactions avec les systèmes d'informations 105
6.1.2 Interactions avec les acteurs de l'entreprise 106
6.2 Analyse des besoins fonctionnels 113
6.2.1 Analyse des fonctions négocier et renégocier 113
6.2.2 Analyse de l'aide à la décision 114
6.3 Conception du prototype 120
6.3.1 Hypothèses de travail et choix techniques 120
6.3.2 Diagramme de classes 121

7 Description des interfaces 129
7.1 Interface pour la négociation et la renégociation 129
7.2 Interface pour l'aide à la décision 131
7.3 Interface pour la coordination 133
7.4 Interface pour le contrat de coopération 134

Conclusion 137

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES 139

Annexes 142

A Notation UML **143**

BIBLIOGRAPHIE **145**

Table des figures

1.1 Vision systémique de la gestion d'un système de production 8
1.2 Exemple d'une chaîne logistique 12
1.3 Les différents flux d'une chaîne logistique 13

2.1 Une vision générique d'un centre de décision 20
2.2 Une approche centralisée 21
2.3 Une approche distribuée 22
2.4 Centre de conduite et ses relations intra et inter-niveau 25
2.5 Agent *Entreprise* présenté par O. Telle 27
2.6 Utilisation d'un outil de simulation 28
2.7 Réseau de centres de décision 29

3.1 Relations entre les centres de décision d'une chaîne logistique 34
3.2 Production cumulée et besoins cumulés pour une même commande 37
3.3 Un cadre de décision 38
3.4 Courbes prévisionnelles de production et de besoins respectant un cadre de décision 39
3.5 Cadres de décision après affinements 40
3.6 Incohérence entre les courbes prévisionnelles 41
3.7 Exemple d'une conversation lors d'une négociation 44
3.8 Les cadres du contrat de coopération 46
3.9 Cadre de décision du point de vue fournisseur 48
3.10 Cadre de décision du point de vue client 48
3.11 Les flux d'informations intra-entreprise 49
3.12 Courbes cumulées des besoins en composants et des composants disponibles 50

4.1 Un exemple de CSP représenté par un hyper-graphe 59
4.2 Un exemple de propagation de contraintes dans un CSP 62
4.3 Exemple : cadre de décision des commandes *cmd_1* et *cmd_2* 70
4.4 Ordonnancement pour les commandes *cmd_1* et *cmd_2* 71

5.1 Analyse d'un cadre de décision 76
5.2 Relations entre un *service vente* et les autres centres de décision 77
5.3 Obtention de la courbe de production maximale pour un produit H 81

5.4 Obtention du nouveau cadre de décision 84
5.5 Relations entre un *service achat* et les autres centres de décision 85
5.6 Courbes de besoin et de mise à disposition des composants 86
5.7 Courbes de besoins et de mise à disposition des composants après mise à jour de nouveaux besoins 88
5.8 Cadre de décision et courbe de production maximale associée 90
5.9 Ajustement de la position du point BD 93
5.10 Ajustement de la position du point HG 94
5.11 Cadres de décision et courbes cumulés des composants du client 96
5.12 Incohérence entre les courbes concernant le composant H 97
5.13 Ajustement de cadre par un client 98

6.1 Interactions entre les modules point de vue Fournisseur 107
6.2 Interactions entre les modules point de vue Client 107
6.3 Cas d'utilisation de la fonction Administrer 108
6.4 Cas d'utilisation de l'acteur Stratege 109
6.5 Cas d'utilisation des fonctions Négocier et Renégocier point de vue client . 110
6.6 Cas d'utilisation des fonctions Négocier et Renégocier point de vue fournisseur 110
6.7 Cas d'utilisation de l'aide à la décision 111
6.8 Cas d'utilisation de la fonction coordonner 112
6.9 Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEngagement et NegocierAvecFournisseurEngagement quand le client est l'initiateur 115
6.10 Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEngagement et NegocierAvecFournisseurEngagement quand le fournisseur est l'initiateur 115
6.11 Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEvaluation et NegocierAvecFournisseurEvaluation quand le client est l'initiateur 116
6.12 Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEvaluation et NegocierAvecFournisseurEvaluation quand le fournisseur est l'initiateur . 116
6.13 Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEngagement et RenegocierAvecFournisseurEngagement quand le client est l'initiateur 117
6.14 Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEngagement et RenegocierAvecFournisseurEngagement quand le fournisseur est l'initiateur 117
6.15 Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEvaluation et RenegocierAvecFournisseurEvaluation quand le client est l'initiateur 118
6.16 Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEvaluation et RenegocierAvecFournisseurEvaluation quand le fournisseur est l'initiateur 118
6.17 Diagramme de séquences du cas d'utilisation AideDecision 119
6.18 Diagramme de classe pour l'outil instrumentant le *service vente* 122
6.19 Diagramme de classe pour l'outil instrumentant le *service achat* 123

7.1 Interface pour la négociation 130
7.2 Interface pour la renégociation 130
7.3 Interface pour l'aide à la décision 132
7.4 Interface pour la coordination 133
7.5 Interface pour la gestion des contrats de coopération 134

A.1 Relation de spécialisation 143
A.2 Relation d'association 144
A.3 Relation d'extension 144
A.4 Relation d'inclusion 144
A.5 Relation de généralisation 144

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans un contexte industriel de plus en plus concurrentiel, les entreprises sont amenées, soit à diversifier leur production afin d'étendre leur offre sur le marché, soit à l'inverse à se spécialiser relativement à un type de métier pour gagner en efficacité. De ce fait, elles sont de plus en plus souvent en relation avec un nombre important de partenaires car elles ne peuvent pas prendre en charge la totalité de la fabrication des produits qu'elles délivrent. Elles constituent ainsi un réseau que l'on désigne communément par le nom de chaînes logistiques. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication, en augmentant la qualité et la fréquence des échanges entre les partenaires, favorisent l'émergence de ces réseaux puisqu'elles permettent d'assurer la cohérence des informations partagées entre les différents acteurs.

En revanche, elles n'apportent pas de solution générale au problème de la cohérence des décisions individuelles vis-à-vis d'une organisation globale. En effet, le système de pilotage global étant plus complexe, la distribution de la décision entre plusieurs entités pose le problème de la définition d'objectifs communs et de la cohérence des décisions satisfaisant, d'une part des objectifs individuels, et d'autre part des objectifs communs.

Afin de favoriser la cohérence globale des décisions individuelles, nous supposons que les entreprises partageant un intérêt commun adoptent une démarche coopérative. Ainsi, si elle affecte l'organisation d'entreprises externes, une décision locale sera préalablement négociée, cette négociation ayant pour but d'accroître la durée de vie de la décision. Dans le même ordre d'idée, une entreprise amenée à remettre en cause une décision prise précédemment en accord avec ses partenaires, devra renégocier avec eux, de façon à trouver un nouveau compromis qui satisfasse l'ensemble des partenaires concernés. Afin de synchroniser les flux qui les traversent, les entreprises devront également se coordonner. Pour assurer une plus grande performance du pilotage et une plus grande robustesse des décisions, nous cherchons à favoriser les comportements coopératifs le plus tôt possible dans les relations inter-entreprises.

Le travail présenté dans ce mémoire s'intéresse à la coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande. Chaque entreprise étant assimilée à un ensemble de centres de décision, une chaîne logistique constitue un réseau de centres de décision interdépendants, les décisions d'un centre étant contraintes par celles des centres situés en amont et en aval.

Nous faisons l'hypothèse que la coopération entre centres de décision est organisée de façon distribuée et que le pouvoir de décision est réparti de façon homogène (il n'existe pas d'entité supervisant l'ensemble de la chaîne logistique). L'impossibilité de définir un critère commun à l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique, nous a conduit à considérer des processus de coopération point à point entre les centres de décision. Ces processus portent sur la notion de cadre de décision.

Notre objectif est de fournir aux différents acteurs de la chaîne logistique des outils de coopération permettant de réguler les flux qui les traversent. Nous avons choisi de baser le développement de cet outil sur une approche par contraintes.

Cette thèse, sous convention CIFRE, s'inscrit dans le cadre d'un partenariat avec l'entreprise ORDOSOFTWARE, filiale du groupe Schneider Electric, basée à Besançon. Cette société commercialisant un progiciel d'ERP (Enterprise Resource Planning), l'objectif de ce travail était de réaliser, d'une part une étude sur la coopération, et d'autre part un prototype sur la coopération en vue de l'industrialisation d'une nouvelle offre logicielle.

Ce mémoire est organisé de la façon suivante.

La première partie met en évidence les enjeux de la coopération pour une entreprise et décrit comment la coopération peut être mise en œuvre au sein d'une organisation coopérative. Supposant qu'une entreprise est composée de trois centres de décision (*service vente*, *service achat* et *gestion de production*), cette partie présente ensuite l'approche coopérative que nous avons retenue pour réguler les flux intra et inter-entreprises à travers ces centres de décision et notamment, entre les centres de décision *service vente* et *service achat*. Elle introduit le concept de cadre de décision qui représente un engagement réciproque de mise à disposition de produits de la part du fournisseur et de consommation de ces produits de la part du client.

Ces deux centres n'ayant, ni les mêmes rôles, ni les mêmes fonctionnalités, la deuxième partie présente pour chacun d'eux, les modèles que nous utilisons pour mettre en œuvre l'aide à la coopération. Ensuite nous décrivons des mécanismes de propagation de contraintes sur ces modèles, permettant d'aider les décideurs lors des différentes phases du processus de coopération, notamment lors de l'élaboration et de la renégociation d'une commande.

La troisième partie décrit enfin l'architecture logicielle et les interfaces du prototype d'aide à la coopération inter-entreprises. Ce travail a été réalisé en étroite collaboration avec nos partenaires industriels.

Première partie

COOPÉRATION ET PRODUCTION À LA COMMANDE

Introduction

Dans le cadre d'une chaîne logistique, une entreprise doit non seulement intégrer ses objectifs locaux au sein de ses décisions, mais aussi considérer ceux de ses partenaires, pouvant être contradictoires. Les entreprises sont ainsi amenées à coopérer pour définir une stratégie globale.

Pour étudier une situation de coopération, il est nécessaire de déterminer les enjeux et les intérêts de chaque acteur, de caractériser l'environnement dans lequel la coopération est mise en place et de définir les objets sur lesquels elle porte.

Cette première partie a pour objectif de décrire ces éléments en précisant le rôle de la coopération dans le cadre de la production à la commande.

Le premier chapitre reprend quelques notions utiles de gestion de production permettant de comprendre les intérêts et les enjeux intra et inter-entreprises. Il permet de préciser notamment l'organisation d'un système de production, la structuration des décisions au sein d'un système de production et les différents types de gestion de production. Il se focalise ensuite sur la gestion de la chaîne logistique en explicitant les différents types de relations industrielles et les objectifs de la gestion des flux au sein de la chaîne logistique.

Le deuxième chapitre s'intéresse au paradigme de la coopération mise en œuvre au sein d'un système de décision distribuée. Il présente tout d'abord quels sont les intérêts pour une entreprise de coopérer et mentionne ce que sous-tend la coopération dans les organisations productives. Il précise ensuite comment s'organise la coopération et recense certains travaux de recherche mettant en œuvre ou instrumentant des processus de coopération afin de situer le cadre de ce travail.

Le troisième chapitre présente l'approche de coopération que nous avons retenue pour la relation client-fournisseur, cette relation étant centrale du point de vue de l'organisation d'une chaîne logistique. Notre approche est basée sur le concept de cadre de décision. Ce chapitre définit ce concept, puis décrit les processus de coopération s'y référant.

Chapitre 1

Contexte général de l'étude

Pour analyser et instrumenter une situation de coopération, il est nécessaire de bien identifier et prendre en compte les intérêts et les motivations de chaque entreprise impliquée dans cette coopération. L'objectif de ce chapitre est de présenter les caractéristiques du domaine dans lequel s'inscrit la relation de coopération que nous étudions. La première partie précise des notions générales de gestion de production définies dans un contexte intra-entreprise, celles-ci étant utiles pour comprendre la problématique associée à chaque entreprise. La seconde partie décrit les problématiques sous-jacentes aux relations inter-entreprises en se focalisant sur les caractéristiques de la gestion de la chaîne logistique.

1.1 Gestion de production - Rappels

1.1.1 Organisation et gestion d'un système de production

Le système de production d'une entreprise assure la transformation de matières premières et/ou de produits semi-finis provenant des fournisseurs, en produits semi-finis et/ou finis à destination des clients, tout en ayant des objectifs en termes de qualités, de coûts et de délais.

Il peut être structuré en trois sous-systèmes : [Lemoigne 74] [Huguet 94] [Hétreux 96]
- *le sous-système physique* qui rassemble l'ensemble des ressources du système de production.
- le *sous-système d'information* qui regroupe les informations, relatives au système de production et à son environnement, qui sont utilisées par le sous-système de décision.
- le *sous-système de décision* qui élabore, à partir des informations disponibles dans le sous-système d'information, des décisions permettant d'assurer un fonctionnement convenable du système de production.

Classiquement, le sous-système d'information et le sous-système de décision forment le système de gestion de production qui exerce quatre principales activités (cf. figure 1.1) :

- la *gestion des données techniques* qui recense les nomenclatures (listes des composants et/ou matières premières requis pour réaliser un produit donné) et les gammes opératoires (listes ordonnées d'opérations permettant de réaliser un produit donné) nécessaires à la fabrication des produits de l'entreprise. Cette gestion présente un aspect d'autant plus dynamique que la personnalisation des produits est forte, la réalisation étant alors systématiquement précédée d'une phase d'étude qui aboutit à la description détaillée du travail à réaliser. Ainsi la notion de gamme opératoire n'existe véritablement que dans le contexte de productions en moyennes et grandes séries. Dans le contexte de la petite série ou du projet unitaire, on utilise plutôt la notion de gamme générique, lorsqu'un certain niveau d'abstraction et de réutilisation sont possibles, ou plus généralement de structure de décomposition du travail [1] lorsque le produit à réaliser présente un caractère unique.
- la *gestion des matières* qui assure l'approvisionnement en matières premières ou en produits semi-finis et le stockage des produits (finis ou semi-finis) fabriqués. Elle joue un rôle crucial dans le contexte d'une répartition des matières premières ou des produits entre plusieurs chaînes logistiques. En cas de pénurie due à des aléas, il faut en effet procéder à des arbitrages qui ne sont pas sans conséquence sur l'atteinte des objectifs liés aux clients.
- la *gestion des données commerciales* qui reçoit les commandes et négocie les prix, quantités et délais de livraison souhaités.
- la *gestion des données du travail* qui organise dans le temps la réalisation des opérations nécessaires à la fabrication des produits sur les ressources en prenant en compte les données techniques et commerciales ainsi que les retours du suivi de fabrication.

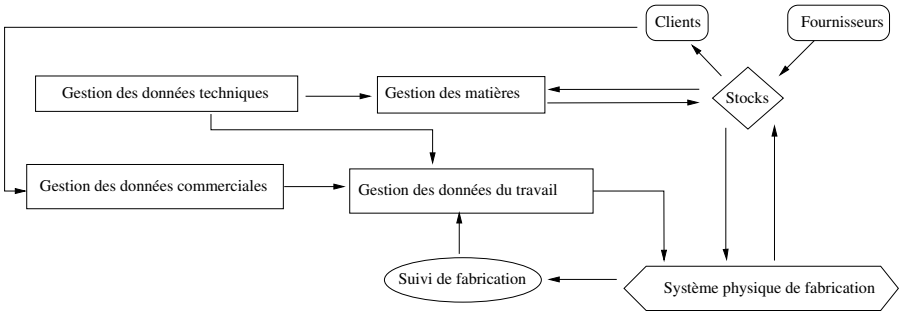

FIG. 1.1: Vision systémique de la gestion d'un système de production

Le système de gestion de production d'une entreprise doit alors assurer l'organisation de son système de production afin de fabriquer les produits en quantités et en temps voulus, compte tenu des moyens disponibles du système physique.

[1] Les anglophones parlent de WBS : Work Breakdown Structure

1.1.2 Structure décisionnelle multiniveaux

Du fait de la complexité du problème de gestion de production, une approche globale de résolution est utopique. Pour cette raison, les décisions sont classiquement décomposées en trois catégories [Anthony 65] hiérachisées : les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles :

- les *décisions stratégiques* correspondent aux décisions politiques à long terme d'une entreprise. Ces décisions sont prises à partir de données très agrégées et relèvent de la direction de l'entreprise. Par exemple, la politique budgétaire, le choix de nouvelles orientations comme l'introduction de nouveaux types de produits sont des décisions stratégiques.
- les *décisions tactiques* correspondent aux décisions prises à moyen terme. Les données sont elles aussi agrégées mais avec un niveau de détail plus fin que pour le niveau stratégique. Ces décisions sont du ressort des cadres de l'entreprise. La définition d'un plan de production et d'un plan d'utilisation des moyens sont, par exemple, des décisions tactiques.
- les *décisions opérationnelles* correspondent aux décisions prises à court terme et à très court terme par des agents de maîtrise ou d'exécution. Les données sont ici beaucoup plus détaillées. L'ordonnancement des opérations de fabrication sur les ressources et l'affectation des ouvriers sont, par exemple, des décisions opérationnelles. L'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation de tâches interdépendantes compte tenu de contraintes temporelles et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises [Esquirol & Lopez 99].

Ces décisions portent sur des horizons et des volumes de production différents, et correspondent à la hiérarchie des compétences impliquées selon le court, moyen ou long terme. Plus l'horizon est grand, plus les données sont imprécises et plus les risques et les responsabilités sont grands [Giard 03].

Le travail présenté dans ce mémoire s'intéresse aux décisions opérationnelles et plus particulièrement au problème d'ordonnancement de la production dans un contexte client-fournisseur (cf. paragraphe 1.2.1). Pour plus de détails sur l'ordonnancement, le lecteur peut se référer aux ouvrages [Blazewicz *et al.* 96], [Coffman 76], [Pinedo 95]

1.1.3 Différentes organisations de la production

Une production est qualifiée de production à la commande lorsque le processus de fabrication est déclenché par la commande ferme d'un client, à la différence d'une production sur stock qui est déclenchée par l'anticipation d'une demande [Giard 03].

Une entreprise opte, en général, pour une organisation de production sur stock lorsqu'il est possible d'effectuer une prévision fiable de la demande. Au contraire, elle opte pour une production à la commande lorsque la demande est difficilement prévisible, ou bien lorsque les produits à réaliser sont étroitement liés aux clients (faible standardisation).

On distingue aussi la production à flux poussés et la production à flux tirés. Dans l'ouvrage [Giard 03], une définition de ces deux approches est donnée :

- La *production à flux poussés* anticipe la demande de produits par une programmation prévisionnelle s'appuyant sur un échéancier de livraison de produits finis. Ce type de production est utilisé dans les techniques de production de type MRP (Manufacturing Resource Planing), basées sur des structures de décision multiniveaux.
- La *production à flux tirés* déclenche la production d'un produit par la demande effective des centres de production demandeurs de la référence (au lieu de l'être par la demande prévisionnelle). Une production juste-à-temps correspond à ce type de production. Cette organisation est, en général, utilisée lors d'une production de masse avec des demandes relativement stables.

Ce travail étudie plus particulièrement le cas de la production à la commande dans un contexte de production à flux poussés ou à flux tirés.

1.2 La gestion de la chaîne logistique

Depuis la fin des années 80, pour résister à une concurrence de plus en plus accrue (en termes de délai, de prix, de qualité, etc...), les entreprises ont eu tendance à se recentrer sur leur métier de base en faisant appel à des partenaires, eux aussi spécialisés, pour réaliser leurs tâches complémentaires.

Des groupements d'entreprises ont ainsi émergé dans lesquels l'entreprise n'a plus ses frontières aussi nettes, elle intègre ses clients, ses fournisseurs et ses partenaires dans sa structure, qui s'étend ou se rétracte au rythme des alliances qu'elle passe ou des projets qu'elle lance [Couture & Loussararian 99].

Cet ensemble d'entreprises organisées en réseaux est communément appelé *chaîne logistique*, dont une définition est proposée dans le paragraphe 1.2.2.

1.2.1 Les différents types de relations industrielles

Une entreprise ne fabrique pas l'intégralité des produits qu'elle consomme, elle doit en acheter ou en sous-traiter la production à d'autres entreprises.

La relation élémentaire entre deux entreprises correspond à une relation *client/fournisseur* dans le cas où une entreprise achète ses composants à une autre entreprise sans en contrôler leurs spécificités.

Elle correspond à une relation *donneur d'ordre/sous-traitant*, lorsqu'une entreprise définit les spécificités d'un composant qu'elle fait réaliser par une autre entreprise, soit par manque de ressource (sous-traitance de capacité), soit par manque de compétence (sous-traitance de spécialité) [Giard 03].

Ce travail s'intéresse plus particulièrement aux relations de type client/fournisseur. Remarquons cependant que d'une certaine manière la relation de type donneur d'ordre/sous-

traitant dans le cas d'une sous-traitance de spécialité peut s'apparenter à une relation de type client/fournisseur, car dans ces deux relations, le flux de produits entre les entreprises est unidirectionnel.

1.2.2 Définition de la chaîne logistique

La chaîne logistique peut se définir par référence à un produit donné ou du point de vue d'une entreprise.

Pour certains auteurs ([Lee *et al.* 93] et [Rota-Frantz *et al.* 01]), la chaîne logistique est assimilée à 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. Cette définition est relative à un produit fini donné et l'entreprise est appréhendée du point de vue du rôle qu'elle joue dans le processus de transformation du produit.

Pour d'autres ([Tayur *et al.* 99]), la chaîne logistique est définie pour un produit donné mais présentée comme une succession de relations client - fournisseur.

Dans l'ouvrage [Poirier & Reiter 01], les auteurs considèrent que la chaîne logistique est centrée sur l'entreprise. Ce point de vue inclut l'ensemble des chaînes logistiques dans lesquelles est impliquée une entreprise, mais se limite quelques fois aux fournisseurs et aux clients immédiats de l'entreprise.

Dans ce mémoire, nous considérons que les acteurs de la chaîne logistique sont reliés du fait qu'ils participent ou interviennent dans la réalisation d'un même produit. Cependant, parce qu'il est peu réaliste de supposer que chaque entreprise ait une vision globale du processus de fabrication, nous proposons comme [Poirier & Reiter 01], de centrer l'analyse de la chaîne logistique sur l'entreprise. Nous considérons en particulier les relations client/fournisseur dans laquelle l'entreprise est impliquée, sachant que l'entreprise peut être au croisement de plusieurs chaînes logistiques, n'impliquant pas nécessairement les mêmes acteurs. Par exemple, sur la figure 1.2, les entreprises E1, E5, E7 et E8 sont traversées par plusieurs flux de produits. Elles devront donc gérer le partage de leur capacité de travail par rapport à chaque chaîne logistique. Les entreprises E2, E3, E6 et E9 ne sont, elles, traversées que par un seul flux de produits.

1.2.3 Les flux d'une chaîne logistique

Cette partie s'appuie sur les travaux présentés dans [Rota-Frantz *et al.* 01], [Monteiro 01] et [Giard 03].

Les entreprises appartenant à une même chaîne logistique sont reliées par des flux de produits, des flux d'informations et des flux financiers (cf figure 1.3).

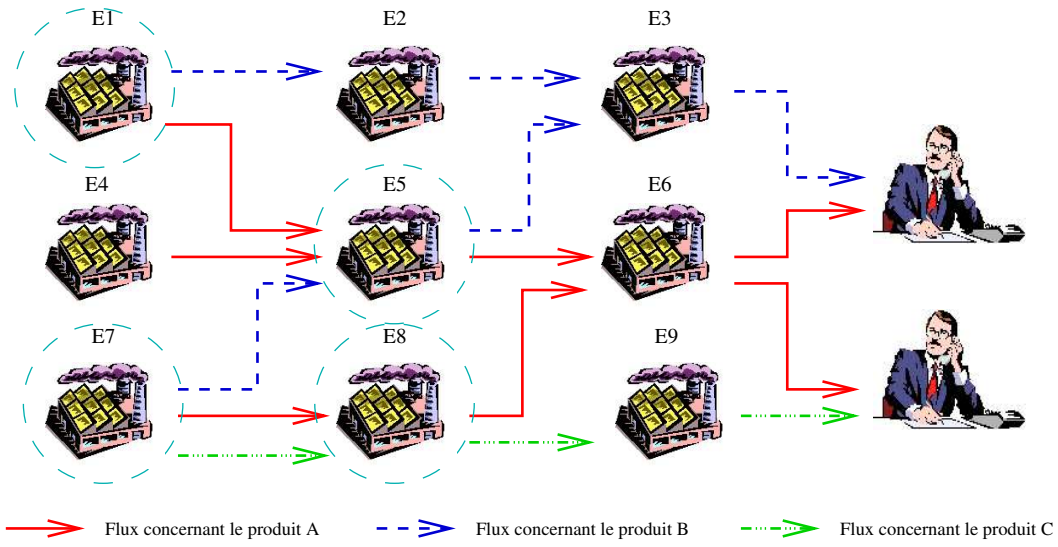

FIG. 1.2: Exemple d'une chaîne logistique

– Le *flux de produits* correspond au flux de matières entre les entreprises. Ce flux peut être bidirectionnel : il circule évidemment du fournisseur vers le client, mais il peut aussi, dans le cas d'une relation de sous-traitance, circuler du donneur d'ordre vers le sous-traitant.

– Le *flux d'informations* contient toutes les données utiles dans le cadre des relations client/fournisseur. Ce flux peut être partitionné en un flux de données et un flux de décisions. Dans le cas de la production à la commande, les informations échangées sont plus particulièrement relatives aux commandes liant deux acteurs de la chaîne logistique. Le flux de données peut correspondre, par exemple, à la communication d'un retard de livraison d'un fournisseur prévenant un de ses clients, tandis que le flux de décisions peut correspondre aux commandes envoyées par les clients à leurs fournisseurs. Le flux d'informations peut donc être bidirectionnel au vu de ces deux exemples.

– Le *flux financier* regroupe les paiements et les arrangements financiers divers (crédits, mensualisation des paiements, etc...) entre les clients et les fournisseurs. Il est donc lui aussi bidirectionnel.

Pour optimiser leur fonctionnement, les entreprises impliquées dans une ou plusieurs chaînes logistiques doivent se coordonner dans le but de gérer globalement la production le long de chaque chaîne logistique en fonction de critères qui leur sont propres.

Dans l'article [Simchi-Levi *et al.* 99], les auteurs définissent la gestion d'une chaîne logistique (ou Supply Chain Management) comme étant un ensemble d'approches utilisées

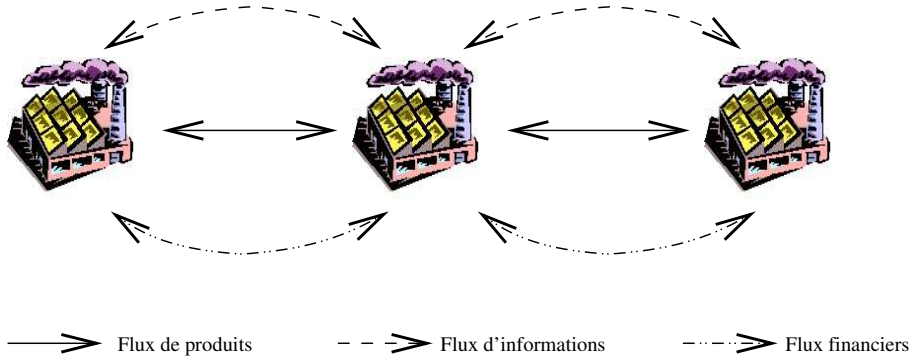

FIG. 1.3: Les différents flux d'une chaîne logistique

pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée à la bonne quantité, au bon endroit et au bon moment dans le but de minimiser les coûts et d'assurer le niveau de service requis par le client.

La coordination entre les entreprises est en partie rendue possible par l'utilisation de formats d'échanges universels et normés (par exemple le langage XML), qui permettent aux entreprises de partager des données métier structurées et lisibles (nomenclatures, gammes), ce qui facilite certains processus tels que le passage de commandes, les devis et la facturation [Crochet-Damais 03b]. Ce partage d'informations permet ainsi d'accroître la performance de la chaîne logistique puisque chaque entité peut prendre des meilleures décisions sur les commandes, l'allocation de capacité, le plan de production [Huang *et al.* 03], [Yu *et al.* 01].

Les décisions prises lors de la gestion des flux d'une chaîne logistique sont de natures stratégique, tactique et opérationnelle. Elles visent à organiser les flux de produits et d'informations parmi les entreprises. L'horizon temporel de ces décisions se situe donc dans le long, le moyen et le court terme. Notre travail s'intéresse plus particulièrement à la gestion des flux à court terme. Pour les auteurs de l'article [Hammami *et al.* 01], il s'agit *de coordonner les flux de produits et d'informations en assurant un maximum de flexibilité et d'efficacité*. Dans notre cas, nous considérons qu'il s'agit de trouver un compromis, laissant de la flexibilité décisionnelle à chaque acteur, tout en assurant une tension satisfaisante des flux de produits et d'informations du point de vue global.

La gestion d'une chaîne logistique pose ainsi un problème de décision distribuée où les contextes et les objectifs propres aux différents acteurs de la chaîne diffèrent, malgré les intérêts communs qu'ils partagent du fait qu'ils participent tous à la production d'un même produit. Pour résoudre ce problème de décision et parvenir à un compromis satisfaisant, les acteurs doivent coopérer.

Pour résumer, le travail présenté dans ce mémoire s'intéresse à la gestion à court terme de la chaîne logistique pour la production à la commande dans un contexte de production qui peut être à flux poussés ou à flux tirés. Il s'intéresse plus particulièrement à la gestion coopérative des flux physiques et des flux d'informations au sein de cette chaîne logistique.

Nous considérons que la chaîne logistique est définie relativement à un produit fini donné, même si nous centrons son étude relativement à l'entreprise. Nous supposons que cette chaîne logistique est composée d'une succession d'entreprises liées par des relations de type client/fournisseur, chaque entreprise pouvant être traversée par plusieurs flux de produits, et donc à l'intersection de plusieurs chaînes logistiques.

Chapitre 2

La coopération dans le cadre de la production à la commande

Nous avons vu au chapitre précédent que la gestion de la chaîne logistique impose aux acteurs d'adopter une démarche coopérative. En effet, lorsque le pouvoir de décision est équitablement réparti, la coopération constitue un moyen efficace pour gérer de façon satisfaisante le processus de décision distribuée sous-jacent à la gestion de la chaîne logistique.

L'objectif de ce chapitre est de préciser les caractéristiques de cette coopération au sein d'une chaîne logistique. Il s'agit de répondre aux questions : pourquoi et comment coopérer ?

Dans une première partie, ce chapitre s'intéresse à la coopération au sein d'organisations productives en mettant en évidence les enjeux de la coopération et en explicitant les fonctions sous-jacentes. La deuxième partie de ce chapitre porte sur l'organisation qui doit être adoptée par les entreprises souhaitant coopérer, cette organisation dépendant fortement de la nature de la coopération. Enfin, ce chapitre situe le cadre de ce travail par rapport aux travaux de recherche traitant de la coopération.

2.1 La coopération dans les organisations productives

2.1.1 Les enjeux de la coopération

Selon [Barnard 38], la coopération est le moyen de dépasser les limites de l'action individuelle. En ce sens, les entreprises optant pour un mode de fonctionnement coopératif attendent en retour une minimisation des risques et une réduction de l'incertitude, ainsi qu'un accroissement de la performance industrielle [Campagne & Sénéchal 02]. Nous détaillons certains de ces enjeux dans la suite de ce paragraphe.

Grâce à la tension des flux qu'elle peut induire, un attrait majeur de la coopération est la réduction des coûts sur l'ensemble de la chaîne logistique. Ces coûts proviennent

en grande partie des stocks que chaque acteur est amené à immobiliser pour absorber les fluctuations de son environnement et de ses partenaires. En acceptant de coopérer, chaque acteur met à disposition des autres une information plus détaillée de son état et éventuellement de ses prévisions. Il possède en retour une vision plus riche de son environnement. Il peut ainsi mieux anticiper ses fluctuations externes et mieux les absorber. Il peut donc espérer bénéficier d'une diminution des niveaux de ses stocks (d'entrée / de sortie), d'une meilleure utilisation de sa capacité de travail et globalement d'une meilleure organisation interne moins perturbée.

Un deuxième enjeu est celui d'une meilleure maîtrise des risques. En effet, au sein d'une chaîne logistique, un acteur n'est plus seul pour absorber les perturbations internes qui le désorganisent. Par exemple, si un sous-traitant ne peut honorer la commande d'un de ses donneurs d'ordres, suite à la panne d'une de ses ressources, il peut tenter de négocier soit avec le donneur d'ordres, un relâchement des délais ou des quantités à fournir ; soit avec un sous-traitant de même qualification, un partage différent du travail. Ainsi la gestion du risque devient collective, là où elle était individuelle. Bien sûr, cela n'est possible que si chaque acteur accepte le jeu d'une recherche de compromis négociés avec l'ensemble de ses partenaires, ce qui nécessite une rupture avec le modèle autocratique de production communément institué.

Le dernier enjeu est celui du pouvoir. Lorsque plusieurs acteurs acceptent de coopérer, ils créent une entité, plus ou moins concrète selon la forme de coopération adoptée, qui fédère et unit leurs forces. Ces acteurs bénéficient ainsi d'un rapport de force accru lors de leur négociation avec leur environnement. Il s'agit par exemple de plusieurs fournisseurs décidant de s'associer pour faire face à l'hégémonie d'un ou plusieurs donneurs d'ordres ou, inversement, de clients s'associant pour tirer au plus bas les prix de vente d'un fournisseur (ex : centrale d'achat).

2.1.2 Différentes définitions

L'intérêt croissant de l'industrie et de la recherche pour le concept de coopération s'explique par des facteurs pouvant relever soit de la nécessité (ex. : satisfaction d'un client commun), soit de l'opportunité (ex. : utilisation des NTIC [1]) de coopérer.

Différentes disciplines se sont ainsi intéressées à l'étude de la coopération. Certaines disciplines (droit, économie, sociologie du travail, psychologie) se sont intéressées à la caractérisation des situations, des besoins et des pratiques de la coopération, d'autres (sciences pour l'ingénieur) se sont intéressées à la proposition de modèles et d'outils pour l'instrumentation de la coopération afin notamment de pallier les insuffisances des outils de gestion existants.

Des initiatives au niveau national ont été prises comme par exemple les travaux préliminaires du groupement interdisciplinaire PROSPER du Centre National pour la Recherche

[1] Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

Scientifique ([Gagnepain *et al.* 02], [Soënen 02]), ou ceux du Réseaux Thématique Pluridisciplinaire 47 ([Bourrières 04]).

Plusieurs définitions de la coopération ont alors été données. Nous précisons ci-après celles qui nous ont le plus inspirés dans le cadre de nos travaux :

- [Terssac & Maggi 96] : la coopération est une action collective par laquelle des sujets contribuent au même résultat.
- [Boujut *et al.* 02] : la coopération consiste à l'élaboration et à la prise de décision collective.
- [Erschler 96] : la coopération est le support de la mise en oeuvre de décisions entre plusieurs centres de décision.

Dans les relations inter-entreprises, un fonctionnement coopératif est motivé lorsque les entreprises partagent des objectifs et des intérêts communs, et/ou des compétences et des points de vue, et/ou des ressources [Campagne & Sénéchal 02]. L'objectif de la coopération au sein d'actions collectives est alors de concevoir et produire mieux et plus vite des produits et services innovants [Sardas *et al.* 02]. Les bénéfices de la coopération sont alors partagés par l'ensemble des acteurs [Lee *et al.* 97].

Toutefois, les entreprises étant par essence indépendantes, il est nécessaire d'expliciter l'autonomie décisionnelle de chaque partenaire en exprimant les règles et devoirs de chacun. L'application de ces règles limite l'autonomie de chacun des partenaires et permet d'augmenter la cohérence des décisions individuelles vis-à-vis de l'organisation globale. Cependant, un minimum d'autonomie doit être préservé afin de pouvoir réagir rapidement et efficacement aux aléas locaux d'une entreprise sans remettre en cause les décisions prises par les partenaires.

2.1.3 Les formes de la coopération

Plusieurs aspects composent la coopération inter-entreprises. Dans cette partie, nous nous intéressons particulièrement à trois aspects, en nous appuyant principalement sur les travaux de [Camalot 00] et [Monteiro 01] : la coordination, la collaboration et la codécision.

La **coordination** vise à synchroniser les actions dans le temps en exploitant un référentiel temporel commun, et à gérer la cohérence des actions individuelles par rapport à l'ensemble des activités. Selon [Quéré 02], la coopération a pour objet de faciliter la coordination d'activités étroitement complémentaires pour la réalisation des processus.

La **collaboration** signifie travailler ensemble à l'exécution d'une certaine action pour produire un résultat final. Selon [Boujut *et al.* 02], la collaboration implique le partage d'informations à l'intérieur d'un groupe donné, sans prise de décision collective. Le terme collaboration s'utilise à la place de coopération lorsque les actions individuelles ne sont pas différentiables.

Si plusieurs acteurs collaborent en vue de prendre des décisions, on parlera de **codécision**. Cette codécision peut être le résultat de mécanismes de *négociation* ou de *renégocia-*

tion. Ces mécanismes visent à trouver un compromis acceptable entre les objectifs locaux de chaque entité qui peuvent être contradictoires. Si aucune codécision n'a été prise au préalable, on parlera de négociation ; au contraire si l'objet de la collaboration entre partenaires est la remise en cause d'une décision passée et collective, on parlera de renégociation.

Dans notre approche, la coopération est assimilée à une action de prise de décision collective distribuée en vue de synchroniser les actions réparties chez les différents partenaires. Nous sommes donc dans un contexte de codécision pour lequel nous considérons, comme dans [Erschler 96], que la coopération est composée de trois fonctions : la négociation, la coordination et la renégociation. Nous revenons sur la définition de ces fonctions dans le paragraphe 2.3.5.

2.1.4 Instrumentation de la coopération

Afin d'étudier l'efficacité de la coopération, de nombreux chercheurs se sont intéressés à son instrumentation, et donc à sa formalisation. Il s'agit là d'un champ important de recherche qui s'attache à la compréhension de la nature et des caractéristiques d'un processus coopératif dans l'objectif de concevoir des outils logiciels permettant de la supporter efficacement [Sposito 00].

La coopération étant un processus dynamique, le choix de l'outil de coopération adéquat dépend du cadre temporel, spatial ou organisationnel qui caractérise une situation de coopération [Boujut *et al.* 02]. Les outils de coopération peuvent être classés selon un critère temporel (synchrone ou asynchrone) et un critère spatial (même lieu ou lieu différent) [Nurcan 96]. Par exemple les communications par tableau blanc (asynchrone) ou les réunions (synchrone) partagent un même espace, au contraire dans le cas des téléconférences (synchrone) ou de l'envoi de courriers electroniques (asynchrone), les partenaires se trouvent dans des lieux différents.

Le mode de communication peut aussi être différencié selon qu'il concerne deux partenaires ou plus au même instant. Ainsi si la coopération concerne un couple de partenaires, on parle de communication *point à point*, dans le cas contraire de communication *multi-points*.

Outre le mode de communication, les auteurs de [Mohtashami *et al.* 03] identifient quatre autres facteurs critiques dans le développement de logiciels collaboratifs pour la gestion de la chaîne logistique :

- *la confiance*, puisque le développement d'outils entraîne un partage d'informations qui peuvent être de nature plus ou moins stratégique.
- *la culture*, qui permet d'identifier l'espérance et la perception des partenaires sur le comportement, les protocoles et la conduite à adopter dans un fonctionnement collaboratif.
- *le pouvoir*, car dans le développement de tels outils, il faut considérer que chaque partenaire a la capacité de prendre des décisions et de contrôler, d'une part la réalisation

et l'exécution des opérations, et d'autre part les processus intra et inter-entreprises.
– *le type et la taille du projet*, qui influencent la politique et les pratiques dans le développement d'outils coopératifs puisque plus un problème est complexe plus il requiert un outil complexe.

2.2 Organisation de la coopération

Dans le cadre de la production à la commande, les activités à réaliser étant supposées parfaitement déterminées, la coopération consiste à organiser et synchroniser les activités chez l'ensemble des partenaires. Pour satisfaire ces objectifs, certains travaux de recherche préconisent une approche centralisée, d'autres une approche distribuée de la coopération. Cette partie a pour objectif de détailler ces approches en assimilant les entreprises à des centres de décision ([Huguet *et al.* 96]).

2.2.1 La notion de centre de décision

Les acteurs d'une chaîne logistique peuvent être assimilés à des centres de décision autonomes qui doivent réaliser un certain nombre de fonctions tout en prenant en compte des données extérieures. Un centre de décision doit alors disposer d'une certaine autonomie puisqu'il est capable d'accepter ou de refuser les requêtes provenant d'autres centres de décision, et de percevoir et d'agir sur son environnement.

Cette notion de centre de décision peut être rattachée à la notion d'agent, concept dont une des premières définitions est donnée par J. Ferber dans [Ferber 95] :

« *Un agent est une entité réelle ou abstraite qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui dispose d'une représentation partielle de cet environnement, qui, dans un univers multiagents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance, et des interactions avec les autres agents.* »

Dans l'article [Artigues *et al.* 02], les auteurs proposent une vision générique fonctionnelle d'un centre de décision (cf. figure 2.1). Sur la base d'un modèle, et à partir de paramètres internes ou externes (décisions prises par d'autres centres) et de contraintes locales, un centre d'une part adapte et prévoit son comportement, et d'autre part communique des décisions qui vont elles-mêmes influer sur la prise de décision dans d'autres centres.

Ainsi, une entreprise au sein d'une chaîne logistique peut donc être assimilée à un centre de décision puisqu'elle prévoit et adapte sa production en fonction de paramètres internes (gammes opératoires, ressources, etc. ...) et externes (commandes, etc. ...). Ces prévisions et ces adaptations enrichissent son modèle et lui permettent ainsi de prendre des décisions (détermination d'un délai d'une commande, etc. ...) les plus cohérentes possibles avec

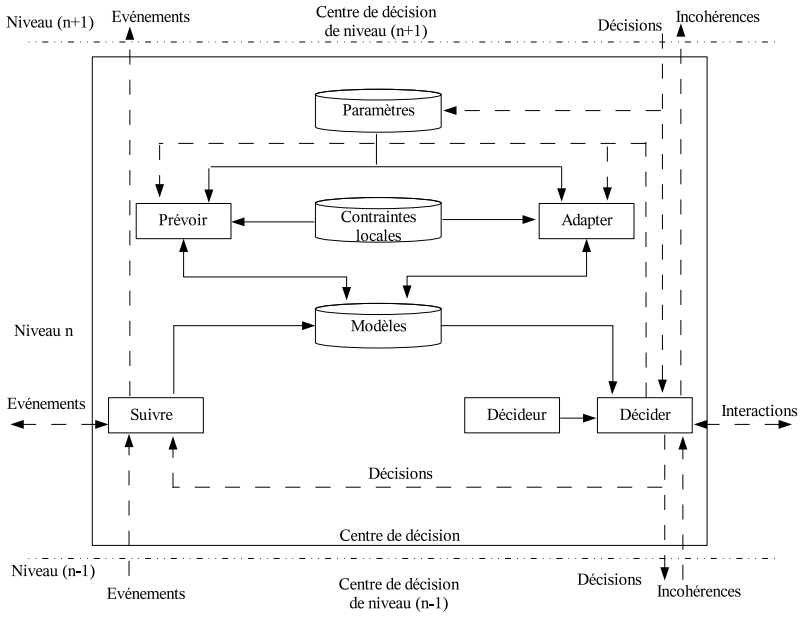

FIG. 2.1: Une vision générique d'un centre de décision

l'état de l'entreprise à un moment donné.

Pour que la décision prise dans un centre soit consistante vis-à-vis du fonctionnement global d'un réseau de centres de décision, elle doit être à la fois :

- **cohérente** vis-à-vis des décisions prises par un centre de décision en amont. Cela se traduit par la nécessité de respecter les décisions prises en amont ou de les remettre en cause explicitement.
- **robuste** vis-à-vis des décisions prises par un centre de décision en aval. Cela se traduit par la nécessité de prendre des décisions qui pourront être mises en œuvre par l'aval ou d'accepter que ces décisions soient remises en cause.

Il apparaît ainsi que la cohérence et la robustesse sont deux facettes d'un même processus de coopération entre centres de décision. La cohérence est d'autant plus facile à assurer que les décisions en amont sont robustes. La robustesse vise donc à faciliter la cohérence des décisions en aval (cf. [Schneeweiss 03], [Mercé 87]).

La difficulté pour un centre de prendre des décisions robustes est liée notamment à la représentation approchée qu'il a des centres situés en aval, ces centres étant eux-mêmes contraints par des décisions provenant d'un autre centre. De plus, une décision robuste à un moment donné peut perdre sa qualité au cours du temps compte tenu du caractère dynamique du système dans lequel elle agit.

De même, se posent des problèmes de coordination entre centres : en principe, un centre devrait connaître toute décision susceptible de peser sur ses décisions avant de les prendre. En réalité, des décisions sont prises en l'abscence de certains paramètres, sur la base d'es-

timations.

2.2.2 Organisation centralisée

Les organisations centralisées font l'hypothèse de l'existence d'une entité qui a une vision globale des caractéristiques des flux sur l'ensemble de la chaîne logistique. Cette entité supervise alors toutes les activités et prend les décisions globales devant être respectées par l'ensemble des partenaires. Cette centralisation des décisions permet d'assurer leur cohérence et de garantir une performance globale.

La figure 2.2 illustre ce type d'approche.

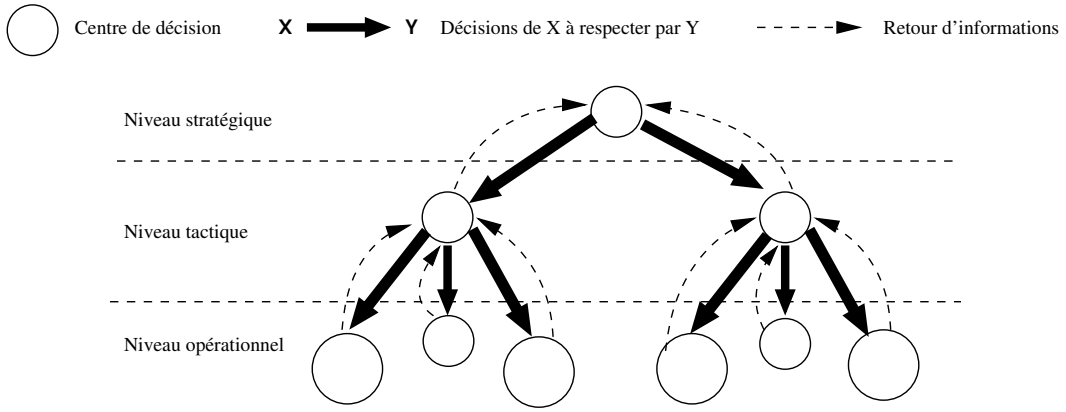

FIG. 2.2: Une approche centralisée

Un inconvénient des approches centralisées est qu'elles requièrent une totale transparence des acteurs, ceux-ci devant communiquer à l'entité *superviseur* les caractéristiques de leur production. De plus, elles imposent que les acteurs respectent les décisions prises par le superviseur et n'autorisent pas de remise en cause de ces décisions. Enfin, l'organisation des activités étant supposée réalisée a priori, la coopération entre les acteurs s'apparente plus à une action de coordination qu'à une réelle prise de décision collective. Cette hypothèse semble peu acceptable dans un contexte réel d'application, où les entreprises ne coopèrent que pour certaines activités et peuvent être en concurrence sur d'autres, et où le pouvoir de décision est réparti de façon homogène.

2.2.3 Organisation distribuée

Plusieurs travaux (détaillés dans le paragraphe 2.3) préconisent une approche distribuée, répartissant davantage la coopération, n'usurpant pas le pouvoir de décision de chaque ac-

teur. Cette approche permet d'illustrer le caractère distribué des décisions et elle permet de répartir l'autonomie de décision de façon plus homogène sur chaque centre de décision, chaque centre pouvant éventuellement remettre en cause des décisions prises en amont (cf. figure 2.3). L'inconvénient de ce type d'approche est qu'elle requiert des méthodes spécifiques de gestion pour assurer une cohérence globale des différents choix.

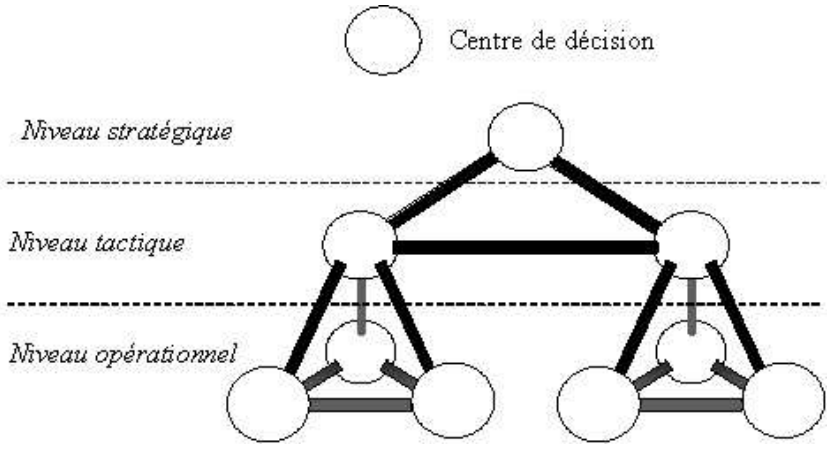

FIG. 2.3: Une approche distribuée

Dans le cadre de la production à la commande, la coopération consiste à organiser et à synchroniser les activités chez l'ensemble des partenaires. L'organisation et la synchronisation des activités concernent deux processus de coopération complémentaires [Trentesaux *et al.* 98].

Le premier correspond à un processus de coopération *vertical*, qui reflète la hiérarchie des fonctions de la gestion de production. Le second correspond à un processus de coopération *horizontal* qui concerne la réalisation distribuée d'une fonction de production particulière. Une coopération horizontale correspond donc à une coopération entre des centres de décisions d'un même niveau hiérarchique et une coopération verticale correspond à une coopération entre centres de décisions de niveaux différents [Sardas *et al.* 02].

2.3 Quelques approches de la coopération

De façon non exhaustive, cette partie présente quelques approches permettant de supporter la coopération entre centres de décision au sein d'une chaîne logistique. Nous avons choisi de les classer en fonction des outils utilisés pour mettre en œuvre la coopération.

2.3.1 Approches par programmation linéaire

La programmation linéaire est fréquemment utilisée dans les problèmes d'optimisation et particulièrement dans les problèmes d'organisation en gestion de production.

Certains travaux de recherche proposent d'enrichir les modèles classiquement utilisés en intégrant des contraintes, des variables et des critères qui reflètent les interactions entre les entreprises. Il s'agit de déterminer comment organiser la réalisation d'un ensemble de commandes au sein d'une chaîne logistique et au sein de chaque entreprise.

L'objectif de la programmation linéaire étant d'optimiser un critère, exprimant une performance globale, nous pouvons noter que la plupart des approches utilisant cet outil sont des approches centralisées.

Parmi ces travaux, nous distinguons celui présenté dans l'article [Hammami *et al.* 03] dans lequel les auteurs présentent un modèle d'allocation de commandes basé sur la programmation linéaire multicritères. Une particularité de cette approche est la prise en compte des compétences des acteurs de la chaîne logistique.

À chaque produit est associée une carte technologique regroupant d'une part, les activités et les compétences nécessaires à sa réalisation, et d'autre part, un graphe présentant l'enchaînement des compétences nécessaires à sa réalisation. Par ailleurs, chaque entreprise est caractérisée par un ensemble de compétences.

Pour un produit donné, un sous-ensemble d'entreprises est sélectionné en se basant sur les compétences nécessaires à la réalisation du produit et les compétences disponibles chez les entreprises. Ensuite, les entreprises devant réaliser le produit sont sélectionnées à l'aide d'un programme linéaire qui minimise le coût total de la réalisation du produit, tout en maximisant le niveau de qualité totale lié à l'utilisation des compétences.

Une autre approche centralisée est présentée dans l'article [Guinet 00] où l'auteur propose une méthode basée sur le couplage entre une planification globale à capacité finie et des ordonnancements locaux.

L'auteur résout le problème de planification globale à l'aide d'une approche primale-duale puis il utilise une heuristique d'ordonnancement multiateliers afin de gérer localement chaque site. Les flux de production des différents sites sont alors synchronisés dans une démarche d'optimisation de type *Shifting Bottleneck*.

Les deux travaux présentés n'ont pas la même forme de coopération. Les auteurs de [Hammami *et al.* 03] assurent la coopération à l'aide d'un critère de sélection, qui permet de choisir les entreprises devant réaliser un produit non seulement vis-à-vis de l'évaluation de la valeur du produit (coûts, délais, qualité...), mais aussi par rapport à l'évaluation du bon fonctionnement de la chaîne logistique (équité, apprentissage...). Dans [Guinet 00], il s'agit plus d'une coopération de méthodes dans laquelle l'ordonnancement a la possibilité de remettre en cause des décisions prises par la planification.

2.3.2 Approches par Réseaux de Petri

Les réseaux de Petri sont classiquement utilisés pour modéliser le parallélisme et les synchronisations d'un système séquentiel. Les entreprises au sein d'une chaîne logistique étant assimilées à des centres de décision fonctionnant en parallèle et devant synchroniser leurs flux (produits, informations et financiers), il peut être intéressant de modéliser la coopération inter-entreprises à l'aide de réseaux de Petri.

Les réseaux de Petri peuvent être utilisés dans les approches Workflow, visant à piloter les flux d'informations au sein d'un chaîne logistique. Dans l'article [Aalst & Kumar 03], les auteurs développent un langage appelé XRL [2] qui utilise la syntaxe du langage XML et le formalisme des réseaux de Petri, ce dernier permettant d'analyser l'exactitude et les performances du Workflow décrit par XRL.

Pour le pilotage des flux de produits, nous pouvons citer l'article [Bourrières *et al.* 01] dans lequel les auteurs utilisent les réseaux de Petri pour modéliser les transformations relatives aux flux de produits au sein de chaque entreprise. L'objectif de leur approche est d'offrir un cadre formel générique à la planification multiniveaux et à la coopération.

Un système de production est assimilé à un centre de conduite, chargé de coordonner l'activité interne du système en fonction de son environnement. Chaque centre de conduite peut être relié à d'autres centres de conduite d'une part de façon horizontale, pour représenter par exemple les liaisons client-fournisseur, et d'autre part de façon verticale, pour représenter par exemple la hiérarchie des fonctions de gestion de production classique. Un centre de conduite peut ainsi être assimilé à un centre de décision (au sens défini au paragraphe 2.2.1).

Le processus de fabrication est modélisé à l'aide d'un réseau de Petri. Dans un rapport vertical, le réseau de Petri du centre de conduite d'un niveau supérieur est une agrégation du réseau de Petri du ou des centres immédiatement inférieurs. L'agrégation proposée porte sur les gammes de transformations, sur les produits et sur le temps.

En fonction d'un objectif de production, représenté par un niveau de stock final à satisfaire et d'une charge de travail calculée par le centre de conduite du niveau supérieur ou provenant d'un centre de conduite de type donneur d'ordre, chaque centre calcule sa propre charge de travail (cf. figure 2.4).

Pour obtenir cette charge de travail, un modèle inverse de production est utilisé. Ce modèle permettant d'identifier une ou plusieurs solutions, cette approche permet d'offrir une aide à la décision à chaque décideur. Les auteurs envisagent d'intégrer un programme linéaire qui permettrait d'identifier la solution optimale vis-à-vis d'un critère donné parmi les solutions précédemment trouvées.

La charge de travail étant imposée par le centre de conduite supérieur et/ou par un donneur d'ordre, nous pouvons classer cette approche parmi celles de type centralisé. En

[2] eXchangeable Routing Language

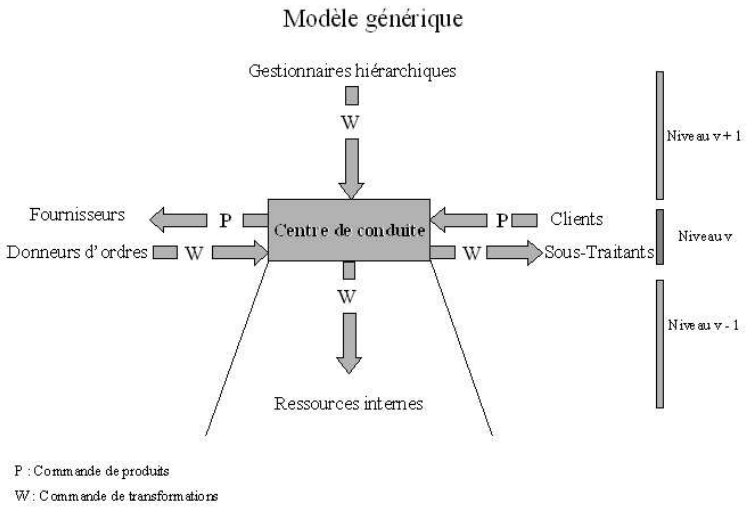

FIG. 2.4: Centre de conduite et ses relations intra et inter-niveau

effet, les mécanismes de coopération proposés ne permettent pas à un centre de conduite de renégocier les décisions prises en aval.

2.3.3 Approches probabilistes

D'autres travaux de recherche utilisent les lois probabilistes pour modéliser et simuler les relations entre entreprises au sein d'une chaîne logistique. Ces approches peuvent être centralisées ou distribuées et permettent généralement de déterminer une stratégie de coopération adaptée à un type de relations entre acteurs.

Dans les approches centralisées, nous pouvons distinguer celle proposée dans l'article [Fink 04] dans lequel l'auteur s'intéresse à la négociation, à l'aide d'un médiateur, entre deux entreprises voulant coordonner leur production. Les produits fabriqués par l'entreprise 1 constituent les composants nécessaires à l'entreprise 2. Assimilant le processus de transformation de chaque entreprise à un Flow Shop, l'objectif de cette contribution est de trouver une séquence de tâches commune aux deux entreprises qui offre un compromis entre les objectifs de performance locaux de chaque entreprise.

Chaque entreprise possède sa propre fonction objectif qui lui permet d'évaluer chaque séquence d'opérations. Le médiateur, qui ne connaît pas ces fonctions objectifs, génère des séquences d'opérations qui sont soit acceptées soit refusées par les deux entreprises.

Les deux critères pouvant être contradictoires, les entreprises doivent coopérer. Pour cela, l'auteur intègre une fonction d'acceptation probabiliste qui permet aux entreprises d'accepter une détérioration de leur fonction objectif (méthode analogue à un recuit simulé).

Les résultats présentés mettent en évidence l'intérêt d'une coopération dans ce type

d'approche.

D'autres travaux de recherche utilisent la théorie des jeux pour modéliser et simuler les relations entre entreprises au sein d'une chaîne logistique. En effet, la théorie des jeux s'intéresse à toute situation où des agents rationnels interagissent, en particulier pour résoudre des intérêts conflictuels, ce qui peut être le cas au sein d'une chaîne logistique. Pour cette raison, la théorie des jeux est devenue un outil d'analyse de la performance de la chaîne logistique.

Les techniques basées sur la théorie des jeux traitent plus particulièrement des décisions de nature tactique, puisqu'il s'agit par exemple de définir un contrat liant deux acteurs de la chaîne logistique et d'en mesurer la performance (cf. [Tsay & Lovejoy 99], [Bassok & Anupindi 97]), ou bien d'étudier la dégradation des performances de la chaîne logistique suite à la décentralisation et la mise en place de contrats de coordination pour pallier les problèmes liés à cette décentralisation, comme Z. Jemai l'a traité dans sa thèse [Jemai 03].

Un jeu est composé d'acteurs *rationnels* prenant des décisions dans le but de satisfaire des objectifs préalablement définis. Chaque acteur participant à un jeu possède un ensemble d'actions possibles (stratégies) et une fonction d'utilité (gain). La littérature présente alors différentes formes de jeux qui indiquent les règles fixées par les joueurs en terme de successions. On peut distinguer les jeux statiques qui se déroulent en une étape, chaque joueur ignorant le choix des autres joueurs au moment de son choix (voir [Cachon & Zipkin 99]), et les jeux dynamiques qui sont constitués d'au moins deux étapes et pour lesquels les joueurs choisissent simultanément ou séquentiellement leur stratégie (voir [Caldentey & Wein 03]). La majorité des travaux ayant utilisé la théorie des jeux pour l'analyse de la chaîne logistique, sont fondés sur des jeux statiques.

L'objectif d'un jeu est de déterminer un équilibre. Pour atteindre cet objectif, chaque joueur essaie de maximiser son propre profit en prenant en compte le profit de l'autre. Des équilibres intéressants peuvent être caractérisés. L'équilibre de Nash est obtenu lorsque les joueurs jouent simultanément, et lorsqu'aucun des joueurs n'aura de raison de se comporter différemment de ce que son adversaire a prédit ; l'équilibre de Stackelberg laisse un premier acteur agir puis l'autre acteur observe le choix du premier et choisit à son tour.

La théorie des jeux permet donc de simuler des prises de décision au niveau tactique pour choisir tel ou tel fournisseur mais aussi d'évaluer les performances de la chaîne logistique. À titre d'exemple, dans sa thèse [Jemai 03], Z. Jemai étudie l'impact de la décentralisation sur les perfomances de la chaîne logistique à l'aide de la théorie des jeux.

2.3.4 Approches par simulation à événements discrets

La simulation à événements discrets est une technique largement utilisée au niveau industriel dans l'étude des systèmes complexes (systèmes de production, de transport, de télécommunication, réseaux informatiques, avionique,...) chaque fois qu'il est nécessaire d'évaluer les conséquences de décisions (conception, modification, conduite ou pilotage) quant à la performance globale d'un système.

Certains travaux utilisent cette technique pour modéliser la gestion d'une chaîne logistique. Nous pouvons citer ceux décrits dans la thèse de O. Telle [Telle 03].

Dans le cadre de relations de type donneur d'ordre / sous-traitant, O. Telle modélise l'entreprise indépendamment de sa nature (fournisseur, client, sous-traitant, etc. ...) comme un agent composé de 4 sous-agents représentant des fonctions essentielles de l'entreprise : la planification, l'approvisionnement, la production et la distribution (cf. figure 2.5). La chaîne logistique correspond alors à un système multiagents dans lequel les interactions entre agents concernent les flux d'informations et de produits.

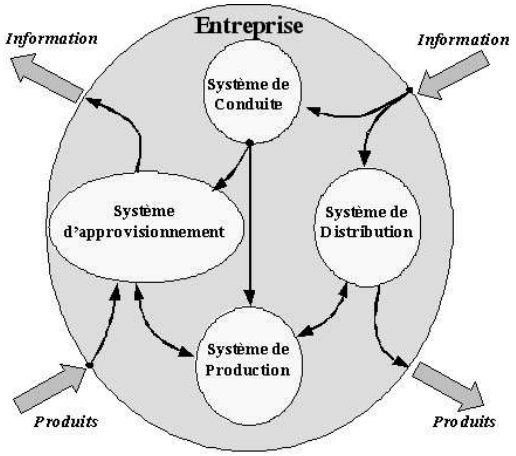

FIG. 2.5: Agent *Entreprise* présenté par O. Telle

Ce systéme multiagents est ensuite utilisé pour réaliser un outil d'aide à l'évaluation et à la simulation dans les relations donneur d'ordre-sous traitant. Cet outil permet de reproduire la dynamique du processus de coopération entre deux acteurs d'une chaîne logistique. Il permet ainsi d'évaluer les performances du système modélisé et de mesurer l'influence des politiques logistiques sur les flux d'informations et les flux physiques échangés entre les deux partenaires.

Le principe de l'utilisation de l'outil de simulation est illustré sur la figure 2.6, présentée dans [Telle 03]. Après avoir défini et modélisé conjointement le système sur lequel la coopération doit porter (étapes 1 et 2), le donneur d'ordre et le client paramètrent chacun de leur côté le logiciel (étape 3), ceci permettant de garantir une confidentialité des données de chacun. Ensuite la simulation est exécutée (étape 4). Cette simulation, basée sur un modèle

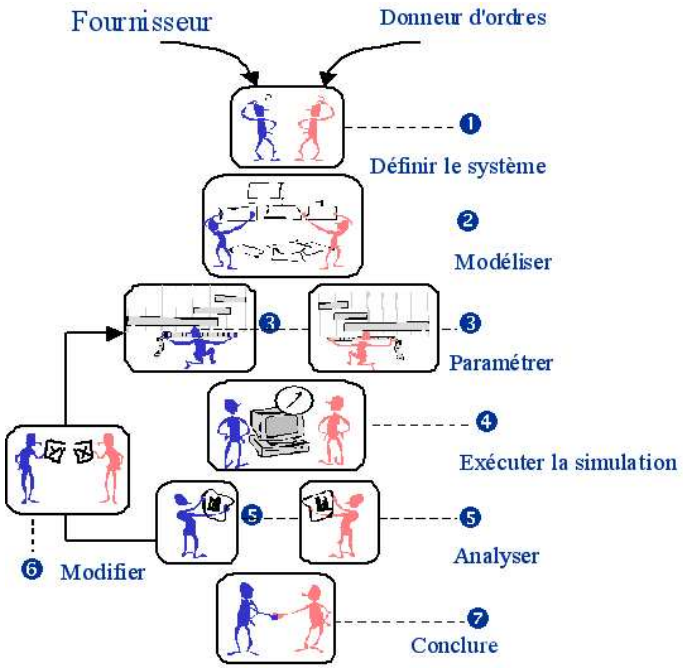

FIG. 2.6: Utilisation d'un outil de simulation

ne prenant en compte que les ateliers de type Flow Shop, permet à partir d'une analyse de la charge sur la machine goulot (préalablement identifiée), de déterminer la durée d'une séquence d'opérations dans l'objectif de caractériser des plans d'approvisionnement entre le donneur d'ordre et son sous-traitant. Une étape d'analyse (étape 5) permet alors aux deux partenaires d'analyser individuellement les résultats obtenus, et dans le cas où ces résultats ne conviennent pas, de modifier ensemble (étape 6) la politique de coopération. La dernière étape (étape 7) permet d'exprimer les conclusions et d'envisager les plans d'action.

Ce type d'approche distribuée est intéressant d'une part pour sensibiliser des partenaires au sein d'une chaîne logistique en leur montrant le besoin et l'intérêt de la coopération, et d'autre part pour mettre au point des politiques de coopération, élaborées conjointement par un donneur d'ordre et un de ses fournisseurs [Thierry & Bel 04].

2.3.5 Approches par contraintes

Le terme approche par contraintes rassemble différentes approches de problèmes combinatoires. Un problème étant décrit en termes de variables et de contraintes à satisfaire, ce type d'approche permet de détecter des incohérences, d'affiner le domaine des variables et de caractériser un ensemble de solutions pour faciliter la prise de décision.

Par exemple, dans sa thèse [Huguet 94], M.J. Huguet propose une approche pour l'aide à la décision et à la coopération basée sur le concept de réseau de centres de décision.

Cette approche, issue des travaux de l'analyse sous contraintes des problèmes d'ordonnancement [Erschler 76], tire son originalité d'un rapprochement sur le plan des concepts avec des travaux de sociologie du travail sur l'autonomie et la régulation du travail ; elle a été également reprise par J.P. Camalot et T. Monteiro dans leur thèse respective [Camalot 00], [Monteiro 01].

Un réseau de centres de décision peut être représenté par un graphe dont les sommets représentent les centres de décision et les arcs orientés l'influence de la prise de décision d'un centre sur les contraintes d'un autre centre immédiatement successeur. Ainsi, la décision dans un centre est contrainte par les décisions prises par les centres en amont ; et elle contraint elle-même les décisions des centres en aval (cf. figure 2.7).

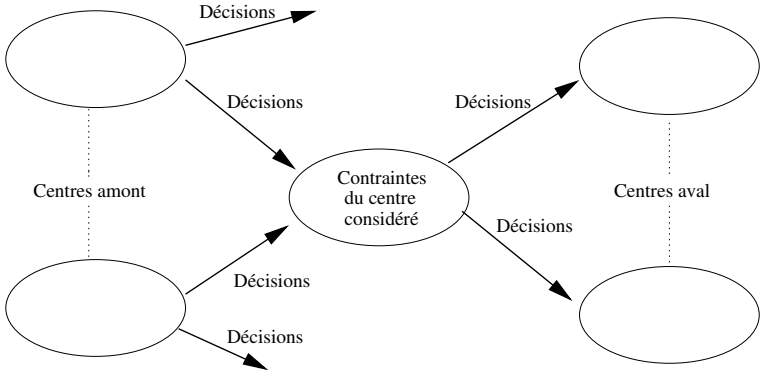

FIG. 2.7: Réseau de centres de décision

La prise de décision présente un caractère local, lié au choix qui doit être fait en fonction des critères propres à chaque centre. Elle présente également un caractère distribué, lié à son impact vis-à-vis des centres de décision situés en amont et en aval.

L'analyse sous contraintes permet d'expliciter les degrés de liberté dont dispose un centre pour prendre ses décisions. Si l'ensemble des contraintes peut être respecté, la décision sous contraintes est possible. Dans le cas contraire, la prise de décision n'est possible qu'en relaxant certaines contraintes. On parle alors de décision sur les contraintes.

M.J. Huguet définit alors quatres modes de coopération entre centres de décision :

- **Négociation Aval** : un centre de décision ayant pris une décision cherche à la valider avec les centres situés en aval.
- **Négociation Amont** : un centre de décision coopère avec un centre amont qui cherche à valider une de ses décisions.
- **Renégociation Aval** : soit un centre de décision sollicite un centre aval pour modifier une décision précédemment prise, soit un centre est sollicité par un centre aval pour modifier une décision précédemment acceptée.
- **Renégociation Amont** : soit un centre de décision sollicite un centre amont pour modifier une décision précédemment acceptée, soit un centre est sollicité par un centre

amont pour modifier une décision précédemment prise.

J.-P. Camalot s'est plus particulièrement intéressé au problème d'aide à la décision distribuée dans le domaine de la gestion du temps et des ressources, en formalisant les intéractions entre centres et en représentant le processus de décision d'un centre. Il a pris en compte les aspects temporels de la prise de décision et a proposé des protocoles de communication entre centres.

Les protocoles de communication permettent d'engager des conversations de deux types : les conversations pour informations permettent de préparer des décisions robustes, les conversations pour engagement assurent la prise de décision effective. Les conversations ont lieu lors des négociations ou des renégociations.

Pour représenter les effets d'une conversation, et ainsi représenter l'état d'un centre, la méthode proposée par J.P. Camalot construit une structure aborescente dans laquelle chaque noeud correspond à un modèle de CSP[3] et chaque arc correspond à la modification des contraintes du CSP parent. Cette utilisation des CSP dynamiques permet de vérifier en "temps réel" l'impact des différentes stratégies développées lors des conversations.

Dans sa thèse, T. Monteiro s'intéresse à la conduite distribuée d'une coopération entre entreprises. Il assimile la chaîne logistique à une architecture industrielle composée de centres de décision. La coopération entre les centres porte sur les délais de fabrication.

Il considère que la prise de décision d'un centre est évaluée par rapport à la charge de travail du centre de production. Si le stock de produits finis n'est pas suffisant pour satisfaire une nouvelle commande, la charge induite par cette nouvelle commande est calculée. Un algorithme d'évaluation sous contraintes cherche alors à insérer la charge induite en respectant les délais demandés. Si ce n'est pas possible, un algorithme d'évaluation sur les contraintes cherche à insérer la charge induite au plus tôt afin de déterminer son nouveau délai.

Il propose également d'intégrer le coût dans la négociation des commandes, la charge induite pouvant être absorbée par exemple par des heures supplémentaires, de la sous-traitance, etc.. Cette analyse est effectuée à l'aide d'un programme linéaire mixte qui répartit la surcharge en minimisant le surcoût global.

2.4 Synthèse

Une condition nécessaire au bon fonctionnement de la coopération entre entreprises est l'existence d'une relation de confiance entre les différents partenaires. Toutefois, il semble peu acceptable d'exiger une transparence totale des acteurs, ceux-ci pouvant être en concurrence pour certaines activités. Pour cette raison, l'utilisation de la programmation linéaire pour mettre en œuvre la coopération n'est pas souhaitable puisque, pour être performante vis-à-vis du critère global qu'elle cherche à optimiser, elle requiert un maximum d'informations de la part des divers acteurs. Cet outil semble donc plus approprié pour les approches

[3]Constraint Satisfaction Problem

centralisées.

Sur un horizon temporel court terme, il semble difficile d'avoir une connaissance a priori des stratégies employées par chaque acteur lors des processus de coopération, il parait donc encore plus délicat de définir quelle stratégie sera plus probable qu'une autre. Les approches probabilistes sont donc plus appropriées aux décisions stratégiques pour lesquelles, il est possible de caractériser des stratégies pour chaque acteur d'une chaîne logistique.

La coopération étant assimilée à une action de prise de décision distribuée, nous sommes dans un contexte de codécision dans lequel nous souhaitons mettre en place des processus de négociation et de renégociation entre les entreprises.

Dans ce contexte, il est nécessaire de respecter l'autonomie de décision de chaque acteur, et d'éviter toute hiérarchie entre les acteurs, comme le propose M.J. Huguet.

De plus, les responsables de la fabrication n'ayant qu'une vision partielle des critères et des enjeux propres à la coopération, il est intéressant de dissocier la coopération de la gestion de production en distinguant les divers services d'une entreprise comme cela a été proposé par O. Telle dans sa thèse. Cette distinction étant d'autant plus appréciable lors de la réalisation d'un outil de coopération pour lequel il est sain, du point de vue de son implantation sur site, de respecter le partitionnement des décisions en vigueur dans une entreprise.

Pour le développement d'un outil d'aide à la décision pour la coopération inter-entreprises, il s'avère intéressant d'utiliser des modèles agrégés, comme le propose les auteurs de l'article [Bourrières *et al.* 01]. En effet, ceux-ci étant moins complexes, ils permettent de produire une aide à la décision plus efficace. Il semble également intéressant de prendre en compte la dynamique des processus de négociation et de renégociation puisqu'une décision valide à un instant donné peut devenir incohérente suite à une prise de décision amont ou aval. Les travaux de J.P. Camalot semblent donc adaptés à notre problématique.

Pour réaliser une aide à la décision logicielle, les approches par simulation et les approches par contraintes sont généralement envisagées puisqu'elles laissent une place non négligeable au décideur humain.

Un outil de simulation est intéressant pour reproduire le fonctionnement d'un système à l'aide d'un modèle et de paramètres. L'utilisateur d'un outil de simulation qui souhaite analyser l'effet d'une décision, choisit des paramètres et lance une simulation. En fonction de l'analyse faite à l'issue de la simulation, il a le choix soit, s'il est satisfait des résultats, de mettre en œuvre de façon réelle ces paramètres, soit, dans le cas contraire, de modifier les paramètres et de relancer une simulation. Toutefois, pour mettre en œuvre une coopération, cette approche requiert une communication synchrone des acteurs au moment de la définition du modèle et au moment de l'analyse des performance du système. Or un mode de communication asynchrone semble mieux adapté au contexte de la production à la commande car il ne nécessite pas une disponibilité simultanée des acteurs. De plus, le

paramétrage d'une simulation est délicat car une variation minime d'un des paramètres, peut conduire à un résultat très différent.

Les approches par contraintes permettent de caractériser un ensemble de solutions en laissant ensuite la possibilité au décideur de choisir la solution qu'il estime la plus appropriée à la situation, parmi l'ensemble des solutions mises en évidence. De plus, elles peuvent éventuellement être couplées à des techniques d'optimisation (cf. thèse de T. Monteiro). Bien que cette approche ne garantisse pas la robustesse des décisions qu'elle caractérise, elle nous semble tout de même la mieux adaptée au développement d'une aide à la décision dans le contexte de cette étude.

Le prochain chapitre présente l'approche retenue pour mettre en œuvre la coopération entre deux partenaires d'une chaîne logistique liés par un processus de production à la commande.

Chapitre 3

Une approche de coopération pour la relation client-fournisseur

L'intérêt d'une approche distribuée de la coopération ayant été mis en évidence dans le chapitre précédent, l'objectif de ce chapitre est de détailler la mise en œuvre que nous avons retenue pour la coopération inter-entreprises. Il s'agit notamment de décrire comment est organisée la coopération, sur quoi elle porte et en quoi elle consiste.

La première partie de ce chapitre décrit l'organisation coopérative que nous avons adoptée en identifiant, plus particulièrement, les liens entre les entreprises. Le concept de cadre de décision est introduit en tant qu'objet de coopération puis nous détaillons le processus de coopération et les fonctions sous-jacentes.

Enfin, la dernière partie de ce chapitre met en évidence les différences de point de vue liées à la nature des décideurs : client ou fournisseur.

3.1 Organisation coopérative adoptée

3.1.1 Relations intra et inter-entreprises

Comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre 2, nous assimilons les entreprises appartenant à une ou plusieurs chaînes logistiques à un réseau de centres de décision.

O. Telle dans sa thèse [Telle 03] a décomposé une entreprise en quatre sous-agents autonomes liés par des flux d'informations et de produits (cf. figure 2.5 dans le paragraphe 2.3.4). Conscients de la nécessité de respecter le partionnement des décisions au sein d'une entreprise, nous avons choisi, pour notre part, de distinguer une entreprise en trois centres de décision qui représentent les fonctions principales d'une entreprise :

– Le centre de décision *Gestion de Production* regroupe toutes les fonctions classiques de la gestion de production d'une entreprise (telles que celles décrites dans le chapitre 1), et en particulier celles relatives aux systèmes de conduite et de fabrication distingués par O. Telle.

– Le centre de décision *Service Vente* regroupe les services liés à la vente des produits d'une entreprise. Ce centre gère les relations d'une entreprise avec ses clients.
– Le centre de décision *Service Achat* correspond aux services liés à l'achat de composants nécessaires à la fabrication d'une entreprise. Ce centre gère les relations d'une entreprise avec ses fournisseurs.

Ces trois centres de décision sont reliés par des flux d'informations, c'est-à-dire des flux de données et des flux de décisions comme l'illustre la figure 3.1.

Les flux de produits relient les centres de décision *Gestion de Production* des différentes entreprises, comme nous l'avons vu dans le chapitre 1.

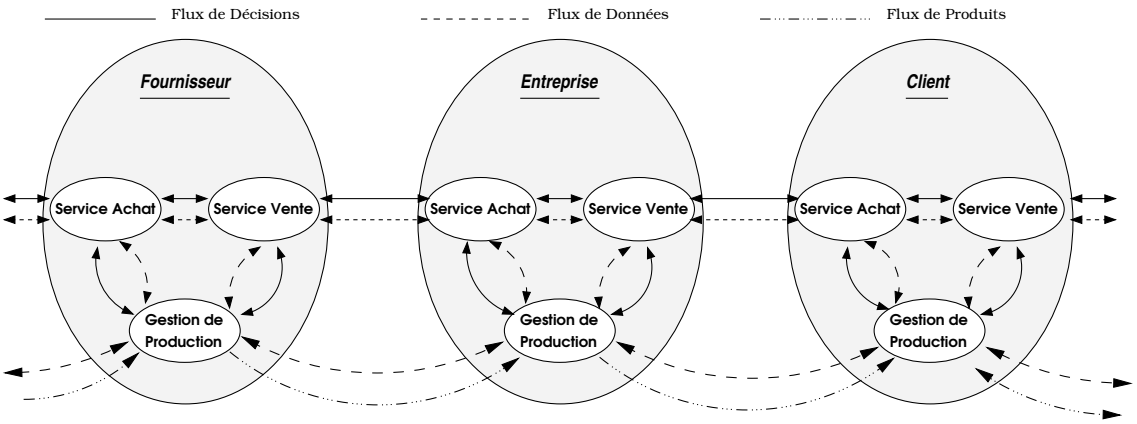

FIG. 3.1: Relations entre les centres de décision d'une chaîne logistique

Nous faisons l'hypothèse que les flux de décisions inter-entreprises transitent par un centre de décision soit de type *Service Vente*, soit de type *Service Achat*, (seuls des flux de données transitent entre les centres de décision de type *Gestion de Production*). Toute commande ou tout achat sera donc réalisé respectivement par les centres de décision *Service Achat* ou *Service Vente*.

Remarquons aussi que sur cette figure, pour des raisons de lisibilité, l'entreprise considérée est en relation avec un seul client et un seul fournisseur. Néanmoins, il serait facile d'étendre ce schéma aux relations multiclients et multifournisseurs.

Nous pouvons constater qu'une entreprise doit gérer des flux de décisions et de données de type entreprise-fournisseurs, de type entreprise-clients, ou intra-entreprise. Nous détaillons la nature et les caractéristiques de ces flux du point de vue de la coopération dans le paragraphe 3.4.

3.1.2 Mode de communication et instrumentation adoptés

La coopération implique une communication forte entre les acteurs. Cette communication est dite synchrone lorsque les acteurs coopèrent simultanément via un espace virtuel ou réel partagé. Dans ce cas, toute action de l'un des acteurs est immédiatement perçue par les autres. La communication est dite asynchrone lorsque les acteurs coopèrent sans qu'il y ait obligation de simultanéité. Dans ce cas, le délai entre l'envoi d'un message et son traitement par les destinataires peut être a priori quelconque, bien qu'en pratique il sera limité.

Comme dans [Camalot 00], nous avons choisi d'utiliser un mode de communication asynchrone. En effet, ce mode semble mieux adapté au contexte de la production à la commande car il ne nécessite pas une disponibilité simultanée des acteurs. De plus, il nous paraît plus simple du point de vue de sa réalisation.

Nous supposons ensuite que la coopération au sein de chaînes logistiques exige la définition d'un langage de communication commun pour les échanges inter-entreprises. Comme le propose J.P. Camalot dans sa thèse [Camalot 00], ce langage pourra par exemple être le langage KQML, utilisé dans les systèmes multiagents ([Labrou & Finin 97]) ou bien le langage *ebXML* (electronic business XML), qui étend les fonctions de l'EDI à la gestion de l'exécution des processus inter-entreprises (commande, livraison, etc. ...) [Crochet-Damais 03a].

L'avantage d'un langage formel est de créer la possibilité de faire dialoguer des agents artificiels (programme, logiciel) et des décideurs humains. Ainsi, un décideur peut, à travers une interface adaptée, choisir les variables et les valeurs qu'il doit communiquer à un autre, en rendant explicite l'intention (la modalité) qui accompagne l'envoi de son message. Cet échange formel peut être tracé finement et l'historique des conversations permet de mieux comprendre les raisons d'une décision donnée et plus généralement le processus de décision. Pour le travail qui nous concerne, nous n'avons pas appronfondi le volet de la communication au sein de la coopération. Nous nous sommes plutôt centrés sur le modèle de l'aide à la décision.

De plus, si l'on veut fournir des outils d'aide à la coopération, paramétrables et rapides à implanter, il est plus réaliste de s'intéresser à des outils de coopération point à point. Dans ce cas, la coopération est instaurée entre une paire d'acteurs et peut éventuellement se propager sur la chaîne logistique. Il faut également réaliser une interface entre les données échangées durant la coopération et les données internes de chaque acteur, pour chacune des fonctions sous-jacente à la coopération.

Il est donc nécessaire de disposer de fonctions de mise en forme des données projection, regroupement, agrégation. On devra être capable par exemple de disposer des relations qui lient une commande donnée au plan de production interne auquel elle participe ou aux ordres de fabrication qui permettent de la couvrir. La présence de telles interfaces est alors indispensable au bon fonctionnement des outils de coopération. Leurs spécifications sont

présentées dans la partie III.

3.2 La notion de cadre de décision

À partir d'un constat sur les relations entre fournisseurs et clients, cette partie introduit le concept de cadre de décision, puis en précise les avantages et les limites. Cette notion de cadre de décision est très importante ; elle constitue l'objet de la coopération que nous mettons en œuvre. Nous y reviendrons tout au long de ce mémoire.

3.2.1 Position du problème

De façon classique, lorsqu'une entreprise définit les dates des approvisionnements pour la réalisation de sa production, les dates de livraison qu'elle indique à ses fournisseurs sont antérieures aux dates auxquelles les approvisionnements sont réellement nécessaires. En effet, une entreprise préfère souvent constituer un stock d'entrée plutôt que de risquer de différer sa production suite à un retard d'approvisionnement.

De façon symétrique, lorsqu'un fournisseur négocie des dates de livraison avec ses clients, les dates qu'il propose sont postérieures aux dates auxquelles il peut réellement réaliser la commande. Il se réserve ainsi une marge de liberté afin de conserver un peu de capacité de travail pour être capable de gérer des imprévus.

Nous avons choisi d'illustrer ces habitudes de fonctionnement sur la figure 3.2. Cette figure, volontairement exagérée, représente une commande de 650 pièces à réaliser pour le 28 Février. Les courbes de production cumulée du fournisseur et des besoins cumulés du client sont aussi représentées sur la figure. Nous notons que, idéalement, la courbe de production doit être identique, ou à défaut se situer légèrement au-dessus de la courbe des besoins, pour tendre vers une production juste à temps.

Dans cet exemple, le fournisseur a prévu de fabriquer les 650 pièces de la commande pour le 26 Février en fractionnant sa réalisation de telle sorte que 200 pièces soient fabriquées pour le 1er Février, 250 pour le 13 Février, et 400 pour le 23 Février. Le fournisseur dispose donc de trois jours de marge de liberté pour éventuellement réagir aux aléas.

Le client, lui, n'utilise seulement que 50 pièces sur les 650 à la date de livraison prévue de la commande. Dans cet exemple, il aura réellement besoin de la totalité des pièces le 13 mars. Il aura donc à gérer un stock d'entrée de 600 pièces le 28 Février, de 400 le 2 mars et de 100 le 10 mars.

Ainsi, si l'on observe globalement la tension des flux sur l'ensemble de la chaîne logistique, bien qu'elle soit localement satisfaisante, voire optimisée, elle est lâche entre chaque acteur du fait de l'existence de ces stocks tampons.

Dans le domaine de la production à la commande, l'objectif de la coopération est donc d'amener les acteurs à expliciter davantage et à mieux dimensionner les marges de sécurité

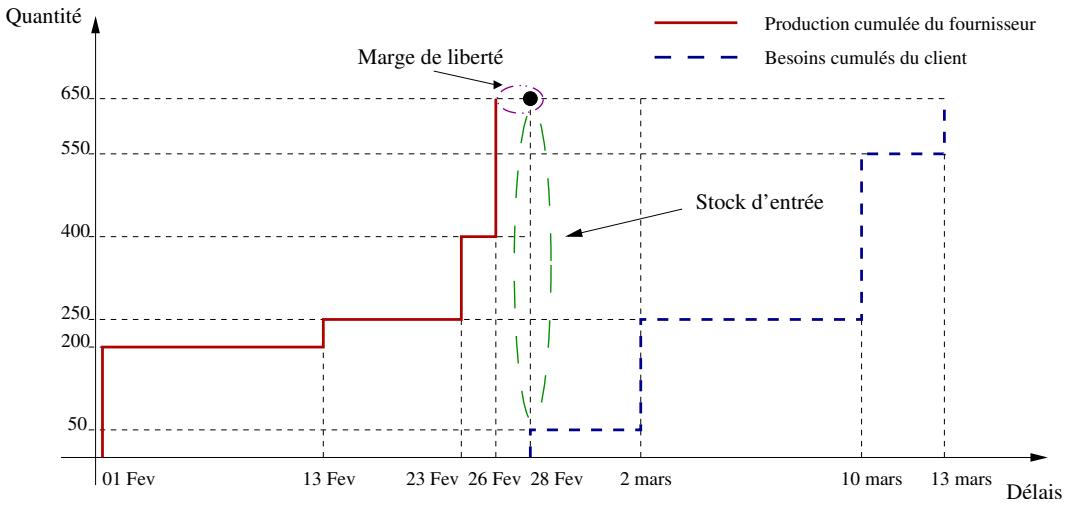

FIG. 3.2: Production cumulée et besoins cumulés pour une même commande

que chacun se réserve, pour définir les dates d'approvisionnement ou de livraison. Cette approche peut être comparée à celle proposée dans [Bassok *et al.* 99] et [Tsay & Lovejoy 99] où la notion de *commande contrat* est utilisée dans ce but.

Pour cela, nous supposons que toute commande entre deux acteurs passe par une phase de négociation préalable dont le but est de définir un *cadre de décision*. Cette notion, proche de celle présentée dans [Despontin *et al.* 04b], est détaillée dans le paragraphe suivant.

3.2.2 Le cadre de décision

Dans une logique de production à la commande, nous faisons l'hypothèse que le cadre de décision représente un engagement de mise à disposition par un fournisseur auprès de son donneur d'ordre, d'une quantité variable de produits, dans une ou plusieurs fenêtres temporelles. Soulignons que cet engagement de mise à disposition sous-tend un engagement réciproque de consommation de la part du client. Ainsi, un cadre de décision peut être assimilé à un ensemble de contraintes portant sur l'état du stock de sortie d'un fournisseur dans certains intervalles temporels, ou sur l'état du stock d'entrée d'un client, à une translation près, si les temps de transport sont pris en compte.

Définition 3.1 : *Un cadre de décision concerne une commande k pour un produit i donné, et est composé de $N_{i,k}$ rectangles. Chaque rectangle n est défini, d'une part par une quantité minimale $\underline{q}_{k,n}$ et une quantité maximale $\overline{q}_{k,n}$, et d'autre part un délai minimal $\underline{d}_{k,n}$ et un délai maximal $\overline{d}_{k,n}$.*

La figure 3.3 reprend l'exemple précédent (cf. figure 3.2). Nous supposons que les partenaires ont collectivement défini un cadre de décision k lors d'un processus de négociation.

Ce cadre de décision comporte 4 rectangles : le fournisseur doit mettre à disposition du client entre 50 ($\underline{q}_{k,1}$) et 250 ($\overline{q}_{k,1}$) pièces de la commande finale entre le 1er ($\underline{d}_{k,1}$) et le 4 février ($\overline{d}_{k,1}$), puis entre 200 ($\underline{q}_{k,2}$) et 550 ($\overline{q}_{k,2}$) pièces entre le 10 ($\underline{d}_{k,2}$) et le 12 février ($\overline{d}_{k,2}$), puis entre 400 ($\underline{q}_{k,3}$) et 650 ($\overline{q}_{k,3}$) pièces entre le 23 ($\underline{d}_{k,3}$) et le 24 février ($\overline{d}_{k,3}$) et enfin 650 ($\overline{q}_{k,4} = \underline{q}_{k,4}$) pièces le 28 février ($\overline{d}_{k,4} = \underline{q}_{k,4}$). À l'inverse, le client s'engage à consommer entre 50 et 250 pièces entre le 1er et le 4 février, etc..

Notons que le client peut consommer une quantité de produit inférieure à celle fabriquée par le fournisseur du moment que cette quantité consommée est supérieure à la quantité minimale définie dans le cadre de décision.

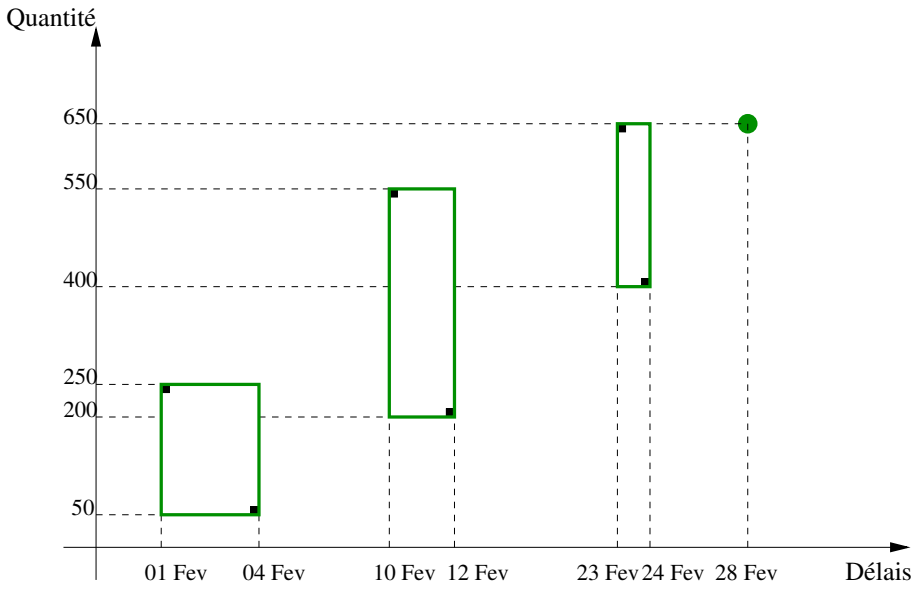

FIG. 3.3: Un cadre de décision

Un cadre de décision ayant une valeur contractuelle, les courbes de production prévisionnelle cumulée du fournisseur et de besoins cumulés du client doivent intercepter les rectangles composant le cadre de décision. Ainsi le cadre de décision contraint la trajectoire de ces deux courbes dans l'optique de tendre les flux de produits entre les deux partenaires. Le point en haut à gauche de chaque rectangle contraint le client à ne pas demander trop tôt, trop de produits, et le point en bas à droite contraint le fournisseur à fabriquer un minimum de produits avant une date donnée.

Sur la figure 3.4 qui reprend le cadre de décision présenté sur la figure 3.3, les courbes prévisionnelles de production et de besoins cumulés ont été représentées. Dans cet exemple le cadre de décision est respecté, et la tension des flux entre les partenaires a donc été améliorée puisque les deux courbes sont plus proches.

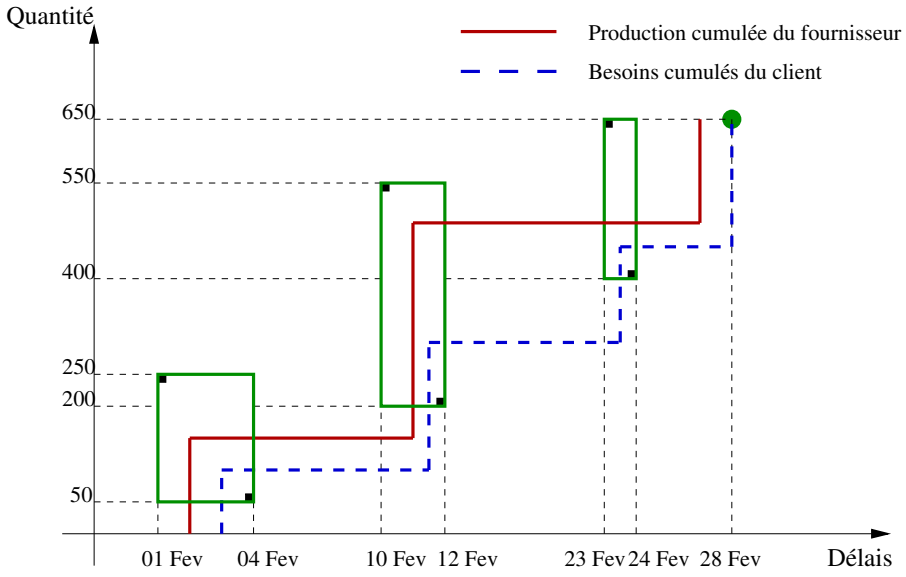

FIG. 3.4: Courbes prévisionnelles de production et de besoins respectant un cadre de décision

Nous pouvons remarquer que l'aire des rectangles et leurs positions rendent compte de la flexibilité dont dispose le fournisseur pour réaliser sa production. En effet, plus la surface d'un rectangle est importante ou, à surface égale, plus la position d'un rectangle est loin de l'origine du temps, et plus le fournisseur dispose de flexibilité pour respecter son engagement. Le bon dimensionnement d'un cadre de décision est le résultat d'une négociation qui aboutit à un compromis qui satisfait à la fois les objectifs internes du fournisseur et ceux du client. Un cadre de décision doit donc satisfaire les deux points de vue.

Remarquons d'autre part qu'un cadre de décision n'est pas figé. Par analogie avec les pratiques courantes, au fur et à mesure de l'avancée de la production, lorsque les besoins du client et les plans de fabrication du fournisseur s'affinent, les acteurs peuvent modifier les cadres de décision de sorte qu'ils soient en adéquation avec les courbes prévisionnelles de production et de demande. Ces affinements des cadres de décision se font par renégociations successives comme cela est présenté dans la suite de ce mémoire. La figure 3.5 représente par exemple le cadre de décision présenté sur la figure 3.4 mais à la date du 5 février. À cette date il ne reste que deux rectangles, qui ont été modifiés. Le premier rectangle correspond désormais à une mise à disposition d'une quantité de produits comprise entre 250 et 350 (au lieu de 200 et 500). Le deuxième rectangle correspond désormais à une mise à disposition d'une quantité de produits comprises entre 500 et 600 (au lieu de 400 et 650) pour un délai compris entre le 23 et le 25 Février (au lieu du 23 et 24 Février).

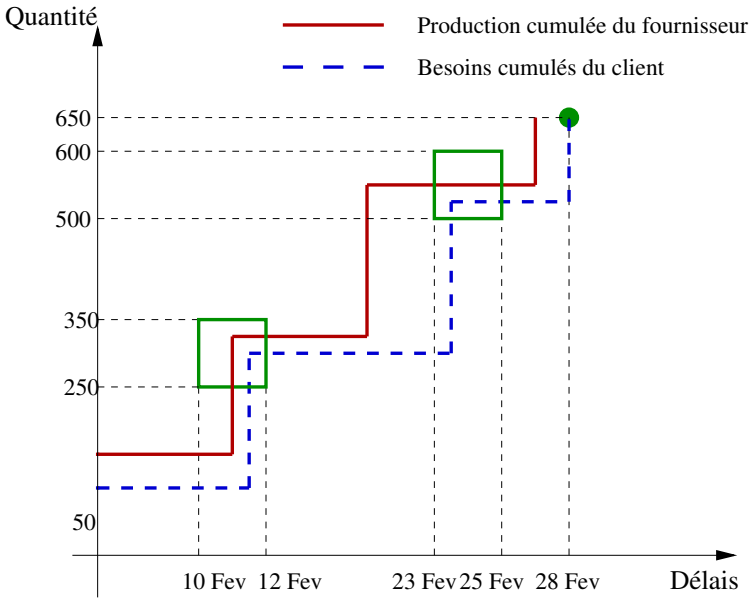

FIG. 3.5: Cadres de décision après affinements

3.2.3 Avantages et limites de ce concept

Une représentation directe du cadre de décision sous forme de rectangles s'avère intéressante puisque les décideurs peuvent disposer d'une représentation analogique directe et globale des marges de manœuvre associées à la production.

De plus, comme la définition d'un cadre de décision tend à améliorer la cohérence entre la production et les besoins, le nombre d'incohérences sera diminué si les deux partenaires respectent ces cadres de décision. Toutefois, cela ne suffit pas à éliminer toutes les incohérences. Pour pallier ce problème, la représentation graphique peut être enrichie par la courbe prévisionnelle de production du fournisseur et par les quantités et les dates d'approvisionnements prévisionnelles du client, comme cela a été fait sur les figures 3.4 et 3.5. De cette façon, le client peut avoir des informations relatives à la réalisation de sa commande et le fournisseur peut connaître les attentes de son client. Les décideurs pourront alors vérifier la satisfaction des cadres de décision et détecter les incohérences entre production et besoins.

La figure 3.6 donne un exemple d'une incohérence puisque, pour le troisième lot, le besoin du client est supérieur à l'offre du fournisseur. Cette situation peut avoir lieu si par exemple le client a un besoin supérieur en quantité afin de satisfaire un de ses propres clients, ou bien si le fournisseur, suite à un aléa sur une ressource, ne peut plus réaliser autant de pièces que prévu.

Nous pouvons remarquer que dans cet exemple, bien qu'il y ait une incohérence, les

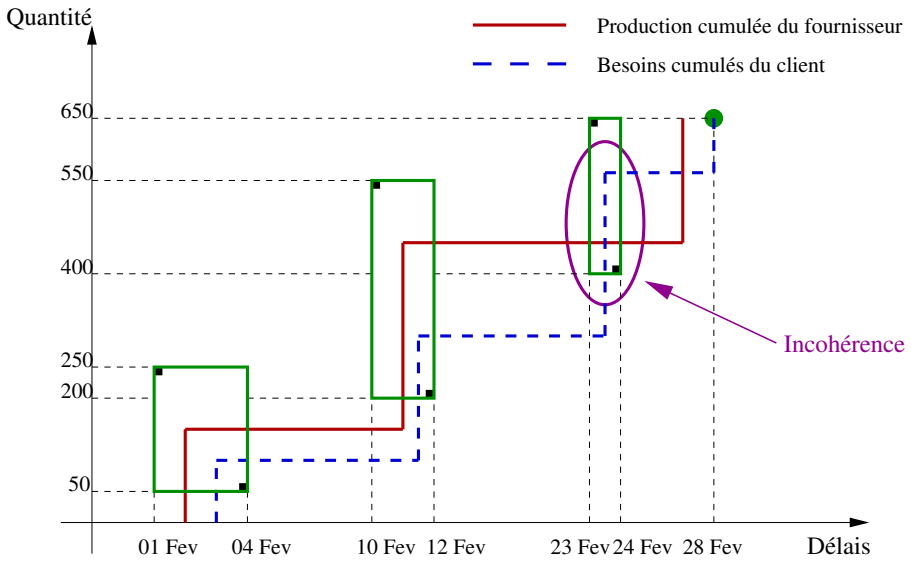

FIG. 3.6: Incohérence entre les courbes prévisionnelles

deux partenaires respectent le cadre de décision. Dans une logique de coopération, afin que les courbes prévisionnelles redeviennent cohérentes l'une par rapport à l'autre, un processus de rénégociation devra être initié, soit par le fournisseur pour diminuer la quantité maximale du troisième lot prévue par le cadre de décision, soit par le client pour augmenter la quantité minimale de ce même lot. Les mécanismes de renégociation sont décrits plus amplement dans le paragraphe 3.3.

Nous pouvons noter qu'intégrer de la flexibilité sur les quantités et les délais constitue déjà aujourd'hui une pratique courante au sein des relations client-fournisseur.

Par exemple, dans sa thèse [Telle 03], O. Telle décrit l'approvisionnement chez Airbus France. Pour cette société, les prévisions de commandes auprès de ses fournisseurs sont regroupées sur trois périodes successives. La première période correspond aux commandes fermes déjà envoyées aux fournisseurs, la deuxième période correspond à des prévisions d'approvisionnement fermes sur la quantité totale mais flexibles sur les délais et la troisième période correspond à des prévisions sans engagement en termes de quantités et de délais. Bien que cette méthode aide à l'amélioration de la gestion de la chaîne logistique, elle n'est viable que dans une relation de type donneur d'ordre-fournisseur pour laquelle la coopération n'est qu'une collaboration puisque, comme le donneur d'ordre impose ses choix à ses fournisseurs, il n'existe pas de codécision (cf. paragraphe 2.1.3).

Dans le cas d'une relation de type client-fournisseur, l'apport du concept de cadre de décision permet aux partenaires de se mettre d'accord sur une commande ferme mais "flexible" pour laquelle les quantités et les délais seront affinés par des processus de renégociation successifs. Dans ce cas, les partenaires collaborent en vue d'une prise de décision collective.

Nous sommes donc bien en présence de coopération comme nous l'avons explicité dans le paragraphe 2.1.3.

Cependant, une limite du concept de cadre de décision réside dans le fait qu'il ne permet pas de garantir la convergence des décisions lors d'un processus de coopération. En effet rien n'est prévu pour contraindre les partenaires à trouver un compromis. De ce fait, les processus de négociation/renégociation peuvent ne pas aboutir à une décision commune. De plus, le volume et la fréquence des échanges entre les partenaires lors d'un processus de négociation ou de renégociation peut devenir plus un handicap qu'un avantage. En effet, trop d'informations peut nuire à l'information elle-même et gêner la prise de décision.

3.3 Formalisation d'un processus de coopération inter-entreprises

Les différentes fonctions qui sont, pour notre travail, inhérentes à la coopération inter-entreprises sont la négociation, la coordination et la renégociation. L'objectif d'un processus de négociation est de déterminer les caractéristiques d'une commande, exprimées par un cadre de décision. Le processus de coordination doit permettre aux entreprises de se synchroniser pour respecter au mieux le cadre de décision défini. Le processus de renégociation a pour objectif de rendre cohérents, s'ils ne le sont plus, la production cumulée ou le besoin cumulé, et un cadre de décision. Il peut aussi servir pour affiner un cadre de décision afin d'éviter proactivement d'éventuelles incohérences.

Cette partie décrit ces trois processus, proche de ceux présentée dans [Despontin *et al.* 04a], puis elle introduit le concept de *contrat de coopération* qui fixe les contraintes portant sur les différents processus liés à la coopération.

3.3.1 Le processus de négociation

Deux modes de négociation entre centres de décision ont été identifiés dans le paragraphe 2.3.5 : la négociation *Aval* et la négociation *Amont*.

Dans le contexte de ce travail, la négociation Aval est mise en jeu lorsqu'un centre de décision *service vente* d'une entreprise initie un processus de négociation avec un centre de décision *service achat* d'une autre entreprise. La négociation Amont correspondant au processus inverse.

Un processus de négociation est initié lorsqu'un des partenaires émet une proposition. Cette proposition peut émaner d'un client souhaitant passer une commande (négociation Amont) ou d'un fournisseur voulant, par exemple, faire une offre commerciale à un de ses clients (négociation Aval). Une proposition fixe un cadre de décision initial. Par exemple un client peut émettre une proposition de commande concernant 500 pièces pour une date

comprise entre le 10 et le 13 Février. Dans cet exemple, le cadre de décision initial est alors réduit à un segment horizontal.

Le destinataire de la proposition peut refuser ou accepter cette proposition. Il peut aussi émettre une contre-proposition. Si nous reprenons l'exemple précédent, le fournisseur peut accepter ou refuser cette commande de 500 pièces à réaliser entre le 10 et le 13 Février, ou bien il peut modifier ce cadre initial en augmentant, par exemple, le délai minimal au 11 Février, et envoyer cette contre-proposition.

Un processus de négociation correspond donc à une conversation puisque le cadre de décision initial va être affiné progressivement par des aller-retours successifs entre les deux partenaires. Afin d'identifier qui est à l'origine de la conversation, nous considérons que le partenaire émettant des propositions est celui qui est l'initiateur du processus de coopération, l'autre partenaire émettant alors des contre-propositions. La conversation correspond donc à une suite de propositions - contre-propositions et s'achève soit par une acceptation, soit par un refus.

Dans le cas où le cadre de décision initial correspond à plusieurs rectangles, c'est-à-dire au fractionnement de la commande en lots, les partenaires réalisent un processus de négociation qui détermine en parallèle les rectangles correspondants aux différents lots.

La figure 3.7 illustre une conversation possible entre un fournisseur et un de ses clients. Dans cet exemple, la conversation est initiée par le client et concerne un cadre de décision ne comportant qu'un rectangle. Sur cette figure les messages proposition et contre-proposition ont pour arguments (*Dmin*,*Dmax*, *Qmin*,*Qmax*) où *Dmin* et *Dmax* correspondent au délai minimal et maximal du cadre de décision, et *Qmin* et *Qmax* correspondent à la quantité minimale et maximale de ce cadre. Cet exemple aboutit à une commande de 300 à 340 pièces pour une date comprise entre le 10 et 15 Mai.

Comme dans la thèse de J.P. Camalot [Camalot 00], nous distinguons des propositions de deux natures. En effet, si elle est acceptée, une proposition peut soit induire un engagement ferme entre un fournisseur et son client, soit induire une réponse concernant la faisabilité d'une commande (sans aucune notion d'engagement).

Dans le premier cas, nous parlerons de *proposition pour engagement*, le processus de négociation se terminant alors soit par un engagement (acceptation), soit par un refus. Dans le cas où la conversation se termine par une acceptation, une commande est passée entre un fournisseur et son client, elle doit donc être réalisée. Par contre si la conversation se termine par un refus, aucune commande n'est passée entre les deux partenaires. Dans le deuxième cas nous parlerons de *proposition pour évaluation*, le processus de négociation étant alors conclu soit par un résultat de faisabilité si la conversation se termine par une acceptation, soit par un résultat d'infaisabilité si la conversation se termine par un refus.

Notons que conclure à la faisabilité d'une proposition n'engage aucun des partenaires puisque, pour réaliser un engagement ferme, une négociation pour engagement sera tout de même nécessaire entre les deux partenaires.

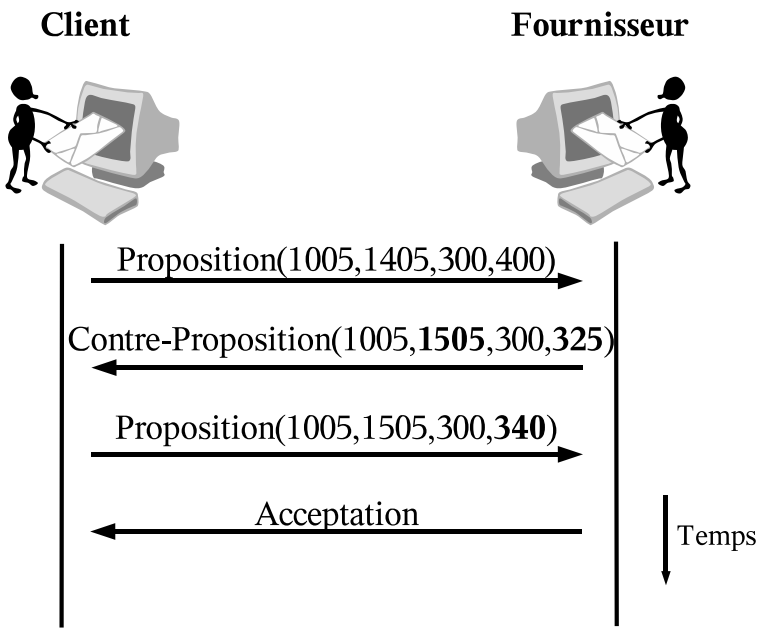

FIG. 3.7: Exemple d'une conversation lors d'une négociation

De plus, cette dernière n'aboutira pas obligatoirement au même cadre de décision que celui déterminé lors de l'analyse de faisabilité. En effet, une commande peut être réalisable à un instant donné mais ne plus l'être un peu plus tard si par exemple de nouvelles contraintes se sont ajoutées (prise d'un engagement ferme de la part du fournisseur auprès d'un autre client, choix d'un autre fournisseur pour réaliser la commande du client, etc. ...).

3.3.2 Le processus de coordination

La phase de coordination débute dès qu'un cadre de décision a été fixé c'est-à-dire dès qu'un engagement ferme réciproque de production et de consommation a été contracté entre un couple fournisseur-client. Elle consiste en l'échange d'informations permettant aux acteurs de se synchroniser. Ces informations peuvent concerner les délais, les quantités et les prix afférents à une commande. Elles sont générées durant la phase de réalisation de la commande, périodiquement, comme par exemple toutes les fins de semaine, ou à l'initiative d'un des acteurs par exemple pour annoncer la réalisation d'un certains nombre de pièces.

Comme nous l'avons déjà évoqué dans le paragraphe 2.1.4, nous pensons qu'une communication asynchrone est la plus appropriée dans le cadre de la production à la commande. Nous supposons donc que les partenaires vont principalement se coordonner à l'aide d'envois de messages electroniques, sans occulter une communication synchrone ponctuelle si elle s'avère nécessaire (coup de téléphone, réunion, etc. ...).

L'envoi d'une information de délai ou de quantité d'un fournisseur vers un client permet à celui-ci de connaître les intentions du fournisseur vis-à-vis de sa commande. Cette information enrichit celle déjà donnée par le cadre de décision et permet éventuellement au client de mieux " régler " sa propre production. En revanche, elle n'est pas contractuelle et est donc susceptible d'évoluer dans le temps, en fonction par exemple des déboires du fournisseur. L'envoi d'une information de délai ou de quantité d'un client vers son fournisseur, si elle est permise, permet au fournisseur de mieux cerner les besoins du client. Il pourra donc régler sa production en fonction de ce besoin.

Ces messages permettent donc aux protagonistes de disposer d'une vision commune et réaliste des commandes en cours. Ils permettent également d'éventuellement engager un processus de renégociation lorsque cela paraît nécessaire.

3.3.3 Le processus de renégociation

Comme pour la négociation, deux modes de renégociation entre centres de décision sont identifiés : la renégociation *Aval* et la renégociation *Amont*.

Un processus de renégociation est initié lorsqu'un des partenaires souhaite modifier un cadre de décision. Cette modification peut être initiée soit par le centre de décision *service vente* d'un fournisseur lorsque, par exemple, sa production ne peut plus respecter le cadre de décision (renégociation Aval), soit par le centre de décision *service achat* d'un client, lorsque les approvisionnements prévus ne sont pas cohérents avec ses besoins prévisionnels (renégociation Amont) (cf. figure 3.6).

Comme pour le processus de négociation, l'initiateur du processus de renégociation émet des propositions, l'autre partenaire émettant des contre-propositions. La renégociation correspond, tout comme la négociation, à une conversation se terminant soit par une acceptation soit par un refus. En cas d'acceptation, le cadre de décision pour lequel la renégociation a été engagée est modifié, en cas de refus il reste tel quel. Un processus de négociation et un processus de renégociation sont différenciés par la première proposition puisque dans le cas d'un processus de renégociation, cette proposition se réfère à un cadre de décision existant.

Dans le cadre de la renégociation, nous considérons aussi des propositions de deux natures : les propositions pour évaluation qui donnent une résultat de faisabilité et les propositions pour engagement qui correspondent à un engagemenent ferme en cas d'acceptation.

3.3.4 Le contrat de coopération

Comme nous l'avons déjà précisé dans le paragraphe 2.1.2, il est nécessaire de définir l'autonomie de chaque acteur. En effet, des contraintes, précisant les droits et devoirs de chaque partenaire lors de la réalisation des différents processus de coopération, doivent être précisées. Pour cette raison, nous supposons que cette autonomie est définie par un

contrat de coopération entre chaque couple fournisseur - client. Pour [Calvi *et al.* 00], *le contrat de partenariat formalise les engagements bilatéraux de manière à réduire les risques d'opportunisme dans le déroulement de la relation.*

Les clauses du contrat de coopération, tel que nous le définissons, précisent notamment les contraintes sous lesquelles les processus de coordination, de négociation et de renégociation peuvent se dérouler. Ces contraintes définissent des cadres dont la définition est donnée ci-après. Chacun de ces cadres peut être décliné selon le cadre temporel considéré (cf. figure 3.8). En effet, comme nous le verrons par la suite, la négociation ou la renégociation, si elle est initiée à moyen terme, à court terme ou en temps réel, n'a pas les mêmes contraintes.

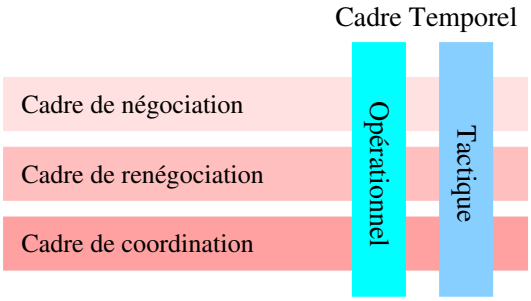

FIG. 3.8: Les cadres du contrat de coopération

Nous supposons que la définition d'un contrat de coopération constitue une tâche de nature stratégique, accomplie par chaque paire d'acteurs qui souhaitent coopérer. Pour cela, la durée de vie d'un contrat sera supposée relativement longue comparée à celle d'un processus de coopération. Néanmoins, le contrat pourra être modifié assez fréquemment pour tenir compte des variations du contexte de production.

Le cadre de négociation formule un ensemble de contraintes que tout processus de négociation doit satisfaire. Il précise entre autres pour chaque commande les quantités minimales et maximales que l'initiateur du processus peut demander en fonction du cadre temporel dont il dépend, les délais minimaux et maximaux en fonction des quantités commandées, les prix minimaux et maximaux des produits en fonction des quantités commandées et des délais de livraison et éventuellement le nombre de lots minimal et maximal par commande. Par exemple, le cadre de négociation pourra imposer que toute commande entre deux partenaires doit concerner entre 500 et 1000 pièces, pour des délais compris entre 10 et 20 jours pour un prix variant entre 5 et 10 euros par pièces.

La coordination est elle aussi contrainte par un cadre. Ce cadre intègre notamment un protocole de communication qui précise comment les partenaires doivent communiquer : de façon synchrone (réunion, vidéoconférence, etc...) ou asynchrone (téléphone, fax, mail, etc...). Ce protocole définit aussi les règles qui régissent l'échange. Par exemple, quand l'initiateur d'une communication envoie un message, une règle pourrait imposer qu'un

accusé de réception lui soit retourné pour que la demande soit considérée reçue, dans le cas contraire la demande ne serait pas prise en compte.

Le cadre de coordination définit aussi les objets sur lesquels portent les échanges et à quel moment les partenaires doivent communiquer entre eux. Par exemple, le cadre de coordination pourra préciser que les quantités fabriquées sont échangées périodiquement toutes les fins de semaine, alors que les délais pourront être communiqués toutes les fins de journée et dès qu'un retard supérieur à 10% est constaté.

Lorsqu'un cadre de décision ne peut plus être respecté, un processus de renégociation doit être initié afin d'aboutir à un nouveau cadre. Ce processus est lui aussi soumis à des contraintes fixées par le cadre de renégociation. Il s'agit des variations admises en quantité, en délai et en coût entre le cadre de décision initial et le nouveau. Par exemple le contrat peut préciser que lors d'une renégociation, la variation maximale admise pour la quantité est de 5%, de 10% pour le délai et de 15% pour le prix.

3.4 Flux d'informations inter et intra-entreprise

Le cadre de décision ayant été défini comme l'objet de la coopération, il est nécessaire de caratériser les flux d'informations intra et inter-entreprises au travers du cadre de décision.

3.4.1 Flux inter-entreprises

Les flux d'informations inter-entreprises concernent les centres de décision *service vente*, *service achat* et *gestion de production* d'entreprises différentes (cf. figure 3.1).

Les données échangées entre les centres de décision *gestion de production* sont les données qui sont classiquement échangées entre deux entreprises.

Les informations (données et décisions) échangées entre un fournisseur (centre de décision *service vente*) et un client (centre de décision *service achat*) portent sur les cadres de décision.

Un contrat de coopération définissant les objets sur lesquels portent les échanges, en fonction de ce qui a été conclu, un client peut visualiser partiellement ou totalement la production de son fournisseur et inversement un fournisseur peut visualiser partiellement ou dans son ensemble les besoins de son client.

Ainsi, un client peut visualiser sur les cadres de décision l'ensemble de la courbe de production cumulée de ses fournisseurs ou seulement quelques points de cette courbe. De même, un fournisseur peut visualiser sur les cadres de décision l'ensemble des courbes de besoins cumulés de ses clients ou seulement quelques points des courbes.

Les figures 3.9 et 3.10 illustrent, par exemple, le cas où un fournisseur et un client se sont mis d'accord pour communiquer seulement les points, respectivement, de la courbe cumulée de production et de la courbe de besoins cumulés qui interceptent les rectangles du cadre de décision.

La figure 3.9 représente le cadre de décision d'un fournisseur sur lequel il observe à la fois sa production prévisionnelle (courbe) et les besoins d'approvisionnement de son donneur d'ordre (rectangles). La figure 3.10 représente le cadre de décision d'un client sur lequel il observe ses besoins en approvisionnement (courbe) et la mise à disposition des produits par le fournisseur (rectangles).

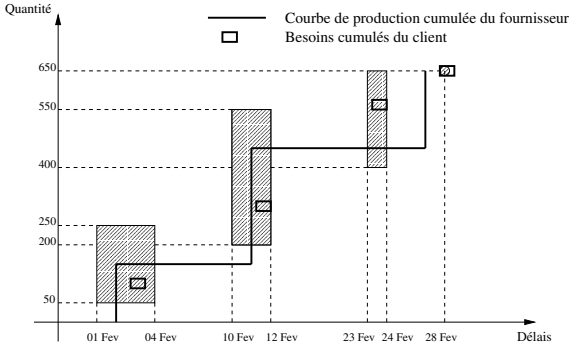

FIG. 3.9: Cadre de décision du point de vue fournisseur

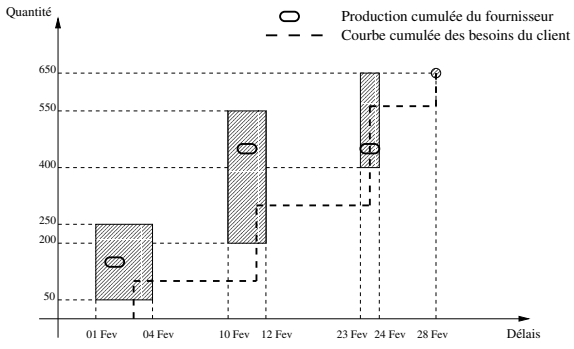

FIG. 3.10: Cadre de décision du point de vue client

3.4.2 Flux intra-entreprise

Au sein d'une même entreprise, un centre de décision *service vente* et un centre de décision *service achat*, pour prendre des décisions, ont besoin de connaître comment évoluent dans le temps, respectivement, les disponibilités des composants, et les besoins en composants.

En effet, un centre de décision *service achat* a besoin de connaître le besoin en composants nécessaires à l'entreprise pour honorer ses commandes auprès de ses clients. Inversement, un centre de décision *service vente* a besoin de connaître combien de composants sont disponibles pour pouvoir déterminer une production satisfaisant ses clients.

Nous supposons que les deux centres de décision ont une vision agrégée, sous forme de disponibilités ou de besoins cumulés en composant, des cadres de décision de l'autre centre de décision. En effet, il ne nous emble pas pertinent qu'un *service vente* ait la connaissance de la liste des fournisseurs de l'entreprise, et inversement qu'un *service achat* ait la vision des clients de l'entreprise. La gestion des achats et des ventes constituant deux fonctions distinctes de l'entreprise, il faut les distinguer. La figure 3.11 illustre alors les flux intra-entreprise entre les centres de décision.

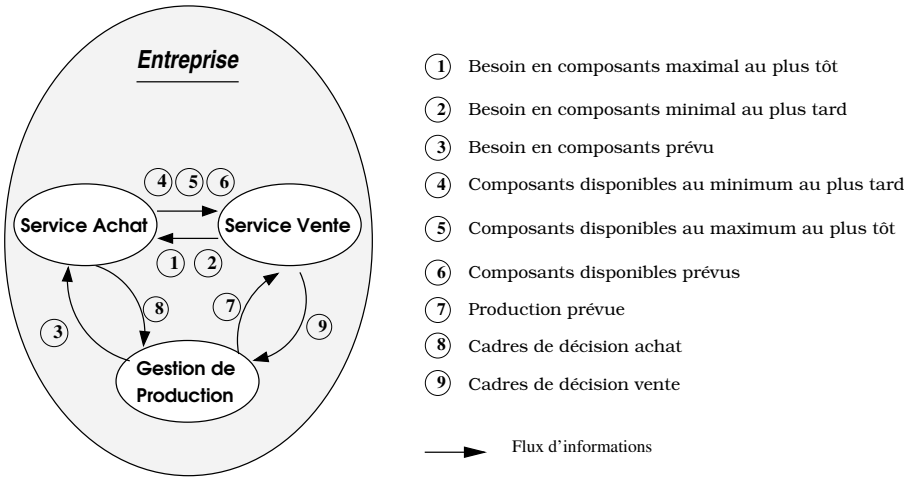

FIG. 3.11: Les flux d'informations intra-entreprise

La gestion de production, à partir des cadres de décision transmis par les deux autres centres de décision (numéros 8 et 9 figure 3.11), peut déterminer à chaque instant à partir du plan de production trouvé (numéro 7 figure 3.11) les besoins en composants prévus pour la production effective (numéro 3 figure 3.11).

L'apport des cadres de décision permet d'enrichir ces informations. Par exemple, dans le cas d'un centre de décision *service vente*, un cadre de décision permet d'identifier, d'une part un besoin maximal en composants au plus tôt en considérant les points en haut à gauche de chaque rectangle composant les cadres, et d'autre part un besoin minimal au plus tard nécessaire en considérant les points en bas à droite de tous les rectangles composant le cadre.

Un raisonnement similaire pour un centre de décision *service achat* permet de déterminer, d'une part une quantité maximale de composants disponibles au plus tôt en considérant les points en haut à gauche de chaque rectangle composant un cadre, et d'autre part une quantité minimale de composants disponibles au plus tard garantie en considérant les points en bas à droite de tous les rectangles composant le cadre.

Ainsi, nous supposons que le *service achat* communique au *service vente* la courbe cumulée des composants disponibles en quantité maximale au plus tôt, la courbe cumulée des composants disponibles prévue par les fournisseurs et la courbe de composants disponibles au minimum au plus tard (numéros 4, 5 et 6 figure 3.11).

D'autre part, nous supposons que le *service vente* communique au *service achat* la courbe cumulée des besoins en composants maximaux au plus tôt et la courbe cumulée des besoins en composants nécessaires au plus tard (numéros 1 et 2 figure 3.11).

Les deux centres de décision *service achat* et *service vente* ont donc à leur disposition

une vision de six courbes cumulées comme l'illustre la figure 3.12.

FIG. 3.12: Courbes cumulées des besoins en composants et des composants disponibles

Tout comme pour les relations inter-entreprises, des processus de coopération peuvent être mis en évidence entre les centres de décision *service achat*, *service vente* et *gestion de production* d'une même entreprise.

Ces centres de décision doivent en effet se coordonner en échangeant des messages relatifs aux courbes. De plus, ces courbes évoluant dynamiquement, elles peuvent devenir incohérentes les unes par rapport aux autres. Par exemple, si le besoin minimal en composant est supérieur à la mise à disposition minimale, une incohérence est détectée. Dans ce cas, un processus de renégociation peut être initié entre les centres de décision *service achat* et *service vente*. Quelques-uns de ces mécanismes sont développés dans le chapitre 5.

Une coopération entre le centre de décision *gestion de production* et, d'une part le centre de décision *service vente*, et d'autre part le centre de décision *service achat* peut également être envisagée. Par exemple si un nouveau cadre de décision négocié par le centre de décision *service vente* ne convient pas au centre de décision *gestion de production*, un processus de renégociation peut être initié. Notons cependant que, dans le cadre de cette étude, nous ne nous sommes pas intéressés à ce type de coopération intra-entreprises.

Conclusion

Pour mieux comprendre les mécanismes de régulation inter-entreprises, cette partie a présenté, dans le premier chapitre, les caractéristiques classiques de la gestion de production relativement à une entreprise donnée, et notamment l'adoption d'une structure hiérarchisée permettant de diminuer la complexité du problème de pilotage et d'un fonctionnement bouclé afin d'adapter le pilotage à l'état réel du système de production. Ce chapitre s'est ensuite intéressé à la définition de la chaîne logistique. Celle-ci repose sur l'existence d'un flux commun de produits qui traverse différents systèmes de production contributeurs. Dans le but d'adapter au mieux le flux à la demande, il devient indispensable de coordonner les organisations situées aux différents maillons de la chaîne logistique. Ce chapitre a présenté ainsi quelques-unes des différentes approches de modélisation permettant d'aborder ce problème d'organisation commune.

Ensuite le besoin de coopération entre les entreprises appartenant à une même chaîne logistique a été mis en évidence afin de mettre en œuvre une décision distribuée. La coopération comporte plusieurs aspects : la coordination qui vise à synchroniser les actions des partenaires dans le temps, la collaboration qui signifie travailler ensemble à l'exécution d'une action et la codécision lorsque plusieurs acteurs collaborent en vue d'une prise de décision. Le travail présenté dans ce mémoire se situe dans un contexte de codécision pour lequel la coopération se compose de trois fonctions : la négociation, la coordination et la renégociation. L'organisation de la coopération peut être réalisée de façon centralisée ou distribuée, mais dans le cadre d'une coopération inter-entreprises, une approche distribuée semble la mieux adaptée. Plusieurs outils permettant de mettre en œuvre la coopération, nous avons choisi d'utiliser les approches par contraintes.

L'approche que nous avons retenue pour la coopération inter-entreprises au sein d'une chaîne logistique pour les relations de type client - fournisseur a enfin été présentée. Le concept de cadre de décision a été défini comme un engagement réciproque de mise à disposition d'une quantité variable de produits et de consommation de ces produits dans une ou plusieurs fenêtres temporelles. L'objectif de la négociation entre un client et son fournisseur est alors de déterminer une commande exprimée par un cadre de décision. Ce cadre de décision est le résultat d'une conversation au cours de laquelle les deux partenaires se sont échangés des propositions et des contre-propositions. Dès qu'un cadre de décision est fixé, les entreprises se coordonnent en échangeant des informations concernant les délais,

les quantités et les prix afférants à une commande. Si un partenaire souhaite modifier un cadre de décision, un processus de renégociation est initié. Afin d'expliciter les règles et devoirs de chacun lors des différents processus de coopération, nous supposons enfin qu'un contrat de coopération est établi entre chaque couple client - fournisseur souhaitant coopérer.

Emettre des propositions et des contre-propositions cohérentes n'est pas trivial. Nous souhaitons donc assister les décideurs lors des processus de négociation, de coordination et de renégociation en proposant une aide à la décision dont l'objectif est de caractériser l'impact de chaque décision prise par le décideur du point de vue de son organisation, et notamment vis-à-vis du respect des autres cadres de décision. Les principes de cette aide à la décision pour la coopération sont détaillés dans la partie II.

Deuxième partie

AIDE À LA DÉCISION POUR UNE COOPÉRATION INTER-ENTREPRISES : UNE APPROCHE PAR CONTRAINTES

Introduction

Dans le chapitre 3, nous avons choisi de décomposer une entreprise en trois centres de décision : le *service achat*, le *service vente* et la *gestion de production*. Sous cette hypothèse, une coopération inter-entreprises de type client-fournisseur correspond à une coopération entre les centres de décision *service achat* d'un client et *service vente* d'un fournisseur. Des relations de coopération intra-entreprise ont également été mises en évidence entre les trois centres de décisions d'une entreprise. Toutefois, même si elles sont quelques fois évoquées au cours de cette partie, pour la relation *service achat* - *service vente*, elles ne sont pas au coeur de notre étude.

La coopération entre les centres de décision *service achat* et *service vente* est fondée sur le concept de cadre de décision. Les processus de négociation et de renégociation, fonctions sous-jacentes à la coopération, correspondent à une conversation composée d'une suite de propositions et de contre-propositions et conclue par une acceptation ou un refus. L'objectif d'une conversation est d'aboutir, par itérations successives, à un cadre de décision communément accepté par les partenaires.

Pour créer un nouveau cadre de décision ou modifier un cadre de décision existant, il s'avère nécessaire d'aider les décideurs à élaborer ces propositions et contre-propositions. L'objectif d'une aide à la décision est de déterminer un bon dimensionnement et un bon positionnement des cadres de décision en réalisant un compromis qui satisfasse les deux partenaires.

Pour introduire un nouveau cadre ou pour caractériser l'impact d'une modification d'un cadre sur les autres, il faut veiller à la cohérence entre les décisions prises lors d'un processus de coopération et celles prises en gestion de production.

Nous envisageons pour cela d'utiliser une approche par satisfaction de contraintes dont l'intérêt a été vu dans le chapitre 2. En effet, les mécanismes de propagation de contraintes permettent de caractériser un ensemble d'actions possibles pour la prise de décision. Le modèle de l'aide à la décision peut donc être considéré comme un problème de satisfaction de contraintes. Le modèle utilisé pour sa mise en œuvre est précisé dans le chapitre 4. Ce chapitre rappelle aussi des notions sur les problèmes de satisfaction de contraintes, et sur les mécanismes de propagation de contraintes, utiles pour une bonne compréhension des mécanismes d'aide à la décision proposés dans le chapitre 5.

Enfin, il reste à préciser les mécanismes de propagation de contraintes qui vont être mis

en œuvre pour déterminer le bon dimensionnement et le bon positionement d'un nouveau cadre de décision et pour déterminer l'impact de la modification d'un cadre sur les autres cadres. Ces mécanismes sont décrits dans le chapitre 5.

Chapitre 4

Modèles proposés pour l'aide à la décision

Nous avons choisi de modéliser l'aide à la décision pour la coopération inter-entreprises comme un problème de satisfaction de contraintes sur lequel des mécanismes de propagation de contraintes vont être appliqués afin de caractériser un ensemble d'actions possibles pour la prise de décision.

La première partie de ce chapitre présente quelques notions de base sur les problèmes de satisfaction de contraintes. La deuxième se focalise sur la présentation des mécanismes de propagation de contraintes. Pour plus de détails, le lecteur peut se référer aux ouvrages [Dechter 03] et [Tsang 93].

D'autre part, dans une coopération de type client-fournisseur, une aide à la décision peut aussi bien être proposée à un centre de décision *service vente*, qu'à un centre de décision *service achat*. Toutefois, elle n'a pas les mêmes caractéristiques dans chacun des cas. En effet, dans le modèle du *service vente*, il est nécessaire de définir les ressources de l'entreprise et leur disponibilité ainsi que les gammes de production des différents produits, alors que ces informations ne sont pas utiles pour un *service achat* qui ne considère que le besoin en composants et sa répartition sur les fournisseurs.

Nous avons donc défini deux modèles sur lesquels seront mis en œuvre des mécanismes de propagation de contraintes utiles à l'aide à la décision (cf. chapitre 5). La troisième partie de ce chapitre les décrit.

4.1 Problème de satisfaction de contraintes (CSP)

4.1.1 Définition

Pour réaliser une aide à la décision, plusieurs travaux ([Huguet 94, Thierry 94, Camalot 00, Monteiro 01]) se sont intéressés aux problèmes de satisfaction de contraintes. Ce type de problème permet de décrire un problème en termes de variables, de domaines et de

contraintes à satisfaire ; des mécanismes généraux de propagation de contraintes peuvent leur être appliqués afin de caractériser leur consistance et faciliter leur résolution (cf. 4.2).

Un problème de satisfaction de contraintes est défini par un triplet (X, D, C) :
- $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ est un ensemble de n variables.
- $D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$ est un ensemble de n domaines finis d'appartenance des variables. D_i est le domaine de la variable x_i.
- $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_m\}$ est un ensemble fini de m contraintes définissant les valeurs pouvant être prises simultanément par les différentes variables. Une contrainte est une expression logique reliant un sous-ensemble v de variables. On appelle *arité de* C_i la dimension de v.

On parle de CSP discrets lorsque les variables de décision sont discrètes et les domaines finis et de CSP continus lorsque les domaines sont continus et les variables réelles. Dans le cas des CSP discrets, les contraintes peuvent s'exprimer soit en intention lorsqu'elles sont sous la forme d'égalité ou d'inégalité ($x + y > 2$), soit en extension lorsqu'elles s'expriment par une relation portant sur un sous-ensemble cartésien des domaines associées aux variables de v ($(x, y) = \{(2, 3), (1, 4), (2, 1)\}$).

On peut aussi distinguer la catégorie des CSP dynamiques qui a été formalisée par C. Bessiere dans [Bessiere 91]. Un CSP dynamique P est une suite de CSP statiques $P_{(0)}, \ldots, P_{(i)}, P_{(i+1)}, \ldots$, chacun étant le résultat d'un changement dans le précédent comme l'ajout d'une nouvelle contrainte ou une relaxation de contrainte.

Un CSP peut être représenté sous la forme d'un hyper-graphe, ou réseau de contraintes, dont les sommets sont les variables et les hyper-arêtes les contraintes.

Une solution d'un CSP est un ensemble d'instanciations des variables qui satisfait toutes les contraintes. Prouver la *consistance* d'un CSP, c'est-à-dire prouver l'existence de solutions, est un problème NP-Complet. Trouver une solution admissible est NP-difficile dans le cas général. Dans sa thèse [Lesaint 95], D. Lesaint s'est par exemple intéressé au calcul et à la représentation d'ensembles de solutions pour ce type de problème. Pour pallier la complexité combinatoire de la résolution de ce type de problème, des mécanismes de propagation de contraintes peuvent être utilisés. Certains de ces mécanismes sont décrits dans le paragraphe 4.2.

Il existe aussi des problèmes d'optimisation sous contraintes (POC) qui cherchent une solution en optimisant une fonction objectif donnée. Ce type de problème est défini par un quadruplet (X, D, C, z) où (X, D, C) est un CSP et z une fonction à optimiser. Une solution d'un POC est un ensemble d'instanciations qui satisfait toutes les contraintes et qui optimise le critère z. Un POC peut être défini comme une instance d'un CSP si le critère est intégré en tant que variable contrainte.

4.1.2 Exemple

Afin d'illustrer la définition d'un CSP, nous considérons un exemple composé de trois variables ($X = \{x_1, x_2, x_3\}$) reliées par quatre contraintes ($C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$) comme indiqué dans le tableau ci-dessous. Chaque variable possède un domaine de définition tel que $D_1 = D_2 = D_3 = \{1, 2, 3\}$.

Contraintes	Relations en intention	Relations en extension	Arité
C_1	$x_1 > 1$	$\{2, 3\}$	1
C_2	$x_1 = x_2$	$\{(1,1), (2,2), (3,3)\}$	2
C_3	$x_2 > x_3$	$\{(3,1), (3,2), (2,1)\}$	2
C_4	$x_1 \geq x_2 + x_3$	$\{(2,1,1), (3,1,1), (3,2,1), (3,1,2)\}$	3

Ce CSP peut être représenté par un hyper-graphe contenant trois sommets et trois hyper-arêtes (cf. figure 4.1), les contraintes d'arité égales à un n'étant pas représentées sur le graphe.

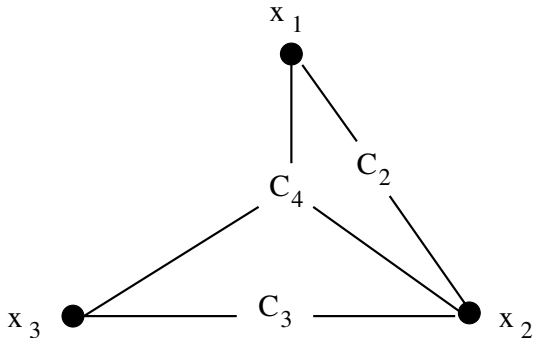

FIG. 4.1: Un exemple de CSP représenté par un hyper-graphe

4.2 Propagation de contraintes dans les CSP

4.2.1 Principe

Trouver une solution admissible d'un CSP étant NP-Difficile, une étape de réduction de domaine est souvent réalisée avant la recherche de solutions.

Ceci est effectué par des mécanismes de propagation de contraintes dont "*l'objectif est de rendre visibles les contraintes implicites à travers une analyse et une évaluation répétées des variables, domaines et contraintes du CSP*" [Huy 00]. Les mécanismes de propagation de contraintes permettent ainsi de déterminer de nouvelles contraintes basées sur une

déduction logique. La propagation de contraintes peut alors mettre en évidence des incohérences entre les contraintes et/ou de caractériser un espace de solutions en réduisant les domaines des variables.

Les solutions sont, dans le cas le plus simple, générées à l'aide d'algorithmes de type *backtrack* qui explorent l'espace de recherche en profondeur d'abord en utilisant une technique de retour en arrière : les n variables sont instanciées de manière incrémentale, dès qu'une valeur n'est pas acceptable à un niveau donné, l'exploration remonte dans l'arbre de recherche. À chaque étape, on dispose d'une solution d'un CSP partiel. Une solution est trouvée dès que le niveau n est atteint.

Dans l'article [Esquirol *et al.* 01], les auteurs proposent un schéma général d'un algorithme glouton de résolution, de type *backtrack* (cf. algorithme 1).

Algorithme 1 Algorithme général de résolution

```
1: Tant que il reste des variables non affectées et une inconsistance globale n'est pas
   détectée Faire
2:    appliquer les règles de propagation
3:    Si une inconsistance est détectée Alors
4:       Si il existe des choix non explorés Alors
5:          retour arrière sur un choix non exploré
6:       Sinon
7:       inconsistance globale détectée
8:       Fin si
9:    Sinon
10:   sélectionner une variable encore libre
11:   choisir une valeur pour cette variable et mémoriser les autres
12:   Fin si
13: Fin tant que
```

Les méthodes de type *backtrack* sont des méthodes complètes puisqu'elles permettent toujours d'obtenir une solution, cependant elles peuvent s'avérer très coûteuses en temps de calcul. Pour pallier ce problème, des mécanismes de propagation de contraintes sont utilisés afin de réduire l'espace de recherche. Certains de ces mécanismes sont décrits dans le paragraphe suivant.

4.2.2 Mécanismes

Les méthodes de propagation de contraintes les plus connues sont les méthodes de consistance locale et de filtrage de domaine. Ces méthodes peuvent s'appliquer aussi bien aux CSP discrets que continus (voir [Lee & Emden 93], [Sam-Haroud & Faltings 96] et [Davis 87]). La propagation de contraintes ne modifie pas l'ensemble des solutions, elle

facilite seulement son exploration grâce à des techniques de réécriture des contraintes. Ces mécanismes filtrent les domaines des variables en retirant les valeurs qui n'appartiennent à aucune solution ou bien ils simplifient l'expression des contraintes en éliminant les contraintes *redondantes* dont la définition suivante est donnée par les auteurs de l'article [Esquirol *et al.* 01].

Définition 4.1 : *Une contrainte C est redondante par rapport à un sous-ensemble de contraintes $E = \{C_1, C_2, \ldots, C_p\}$ si on peut montrer que la satisfaction de toutes les contraintes de E implique la satisfaction de C. Deux problèmes ne différant que par la présence d'une contrainte redondante sont équivalents.*

Les techniques de propagation de contraintes sont basées sur le concept de consistance, la consistance d'un CSP correspondant à la réduction maximale de l'espace de recherche. Le concept de consistance a été introduit par Montanari dans l'article [Montanari 74], et a été généralisé par Freuder dans l'article [Freuder 78]. Un CSP est dit *consistant* s'il existe au moins une solution. Il est dit *k-consistant* si pour toute instanciation consistante de $(k-1)$ variables, il existe une valeur pour toute k^{ieme} variable telle que l'instanciation des k variables soit consistante. La vérification de la k-consistance permet donc de supprimer toutes les incohérences sur des sous-ensembles de k variables.

La propagation de contraintes par "filtrage de domaines" a pour principe de déduire une nouvelle contrainte redondante, c'est-à-dire qui ne modifie pas l'ensemble de solutions, dont l'interprétation va permettre d'éliminer des valeurs de domaines qui ne participent à aucune solution.

La méthode de filtrage par cohérence d'arc permet d'éliminer des couples de valeurs qui ne peuvent participer à aucune solution. Pour cela, la cohérence d'arc, ou 2-consistance, vérifie la cohérence des valeurs pour chaque couple de variables liées par une contrainte. Cette vérification est réalisée par des algorithmes de filtrage dont les plus connus sont les algorithmes AC-1, AC-2, AC-3, AC-4, AC-5 et AC-6. Le détail de ces algorithmes et une discussion sur leur efficacité peut être consulté, par exemple, dans l'ouvrage de J.M. Alliot et T. Schiex [Alliot & Scheix 94] ou dans la thèse de Y. Hamadi [Hamadi 99].

4.2.3 Exemple

Dans cette partie, nous allons illustrer sur un exemple simple, repris de [Huy 00], les mécanismes de propagation de contraintes.

Soit $P = (X, D, C)$ un exemple de CSP composé de trois variables ($X = \{x_1, x_2, x_3\}$) dont les domaines sont $D_1 = D_2 = D_3 = \{1, \ldots, 10\}$ et de six contraintes ($C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}$) telles que :

$$\begin{array}{lll} C_1 : 1 \leq x_1 \leq 4 & C_3 : 1 \leq x_3 \leq 4 & C_5 : x_1 + x_3 = 5 \\ C_2 : 1 \leq x_2 \leq 4 & C_4 : x_1 + x_2 = 4 & C_6 : x_2 + x_3 \geq 6 \end{array}$$

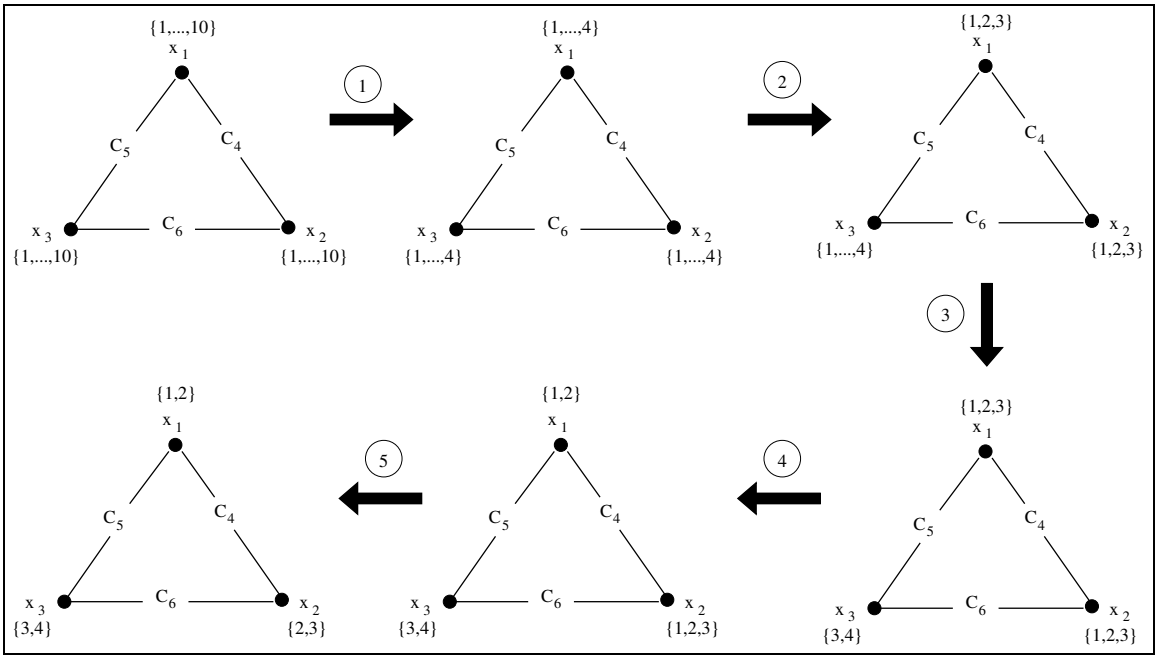

FIG. 4.2: Un exemple de propagation de contraintes dans un CSP

La figure 4.2 illustre un mécanisme de propagation de contraintes de type 1-consistance et arc-consistance en cinq étapes :

1. Les contraintes C_1, C_2 et C_3 réduisent considérablement et de façon triviale, les domaines des trois variables.

2. La contrainte C_4 permet de retirer la valeur 4 des domaines D_1 et D_2 puisque si $x_1 = 4$ alors aucune instanciation de x_2 ne permet de respecter C_4 et inversement si $x_2 = 4$ alors aucune instanciation de x_1 ne permet de respecter C_4.

3. La contrainte C_6 permet de diminuer le domaine D_3. En effet, comme $x_2 \leq 3$, la contrainte C_6 est respectée si et seulement si $x_3 \geq 3$.

4. La contrainte C_5 permet de retirer la valeur 3 du domaine D_1 puisque, pour respecter cette contrainte, x_1 doit être différent de 3.

5. La reconsidération de la contrainte C_4 permet de retirer la valeur 1 du domaine D_2.

Grâce aux mécanismes de propagation de contraintes de type arc-consistance, la taille maximale de l'espace de recherche de solutions a été diminuée de $10 \times 10 \times 10 = 1000$ possibilités à $2 \times 2 \times 2 = 8$ possibilités.

Nous pouvons remarquer qu'en propageant avec un mécanisme de 3-consistance, c'est-à-dire des mécanismes qui éliminent tous les 3-uplets de valeurs ne participant à aucune solution, l'espace de recherche aurait été réduit à une seule solution : $x_1 = 2, x_2 = 3, x_3 = 4$. En effet, si $x_1 = 1$ alors la contrainte C_5 impose $x_3 = 4$ et la contrainte C_4 impose $x_2 = 2$.

Or avec cette instanciation des variables x_2 et x_3, la contrainte C_6 n'est pas respectée.

Il est évident que la propagation de contraintes pour cet exemple est aisée et permet de réduire de façon considérable les domaines des variables. Dans un cas plus général, il se peut que la propagation de contraintes coûte plus cher en temps de calcul qu'elle n'apporte en termes de filtrage de domaine ou de déduction de nouvelles contraintes.

4.3 Approche proposée

4.3.1 Principe

Souhaitant réaliser des outils d'aide à la décision pour la coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande, nous avons décomposé chaque entreprise en trois centres de décision, dont deux seulement sont concernés par la coopération : le centre correspondant au service des ventes et le centre correspondant au service des achats (cf. chapitre 3). Dans ce cadre, nous utilisons les mécanismes de propagation de contraintes pour caractériser un ensemble d'actions possibles pour la prise décision.

Dans ce travail, la prise de décision sous les contraintes correspond à la détermination d'un nouveau cadre de décision respectant les cadres de décision existants, alors que la prise de décision sur les contraintes correspond à une remise en cause d'un cadre de décision lors, par exemple, d'un processus de renégociation.

Une décision doit être cohérente au moment où elle est prise vis-à-vis de l'état du centre de décision, et vis-à-vis des contraintes découlant de l'introduction d'une nouvelle commande ou de la modification d'un cadre de décision. La prise de décision dans un centre de décision est donc dynamique puisqu'il est nécessaire de vérifier s'il reste des solutions à chaque ajout ou retrait de contraintes. La modélisation de notre problème devra donc correspondre à un CSP dynamique.

Nous pouvons distinguer deux modèles : un modèle pour un *service vente* et un modèle pour un *service achat*. Le modèle du *service vente* devra prendre en compte les contraintes liées à la fabrication des produits d'une entreprise pour différents clients. Le modèle du *service achat* décrit la répartition du besoin en composants sur l'ensemble des fournisseurs d'une entreprise.

Les variables de ces modèles sont des entiers positifs ou nuls, les contraintes sont exprimées en intention (égalités ou inégalités linéaires) et la méthode de filtrage utilisée est la 2-consistance. Nous sommes dans un contexte de CSP dynamique puisque chaque décision prise par les centres de décision ajoute de nouvelles contraintes ou relâche des contraintes existantes.

Comme toutes les données issues de la gestion de production ne sont pas forcément nécessaires dans le détail pour le bon fonctionnement des mécanismes de coopération, nous avons choisi d'agréger ces données en utilisant un modèle de type planification. Les modèles proposés sont détaillés dans les deux paragraphes suivants.

4.3.2 Modélisation pour un centre de décision *service vente*

Nous avons choisi d'utiliser un modèle de type planification pour aborder la résolution du problème de prise de décision dans un centre de décision de type *service vente*. Une particularité de ce type de modèle est l'agrégation du temps : le temps est discrétisé en Θ périodes θ de longueurs identiques ou non. Les informations concernant les gammes de production et les ressources peuvent également être agrégées, bien que cela ne soit pas détaillé dans ce travail.

Nous considérons que le système de production d'une entreprise peut fabriquer I produits i distincts, la fabrication d'un produit i s'effectuant selon une gamme linéaire de J_i opérations. Après chaque opération j, nous supposons que le produit i en cours de réalisation est placé dans un stock intermédiaire $s_{i,j,\theta}$. Pour réaliser les produits i, nous prenons pour hypothèse que le système de production a besoin de C types de composants qui doivent être disponibles au début de la réalisation du produit.

Nous supposons également que l'atelier est composé de R ressources dont la capacité est donnée pour chaque période θ, une ressource $r \in R$ pouvant réaliser plusieurs opérations. Chaque opération est supposée affectée à une ou plusieurs ressources. On peut donc déduire l'ensemble O_r des opérations affectées à chaque ressource r.

Nous considérons enfin que chaque commande k est identifiée pour un produit donné. Chacune de ces commandes correspond à un cadre de décision comportant $N_{i,k}$ rectangles.

Les notations utilisées sont alors les suivantes :

Indices :

Symbole	Objet	Domaine	
r	ressource	$1..R$	R = nb de ressources
i	produit	$1..I$	I = nb de produits
j	opération	$1..J_i$	$J_i + 1$ est la dernière opération (fictive)
k	commande	$1..K$	K = nb de commandes
c	composant	$1..C$	C = nb de composants
θ	période	$1..\Theta$	Θ = nb de périodes (horizon)
n	rectangle pour les commandes	$1..N_{i,k}$	$N_{i,k}$ = nb de rectangles pour la commande k en produits i

Données :

Symbole	Objet
O_r	ensemble des opérations affectées à r (couples *(i,j)*)
O_c	ensemble des produits ayant besoin du composant c
$\tau_{r,\theta}$	capacité de r en période θ
$w_{r,i,j}$	quantité de ressource r utilisée pour réaliser l'opération j pour une unité du produit i
$\underline{d}_{kn}$	délai minimal du rectangle n du cadre de décision k
$\overline{d}_{kn}$	délai maximal du rectangle n du cadre de décision k
$\underline{q}_{kn}$	quantité minimale du rectangle n du cadre de décision k
$\overline{q}_{kn}$	quantité maximale du rectangle n du cadre de décision k
$p_{i,k,\theta}$	demande planifiée en produit i pour la commande k en fin de période θ
$P_{i,\theta}$	demande planifiée en produit i en fin de période θ
$\overline{a}_{c,\theta}$	approvisionnement maximal pour le composant c en fin de période θ
$z_{c,i}$	quantité de composant c nécessaire pour réaliser le produit i
$s_{i,j,0}$	stock initial de produits i ayant subi l'opération j

L'objectif de l'aide à la décision pour un fournisseur étant de dimensionner les quantités de produits qu'il lui est possible de réaliser pour chacun de ses clients, les variables de ce modèle sont les suivantes :

Variables :

Symbole	Objet
$x_{i,j,\theta}$	quantité de produit i en cours d'opération j dans la période θ
$u_{i,k,\theta}$	quantité de produit i mis à disposition pour la commande k en fin de période θ
$s_{i,j,\theta}$	stock de produit i ayant subi l'opération j en fin de période θ

Les contraintes associées à ce modèle sont les suivantes :

$$
\begin{cases}
(1) & : & \forall r, \forall \theta \quad \sum_{(i,j)\in O_r} w_{r,i,j} \times x_{i,j,\theta} \leq \tau_{r,\theta} \\
(2) & : & s_{i,j,\theta} = s_{i,j,\theta-1} + x_{i,j,\theta} - x_{i,j+1,\theta} \\
(3) & : & x_{i,j+1,\theta} \leq s_{i,j,\theta-1} + x_{i,j,\theta} \\
(4) & : & \sum_{k=1}^{K} u_{i,k,\theta} = s_{i,J_i,\theta} \\
(5) & : & u_{i,k,\theta} \leq u_{i,k,\theta+1} \\
(6) & : & u_{i,k,\underline{d}_{kn}} \leq \overline{q}_{kn} \\
(7) & : & u_{i,k,\overline{d}_{kn}} \geq \underline{q}_{kn} \\
(8) & : & \forall i, \forall k, \forall \theta \quad u_{i,k,\theta} \leq p_{i,k,\theta} \\
(9) & : & \forall i, \forall \theta \quad \sum_{k=1}^{K} u_{i,k,\theta} \leq P_{i,\theta} \\
(10) & : & \forall c, \forall \theta \quad \sum_{i\in O_c} z_{c,i} \times x_{i,1,\theta} \leq \overline{a}_{c,\theta} \\
 & & \forall i, \forall j, \forall k, \forall \theta : x_{i,j,\theta} \geq 0, s_{i,j,\theta} \geq 0, u_{i,k,\theta} \geq 0
\end{cases}
$$

Les contraintes (1) modélisent le respect de la capacité des ressources pour chaque période θ.

L'équation (2) traduit l'évolution des stocks inter-opératoires en fin de période θ. Ainsi le stock de produits i ayant subi l'opération j en fin de période θ est égal au stock de produits i ayant subi l'opération j en fin de période $\theta - 1$ auquel il faut ajouter la quantité de produit i en cours d'opération j durant la période θ, et enlever la quantité de produit i en cours d'opération $j + 1$ durant la période θ.

La contrainte (3) impose le respect de la gamme opératoire puisque cette contrainte interdit de réaliser la $(j+1)^{ieme}$ opération du produit i en période θ si le stock en produit i ayant subi l'opération j en fin de période $\theta - 1$, couplé à la quantité de produit i en cours d'opération j durant la période θ, n'est pas suffisant.

Les contraintes (4), (5), (6) et (7) concernent les courbes de mise à disposition des produits i par commande k. L'équation (4) impose d'affecter tous les produits finis en stock en période θ aux commandes et l'inéquation (5) indique que cette courbe de mise à disposition doit être cumulée. Les contraintes (6) et (7) imposent le respect des rectangles des cadres de décision associés aux commandes k. Ces contraintes indiquent respectivement que la courbe de mise à disposition $u_{i,k,\theta}$ doit passer en dessous du point en haut à gauche et au dessus du point en bas à droite de chaque rectangle.

Les inéquations (8) et (9) matérialisent le respect du plan de production prévu par la gestion de production, et l'inéquation (10) le respect du plan d'approvisionnement prévu par le service achat.

Le plan de production issu de la gestion de production peut être pris en compte de façon plus ou moins agrégée. Plus les données issues de la gestion de production seront agrégées, plus un centre de décision *service vente* disposera de flexibilité pour la prise de décision (les décisions sous-contraintes seront ainsi favorisées), mais moins la cohérence des décisions entre la *gestion de production* et le *service vente* sera possible. Au contraire, moins les données issues de la gestion de production seront agrégées, plus la cohérence des décisions sera possible mais la prise de décision sous les contraintes sera plus difficile.

L'agrégation la plus importante consiste à supposer que la gestion de production ne communique aucune donnée relative à l'affectation des produits aux commandes. Seuls les volumes de production sont connus pour chaque période et chaque produit. Dans ce cas là, l'affectation des produits aux commandes est laissée libre, les cadres de décision devant tout de même être respectés. Cette hypothèse se traduit par instancier tous les $p_{i,k,\theta}$ des inéquations (8) de telle sorte que $p_{i,k,\theta} = +\infty$.

Une agrégation un peu moins importante consiste à supposer que la gestion de production communique les données relatives à l'affectation des produits $(p_{i,k,\theta})$ uniquement pour les périodes correspondant à celles des rectangles des cadres de décisions. que le modèle ne prend en compte que les quantités et les dates de fin prévues de ces ordres de fabrication, interceptant un rectangle du cadre de décision. L'agrégation la moins forte consiste à considérer que la gestion de production communique, pour chaque période les valeurs des $p_{i,k,\theta}$ et $s_{i,j,\theta}$. Dans ces des cas, il suffit d'instancier tous les $P_{i,\theta}$ des inéquations (9) tels que $P_{i,\theta} = +\infty$.

Enfin, l'agrégation peut être faible sur les premières périodes, puis devenir de plus en plus importante lorsque l'on s'éloigne de l'origine des temps. Ce compromis au niveau de l'agrégation permet de ne pas remettre en cause toute l'organisation de l'atelier dans un horizon temporel court, tout en laissant suffisamment d'autonomie aux outils d'aide à la coopération pour réagir à de nouvelles contraintes sur un horizon plus large. Dans ce cas, les inéquations (8) sont actives sur un premier sous-ensemble de périodes θ, puis se sont les inéquations (9) qui le sont sur le sous-ensemble de périodes restantes.

4.3.3 Modélisation pour un centre de décision *service achat*

Le modèle d'un centre de décision *service achat* est plus simple que le modèle précédent, car il n'a pas à prendre en compte la réalisation des produits, mais seulement à gérer l'affectation du besoin en composants sur un ensemble de fournisseurs. Nous supposons, tout comme pour le modèle *service vente* que le temps est discrétisé en périodes θ.

Pour réaliser ses produits, une entreprise a besoin de C types de composants c. Le besoin minimal en composant c en fin de période θ est noté $w_{c,\theta}$. Ce besoin minimal est issu des cadres de décision gérés par le centre de décision *service vente* de l'entreprise considérée.

Nous supposons que ce centre de décision gère L commandes l avec ses fournisseurs. Les cadres de décision associés à ces commandes se composent de $M_{c,l}$ rectangles m.

Indices :

Symbole	Objet	Domaine	
l	commande	$1..L$	L = nb de commandes en composants
θ	période	$1..\Theta$	Θ = nb de périodes (horizon)
m	rectangle pour un cadre de décision	$1..M_{c,l}$	$M_{c,l}$ = nb de rectangles pour le cadre de décision de la commande l en composant c
c	composant	$1..C$	C = nb de composants

Données :

Symbole	Objet
$\overline{d}_{lm}$	délai maximal du rectangle m du cadre de décision l
$\underline{d}_{lm}$	délai minimal du rectangle m du cadre de décision l
d_{lm}	date de mise à disposition des produits prévue par le fournisseur pour le rectangle m du cadre de décision l
$\overline{q}_{lm}$	quantité maximale du rectangle m du cadre de décision l
$\underline{q}_{lm}$	quantité minimale du rectangle m du cadre de décision l
q_{lm}	quantité de produits mise à disposition par le fournisseur pour le rectangle m du cadre de décision l
$a_{c,l,\theta}$	demande en composant c en fin de période θ pour la commande l
$A_{c,\theta}$	demande en composant c en fin de période θ
$w_{c,\theta}$	besoin minimal de composant c nécessaire en fin de période θ

L'objectif du centre de décision *service achat* est de déterminer un plan d'approvisionnements cohérent avec d'une part ce qu'a prévu la gestion de production de son entreprise, et avec les prévisions de livraison de ses fournisseurs d'autre part. Nous notons par $v_{c,l,\theta}$ la courbe cumulée qui correspond à la quantité d'approvisionnment en composant c concernant la commande l en fin de période θ.

Variables :

Symbole	Objet
$v_{c,l,\theta}$	quantité d'approvisionnement en composant c pour la commande l en fin de période θ

Les contraintes pesant sur un centre de décision de type *service achat* sont les suivantes :

$$\begin{cases} (11) & : \ v_{c,l,\theta} \leq v_{c,l,\theta+1} \\ (12) & : \ w_{c,\theta} \leq \sum_{l=1}^{L} v_{c,l,\theta} \\ (13) & : \ v_{c,l,\underline{d}_{lm}} \leq \overline{q}_{lm} \\ (14) & : \ v_{c,l,\overline{d}_{lm}} \geq \underline{q}_{lm} \\ (15) & : \ v_{c,l,\theta} \geq a_{c,l,\theta} \\ (16) & : \ \sum_{l=1}^{L} v_{c,l,\theta} \geq A_{c,\theta} \\ \forall c, \forall l, \forall \theta : v_{c,l,\theta} \geq 0 \end{cases}$$

Les contraintes (11) indiquent que les quantités d'approvisionnement en composant c sont cumulées.

Les contraintes (12) traduisent la quantité minimale de composant c que le service achat doit être en mesure de fournir en fin de période θ à son atelier de fabrication.

Les contraintes (13) et (14) imposent à la courbe de quantité cumulée de composant c prévue, de passer respectivement en dessous du point en haut à gauche et au dessus du

point en bas à droite de chaque rectangle m composant le cadre de décision associé à la commande l.

Les contraintes (15) et (16) matérialisent le respect du plan d'approvisionnement prévu par la gestion de production. De la même façon que pour le modèle point de vue fournisseur, les données de la gestion de production peuvent être plus ou moins agrégées. En effet la demande en composants peut être soit différenciée pour chaque commande passée auprès des fournisseurs (dans ce cas les données sont $a_{c,l,\theta}$), soit globale pour toutes les commandes (dans ce cas les données sont $A_{c,\theta}$). L'agrégation peut aussi varier selon la proximité des périodes.

4.3.4 Illustration

Nous avons choisi d'illustrer notre modélisation à partir d'un exemple simple dont l'énoncé est détaillé ci-après. Cet exemple sera également repris dans le chapitre 5 pour illustrer les mécanismes d'aide à la décision. Nous allons dans un premier temps instancier le modèle du *service vente* puis celui du *service achat*.

Nous considérons une entreprise fabriquant deux types de produits : des produits G et des produits H. Pour la fabrication d'un produit G, il est nécessaire d'avoir deux unités d'un composant C_1. Pour réaliser un produit H, il est nécessaire d'avoir une unité d'un composant C_1 et une unité d'un composant C_2. On a donc $O_{C_1} = \{G, H\}$ et $O_{C_2} = \{H\}$.

L'atelier du fournisseur est composé de quatre ressources ayant chacune une capacité de travail de 70 unités par heure. Pour la modélisation de ce problème, nous raisonnons sur des périodes θ ayant une durée égale de quatre heures. L'énergie disponible sur chaque ressource pour chaque période est alors égale à 280 ($\forall\theta, \forall r : \tau_{r,\theta} = 280$).

Les gammes de fabrication sont linéaires et sont présentées dans le tableau ci-après où, pour chaque opération, il est indiqué la ressource sur laquelle elle s'exécute et la quantité de la ressource nécessaire à sa réalisation ($w_{r,i,j}$).

Opérations / Produit	1	2	3	4
produit G	$R_1, 5$	$R_2, 4$	$R_4, 8$	$R_3, 6$
produit H	$R_2, 7$	$R_3, 11$	$R_4, 3$	-

On a donc $O_{R_1} = \{(G, 1)\}$, $O_{R_2} = \{(G, 2), (H, 1)\}$, $O_{R_3} = \{(G, 4), (H, 2)\}$ et $O_{R_4} = \{(G, 3), (H, 3)\}$

Nous supposons qu'un *client 1* a effectué une commande *cmd_ 1* de produit G au fournisseur. La négociation de cette commande a abouti au cadre de décision présenté sur la figure 4.3. Nous pouvons constater que cette commande sera livrée en deux temps.

Nous supposons également qu'un *client 2* a effectué une commande *cmd_ 2* de produit H. La négociation de cette commande a abouti au cadre de décision également représenté

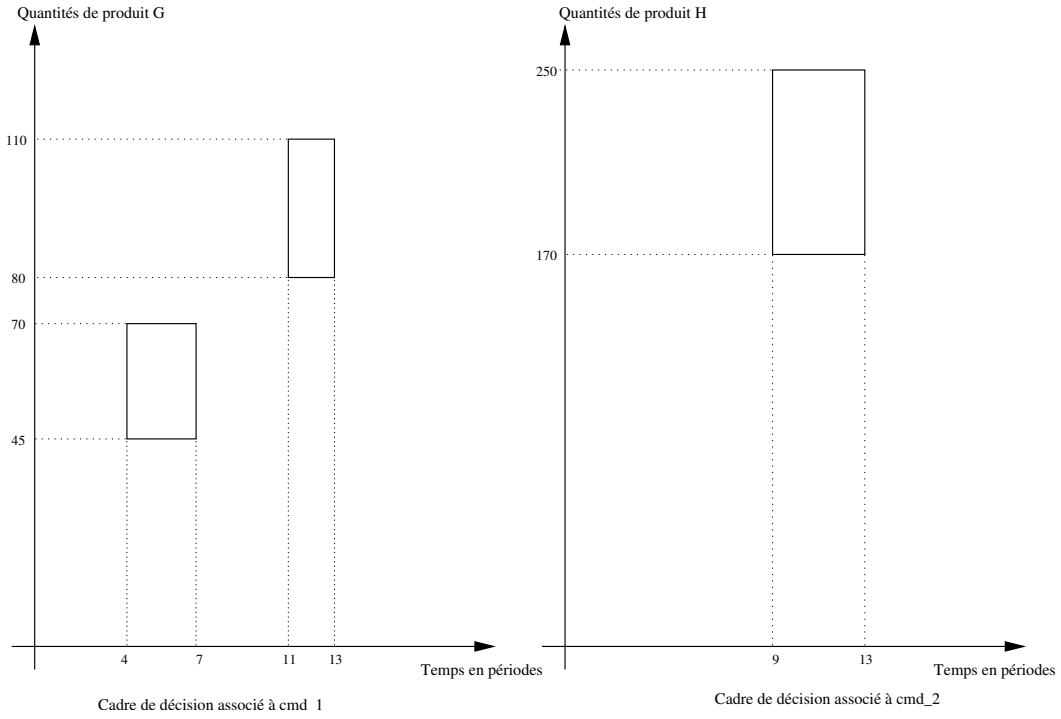

FIG. 4.3: Exemple : cadre de décision des commandes *cmd_1* et *cmd_2*

sur la figure 4.3.

Le tableau ci-après résume les caractéristiques de ces deux cadres de décision.

	Cadres de décision	
cmd_1	$\underline{d}_{cmd_1,1} = 4$ $\overline{d}_{cmd_1,1} = 7$ $\underline{q}_{cmd_1,1} = 45$ $\overline{q}_{cmd_1,1} = 70$	$\underline{d}_{cmd_1,2} = 11$ $\overline{d}_{cmd_1,2} = 13$ $\underline{q}_{cmd_1,2} = 80$ $\overline{q}_{cmd_1,2} = 110$
cmd_2	$\underline{d}_{cmd_2,1} = 9$ $\overline{d}_{cmd_2,1} = 13$ $\underline{q}_{cmd_2,1} = 170$ $\overline{q}_{cmd_2,1} = 250$	

Pour satisfaire ces cadres de décision, nous supposons que la gestion de production du fournisseur a prévu de fractionner ces commandes en lançant trois ordres de fabrication pour la commande *cmd_1* et quatre ordres de fabrication pour la commande *cmd_2* tels que :

– OF1_cmd1 : lancement de 50 pièces pour la période 6

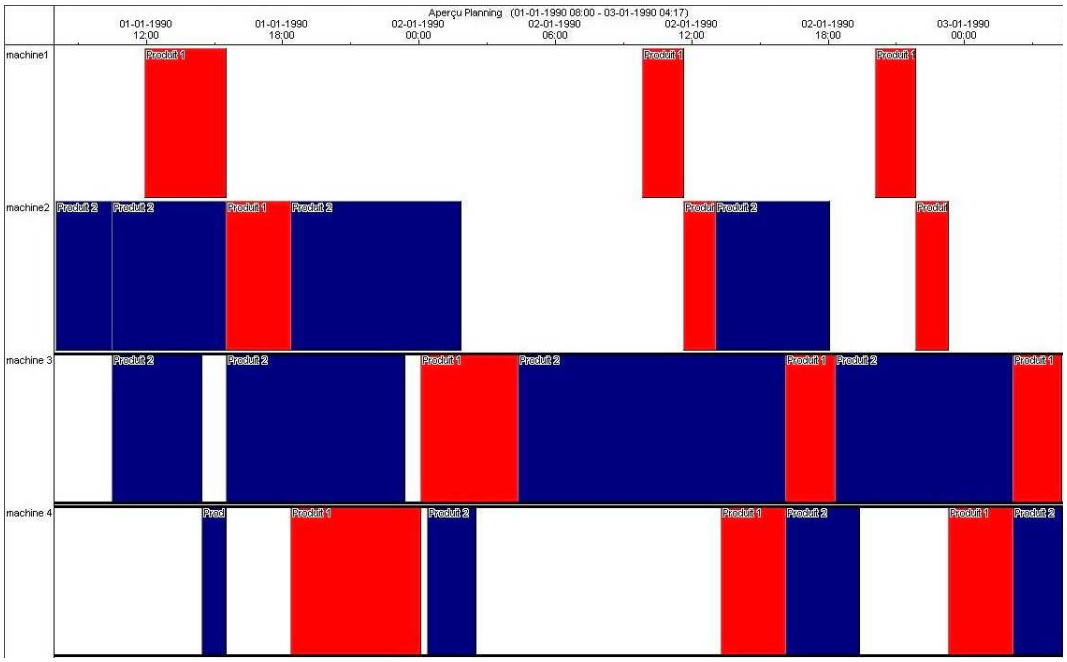

FIG. 4.4: Ordonnancement pour les commandes *cmd_ 1* et *cmd_ 2*

- OF2_cmd1 : lancement de 25 pièces pour la période 9
- OF3_cmd1 : lancement de 25 pièces pour la période 12
- OF1_cmd2 : lancement de 25 pièces pour la période 2
- OF2_cmd2 : lancement de 50 pièces pour la période 5
- OF3_cmd2 : lancement de 75 pièces pour la période 9
- OF4_cmd2 : lancement de 50 pièces pour la période 12

Nous supposons que les composants, nécessaires à la réalisation de ces produits, sont disponibles en quantité suffisante ($\overline{a}_{c_1,0} = 600$ et $\overline{a}_{c_2,0} = 300$).

L'ordonnancement de ces ordres de fabrication, issu de la gestion de production, est présenté sur la figure 4.4.

L'ordonnancement issu de la gestion de production peut alors être plus ou moins agrégé pour la coopération :

- L'agrégation la plus importante reviendrait à ne plus affecter les productions de produits prévues à des commandes et donc à ne considérer qu'un stock total de produit à fabriquer. Dans ce cas $\forall i, \forall k, \forall \theta : p_{i,k,\theta} = +\infty$ et si on suppose que la commande *cmd_ 2* concernerait aussi le produit G, on aurait $P_{G,12} = 250$, $s_{G,40,6} = 50$ et $s_{G,40,12} = 250$.

- Une agrégation un peu moins importante serait de considérer que le modèle ne prend en compte que les quantités et les dates de fin prévues des OFs interceptant un rectangle du cadre de décision. Dans ce cas, trois objectifs sont à respecter $p_{G,cmd_1,6} = 50$, $p_{G,cmd_1,12} = 50$ et $p_{H,cmd_2,12} = 200$.

- Le modèle peut aussi prendre en compte en agrégeant moins, les quantités et les dates de fin de tous les OFs prévus par la gestion de production. Dans ce cas, on a $p_{G,cmd_1,6} = 50$, $p_{G,cmd_1,9} = 25$ et $p_{G,cmd_1,12} = 25$ pour la commande *cmd_ 1* et $p_{H,cmd_2,2} = 25$, $p_{H,cmd_2,5} = 50$, $p_{H,cmd_2,9} = 75$ et $p_{H,cmd_2,12} = 50$ pour la commande *cmd_ 2*.

- Le modèle peut aussi considérer toutes les opérations de tous les OFs. Dans ce cas, on a par exemple pour la réalisation du produit G : $x_{G,1,2} = 50$, $x_{G,1,7} = 25$, $x_{G,1,10} = 25$, $x_{G,2,3} = 50$, $x_{G,2,8} = 25$, $x_{G,2,10} = 25$, $x_{G,3,4} = 50$, $x_{G,3,8} = 25$, $x_{G,3,11} = 25$, $x_{G,4,5} = 50$, $x_{G,4,9} = 25$, et $x_{G,4,11} = 25$.

- L'agrégation peut être faible sur les premières périodes, puis devenir de plus en plus importante lorsque l'on s'éloigne de l'origine des temps. Par exemple pour le produit G, on pourrait avoir : $x_{G,1,2} = 50$, $x_{G,1,7} = 25$, $x_{G,1,10} = 25$ et $p_{G,cmd_1,12} = 50$.

Le décideur a alors la possibilité de choisir l'agrégation qui lui semble le plus appropriée.

Pour cet exemple, nous choisissons d'agréger l'ordonnancement issu de la gestion de production en ne considerant que les OFs, ou un ensemble d'OFs qui sont en intersection avec un rectangle du cadre de décision. Par exemple l'OF1_cmd1 intercepte le premier rectangle du cadre de décision de la commande *cmd_ 1* et la concaténation des OF2_cmd1 et OF3_cmd1 intercepte le deuxième rectangle de ce même cadre de décision.

Afin d'instancier le modèle pour le client 2, nous supposons que ce client fabrique des produits de type *E*. Pour réaliser ce type de produit, le client 2 a besoin de composants de type H. Nous supposons que le besoin minimal en composants du centre de décision *service vente* du client 2 est $w_{H,13} = 170$.

Pour l'exemple, nous supposons que les besoins en composants de la gestion de production sont différenciés par commande. La prévision d'approvisionnement calculée par la gestion de production est alors $a_{H,cmd_2,13} = 190$.

Le client 2 gère une seule commande (*cmd_ 2*) concernant des produits de type H avec le fournisseur précédemment considéré. Le cadre de décision de cette commande est modélisé par $\overline{d}_{lm} = 13$, $\underline{d}_{lm} = 9$, $\underline{q}_{lm} = 170$ et $\overline{q}_{lm} = 250$. Nous pouvons noter que la prévision de consommation du client ($a_{H,cmd_2,13} = 190$) est conforme au cadre de décision. La prévision de mise à disposition des produits par le fournisseur est $d_{lm} = 12$, $q_{lm} = 200$.

Ce chapitre a donc décrit les principes d'une part des problèmes de satisfaction de contraintes, et d'autre part des mécanismes de propagations contraintes associés à ce type de problème. Nous avons ensuite présenté deux modèles sur lesquels des mécanismes de propagations de contraintes vont être appliqués pour réaliser une aide à la décision. Ces mécanismes sont détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

Mécanismes de l'aide à la décision

L'aide à la décision décrite dans ce chapitre a pour but de guider les décideurs afin que les propositions et contre-propositions qu'ils élaborent durant les phases de négociation et de renégociation soient les plus pertinentes possibles. Plus précisément, nous montrons comment les modèles génériques proposés dans le chapitre 4, pour le client et pour le fournisseur, peuvent être utilisés pour construire ou adapter des cadres de décision, en prenant en compte les contraintes propres aux centres de décision *service achat* ou *service vente* d'une entreprise.

Nous considérons deux problèmes différents. Le premier correspond à la construction d'un nouveau cadre de décision qui respecte d'une part, les contraintes propres à chaque centre de décision, et d'autre part, satisfasse les cadres de décision déjà existants. Le second correspond à l'ajustement d'un cadre de décision. Dans ce cas, nous montrons comment le relâchement de contraintes permet au décideur de modifier un cadre de décision, tout en lui donnant la possibilité d'en maîtriser les conséquences vis-à-vis des autres cadres.

Pour ces deux problèmes, nous décrivons comment la propagation de contraintes, appliquée soit au modèle du service vente, soit à celui du service achat, permet de déduire des informations pertinentes pour les choix des décideurs. Remarquons que, dans le souci de faciliter la compréhension du lecteur, les contraintes induites par le respect des contrats de coopération ne sont pas prises en compte dans ce chapitre. Leur ajout ne pose cependant pas de problème particulier.

5.1 Aide au positionnement d'un nouveau cadre de décision

5.1.1 Principes

L'aide au positionnement d'un nouveau cadre est utilisée, lors d'un processus de négociation associé à la transmission d'une nouvelle commande, lorsqu'un décideur souhaite

introduire un nouveau cadre de décision afin d'élaborer une proposition ou une contre-proposition.

Nous prenons ici pour hypothèse que l'ajout de ce nouveau cadre doit éviter de perturber l'organisation de l'entreprise concernée. La détermination de ce nouveau cadre ne doit donc pas modifier ce que la gestion de production de cette entreprise a prévu de réaliser. Pour un fournisseur, il s'agit donc d'introduire un cadre qui n'impose pas nécessairement ni de modifier les caractéristiques de la production planifiée, ni de renégocier les cadres de décision existants. De façon symétrique, pour un client, il s'agit d'introduire un cadre qui n'impose ni de modifier les besoins planifiés en composants, ni de renégocier les autres cadres.

Introduire un nouveau cadre de décision nécessite de définir les points délimitant chacun des rectangles composant le cadre de décision en respectant les hypothèses énoncées ci-dessus.

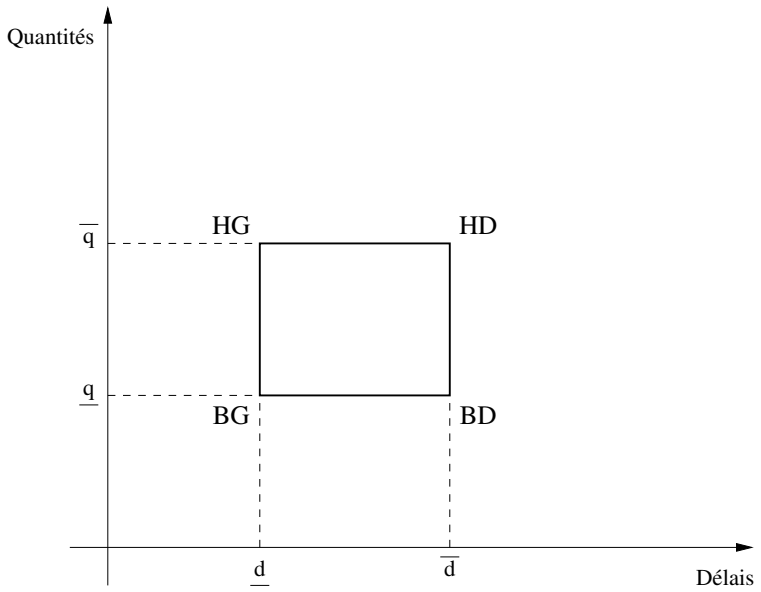

FIG. 5.1: Analyse d'un cadre de décision

Par exemple, sur la figure 5.1, le cadre de décision n'est composé que d'un seul rectangle, lui-même défini par les points HG, HD, BD et BG. Le point HG indique la quantité maximale ($\overline{q}$) qui pourra être mise à disposition au délai minimum ($\underline{d}$). Le point HD indique la quantité maximale qui pourra être mise à disposition au délai maximum ($\overline{d}$). Le point BD indique la quantité minimale ($\underline{q}$) qui pourra être mise à disposition au délai maximum. Enfin, le point BG indique la quantité minimale qui pourra être mise à disposition au délai minimum.

Déterminer un nouveau cadre correspond alors à déterminer les points HG et BD de chacun des rectangles composant le nouveau cadre de décision. Les mécanismes de propagation de contrainte permettant de réaliser cet objectif sont détaillés dans les deux prochains paragraphes.

5.1.2 Aide à la décision pour un *service vente*

Nous nous focalisons sur le centre de décision *service vente*, comme l'illustre la figure 5.2. Il s'agit de détailler les mécanismes mis en œuvre dans le cas d'un processus de négociation aval qui permettent de déterminer les coordonnées des points définissant un nouveau cadre de décision.

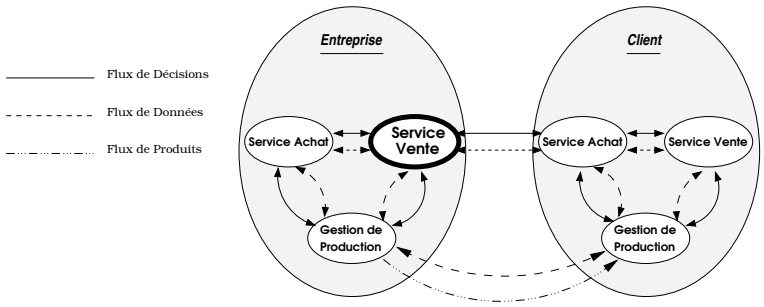

FIG. 5.2: Relations entre un *service vente* et les autres centres de décision

L'insertion d'une nouvelle commande α introduit dans le modèle du *service vente* (cf. paragraphe 4.3.2) des nouvelles variables $u_{i,\alpha,\theta}$ dont les domaines vont être caractérisés par des mécanismes de propagation de contraintes dans deux situations, que nous étudions ci-après.

Afin d'insérer un nouveau cadre relatif à un produit donné, une **première étape** consiste à indiquer au fournisseur ce qu'il peut mettre à disposition de son client, au maximum et au plus tôt, en ne violant pas les contraintes liées au respect des cadres de décision existants, et en satisfaisant les contraintes de disponibilité des ressources et de disponibilité des composants.

Il suffit pour cela d'imposer dans le modèle du *service vente*, que les cadres de décision existants soient satisfaits au minimum en quantité, et au plus tard en délai. Cela revient à imposer aux courbes de mise à disposition relatives à chaque commande, de passer par les points BD des rectangles du cadre de décision correspondant.

La **deuxième étape** consiste à indiquer au fournisseur ce qu'il peut mettre à disposition de son client, au maximum et au plus tôt en respectant les prévisions issues de la gestion de production, et en satisfaisant les contraintes de disponibilité des ressources et de disponibilité des composants.

Il suffit pour cela d'imposer dans le modèle du fournisseur, que les courbes de mise à disposition relatives à chaque commande passent par les points de mise à disposition prévus par la GP.

Mécanismes de propagation de contraintes :

Les deux étapes, qui caractérisent les positions des points HG et BD du nouveau cadre de décision α, sont réalisées en **deux phases** à l'aide de mécanismes de propagation de contraintes. La première phase consiste à déterminer la production minimale au plus tard satisfaisant soit les cadres de décision $k \neq \alpha$ ((7) : $u_{i,k,\theta} = \overline{q}_{k,n}$), soit les prévisions de la Gestion de Production ((8) : $u_{i,k,\theta} = p_{i,k,\theta}$ et (9) : $\sum_{k=1}^{K} u_{i,k,\theta} = P_{i,\theta}$). La deuxième phase consiste alors à en déduire les courbes de production cumulée maximale au plus tôt pour le cadre de décision α dans ces deux cas.

Pour la **première phase**, nous déterminons les domaines $U_{i,k,\theta} = [\underline{u}_{i,k,\theta}, \overline{u}_{i,k,\theta}]$ des variables $u_{i,k,\theta}$ par propagation des contraintes du modèle pour chaque commande $k \neq \alpha$ et pour chaque période θ. Les valeurs trouvées pour $\underline{u}_{i,k,\theta}$ permettent alors de construire une courbe cumulée de production minimale au plus tard satisfaisant les cadres de décision $k \neq \alpha$.

Exemple : Supposons que les contraintes (1), (2) et (3) permettent de déterminer une capacité de production de 4 produits i par période θ. Les domaines $U_{i,k,\theta}$ pour une commande k_1 sur trois périodes θ_1, θ_2, et θ_3 sont alors $U_{i,k_1,\theta_1} = [0,4]$, $U_{i,k_1,\theta_2} = [0,8]$ et $U_{i,k_1,\theta_3} = [0,12]$.
Si on suppose qu'il faut réaliser exactement 7 produits i pour la commande k_1 en fin de période θ_3 alors il est possible de déterminer les nouveaux domaines $U_{i,k,\theta}$. La réalisation de 7 produits en fin de période θ_3 permet de déduire $U_{i,k_1,\theta_3} = [7,7]$, la capacité de production en produit i permet alors de déduire $U_{i,k_1,\theta_2} = [3,7]$ et enfin on obtient $U_{i,k_1,\theta_1} = [0,4]$. La courbe cumulée minimale au plus tard pour cette commande est alors obtenue : $u_{i,k_1,\theta_1} = 0$, $u_{i,k_1,\theta_2} = 3$ et $u_{i,k_1,\theta_3} = 7$.

Pour la **deuxième phase**, nous considérons alors les $\underline{u}_{i,k,\theta}$ précédemment trouvés comme de nouvelles contraintes et nous déterminons les domaines $U_{i,\alpha,\theta} = [\underline{u}_{i,\alpha,\theta}, \overline{u}_{i,\alpha,\theta}]$ des variables $u_{i,k,\theta}$ pour la commande α par propagation des contraintes du modèle pour chaque période θ. Les valeurs trouvées pour $\overline{u}_{i,\alpha,\theta}$ permettent de construire une courbe cumulée indiquant ce qu'il est possible de produire pour la commande α, en respectant les autres cadres de décision dans le cas où on souhaite caractériser la position des point HG, ou en respectant les prévisions de la Gestion de Production dans le cas où on souhaite caractériser la position des point BD.

Exemple : Nous reprenons l'exemple développé précédemment pour lequel on considère une capacité de production en produits i égale à 4 pour chaque période θ. Les $\underline{u}_{i,k,\theta}$

précédemment trouvés sont $u_{i,k_1,\theta_1} = 0$, $u_{i,k_1,\theta_2} = 3$ et $u_{i,k_1,\theta_3} = 7$. Par propagation de contraintes, nous pouvons alors déterminer les domaines $U_{i,k,\theta}$ pour une commande $\alpha \neq k_1$ sur les trois périodes considérées. On obtient $U_{i,\alpha,\theta_1} = [0, 4]$ puisque la capacité de production n'est pas utilisée par la commande k_1 sur la période θ_1, $U_{i,\alpha,\theta_2} = [0, 5]$ puisqu'il n'est possible de réaliser qu'un seul produit i supplémentaire en période θ_2 et $U_{i,\alpha,\theta_3} = [0, 5]$ puisque la commande k_1 utilise la totalité de la capacité de production en période θ_3. La courbe cumulée maximale au plus tôt pour cette commande est alors obtenue : $u_{i,\alpha,\theta_1} = 4$, $u_{i,\alpha,\theta_2} = 5$ et $u_{i,\alpha,\theta_3} = 5$.

Première étape : ***Détermination de la mise à disposition maximale et au plus tôt de produits pour la nouvelle commande en respectant les cadres de décision existants***

Pour déterminer la quantité maximale au plus tôt qu'il est possible de réaliser pour une nouvelle commande, nous allons affecter au plus tard sur les ressources, toutes les opérations permettant de réaliser la quantité des produits exigés par les cadres de décision existants. Sur chaque ressource, sur chaque période, il est ensuite possible de déterminer l'énergie disponible restante. Cette énergie disponible permet alors de caractériser la courbe de mise à disposition maximale pour la nouvelle commande.

Pour mettre en œuvre ces mécanismes, le modèle associé au service vente, présenté au chapitre 4, prend la forme suivante :

$$\begin{cases} (1) & : & \forall r, \forall \theta \quad \sum_{(i,j)\in O_r} w_{r,i,j} \times x_{i,j,\theta} \leq \tau_{r,\theta} \\ (2) & : & s_{i,j,\theta} = s_{i,j,\theta-1} + x_{i,j,\theta} - x_{i,j+1,\theta} \\ (3) & : & x_{i,j+1,\theta} \leq s_{i,j,\theta-1} + x_{i,j,\theta} \\ (4) & : & \sum_{k=1}^{K} u_{i,k,\theta} = s_{i,J_i,\theta} \\ (5) & : & u_{i,k,\theta} \leq u_{i,k,\theta+1} \\ (7) & : & u_{i,k,\overline{d}_{kn}} = \underline{q}_{kn} \\ (10) & : & \forall c, \forall \theta \quad \sum_{i\in O_c} z_{c,i} \times x_{i,1,\theta} \leq \overline{a}_{c,\theta} \\ & & \forall i, \forall j, \forall k, \forall \theta : x_{i,j,\theta} \geq 0, s_{i,j,\theta} \geq 0, u_{i,k,\theta} \geq 0 \end{cases}$$

Les contraintes (7) ne concernent que les commandes k telles que $k \neq \alpha$. Elles imposent aux courbes de mise à disposition de toutes les commandes $k \neq \alpha$ de passer exactement par les points BD de chaque rectangle de chaque cadre de décision. Ces égalités étant plus contraignantes que les inéquations (6), (8) et (9) du modèle initial, ces dernières ne sont pas prises en compte lors de cette étape de calcul. À partir de ces contraintes et des équations (4), pour tout $k \neq \alpha$, les variables $s_{i,J_i,\theta}$ sont instanciées. Un objectif de stock de produit i est donc défini pour chaque période, ce stock devant être réalisé par toutes les commandes $k \neq \alpha$ concernées par le produit i.

Les contraintes (1), (2) et (3) permettent alors de déduire un domaine $X_{i,j,\theta} = [\underline{x}_{i,j,\theta}, \overline{x}_{i,j,\theta}]$ de valeurs pour les variables $x_{i,j,\theta}$ pour toutes les commandes $k \neq \alpha$. La valeur $\underline{x}_{i,j,\theta}$ (resp.

$\overline{x}_{i,j,\theta}$) indique pour le produit i la quantité minimale (resp. maximale) en cours d'opération j qu'il faut réaliser au cours de la période θ.

Comme nous souhaitons que la production associée aux cadres de décision existants soit **réalisée au plus tard**, les variables $x_{i,j,\theta}$, dont les domaines ont été trouvés précédemment, doivent être instanciées les unes après les autres par ordre de temps décroissant et en imposant d'assigner, à chaque itération, la valeur maximale $\overline{x}_{i,j,\theta}$ à la variable $x_{i,j,\theta}$.

Ainsi, $x_{i,j,\Theta}$ est instanciée avec la valeur $x_{i,j,\Theta} = \overline{x}_{i,j,\Theta}$. L'instanciation de cette variable induit une nouvelle contrainte qui est alors propagée sur les domaines des autres variables $x_{i,j,\theta}, \forall \theta \neq \Theta$. Après cette propagation, la variable $x_{i,j,\Theta-1}$ est instanciée de telle sorte que $x_{i,j,\Theta-1} = \overline{x}_{i,j,\Theta-1}$, etc ....

Lorsque toutes ces variables $x_{i,j,\theta}$ (pour tout $k \neq \alpha$) sont instanciées, en considérant la contrainte (1), qui modélise le respect de la capacité des ressources, on peut alors déduire la quantité maximale de produit i en cours d'opération j qu'il est possible de réaliser sur chaque période θ et par conséquent, à partir des contraintes (4) et (5), déduire les domaines $U_{i,\alpha,\theta} = [\underline{u}_{i,\alpha,\theta}, \overline{u}_{i,\alpha,\theta}]$ des variables $u_{i,\alpha,\theta}$.

Les valeurs trouvées pour $\overline{u}_{i,\alpha,\theta}$ permettent de construire une courbe cumulée indiquant ce qu'il est possible de produire pour la commande α, en respectant les cadres de décision existants. Cette courbe est nommée *courbe_ respect_ cadre* dans la suite du texte.

Afin de satisfaire l'hypothèse de respect des cadres de décision existants, le point HG du nouveau rectangle doit se situer sur la courbe *courbe_ respect_ cadre* ou en-dessous.

Illustration

Pour illustrer ces mécanismes, nous reprenons l'exemple présenté dans le chapitre 4, et nous supposons que le fournisseur souhaite introduire un nouveau cadre de décision suite à la réception d'une proposition concernant une nouvelle commande de produit H de la part d'un client *client 3*.

Dans ce cas, une aide à la décision consiste à identifier les variables $u_{H,cmd_3,\theta}$ maximales qui respectent la mise à disposition au plus tard des produits pour les commandes *cmd_ 1* et *cmd_ 2*, c'est à dire qui respectent $u_{G,cmd_1,7} = 45$, $u_{G,cmd_1,13} = 80$ et $u_{H,cmd_2,13} = 170$.

En propageant les contraintes, nous obtenons la courbe de production maximale pour des produits de type H présentée sur la figure 5.3. Le décideur doit donc placer le point HG du nouveau rectangle en-dessous ou sur cette courbe afin de satisfaire l'hypothèse du respect des cadres de décision existants.

Deuxième étape : ***Mise à disposition maximale et au plus tôt en respectant le plan de production prévu par la gestion de production***

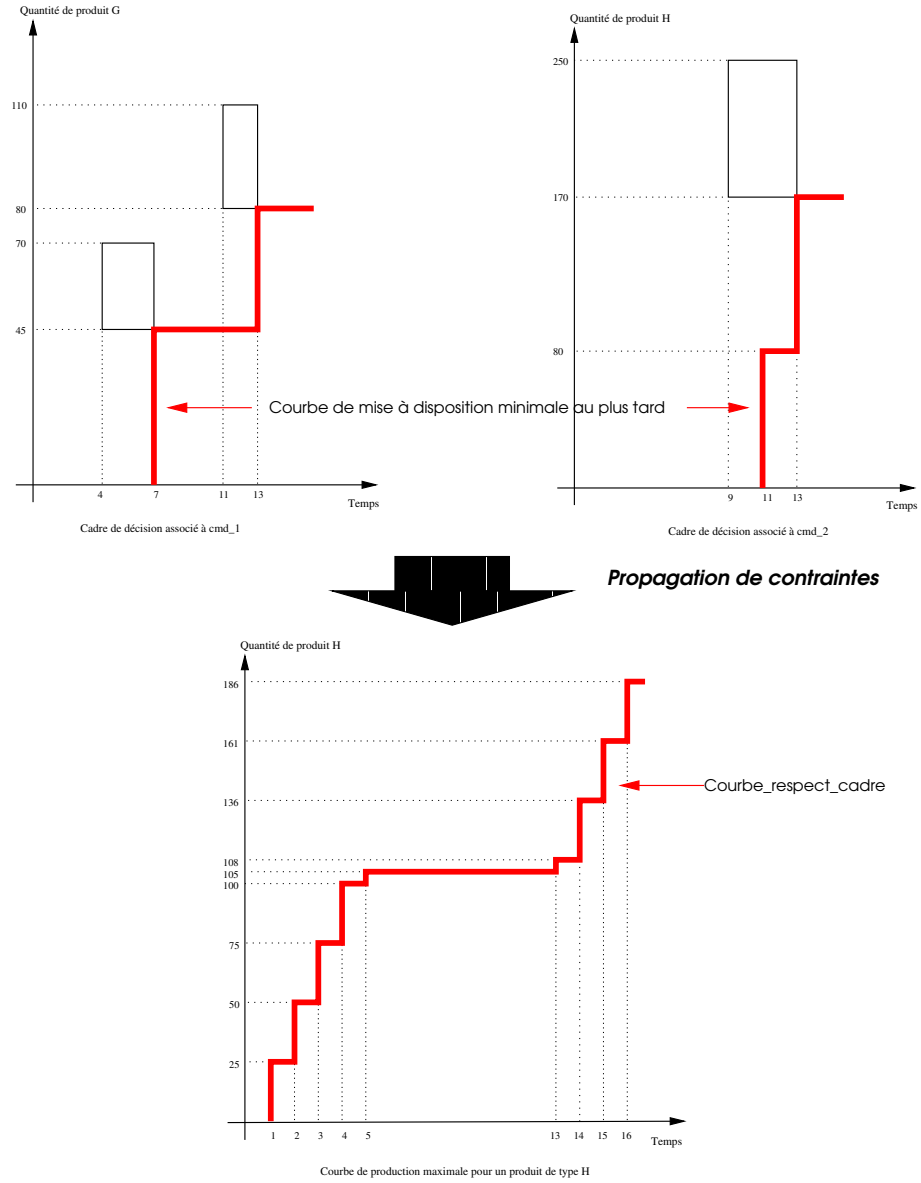

FIG. 5.3: Obtention de la courbe de production maximale pour un produit H

Les mécanismes pour déterminer la quantité maximale au plus tôt qu'il est possible de réaliser pour une nouvelle commande, dans le cas où le plan de production issu de la gestion de production, sont les mêmes que lors de l'étape 1.

Pour mettre en œuvre ces mécanismes, le modèle associé au service vente, présenté au chapitre 4, prend la forme suivante :

$$\begin{cases} (1) & : & \forall r, \forall \theta \quad \sum_{(i,j)\in O_r} w_{r,i,j} \times x_{i,j,\theta} \leq \tau_{r,\theta} \\ (2) & : & s_{i,j,\theta} = s_{i,j,\theta-1} + x_{i,j,\theta} - x_{i,j+1,\theta} \\ (3) & : & x_{i,j+1,\theta} \leq s_{i,j,\theta-1} + x_{i,j,\theta} \\ (4) & : & \sum_{k=1}^{K} u_{i,k,\theta} = s_{i,J_i,\theta} \\ (5) & : & u_{i,k,\theta} \leq u_{i,k,\theta+1} \\ (6) & : & u_{i,k,\underline{d}_{kn}} \leq \overline{q}_{kn} \\ (7) & : & u_{i,k,\overline{d}_{kn}} \geq \underline{q}_{kn} \\ (8) & : & \forall i, \forall k, \forall \theta \quad u_{i,k,\theta} = p_{i,k,\theta} \\ (10) & : & \forall c, \forall \theta \quad \sum_{i\in O_c} z_{c,i} \times x_{i,1,\theta} \leq \overline{a}_{c,\theta} \\ & & \forall i, \forall j, \forall k, \forall \theta : x_{i,j,\theta} \geq 0, s_{i,j,\theta} \geq 0, u_{i,k,\theta} \geq 0 \end{cases}$$

Les contraintes (6), (7), et (8) ne concernent que les commandes k telles que $k \neq \alpha$.

Les équations (8) et (10) imposent aux courbes de mise à disposition de l'ensemble des commandes de respecter les prévisions de la gestion de production. Ensuite, les mécanismes de propagation des contraintes sont les mêmes que ceux énoncés pour la détermination de la courbe *courbe_ respect_ cadre*.

Les variables $s_{i,J_i,\theta}$ sont instanciées à partir des contraintes (4), puis les contraintes (1), (2) et (3) permettent de déduire un ensemble $X_{i,j,\theta}$ de valeurs pour les variables $x_{i,j,\theta}$. Pour chacun de ces ensembles, les variables $x_{i,j,\theta}$ sont ensuite instanciées les unes après les autres pour déduire la production au plus tard. Enfin les courbes de mise à disposition maximale $u_{i,\alpha,\theta}$ du produit i pour lequel on souhaite estimer les paramètres d'une nouvelle commande sont déduites à partir des contraintes (1) puis (4) et (5).

On s'intéresse à la courbe cumulée construite à partir des valeurs de $\overline{u}_{i,\alpha,\theta}$. Cette courbe est nommée *courbe_ maximale_ respect_ GP* dans la suite du texte. Comme pour le point HG, afin d'éviter de perturber la gestion de production, le point BD du nouveau cadre devra se trouver sur ou en-dessous de la courbe *courbe_ maximale_ respect_ GP*.

Illustration

Dans le cas de l'exemple, nous supposons que le fournisseur souhaite que le point HG corresponde à une mise à disposition, au maximum et au plus tôt, de 85 produits H pour la fin de la période 8. Grâce aux informations déduites par propagation de contraintes, un nouveau cadre de décision peut être trouvé, comme l'illustre la figure 5.4.

Si la mise à disposition des commandes existantes est conforme à la prévision de la gestion de production, alors pour la fin de la période 8, 40 nouveaux produits de type H pourront être fabriqués (point BG) et les 85 produits de type H seront réalisés pour

la fin de la période 14 (point HD). Le point BD déduit de façon triviale correspond alors à une mise à disposition de 40 produits pour la fin de la période 14. Notons que le point BD peut être librement déplacé tant qu'il ne passe ni au dessus de la courbe *courbe_maximale_respect_GP*, ni bien sûr à gauche du point HG.

Nous pouvons enfin remarquer que le décideur peut, s'il le désire, créer plusieurs rectangles pour le nouveau cadre de décision. Pour cela, il doit définir plusieurs point HG_i correspondant aux différents rectangles. Les mécanismes de déduction des points BG_i associés sont alors les mêmes que présentés précédemment.

Si ce cadre de décision convient au fournisseur il peut envoyer une proposition ou une contre-proposition à son partenaire. Dans le cas contraire, il a la possibilité d'ajuster ce cadre. Si l'ajustement souhaité par le fournisseur impose de ne plus respecter soit les cadres existants, soit les prévisions de la GP, alors il est nécessaire de relâcher des contraintes ainsi que cela est illustré dans la partie 5.2.

5.1.3 Aide à la décision pour un *service achat*

Nous nous focalisons sur le centre de décision *service achat*, comme l'illustre la figure 5.5. Il s'agit de détailler les mécanismes mis en œuvre dans le cas d'un processus de négociation amont qui permettent de déterminer les coordonnées des points définissant un nouveau cadre de décision.

À chaque instant, un *service achat* a une vision, sous forme de courbes cumulées croissantes :
- des besoins minimaux en composants requis par le centre de décision *service vente* de la même entreprise,
- des besoins en composants calculés par la gestion de production de la même entreprise,
- de la mise à disposition minimale des composants garantie par les cadres de décision établis avec ses fournisseurs (points BD),
- et de la mise à disposition des composants communiquée par les fournisseurs.

Les courbes cumulées des besoins en composants maximaux et de la mise à disposition maximale des composants, définies au paragraphe 3.4.2, ne sont pas ici utilisées. En effet, elles indiquent respectivement un besoin et une disponibilité de composants maximaux relativement optimistes, dans le sens où ces niveaux de besoins et disponibilités seront rarement atteints. Nous pensons que la visualisation des besoins déduits de la gestion de production et celle des mises à disposition déduites des informations communiquées par les fournisseurs, sont plus pertinentes et suffisent à la décision.

Dans l'exemple, présenté au chapitre 4, le besoin minimal du centre de décision *service vente* est $w_{H,14} = 150$, le besoin calculé par la gestion de production est $a_{H,cmd_2,14} = 170$,

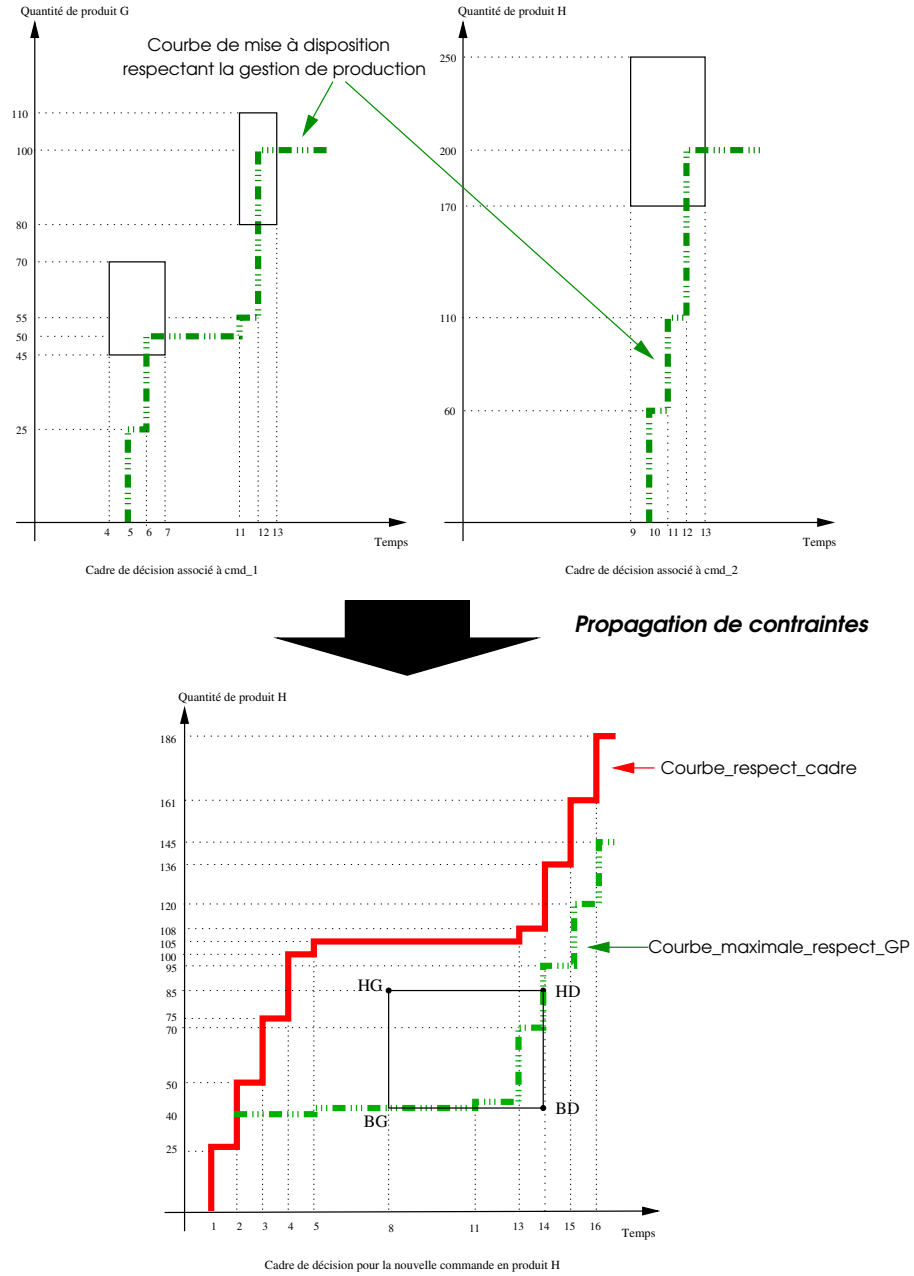

FIG. 5.4: Obtention du nouveau cadre de décision

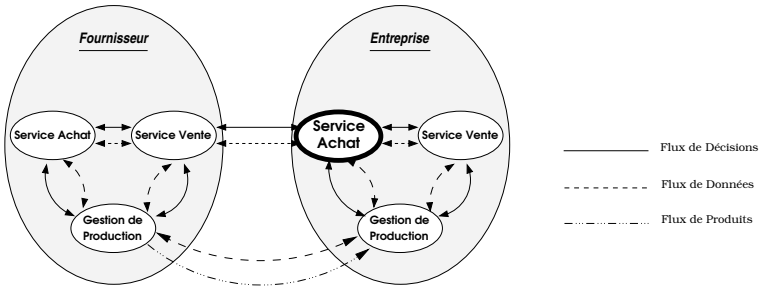

FIG. 5.5: Relations entre un *service achat* et les autres centres de décision

la mise à disposition minimale des composants prévue avec les fournisseurs est 170 pièces pour la fin de période 13 , et la mise à disposition prévue par les fournisseurs est 200 pièces pour la fin de période 12. L'ensemble de ces courbes est représenté sur la figure 5.6.

Un *service achat* peut vouloir disposer d'une aide à la décision pour l'insertion d'un nouveau cadre lorsqu'il élabore une proposition ou une contre-proposition dans le cadre d'un processus de négociation en vue de la détermination d'une nouvelle commande d'approvisionnement.

Causes et conséquences d'un nouveau besoin en composants

Le besoin d'une nouvelle commande auprès d'un ou plusieurs fournisseurs peut être le résultat soit d'un changement de politique de la gestion de production en termes d'approvisionnement, soit d'une modification du carnet de commandes de l'entreprise considérée.

- Si ce besoin provient d'une nouvelle commande *NvlleCmde* passée par un des clients de l'entreprise considérée, alors la courbe de besoins minimaux requis par l'atelier de fabrication augmente du fait de la prise en compte du respect des nouveaux points BD, de chaque rectangle du nouveau cadre de décision.
  De façon similaire, la courbe de besoins en composants planifiés par la gestion de production augmente aussi, soit de façon proactive en considérant que l'atelier va réaliser le point HG de la nouvelle commande, soit du fait d'un nouveau calcul de la gestion de production prenant en compte cette nouvelle commande.

- Si ce besoin provient d'un nouveau calcul de besoins en composants de la gestion de production, alors seule la courbe de besoins en composants planifiés augmente, la courbe de besoins minimaux en composants reste identique.

Suite à la prise en compte d'un nouveau besoin, deux cas se présentent : soit la mise à disposition minimale prévue par les cadres de décision associés aux commandes passées auprès des fournisseurs est toujours suffisante, soit elle devient inférieure au nouveau besoin

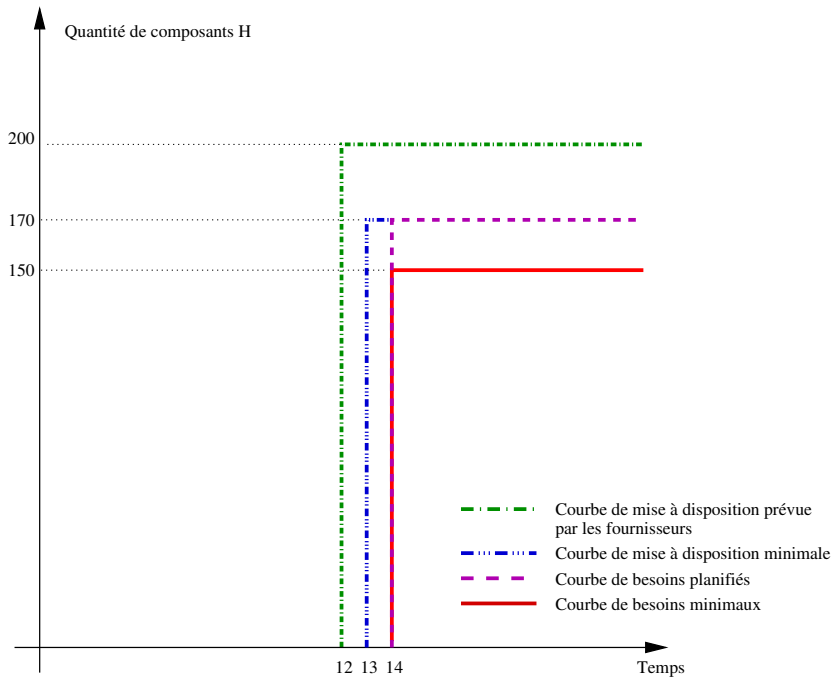

FIG. 5.6: Courbes de besoin et de mise à disposition des composants

sur une ou plusieurs périodes.

Dans le premier cas, le *service achat* peut décider, en fonction de la courbe de mise à disposition des composants prévue par les fournisseurs, de créer un nouveau cadre de décision pour éviter tout risque, ou bien juger que cela n'est pas utile. Dans le deuxième cas, le décideur peut soit créer un nouveau cadre pour pallier ce manque en composants, soit adapter un cadre de décision existant par renégociation.

Mécanismes de l'aide à la décision

L'aide à la décision dans le cas d'une renégociation d'un cadre de décision existant est abordée dans le paragraphe 5.2.

Pour la création d'un nouveau cadre de décision relatif à un composant donné, il faut indiquer au décideur le besoin minimal requis pour la réalisation des produits de l'entreprise considérée. Il suffit pour cela d'identifier à l'aide du modèle *service achat* quelles sont les périodes où un manque de composants apparaît.

En considérant le modèle associé au service achat, cette idée est formalisée de la façon suivante :

$$\begin{cases} (11) & : \quad v_{c,l,\theta} \leq v_{c,l,\theta+1} \\ (12) & : \quad w_{c,\theta} \leq \sum_{l=1}^{L} v_{c,l,\theta} \\ (15) & : \quad v_{c,l,\theta} = a_{c,l,\theta} \\ \forall c, \forall l, \forall \theta : v_{c,l,\theta} \geq 0 \end{cases}$$

L'insertion d'une nouvelle commande β en composants c introduit de nouvelles variables $v_{c,\beta,\theta}$, dont les domaines vont être caractérisés.

Les égalités (15), uniquement implémentées pour les commandes $l \neq \beta$, imposent de respecter ce qu'ont prévu de livrer en composants c les différents fournisseurs. Ces égalités étant plus contraignantes que les inéquations (13) et (14) du modèle initial, ces dernières ne sont pas prises en compte lors de ce calcul.

La contrainte (12) permet de déterminer la borne minimale $\underline{v}_{c,\beta,\theta}$ des domaines des variables $v_{c,\beta,\theta}$. En effet, L est le nombre de cadres de décision existants. L'inéquation (12), si on ajoute la variable $v_{c,\beta,\theta}$ s'écrit $w_{c,\theta} \leq \sum_{l=1}^{L} v_{c,l,\theta} + v_{c,\beta,\theta}$. Ainsi, puisque $v_{c,\beta,\theta} \geq 0$, on a $\underline{v}_{c,\beta,\theta} = MAX(0, w_{c,\theta} - \sum_{l=1}^{L} v_{c,l,\theta})$.

Une courbe *besoin_minimal_respect_fournisseur* est alors déterminée par l'instanciation itérative et au plus tard des variables $v_{c,\beta,\theta}$, comme cela a été effectué pour les variables $x_{i,j,\theta}$ dans le paragraphe précédent.

Les points BD des rectangles du nouveau cadre de décision devront se situer sur ou au-dessus de cette courbe afin de pallier le manque en composants.

À l'aide de mécanismes similaires, il est possible de déterminer une courbe *besoin_maximal_respect_vente* en considérant les besoins maximaux en composants c du service vente, c'est-à-dire les points HG des cadres de décision gérés par le service vente.

Cette courbe permet d'aider le décideur du service achat à positionner les points HG des rectangles du nouveau cadre de décision, en servant d'indicateur. Toutefois, comme dans nos modèles nous ne prenons pas en compte la politique de gestion des stocks des entreprises, nous ne souhaitons pas imposer au décideur de placer ces points HG au-dessus ou en-dessous de cette courbe.

Illustration

Pour illustrer ces mécanismes, nous considérons dans notre exemple, que le *service vente* de l'entreprise considérée a conclu une nouvelle commande pour laquelle le cadre de décision est composé d'un rectangle dont le point HG correspond à une mise à disposition de 50 produits de type E pour la fin de période 5 et le point BD correspond à une mise à disposition de 30 produits de type E pour la fin de période 8.

Cette nouvelle commande entraîne une augmentation de la courbe de besoins minimaux de l'atelier (prise en compte du nouveau point BD). De plus, comme nous supposons que

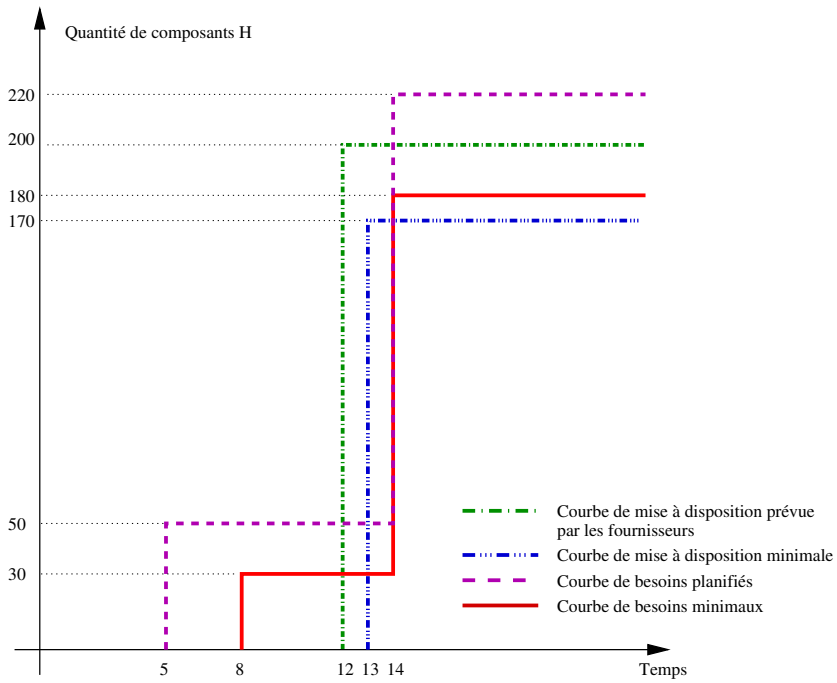

FIG. 5.7: Courbes de besoins et de mise à disposition des composants après mise à jour de nouveaux besoins

la gestion de production n'a pas encore pris en compte l'ajout de cette commande dans le calcul des besoins en composants, la courbe de besoins planifiés en composants augmente de façon proactive (prise en compte du nouveau point HG). La figure 5.7 illustre ces mises à jour.

Un manque de 50 composants en fin de période 5 est identifié. Pour pallier ce manque, le décideur peut effectuer une ou plusieurs commandes auprès d'un ou plusieurs fournisseurs de telle sorte que la somme des quantités minimales prévues par chaque cadre de décision soit supérieure ou égale à la quantité manquant en fin de période 5.

5.2 Aide à l'ajustement d'un cadre de décision

5.2.1 Principes

L'objectif d'aide à l'ajustement d'un cadre de décision est d'assister le décideur en mettant en évidence l'impact d'une modification apportée sur un cadre vis-à-vis des autres cadres.

Les mécanismes de l'aide à l'ajustement d'un cadre de décision peuvent être utilisés lors d'un processus de négociation ou lors d'un processus de renégociation durant l'élaboration

de propositions ou de contre-propositions.

Dans le cas d'un processus de négociation, si le cadre de décision trouvé, ainsi que décrit dans la partie 5.1 (i.e. respectant les autres cadres et les données issues de la GP), ne convient pas au décideur, alors celui-ci peut ajuster ce cadre de décision en relâchant certaines contraintes imposées par les autres cadres de décision ou par le service achat (si le décideur appartient au service vente) ou par le service vente (si le décideur appartient au service achat).

Dans le cas d'un processus de renégociation, un cadre de décision doit être modifié soit suite à la demande de renégociation d'un des partenaires, soit suite à une incohérence ou à une anticipation d'incohérence constatée dans l'entreprise du décideur. Dans ces deux cas, le décideur ajuste là aussi les cadres de décision en relâchant certaines contraintes.

Un décideur peut envisager la relaxation de deux types de contraintes : les contraintes sur lesquelles il possède tout pouvoir de décision, et les autres, pour lesquelles il ne peut que se limiter à la simulation des conséquences de cette relaxation. Ces dernières contraintes correspondent aux cadres de décision non gérés par le décideur : un commercial (resp. un acheteur) peut ne gérer qu'un sous-ensemble des clients (resp. des fournisseurs) de l'entreprise) et les données issues du centre de décision *service vente* quand le décideur dépend du centre de décision *service achat* et inversement.

Dans ce cas, le décideur peut tenter de relâcher les contraintes pour visualiser les effets mais, si la relaxation le satisfait, il devra solliciter l'accord des autres décideurs concernés, avant de prendre toute décision opérationnelle.

Nous pouvons remarquer que le décideur a la possibilité de relâcher plusieurs contraintes à la fois, puis de lancer la propagation pour mesurer les effets correspondants. Cependant, dans le cas de la relaxation simultanée de plusieurs contraintes, il est plus difficile d'identifier le sous-ensemble de contraintes qui est responsable des marges ainsi dégagées.

Les deux paragraphes suivants traitent des mécanismes d'aide à la décision pour l'ajustement d'un cadre lorsque le décideur est un *service vente* puis un *service achat*.

5.2.2 Aide à la décision pour un *service vente*

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 5.1.2, par propagation des contraintes du modèle, il est possible d'associer deux courbes à chaque cadre de décision (cf. figure 5.8).

La première courbe, appelée *courbe_ respect_ cadre*, reflète la production maximale qu'il est possible de réaliser pour le cadre de décision considéré en ayant comme contrainte le respect des autres cadres de décision et la prise en compte de la quantité maximale de composants disponibles.

La deuxième courbe, appelée *courbe_ maximale_ respect_ GP*, reflète la production maximale qu'il est possible de réaliser pour le cadre de décision considéré en ayant comme contrainte le respect des prévisions de production de la gestion de production et la prise

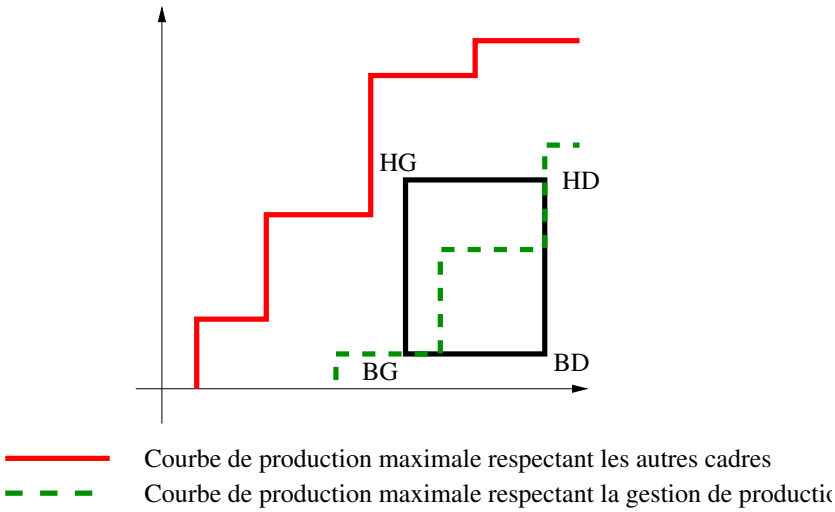

FIG. 5.8: Cadre de décision et courbe de production maximale associée

en compte de la quantité maximale de composants disponibles.

Lors de sa création, nous avons pris pour hypothèse qu'un cadre de décision doit permettre de respecter les autres cadres de décision et les données issues de la gestion de production. Ces hypothèses imposent au point HG des cadres de décision d'être en-dessous de la courbe *courbe_respect_cadre* et au point BD d'être en-dessous de la courbe *courbe_maximale_respect_GP*.

Ainsi, si le décideur souhaite modifier les coordonnées des points HG et BD de telle sorte que la nouvelle position de ces points soit au-dessus respectivement de la courbe *courbe_respect_cadre* et de la courbe *courbe_maximale_respect_GP*, il doit obligatoirement relâcher certaines contraintes qui ont permis de construire ces deux courbes.

Ces **contraintes** peuvent être de **deux natures**. Elles sont liées soit à la capacité des ressources, soit à la quantité de composants disponibles nécessaires à la réalisation des produits associés au cadre de décision considéré. Nous envisageons ci-après d'étudier ces deux cas.

Premier cas : ***Relaxation de contraintes liées à la charge des ressources***

Pour diminuer la charge des ressources, il faut mettre à disposition une quantité inférieure de produits sur un ou plusieurs autres cadres de décision ; en effet à capacité de ressources constante, l'allègement d'une commande peut être exploité pour augmenter la quantité produite pour une autre commande.

Pour modifier cela, un décideur a la possibilité de simuler, pour chaque cadre, une

diminution des courbes de mise à disposition prévues par la gestion de production. En prenant en compte cette nouvelle contrainte et en mettant en œuvre les mécanismes de propagation de contraintes présentés dans le paragraphe 5.1.2, une nouvelle courbe *courbe_ maximale_ respect_ GP* pour le cadre considéré est calculée. Cette nouvelle courbe est alors au-dessus ou confondue avec la précédente. Ainsi, les points BDi du cadre de décision considéré pourront être déplacés davantage à gauche et vers le haut (augmentation des engagements sur les quantités et les délais).

Pour modifier la position du point HG, un décideur a la possibilité de simuler une diminution des positions des points BD d'un ou de plusieurs autres cadres. En prenant en compte cette nouvelle contrainte et en mettant en œuvre les mécanismes de propagation de contraintes présentés dans le paragraphe 5.1.2, une nouvelle courbe *courbe_ respect_ cadre* pour le cadre considéré est calculée. Cette nouvelle courbe est alors au-dessus ou confondue avec la précédente.

Deuxième cas :***Relaxation de contrainte liées à la quantité de composants disponibles***

Pour relâcher les contraintes liées à la quantité de composants disponibles, le décideur peut diminuer la courbe *courbe_ maximale_ respect_ GP* ou la position des points BD d'un ou plusieurs cadres de décision, puisque si une entreprise produit moins pour une commande donnée, les composants non utilisés pour cette commande peuvent être utilisés pour produire plus pour une autre commande. Le décideur peut aussi simuler une augmentation de la mise à disposition des approvisionnements planifiés. Si cette augmentation de la quantité d'approvisionnements permet d'augmenter les courbes *courbe_ maximale_ respect_ GP* et *courbe_ respect_ cadre*, alors le décideur peut élaborer une proposition au centre de décision *service achat* afin que celui-ci renégocie éventuellement avec ses fournisseurs ou passe une nouvelle commande. Il devra de toute façon attendre l'accord du *service achat* avant de prendre toute décision opérationnelle.

Nous pouvons noter que la non augmentation de la courbe *courbe_ maximale_ respect_ GP* suite à la diminution de la production planifiée pour les autres cadres de décision, traduit un manque en composants. Et inversement, la non augmentation de la courbe *courbe_ maximale_ respect_ GP* suite à l'augmentation du nombre de composants disponibles traduit un problème lié à la capacité des ressources.

Illustration

Pour illustrer ces principes, nous reprenons l'exemple que nous avons développé précédemment. L'aide au positionnement d'un nouveau cadre a permis au décideur de déterminer un nouveau cadre de décision pour lequel le point BD correspond à une mise à disposition de 40 produits pour la fin de la période 14 (cf. figure 5.4).

Nous supposons que la position de ce point BD ne satisfait pas le décideur. Il souhaite que la nouvelle position de ce point corresponde à une mise à disposition de 50 produits pour la fin de la période 11. Comme cette nouvelle position se trouve au-dessus de la courbe *courbe_maximale_respect_GP* du cadre de décision, cette modification du positionnement du point BD ne peut être possible que si le décideur relâche des contraintes.

Nous supposons que le décideur choisit de diminuer la courbe de mise à disposition prévue par la gestion de production du cadre de décision associé à la commande *cmd_1*. Il souhaite désormais mettre à disposition du client 1 90 produits pour la fin de période 13 au lieu de 100 produits pour la fin de période 12. Nous pouvons noter que malgré cette modification, la courbe de mise à disposition des produits pour le client 1 respecte le cadre de décision associé à cette commande.

La diminution de la courbe a pour conséquence une augmentation de la *courbe_maximale_respect_GP* du nouveau cadre de décision comme le présente la figure 5.9. Le décideur peut alors amener le point BD du nouveau cadre à la position voulue.

Nous supposons maintenant que le fournisseur souhaite modifier la position du point HG du nouveau cadre de décision de telle sorte que 120 produits en fin de période 8 soient mis à disposition pour cette nouvelle commande au lieu de 85. La nouvelle position du point HG étant au-dessus de la courbe *courbe_respect_cadre*, cette modification n'est possible que si le décideur relâche une ou plusieurs des contraintes qui permettent d'élaborer cette courbe.

Nous supposons que le décideur souhaite diminuer la quantité minimale du rectangle du cadre de décision associé à la commande *Cmd_2* de 20 unités. Nous supposons que cette modification est autorisée par les clauses du contrat de coopération.

La figure 5.10 illustre la propagation de contraintes associée à la modification du cadre de décision. La nouvelle courbe *courbe_respect_cadre* du nouveau cadre de décision est supérieure à la précédente et permet de positionner le point HG à l'endroit voulu.

Comme un centre de décision de type *service vente* dispose d'informations provenant du centre de décision de type *service achat* et concernant la disponibilité de composants, le décideur a également la possibilité de simuler une augmentation de la quantité de composants disponibles afin de modifier les positions des points BD et HG du nouveau cadre.

Les mécanismes de propagation de contraintes étant relativement semblables à ceux illustrés ci-dessus, nous ne les détaillons pas.

5.2.3 Aide à la décision pour un *service achat*

Outre les cadres de décision correspondant à chaque commande passée auprès de ses fournisseurs, un *service achat* dispose pour chaque composant, d'une vue sous forme de

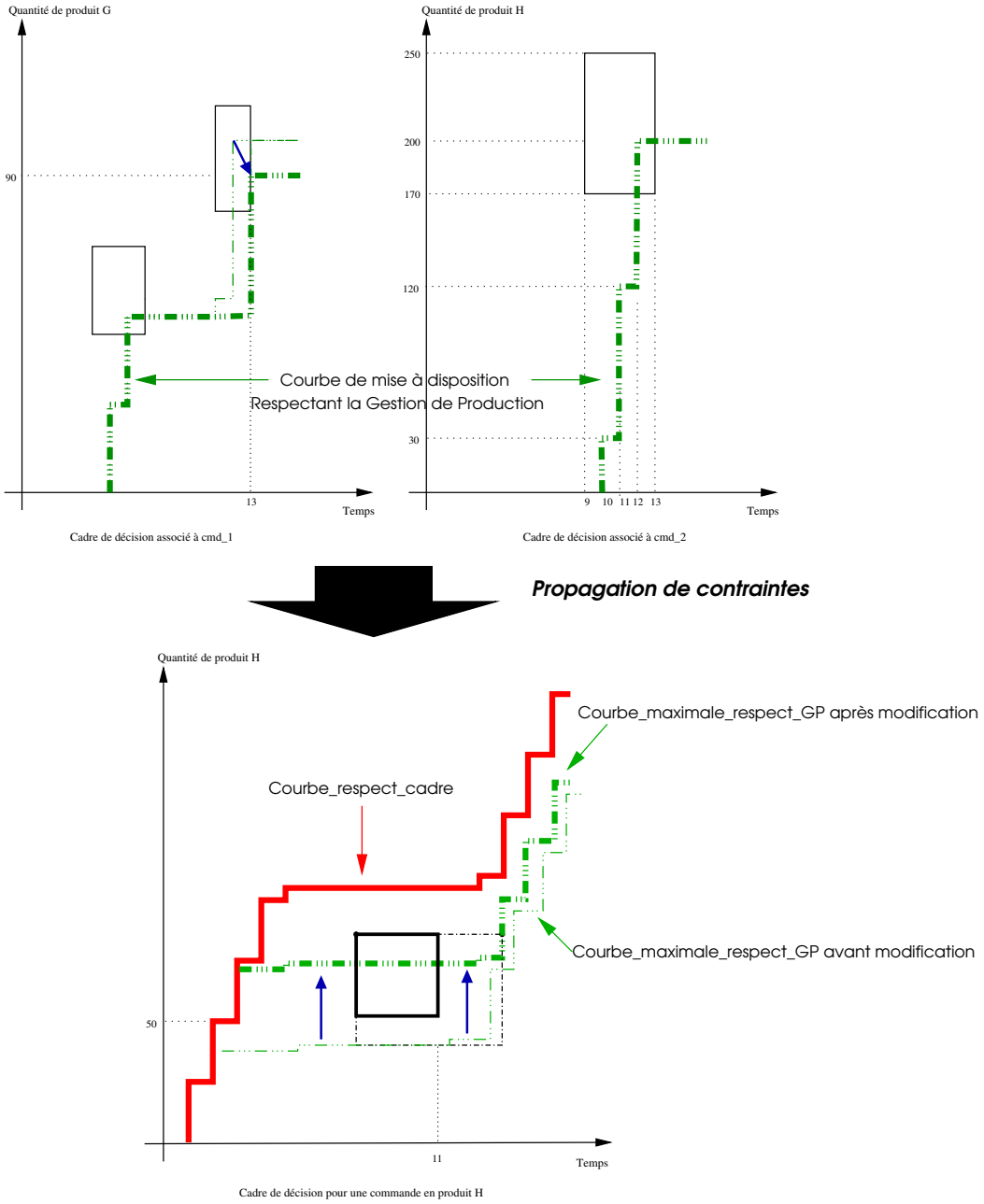

FIG. 5.9: Ajustement de la position du point BD

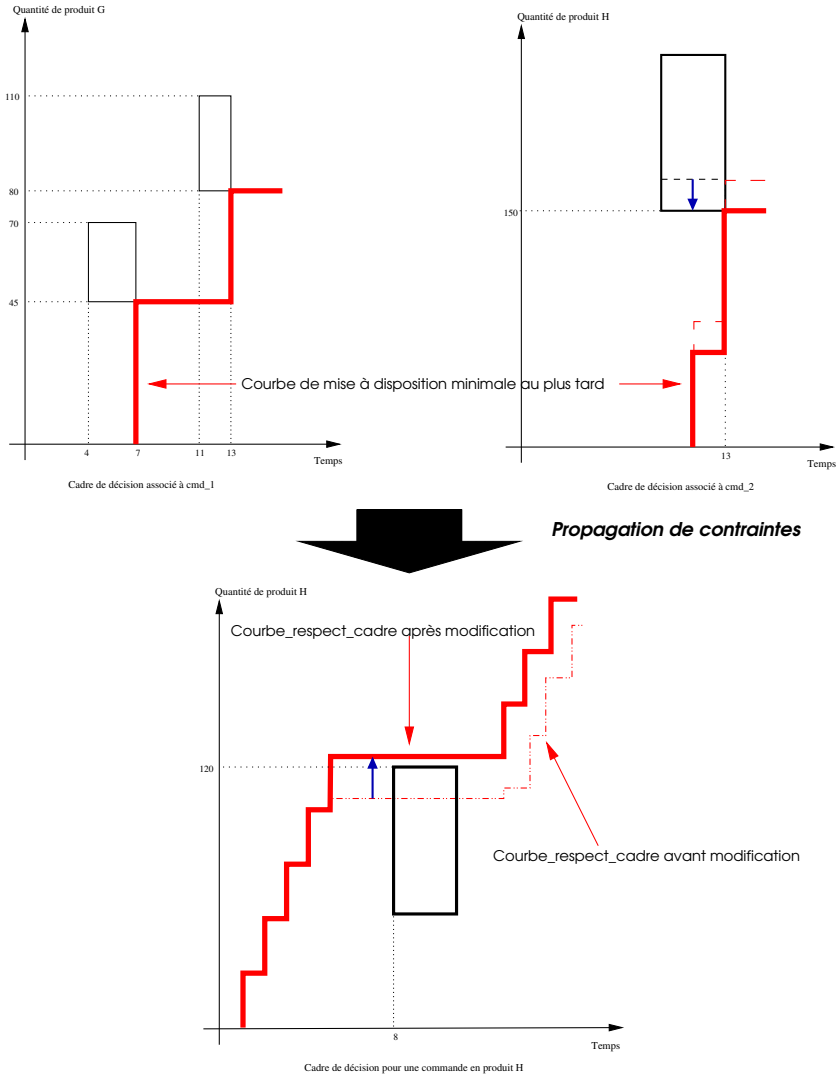

FIG. 5.10: Ajustement de la position du point HG

courbes cumulées croissantes des besoins minimaux requis par le centre de décision *service vente* de son entreprise, des besoins minimaux prévus par la gestion de production, de la mise à disposition minimale assurée par les fournisseurs et de la mise à disposition prévue par les fournisseurs (cf. paragraphe 5.1.3).

Une incohérence est détectée dès que la courbe de mise à disposition minimale devient inférieure à la courbe de besoins planifiés.

Cette incohérence peut être le résultat soit d'une demande plus forte en composants du service vente ou de la gestion de production, soit d'une demande de renégociation d'un cadre de décision d'un des fournisseurs qui ne peut plus mettre à disposition la quantité minimale prévue par le point BD.

Pour que ces deux courbes redeviennent cohérentes entre elles, le décideur a la possibilité soit de demander une garantie supérieure de mise à disposition des composants à un ou plusieurs de ses fournisseurs (renégociation amont) en modifiant la position des points BD de certains cadres de décision, soit de demander au centre de décision *service vente* s'il peut fabriquer moins (renégociation aval), et donc si son besoin en composants peut diminuer.

La modification de la position des points BD, vers une position pour laquelle la quantité est supérieure ou égale à la quantité initiale et le délai est inférieur ou égal au délai initial, entraîne une hausse de la courbe de mise à disposition minimale. La simulation d'une fabrication moins importante de produit permet de diminuer la courbe de besoins planifiés. Notons qu'une telle relaxation devra être autorisée par le *service vente* pour qu'elle puisse aboutir à une décision opérationnelle.

Le décideur choisit donc quels sont le ou les cadres qu'il souhaite éventuellement renégocier, modifie la position des points et mesure l'impact de ses modifications sur les quatre courbes. Il peut aussi simuler une diminution du besoin en composants planifié et mesurer l'impact de ses simulations sur les quatre courbes.

Illustration

Afin d'illustrer ces mécanismes, nous supposons que le client 2 gère deux cadres de décision concernant des commandes en composant de type H. La commande *Cmd_ 2* concerne le fournisseur 1 et la commande *Cmd_ 3* concerne le fournisseur 2. La figure 5.11 représente alors les données que le client a à sa disposition.

Nous supposons que le fournisseur 1 souhaite modifier la position du point BD du cadre de décision de la commande *Cmd_ 2* de telle sorte que la nouvelle position corresponde à une mise à disposition de 170 composants pour la fin de la période 13 (au lieu de 200 pour la fin de période 12). Cette modification entraîne une diminution de la courbe de mise à disposition minimale qui devient alors inférieure à la courbe de besoins planifiés (cf. figure

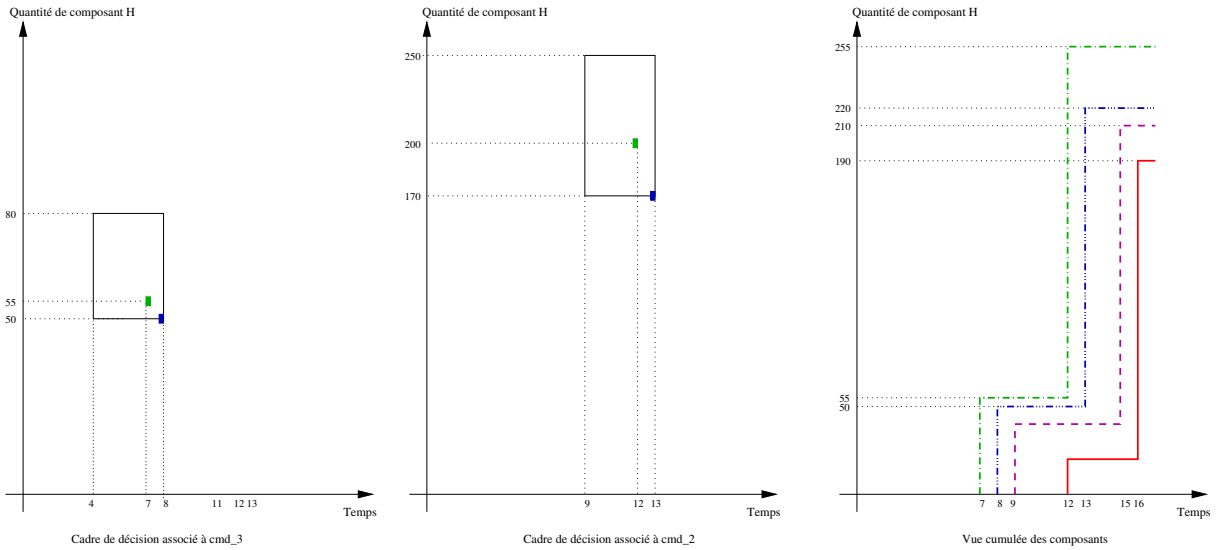

FIG. 5.11: Cadres de décision et courbes cumulés des composants du client

5.12).

Pour pallier cette incohérence, le décideur peut insérer un nouveau cadre comme nous l'avons vu dans le paragraphe 5.1.3, ou renégocier un cadre de décision ou simuler une baisse du besoin en composants planifié ou enfin agir sur plusieurs leviers à la fois.

La figure 5.13 illustre l'impact de l'ajustement d'un cadre de décision. L'augmentation de la quantité minimale du cadre de décision associé à la commande *cmd_3* permet une augmentation de la courbe de mise à disposition minimale. Toutefois, dans cet exemple cette modification ne suffit pas à pallier l'incohérence. Le décideur pourra alors renégocier à la baisse le besoin planifié en composants en émettant une proposition au centre de décision *service vente*.

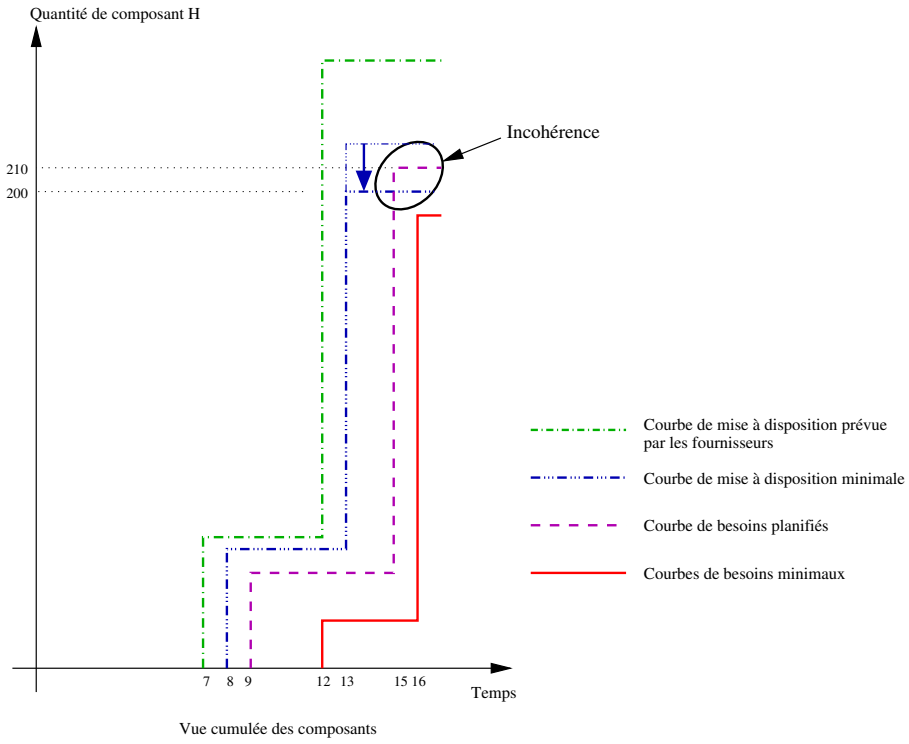

FIG. 5.12: Incohérence entre les courbes concernant le composant H

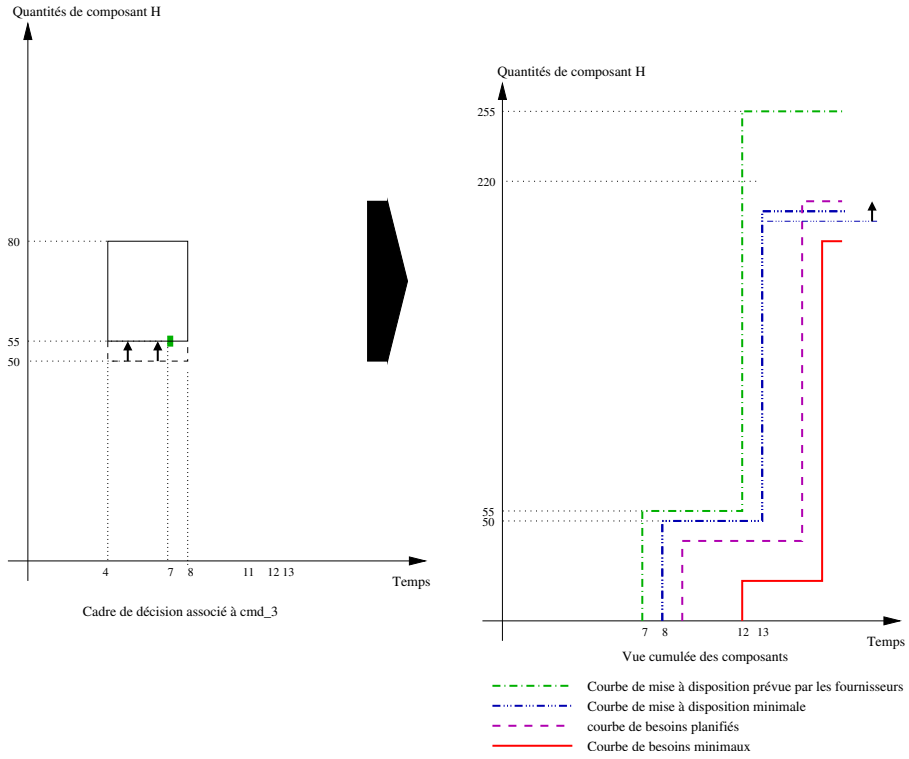

FIG. 5.13: Ajustement de cadre par un client

Conclusion

Élaborer des propositions et des contre-propositions, de façon rigoureuse et cohérente avec l'ensemble des informations disponibles, lors des processus de négociation et de renégociation n'étant pas trivial, une aide à la décision permettant d'assister les décideurs lors de ces processus s'avère nécessaire. L'objectif de cette partie était de présenter l'approche par contraintes choisie pour modéliser l'aide à la coopération et les principes d'aide à la décision sous-jacents.

Pour mieux comprendre l'intérêt des approches par contraintes, nous avons tout d'abord présenté, dans le chapitre 4, les problèmes de satisfaction de contraintes puis les principes de la propagation de contraintes dans ce type de problème. Ainsi, nous avons mis en œuvre des mécanismes de propagation de contraintes pour caractériser un ensemble de solutions pour le problème considéré, facilitant la prise de décision.

Nous avons alors proposé deux modèles inspirés de ceux utilisés en planification. Un modèle est proposé pour le centre de décision *service vente*, correspondant à une vision fournisseur, et un modèle est proposé pour le centre de décision *service achat*, correspondant à une vision client.

Le chapitre 5 a précisé les principes de l'aide à la décision et les mécanismes de propagation sous-jacents développés à partir des modèles proposés. Le décideur doit être assisté lorsqu'il souhaite insérer un nouveau cadre et lorsqu'il souhaite ajuster un cadre existant.

Nous avons choisi d'aider le décideur à insérer un nouveau cadre de telle sorte que la position de ce cadre respecte l'ensemble des contraintes du centre de décision considéré.

L'ajustement d'un cadre n'étant possible que si certaines contraintes sont relâchées, nous aidons le décideur à choisir les contraintes qu'il souhaite relâcher en lui montrant après chaque choix effectué, l'impact de ce choix sur les contraintes du problème.

Pour instrumenter la coopération selon les modèles et les principes de l'aide à la décision décrits, nous avons développé un prototype logiciel pour l'aide à la coopération inter-entreprises. L'analyse des besoins fonctionnels, de l'architecture logicielle et les interfaces de ce prototype sont présentés dans la partie suivante.

Troisième partie

UN PROTOTYPE POUR L'AIDE À LA COOPÉRATION INTER-ENTREPRISES

Introduction

Dans la partie I, nous avons décrit la coopération entre entreprises en tant qu'un mécanisme de codécision. Cette coopération est réalisée par trois fonctions : la négociation, la renégociation et la coordination.

Les processus de négociation et de renégociation sont réalisés à l'aide de conversations entre les partenaires, composées de propositions et de contre-propositions. Pour aider à l'élaboration de ces propositions et de ces contre-propositions, nous avons décrit dans la partie II une aide à la décision basée sur une approche par contraintes.

Il est nécessaire de fournir des outils aux décideurs qui permettent d'une part de supporter les divers échanges relatifs au processus de coopération inter-entreprises, et d'autre part de fournir l'aide à la décision décrite.

Les objectifs principaux de l'outil d'aide à la coopération sont alors les suivants :

- aider au dimensionnement des commandes entre client et fournisseur en élaborant un cadre de décision ;
- augmenter la dynamique des coopérations en incitant les décideurs à affiner ou à remettre en cause un cadre de décision lorsque cela paraît souhaitable ;
- augmenter la fréquence des échanges informatifs entre partenaires pour mieux synchroniser leurs flux ;
- visualiser comment la définition d'un nouveau cadre de décision, ou la modification d'un cadre de décision existant, impacte la faisabilité des autres cadres de décision ;
- tracer tous les événements relatifs au cycle de vie d'une commande afin de pouvoir analyser a posteriori la pertinence des coopérations (et pouvoir éventuellement améliorer la définition des contrats).

Cette partie a pour objectifs, d'une part de présenter une analyse de l'environnement du système de coopération et des interactions du système avec cet environnement, et d'autre part de fournir une description des interfaces du prototype supportant la coopération.

Chapitre 6

Description de l'architecture logicielle

Le contexte de travail décrit dans les deux premières parties de ce manuscrit correspond à ce que, dans l'idéal, un logiciel de coopération doit être capable de gérer.

Afin d'aboutir à un outil qui satisfasse les besoins des décideurs, et favorise donc bien les comportements coopératifs, il est utile de caractériser les différentes interactions entre l'outil d'aide à la coopération et son environnement. La première partie de ce chapitre présente dans ce but un diagramme de contexte et des diagrammes de cas d'utilisation UML.

Il est également important de présenter les spécifications et les caractéristiques comportementales de l'outil. La deuxième partie de ce chapitre présente une analyse fonctionnelle à l'aide de diagrammes de séquences.

Enfin, dans un objectif de simplification, un certain nombre d'hypothèses ont été retenues afin de mettre en œuvre à court terme une version de démonstration opérationnelle. Ce chapitre les présente.

6.1 Interactions entre l'outil de coopération et son environnement

L'objectif de cette partie est de présenter à un haut niveau d'abstraction, d'une part la nature des interactions entre l'outil de coopération et son environnement, et d'autre part le rôle des différents utilisateurs.

6.1.1 Interactions avec les systèmes d'informations

L'outil de coopération permettant de gérer les relations de type client / fournisseur à moyen et court terme, nous supposons qu'il est indépendant de ceux utilisés en gestion de production. Néanmoins, celui-ci nécessitant des informations issues de la gestion de production, des interfaces doivent être définies.

Cet outil est composé d'un module qui gère les interactions entre les différents acteurs (réception de messages d'informations, conversations lors des processus de négociation et de renégociation, suivi de la fabrication, etc.) et d'un module qui assure l'aide à la décision pour l'élaboration des cadres de décision mis en jeu au cours des conversations.

Les outils de coopération sont utilisés par un centre de décision, soit de type *service vente*, soit de type *service achat*. Nous avons vu dans le chapitre 4 qu'il était nécessaire de définir un modèle pour chaque centre. Les figures 6.1 et 6.2 illustrent, par un diagramme de contexte de type SADT, les interactions entre l'outil supportant la coopération et son environnement, dans chacun des cas.

L'outil de coopération est en interaction avec la gestion stratégique d'une entreprise puisque nous supposons que la définition d'un contrat de coopération constitue une tâche de nature stratégique, avec la gestion commerciale qui doit fournir la liste des commandes ou des approvisionnements déjà existants sous forme de cadres de décision, et avec la gestion de production qui fournit le modèle de production et soit les courbes de mise à disposition de produits par commande et par client pour le point de vue fournisseur, soit les courbes de besoin en composants identifiées par commande et par fournisseur pour le point de vue client.

6.1.2 Interactions avec les acteurs de l'entreprise

Nous avons choisi d'utiliser les diagramme de cas d'utilisation de la notation UML[1] car ils permettent de décrire les attentes des utilisateurs. L'annexe A inspirée du livre [Muller & Gaertner 01] décrit leur formalisme.

Interactions pour le paramétrage de l'outil

Plusieurs acteurs, ayant des rôles différents au sein de l'entreprise, peuvent utiliser l'outil de coopération. Ces acteurs ne peuvent interagir que sur les cadres de décision pour lesquels un droit de modification leur a été accordé. De plus si l'autorisation leur est donnée, ils peuvent jouer un rôle d'*administrateur* et paramétrer l'outil de coopération. L'administrateur peut configurer le modèle de production de l'outil de coopération, définir les utilisateurs de cet outil ainsi que leurs droits, paramétrer les communications avec la gestion de production et avec les partenaires, et choisir les options d'affichage et de comportement (cf. figure 6.3).

La fonction *ConfigurerModele* permet à l'utilisateur de paramétrer les données (ressource, calendrier, gamme, etc.) qui doivent apparaître dans le modèle de l'outil de coopé-

[1] Unified Modeling Language

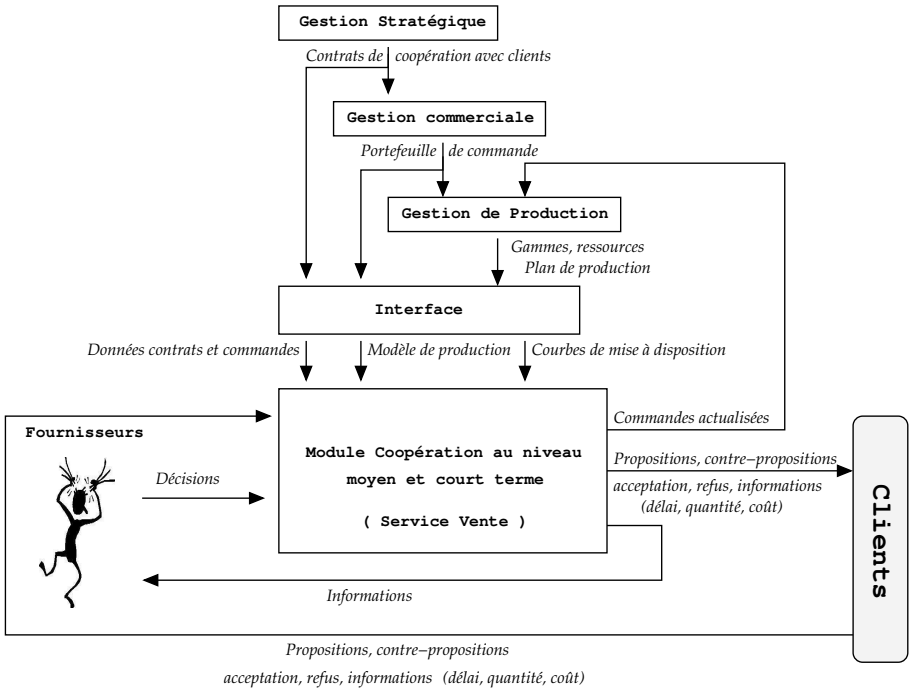

FIG. 6.1: Interactions entre les modules point de vue Fournisseur

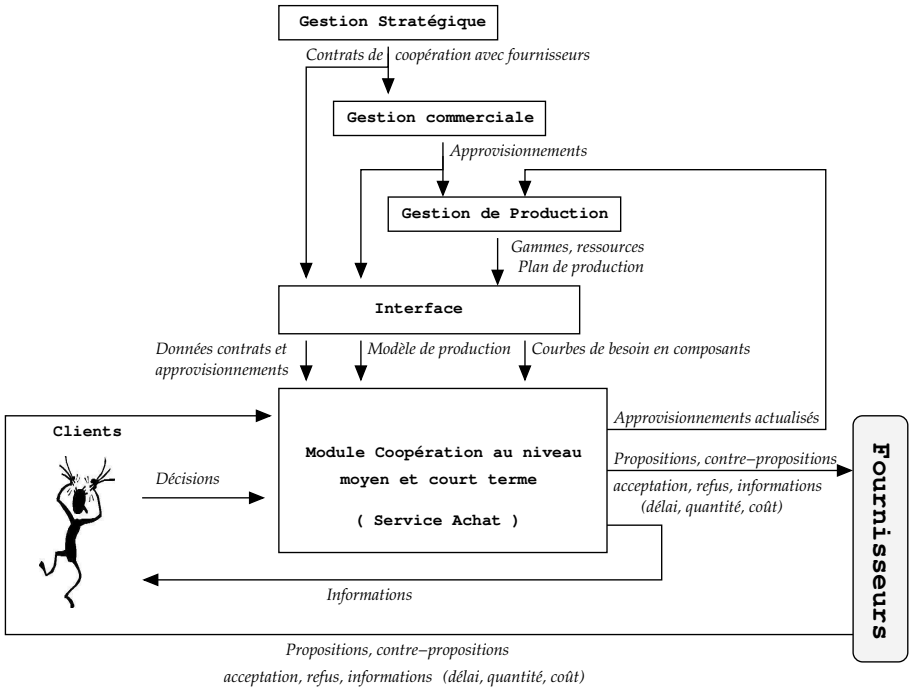

FIG. 6.2: Interactions entre les modules point de vue Client

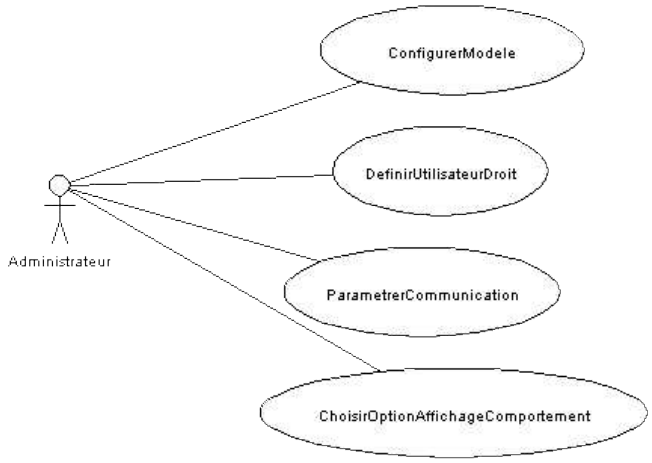

FIG. 6.3: Cas d'utilisation de la fonction Administrer

ration.

La fonction *DefinirUtilisateurDroit* permet à l'administrateur de définir les personnes de l'entreprise qui peuvent utiliser le module coopération ainsi que leur droit d'utilisation relativement aux catégories de composants, de fournisseurs, de produits, et de clients.

La fonction *ParametrerCommunication* permet à l'administrateur de paramètrer la fréquence et le type des échanges entre l'outil de coopération et la gestion de production et entre l'outil de coopération et les différents partenaires de la chaîne logistique.

La fonction *ChoisirOptionAffichageComportement* permet à l'administrateur de choisir les options de l'affichage graphique des différentes IHM dont est composé l'outil de coopération.

De plus, dans l'entreprise, une ou plusieurs personnes peuvent être désignées pour s'occuper du module coopération au niveau stratégique. Le rôle de ces utilisateurs, appelés *stratèges*, est de saisir les nouveaux contrats de coopération, de modifier les contrats existants ou de supprimer un contrat. Le stratège peut également gérer la trace des commandes achevées et analyser les caractéristiques et la qualité des coopérations développées durant la réalisation d'une commande afin d'évaluer la performance globale de la coopération. Cette fonctionnalité est représentée par la fonction *AnalyseCommandeAchevees* (cf. figure 6.4).

Interactions pour les fonctions négocier et renégocier

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, les processus de négociation et de renégociation correspondent à des conversations composées d'une suite de propositions et de contre-propositions. Chaque partenaire peut initier des conversations pour engagement ou

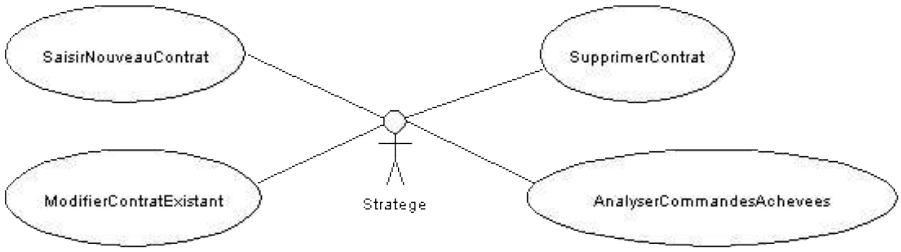

FIG. 6.4: Cas d'utilisation de l'acteur Stratege

des conversations pour évaluation.

Les conversations pour engagement concluent soit par un engagement ferme entre les deux partenaires soit par un refus. Les conversations pour évaluation concluent soit par un résultat de faisabilité soit par un refus, et n'engagent aucun des partenaires.

L'outil de coopération doit supporter ces deux types de conversation aussi bien pour les processus de négociation que pour les processus de renégociation comme l'illustrent les cas d'utilisation présentés sur les figure 6.5 et 6.6.

Les fonctions *NegocierAvecClientEngagement* et *NegocierAvecFournisseurEngagement* permettent respectivement aux fournisseurs et aux clients de négocier les paramètres d'une commande ferme avec respectivement leurs clients ou leurs fournisseurs.

Les fonctions *NegocierAvecClientEvaluation* et *NegocierAvecFournisseurEvaluation* permettent respectivement aux fournisseurs et aux clients de négocier les paramètres d'une commande éventuelle avec respectivement leurs clients ou leurs fournisseurs.

Les fonctions *RenegocierAvecClientEngagement* et *RenegocierAvecFournisseurEngagement* permettent respectivement aux fournisseurs et aux clients de renégocier de façon définitive les paramètres d'une commande avec respectivement leurs clients ou leurs fournisseurs.

Les fonctions *RenegocierAvecClientEvaluation* et *RenegocierAvecFournisseurEvaluation* permettent respectivement aux fournisseurs et aux clients d'évaluer une renégociation des paramètres d'une commande avec respectivement leurs clients ou leurs fournisseurs.

Interactions pour la fonction aide à la décision

Qu'il soit *client* ou *fournisseur*, un *utilisateur* peut, s'il le souhaite, utiliser le module d'aide à la décision pour élaborer des propositions ou des contre-propositions lors des processus de négociation et de renégociation (cf. figure 6.7).

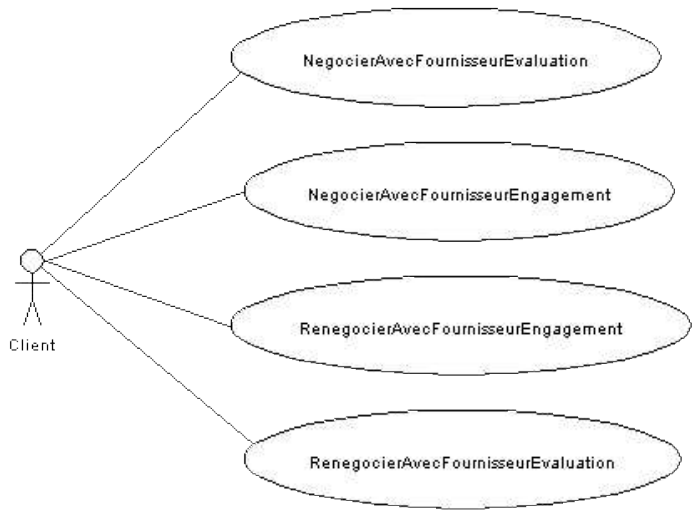

FIG. 6.5: Cas d'utilisation des fonctions Négocier et Renégocier point de vue client

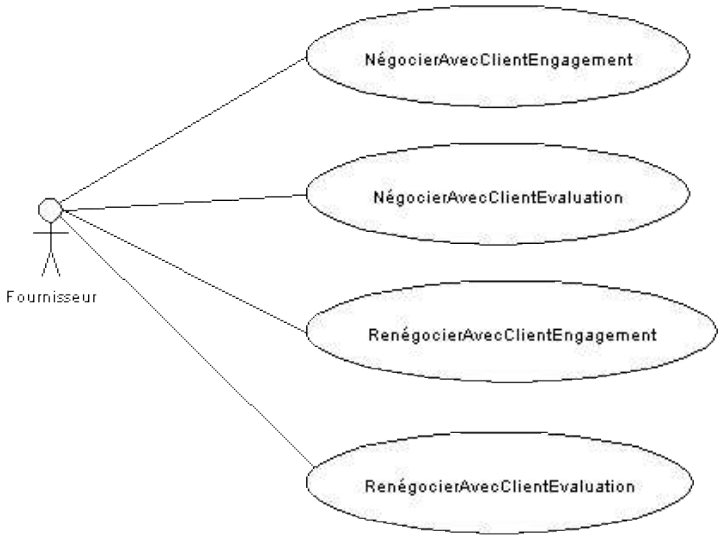

FIG. 6.6: Cas d'utilisation des fonctions Négocier et Renégocier point de vue fournisseur

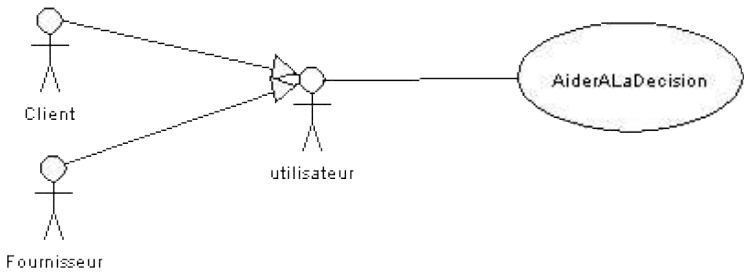

FIG. 6.7: Cas d'utilisation de l'aide à la décision

Comme nous l'avons évoqué dans le chapitre 5, l'objectif de l'aide à la décision est de montrer aux décideurs l'impact de l'insertion d'un nouveau cadre, ou de la modification d'un cadre vis-à-vis du respect des autres cadres de décision. En effet, un décideur étant libre de créer ou de modifier un cadre, l'aide à la décision lui permet de savoir dans quelle limite il peut le faire sans que cela soit pertubant pour les cadres de décision déjà existants. Ainsi, pour pouvoir prendre une décision, l'utilisateur doit pouvoir visualiser les impacts dus à l'insertion d'un nouveau cadre sur les cadres de décision déjà existants.

Il doit également pouvoir modifier les cadres de décision déjà présents en développant une ou plusieurs stratégies. Ces stratégies sont mémorisées dans un arbre de décision pour lequel chaque noeud correspond à un état du sytème, et les arcs entre les noeuds à une décision qui provoque le changement du système. Grâce à cette arborescence le décideur peut visualiser les différentes décisions qui l'ont amené à un état donné. Nous revenons sur cette notion dans le paragraphe 7.2.

Interactions pour la fonction coordonner

Dans le chapitre 3, nous avons vu que le processus de coordination correspond à un échange d'informations permettant aux acteurs de se synchroniser et favoriser ainsi l'émergence de comportements coopératifs.

Un utilisateur, qu'il soit client ou fournisseur, reçoit des messages concernant les délais et les quantités afférant aux commandes en cours. Il peut également envoyer des messages de même type, ces messages pouvant être générés automatiquement sur la base des clauses du contrat de coopération. Enfin un utilisateur peut visualiser à chaque instant les cadres de décision et les courbes cumulées de mise à disposition et de besoins en composant. La figure 6.8 illustre par un diagramme de cas d'utilisation la fonction *coordonner*.

La fonction *ConsulterContratCooperation* permet à l'utilisateur, qu'il soit client ou fournisseur, de consulter les clauses des contrats de coopération concernant ses partenaires.

La fonction *EditerEnvoyerInformation* permet à l'utilisateur d'éditer et d'envoyer un

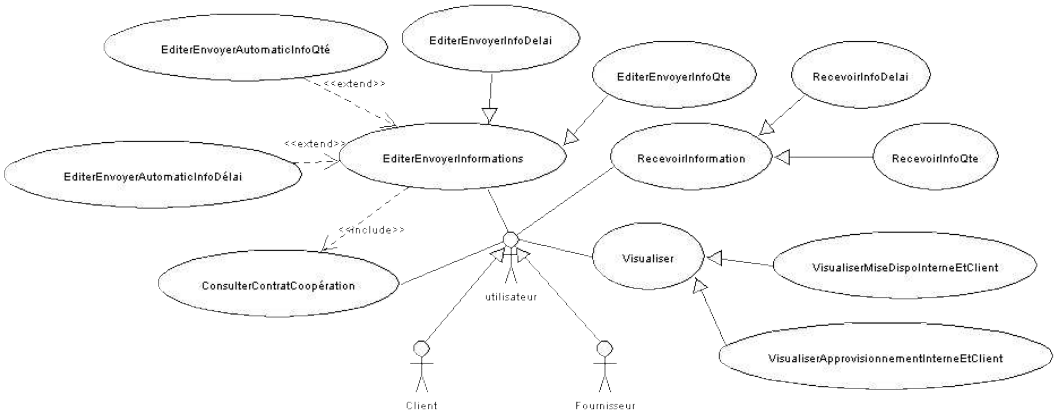

FIG. 6.8: Cas d'utilisation de la fonction coordonner

message d'information à un de ses partenaires afin de respecter le cadre de coordination défini dans le contrat de coopération.

Les fonctions *EditerEnvoyerInfoQté* et *EditerEnvoyerInfoDélai* permettent à l'utilisateur d'envoyer ou d'éditer des messages d'informations concernant respectivement les quantités ou les délais. Ces fonctions sont donc une spécialisation de la fonction *EditerEnvoyerInformation*.

Dans le cas où l'utilisateur a paramétré le module à cet effet, les fonctions *EditerEnvoyerAutomaticInfoQté* et *EditerEnvoyerAutomaticInfoDélai* éditent et envoient de façon automatique des messages d'informations concernant respectivement les quantités ou les délais. Ces fonctions sont donc une spécialisation respectivement de la fonction *EditerEnvoyerInformation*.

La fonction *RecevoirInformation* permet à l'utilisateur de recevoir un message d'information provenant d'un de ses partenaires.

Les fonctions *RecevoirInfoQté* et *RecevoirInfoDélai* permettent à l'utilisateur de recevoir un message d'information concernant respectivement des quantités ou des délais. Ces fonctions sont donc une spécialisation de la fonction *RecevoirInformation*.

La fonction *Visualiser* permet à l'utilisateur de visualiser les informations propres à son atelier de fabrication ou si il en a à sa disposition, les informations relatives à ses partenaires.

La fonction *VisualiserMiseDispoInterneEtClient* permet à l'utilisateur de visualiser les courbes de mise à disposition par produit et pour chacun de ses clients, et les courbes de mise à disposition prévues par ses fournisseurs, si ces derniers ont envoyé ce type d'information.

La fonction *VisualiserApprovisionnementInterneEtClient* permet à l'utilisateur de visualiser les courbes d'approvisionnement par produit et pour chacun de ses fournisseurs, et

les courbes d'approvisionnement prévues par ses clients, si ces derniers ont envoyé ce type d'information.

Ces deux fonctions sont donc une spécialisation de la fonction *Visualiser*.

6.2 Analyse des besoins fonctionnels

Cette partie décrit le comportement du système quant à la réalisation des fonctions. L'aspect dynamique d'un système peut être représenté par des diagrammes d'interaction, de la notation UML, qui mettent l'accent sur les relations entre les objets par les messages qui les relient. Parmi ces diagrammes, le diagramme de séquence permet de décrire de manière chronologique les envois de messages entre les objets. Il s'utilise en général pour décomposer les scénarii des cas d'utilisation en interactions entre objets qui communiquent, à l'aide de messages décrits chronologiquement.

6.2.1 Analyse des fonctions négocier et renégocier

Afin d'illustrer les caractéristiques temporelles de l'outil, nous avons choisi de réaliser un diagramme de séquences pour chacune de ses fonctions. De plus, l'initiateur d'un processus de négociation ou de renégociation pouvant être un client ou un fournisseur, nous avons établi un diagramme de séquences pour chacune de ces possibilités.

Les figures 6.9 et 6.10 illustrent un exemple de négociation pour engagement entre un client et un fournisseur, lorsque respectivement le client est l'initiateur du processus de négociation pour engagement, et le fournisseur est l'initiateur du processus de négociation pour engagement.

Le scénario décrit dans la figure 6.9 suppose qu'un fournisseur élabore une contre-proposition à la proposition initiale du client, ce dernier acceptant cette contre-proposition.

Le scénario décrit dans la figure 6.10 suppose que la conversation, initiée par le fournisseur, soit conclue par une acceptation du client après une modification de la proposition initiale par le fournisseur.

Les figures 6.11 et 6.12 illustrent un exemple de négociation pour évaluation, entre un client et un fournisseur, lorsque respectivement le client est l'initiateur du processus de négociation pour évaluation et le fournisseur est l'initiateur du processus de négociation pour évaluation.

Le scénario décrit dans la figure 6.11 suppose que la conversation initiée par le client se termine par une acceptation directe du fournisseur.

Le scénario décrit dans la figure 6.12 suppose que la conversation initiée par le fournisseur se termine par un refus direct du client.

Les figures 6.13 et 6.14 illustrent un exemple de renégociation pour engagement entre un client et un fournisseur, lorsque respectivement le client est l'initiateur du processus de re-

négociation pour engagement et le fournisseur est l'initiateur du processus de renégociation pour engagement.

Le scénario décrit dans la figure 6.13 suppose que le système relatif au *service vente* du fournisseur détecte un aléa (par exemple le non respect d'un cadre de décision d'un client). Suite à cet aléa, le fournisseur élabore une stratégie de réaction qui le conduit à émettre une proposition pour renégociation ferme avec un de ses clients. Ce scénario suppose que le client refuse cette renégociation.

Le scénario décrit dans la figure 6.14 suppose que le système relatif au *service achat* du client détecte un besoin en composants. Le client élabore une stratégie qui prévoit d'envoyer une proposition de renégociation à un fournisseur. Le scénario prévoit que ce dernier émet une contre-proposition, qui est acceptée par le client.

Les figures 6.15 et 6.16 illustrent un exemple de renégociation pour évaluation entre un client et un fournisseur, lorsque respectivement le client est l'initiateur du processus de renégociation pour évaluation et le fournisseur est l'initiateur du processus de renégociation pour évaluation.

Le scénario décrit dans la figure 6.15 suppose que le système relatif au *service vente* du fournisseur détecte un aléa. Suite à cet aléa, le fournisseur élabore une stratégie de réaction qui le conduit à émettre une proposition de renégociation pour évaluation avec un de ses clients. Ce scénario suppose alors que le client accepte cette proposition de renégociation.

Le scénario décrit dans la figure 6.16 suppose que le système relatif au *service achat* du client détecte un besoin en composants. Le client élabore une stratégie qui prévoit d'envoyer une proposition de renégociation pour évaluation à un fournisseur. Le scénario prévoit que ce dernier refuse cette proposition de renégociation.

6.2.2 Analyse de l'aide à la décision

L'aide à la décision dans l'outil de coopération correspondant à un module à part entière, il s'avère important de décrire également sa dynamique. Le diagramme de séquence présenté sur la figure 6.17 illustre, par exemple, le cas où, suite à une proposition de la part d'un de ses clients, un fournisseur accepte une proposition en utilisant l'aide à la décision.

Ce scénario suppose qu'un client envoie une proposition de négociation. Le fournisseur, pour estimer s'il peut effectuer cette nouvelle commande, utilise l'aide à la décision. Au vu des contraintes de son entreprise, l'aide à la décision l'aide à caractériser un cadre. Ce cadre ne correspondant pas totalement à la proposition initiale, le fournisseur utilise à nouveau l'aide à la décision pour ajuster ce cadre. Le scénario suppose que le fournisseur est satisfait de ces décisions et qu'il accepte donc la proposition émise par son client.

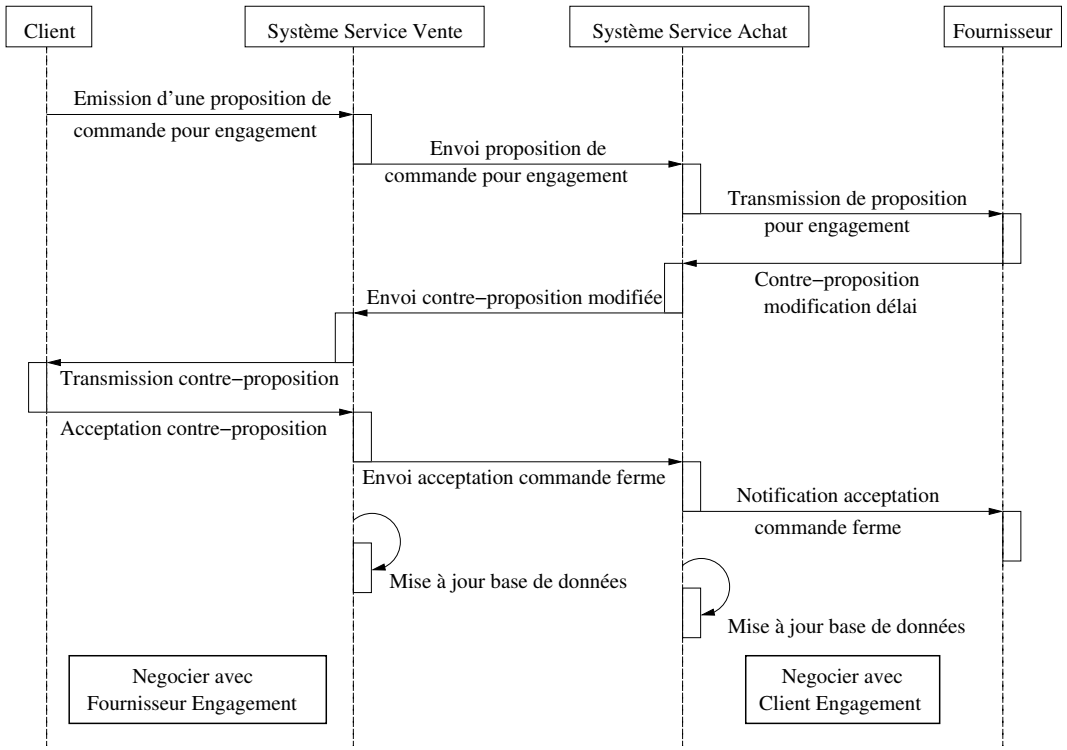

FIG. 6.9: Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEngagement et NegocierAvecFournisseurEngagement quand le client est l'initiateur

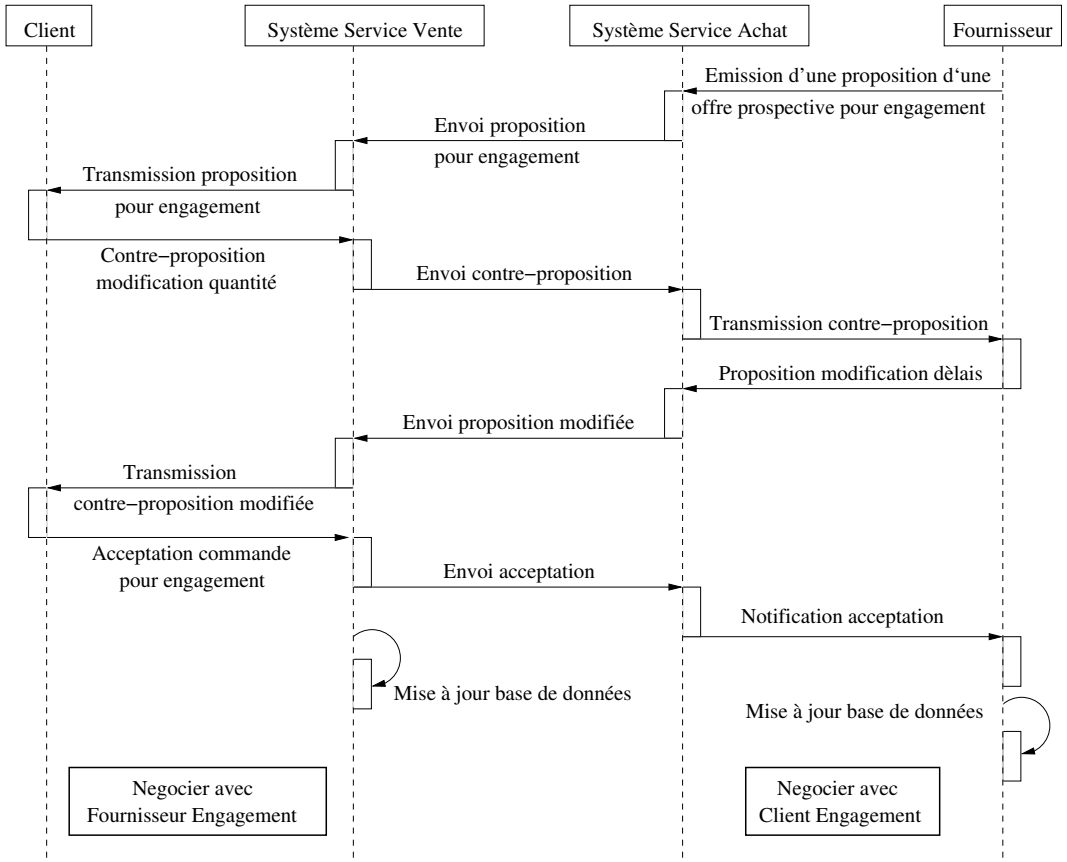

FIG. 6.10: Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEngagement et NegocierAvecFournisseurEngagement quand le fournisseur est l'initiateur

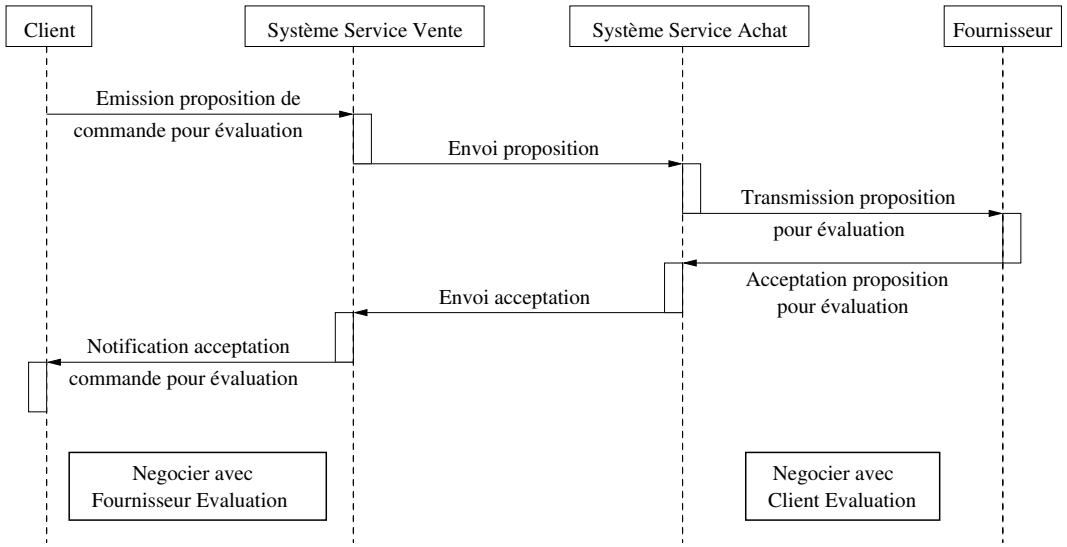

FIG. 6.11: Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEvaluation et NegocierAvecFournisseurEvaluation quand le client est l'initiateur

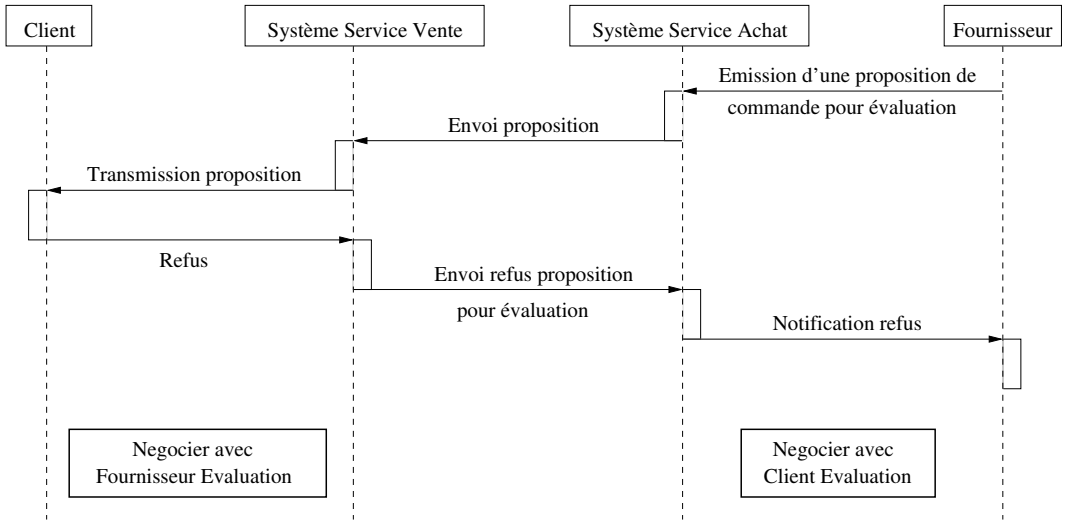

FIG. 6.12: Diagramme de séquences des cas d'utilisation NegocierAvecClientEvaluation et NegocierAvecFournisseurEvaluation quand le fournisseur est l'initiateur

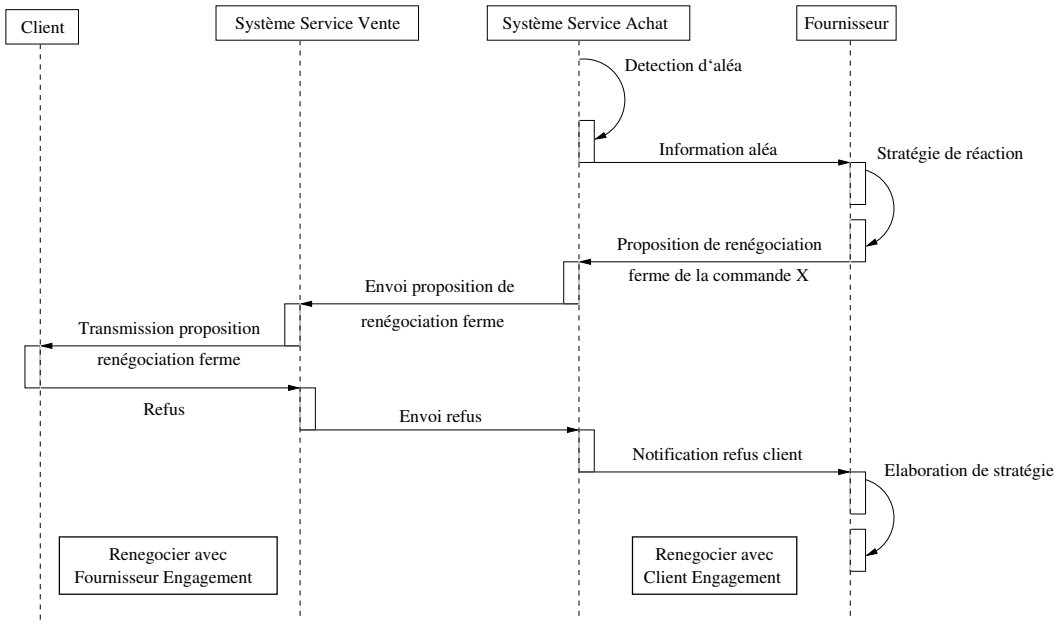

FIG. 6.13: Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEngagement et RenegocierAvecFournisseurEngagement quand le client est l'initiateur

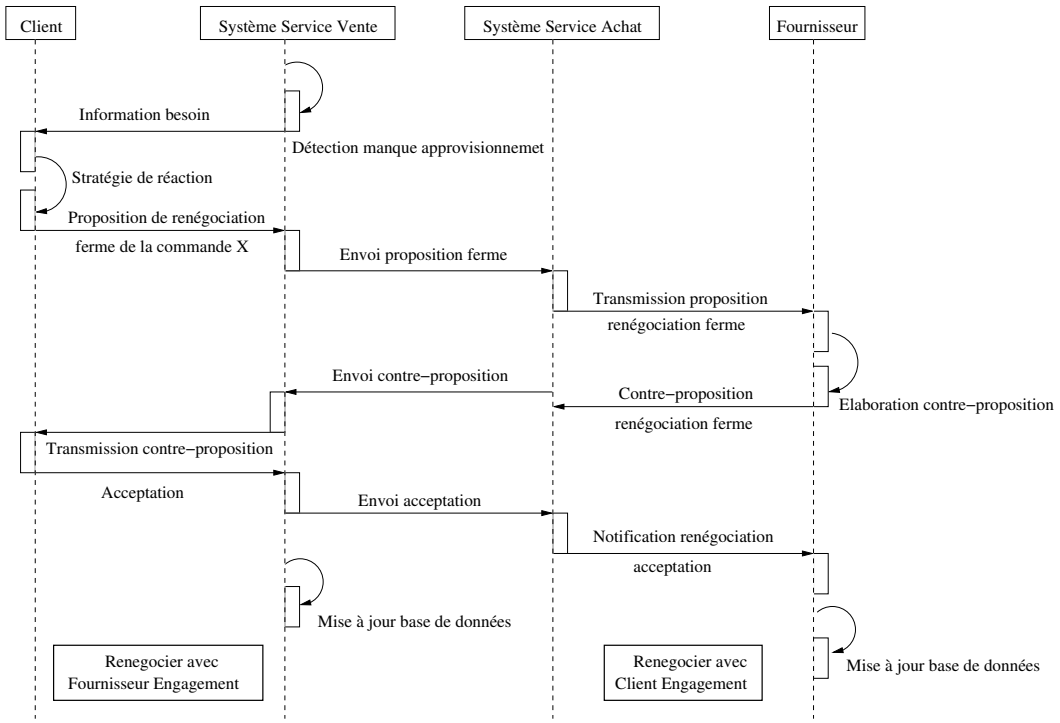

FIG. 6.14: Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEngagement et RenegocierAvecFournisseurEngagement quand le fournisseur est l'initiateur

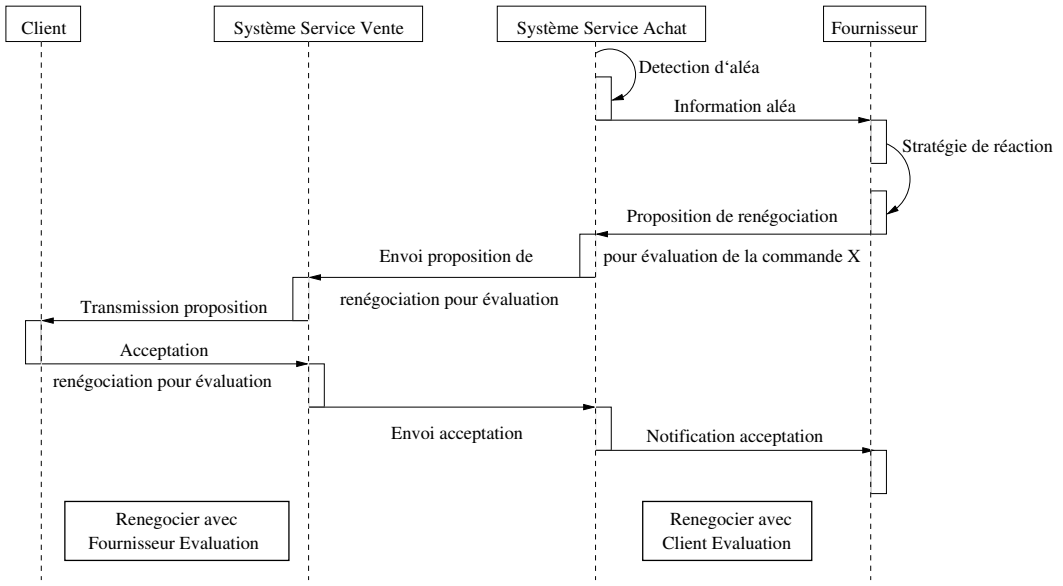

FIG. 6.15: Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEvaluation et RenegocierAvecFournisseurEvaluation quand le client est l'initiateur

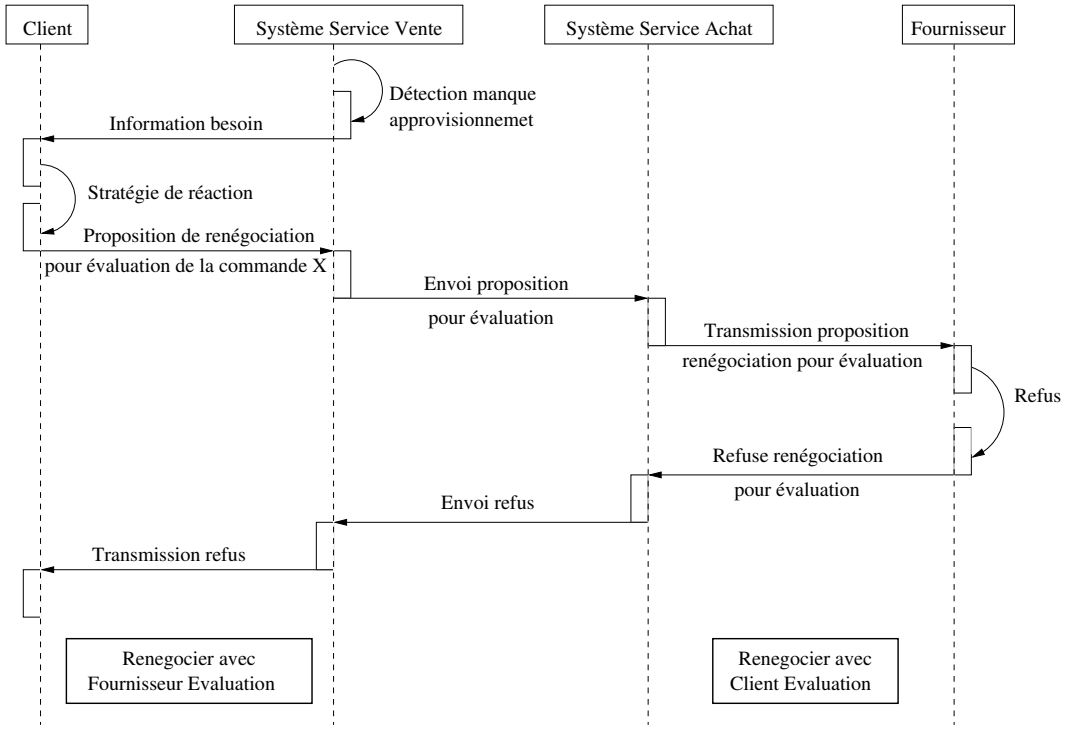

FIG. 6.16: Diagramme de séquences des cas d'utilisation RenegocierAvecClientEvaluation et RenegocierAvecFournisseurEvaluation quand le fournisseur est l'initiateur

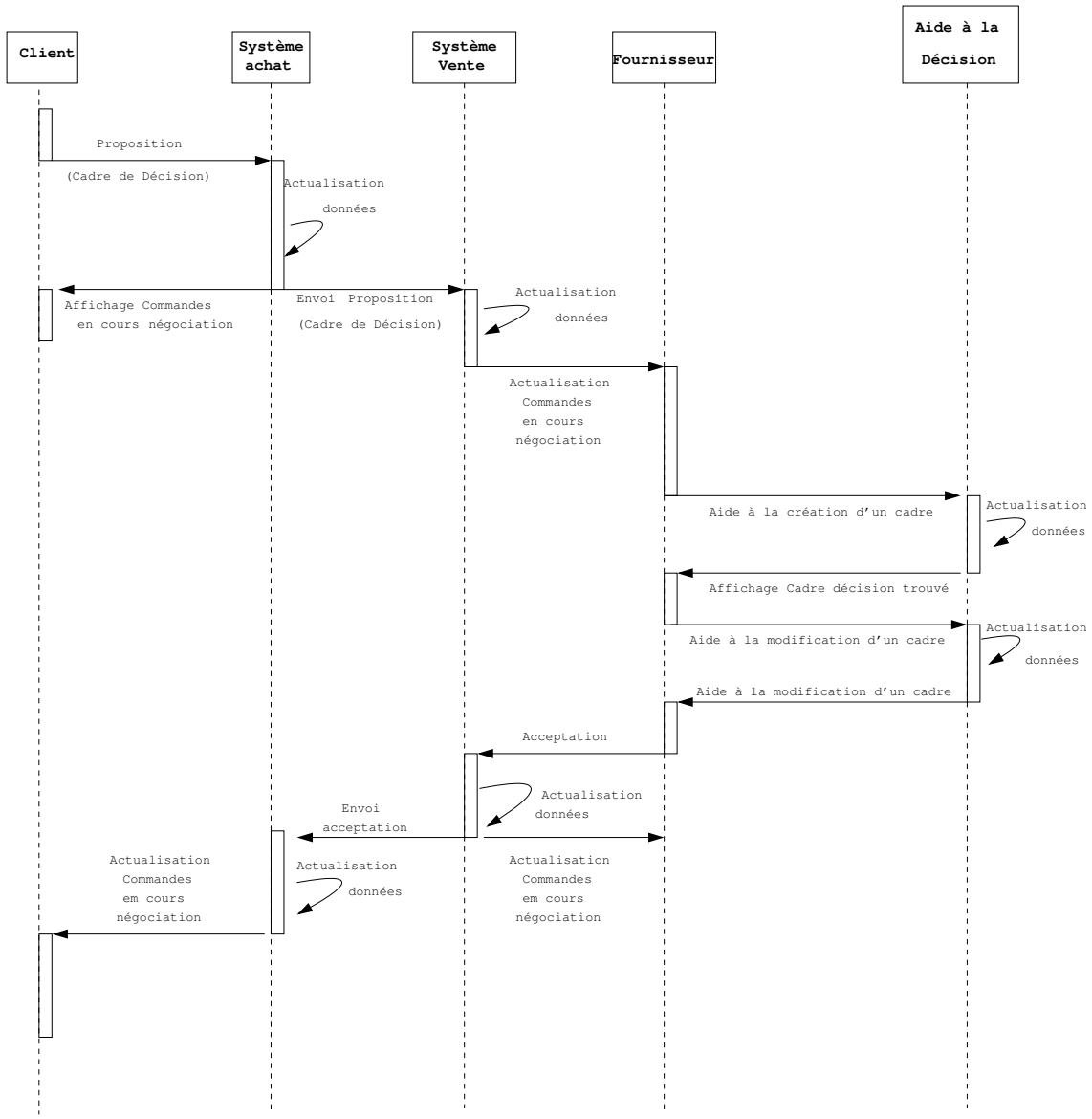

FIG. 6.17: Diagramme de séquences du cas d'utilisation AideDecision

6.3 Conception du prototype

Cette partie s'intéresse à la conception du prototype mettant en œuvre les besoins fonctionnels identifiés dans la partie précédente. Nous présentons les hypothèses et les choix techniques qui ont été retenus pour réaliser une première version de l'outil d'aide à la coopération. Cette partie présente également les premiers stades de la conception qui nous ont permis de définir une architecture logicielle orientée-objets.

6.3.1 Hypothèses de travail et choix techniques

Afin de mettre en œuvre à court terme, un prototype de démonstration pour l'aide à la coopération inter-entreprises, des hypothèses ont été émises pour se consacrer uniquement à la réalisation de fonctions jugées essentielles.

Tout d'abord, la gestion des droits d'accès des utilisateurs n'a pas été prise en compte. Ainsi pour la version du prototype, tout utilisateur a tous les droits d'accès et de modification des commandes et des contrats.

Ensuite, dans l'idéal, l'outil de coopération doit être capable d'actualiser automatiquement les commandes qui sont en cours ou non et d'archiver les commandes terminées au fur et à mesure de l'avancée de la production. Dans un souci de simplification, cette gestion automatique des dates de validité des différentes commandes n'a pas été prise en compte.

La gestion des contrats a été limitée à leur représentation et modification. De plus, la création ou la modification des cadres de décision sont réalisées sans vérifier que le contrat de coopération est bien respecté.

Nous n'avons considéré que des propositions ou contre-propositions pour engagement ferme. Les conversations pour évaluation ont été écartées. Cependant, à court terme, il apparaît nécessaire de les prendre en compte puisqu'un utilisateur doit pouvoir tester la faisabilité d'une ou plusieurs stratégies de décision, avant de s'engager de façon ferme.

Nous supposons également que l'horizon de décision est discrétisé en périodes de longueur fixe. Dans une version plus élaborée, la longueur des périodes pourrait augmenter progressivement dans le temps de sorte à avoir une vision précise à court terme de la production, et une vision plus agrégée à long terme.

Enfin, dans un premier temps, les interfaces de l'aide à la décision ont été développées pour un utilisateur de type fournisseur. La vision client de l'aide à la décision, relativement symétrique, sera développée dans un deuxième temps.

Pour réaliser le prototype, nous avons choisi d'utiliser le langage *ADA* et sa librairie graphique *GtkADA* pour la réalisation des interfaces logicielles, et le langage ECL^iPS^e pour la mise en œuvre de l'aide à la décision.

Le langage Ada est reconnu pour la production de logiciels à très haut niveau de fiabilité. Le langage est en effet utilisé en avionique, pour la fusée Ariane, en conduite ferroviaire (train, métro)... Un avantage reconnu de ce langage réside dans la possibilité de découvrir,

des erreurs conceptuelles dès la phase de compilation, alors qu'on les découvrirait plus tard avec un autre langage, ce qui rend le développement plus aisé. Outre ses avantages, le langage Ada a été choisi pour réaliser ce travail car nous disposions d'un savoir-faire important au sein du laboratoire.

GtkAda est un ensemble d'outils (toolkit) graphiques permettant de réaliser en Ada des interfaces utilisateurs (G.U.I.) de qualité. GtkAda s'appuie sur Gtk+[2]. Gtk+ est lui même un toolkit graphique utilisant un ensemble de bibliothèques développées en C. GtkAda constitue donc une sur-couche du C pour réaliser cet objectif. Le portage de Gtk+ existe aussi pour de très nombreux langages (Eiffel, C++, JavaScript, Pascal, Perl, Python...). GtkAda est formé de trois hiérarchies reflétant les librairies de Gtk+ : Glib, Gdk et Gtk. Glib exporte les types simples utilisés par les autres librairies et calqués sur les types de C ainsi que des types listes et arbres. Gdk est la librairie de dessin et Gtk celle des objets du type fenêtre, bouton, menu...

Il existe trois grands types d'outils pour mettre en œuvre la programmation avec contraintes :

- Les outils dédiés à un type de problèmes/applications tiennent leur efficacité à leur caractère dédié.
- Les langages généraux intégrant des mécanismes de propagation de contraintes sont essentiellement des langages de programmation logique avec contraintes(PLC) ([Fages 96], [Fron 94]) dont $CHIP$, ECL^iPS^e et $CLP(R)$ sont les plus connus. Ce sont des langages déclaratifs basés sur le langage Prolog.
- Les bibliothèques C++ (ex : Ilog solver)ou Java (Java Constraint Programming) de programmation avec contraintes fournissent, en langage impératif, des mécanismes issus de la programmation logique avec contraintes.

Les langages de PLC sont agréables à utiliser de par leur nature déclarative (on écrit le problème simplement en déclarant les contraintes à satisfaire) et de par la puissance et la généralité des mécanismes sous-jacents ($CHIP$ et ECL^iPS^e intègrent par exemple le simplexe pour les contraintes linéaires). On peut ainsi très facilement écrire des programmes mettant en oeuvre des stratégies complexes de résolution.

Il semble donc que la voie la plus facile et la plus générale à l'heure actuelle pour faire de la programmation avec contraintes soit d'utiliser un langage de PLC tel qu'ECL^iPS^e (gratuit), de préference à $CHIP$ (payant). Notre choix s'est porté sur ECL^iPS^e.

6.3.2 Diagramme de classes

L'analyse du besoin fonctionnel a permis d'obtenir deux diagrammes de classes. Ces diagrammes sont présentés sur les figures 6.18 et 6.19 et décrivent l'architecture des deux outils instrumentant la coopération : celui associé au *service vente* et celui associé au *service achat*.

[2]GIMP ToolKit

Ces diagrammes étant relativement similaires, nous avons regroupé l'explication des différentes classes ci-après.

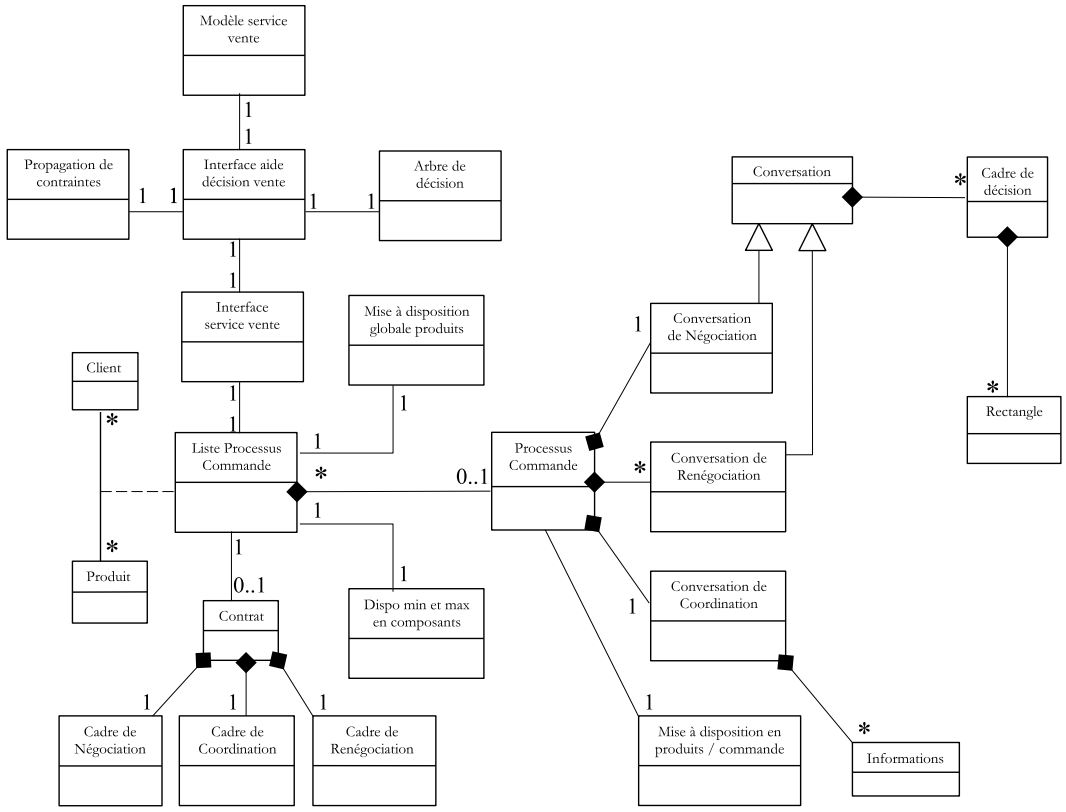

FIG. 6.18: Diagramme de classe pour l'outil instrumentant le *service vente*

– **La classe client** : Elle représente un client dans le cadre de la coopération inter-entreprises, ses attributs sont le nom du client ainsi que la liste de processus commandes pour chaque produit.

– **La classe fournisseur** : Elle représente un fournisseur dans le cadre de la coopération inter-entreprises, ses attributs sont le nom du fournisseur ainsi que la liste de processus approvisionnements pour chaque composant.

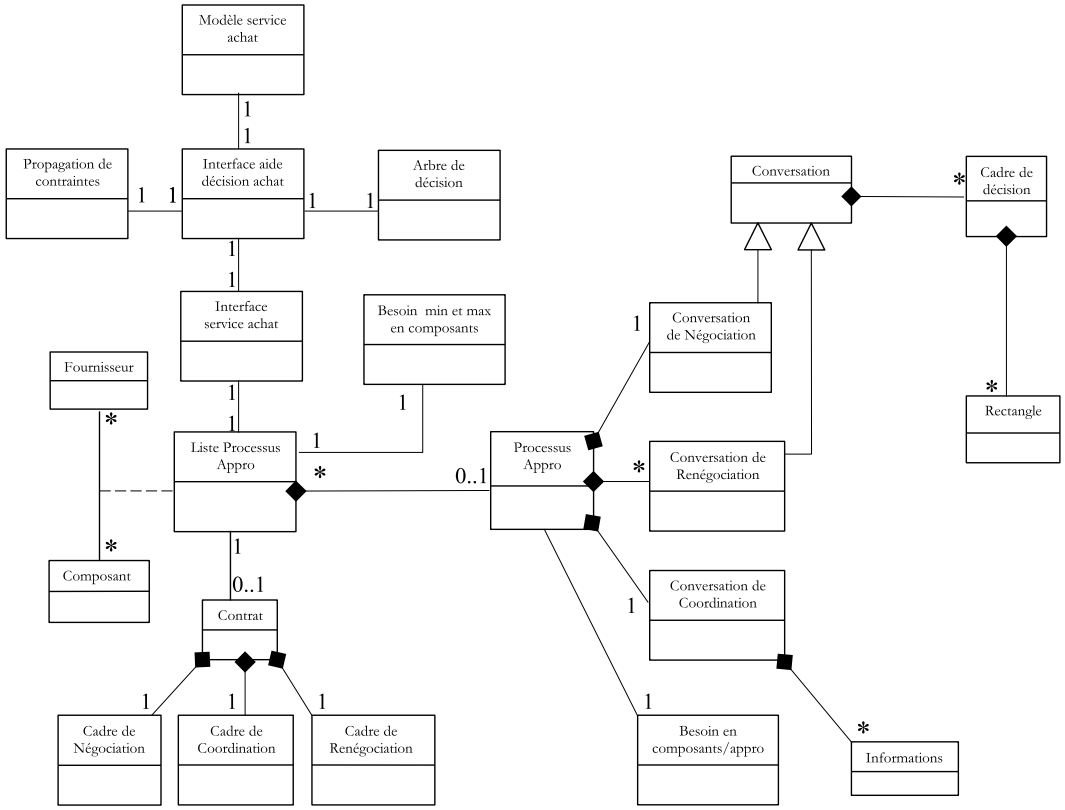

FIG. 6.19: Diagramme de classe pour l'outil instrumentant le *service achat*

– **La classe Produit** : Elle représente un produit dans le cadre de la coopération inter-entreprises, ses attributs sont le nom du produit ainsi que la liste de processus commandes pour chaque client.

– **La classe Composant** : Elle représente un composant dans le cadre de la coopération inter-entreprises, ses attributs sont le nom du composant ainsi que la liste de processus approvisionnements pour chaque fournisseur.

– **La classe Liste Processus Commande** : Elle représente une liste de processus commandes dans le cadre de la coopération inter-entreprises. De manière plus concrète, elle représente l'ensemble des commandes émises par le client i concernant

le produit j, régies ou non par le contrat k ; ses attributs sont un pointeur sur le client, un pointeur sur le produit, un pointeur sur le contrat et un (ou plusieurs) pointeur(s) sur le(s) processus commande.

- **La classe Liste Processus Approvisionnement** : Elle représente une liste de processus approvisionnement dans le cadre de la coopération inter-entreprises. De manière plus concrète, elle représente l'ensemble des commandes émises vers le fournisseur i concernant le composant j, régies ou non par le contrat k ; ses attributs sont un pointeur sur le fournisseur, un pointeur sur le composant, un pointeur sur le contrat et un (ou plusieurs) pointeur(s) sur le(s) processus approvisionnement.

- **La classe contrat** : Elle représente un contrat liant un client (un fournisseur) et un produit (un composant) dans une vision stratégique ; ses attributs sont un numéro de contrat, une importance donnée au client (au fournisseur), un cadre de négociation, un cadre de renégociation, un cadre de coordination et enfin, une liste de processus commandes (approvisionnement) représentant l'ensemble des commandes pour lesquelles le contrat est mis en jeu. Nous pouvons noter que l'importance donnée au client n'est pas exploitée au sein de l'aide à la décision, mais elle peut éventuellement guider les décideurs dans leur choix.

- **La classe cadre de négociation** : Elle représente le cadre de négociation d'un contrat, c'est à dire les quantités minimales et maximales que l'on peut commander, le délai minimal et maximal correspondant, ainsi que le prix minimal et maximal par produit.

- **La classe cadre de coordination** : Elle représente le cadre de coordination d'un contrat, c'est à dire le cadre régissant le protocole de communication lorsqu'une proposition a été acceptée par les deux partenaires, après une phase de négociation ou de renégociation. Cette classe permet de spécifier le type de communication qui peut être de deux natures : périodique et /ou par seuils. La période est spécifiée en nombre d'heures entre chaque envoi alors que les seuils représentent des moments " clés ". La nature de l'information échangée peut être de trois types différents selon qu'elle porte sur les quantités, les délais ou les coûts ; l'utilisateur étant libre de spécifier des seuils et des périodes différents pour chaque type d'information.

- **La classe cadre de renégociation** : Elle représente le cadre de renégociation d'un contrat, c'est à dire le cadre régissant le protocole de renégociation lorsque l'un des partenaires souhaite faire entrer le processus de coopération en phase de renégociation. Cette classe permet de spécifier les contraintes à respecter lorsque l'on émet une proposition ou une contre-proposition en phase de renégociation.

- **La classe processus commande** : Elle représente une commande émise par le client i concernant le produit j. Ses attributs sont : le nom de la commande, la conversation

de négociation, la liste des conversations de renégociation, la conversation de coordination, la courbe de mise à disposition en produits et le cadre de décision courant, correspondant à la dernière proposition acceptée.

- **La classe processus approvisionnement** : Elle représente une commande émise vers le fournisseur i concernant le composant j. Ses attributs sont : le nom de la commande, la conversation de négociation, la liste des conversations de renégociation, la conversation de coordination, la courbe de besoin en composant et le cadre de décision courant, correspondant à la dernière proposition acceptée.

- **La classe conversation de négociation** : Elle représente une suite de propositions, contre-propositions émises entre le fournisseur et son client. Elle n'a pas d'attributs particuliers, elle hérite de la classe conversation.

- **La classe conversation de renégociation** : Elle représente une suite de propositions, contre-propositions émises entre le fournisseur et son client. Elle n'a pas d'attributs particuliers, elle hérite de la classe conversation.

- **La classe conversation de coordination** : Elle représente une suite d'informations échangées entre le fournisseur et son client. Elle n'a pas d'attributs particuliers, un objet de type conversation de coordination est juste une liste d'objets de type information.

- **La classe informations** : Elle représente une information échangée dans le cadre de la coordination, spécifiant les quantités, délais, prix relatifs aux commandes en cours (soit mise à disposition, soit besoin).

- **La classe cadre de décision** : Elle représente un cadre de décision, c'est à dire un ensemble de rectangles et un prix minimal et maximal.

- **La classe rectangle** : Elle représente un engagement de mise à disposition par un fournisseur d'une quantité variable de produits dans une fenêtre temporelle, auprès de son donneur d'ordre. Ses attributs sont une date minimale et une date maximale représentant les abscisses du rectangle, et une quantité minimale et une quantité maximale représentant les ordonnées du rectangle.

- **La classe interface vente** : Elle correspond à l'interface graphique utilisée par un décideur du *service vente* qui gère une liste de processus commandes. Elle est en relation avec une aide à la décision.

- **La classe interface achat** : Elle correspond à l'interface graphique utilisée par un décideur du *service achat* qui gère une liste de processus approvisionnements. Elle est en relation avec une aide à la décision.

- **La classe interface aide décision vente** : Elle correspond à l'aide à la décision développée pour un centre de décision *service vente*. Ses attributs sont le modèle du centre de décision *service vente*, un arbre de décision et les mécanismes de propagation de contrainte.

- **La classe interface aide décision achat** : Elle correspond à l'aide à la décision développée pour un centre de décision *service achat*. Ses attributs sont le modèle du centre de décision *service achat*, un arbre de décision et les mécanismes de propagation de contrainte.

- **La classe arbre de décision** : Elle représente l'ensemble des décisions prises par un décideur. Cet arbre lui permet d'évaluer plusieurs stratégies.

- **La classe modèle service vente** : Elle correspond au modèle du centre de décision *service vente*.

- **La classe modèle service achat** : Elle correspond au modèle du centre de décision *service achat*.

- **La classe propagation de contrainte** : Elle intègre les mécanismes de propagation de contraintes qui sont utilisés par les décideurs pour élaborer, créer ou ajuster un cadre de décision.

Un client (fournisseur) peut commander zéro ou plusieurs produits (composants) et un produit (composant) peut être commandé par zéro ou plusieurs clients (fournisseurs). Un couple client-produit (fournisseur-composant) peut être associé à un ensemble de commandes. Un client (fournisseur) peut passer une commande pour un produit (composant) donné (commande ponctuelle) sans avoir défini au préalable un contrat (d'où la cardinalité 0). Un contrat, régissant l'association entre un client (fournisseur) et un produit (composant), est unique pour toutes les commandes de ce couple, d'où une association entre le contrat et la liste des processus commandes de cardinalité 1. Un contrat est composé exactement d'un cadre de négociation, d'un cadre de coordination et d'un cadre de renégociation, d'où les relations de compositions entre les différents cadres et le contrat. Il peut y avoir un contrat entre un client (fournisseur) et un produit (composant) sans pour autant qu'il y ait des commandes passées par le client (fournisseur) concernant le produit (composant), d'où la cardinalité 0 entre la liste de processus commandes (approvisionnements) et le processus commande (approvisionnement).

Un processus commande (approvisionnement) est une conversation de négociation, suivie d'une conversation de coordination (envoi de messages), et éventuellement de conversations de renégociations d'où les relations de composition et les cardinalités entre la classe processus commande et les classes conversations de négociation, de renégociation et de co-

ordination. Une conversation de coordination est une suite d'informations échangées entre le fournisseur et le client, c'est donc une liste d'informations d'où l'héritage de liste générique et la composition avec la classe informations. Une conversation de négociation et une conversation de renégociation sont une suite de propositions, contre-propositions ; elles héritent donc de conversation qui elle-même hérite de liste générique et est composée de cadres de décisions (un cadre de décision représente une proposition ou une contre-proposition). Un cadre de décision est une suite de rectangles, il est donc composé de zéro ou plusieurs rectangles.

L'interface service vente (service achat) gère une liste de processus commandes (approvisionnements) et dispose d'une interface d'aide à la décision. L'interface de l'aide à la décision nécessite l'utilisation de mécanismes de propagation de contraintes pour un modèle service vente (service achat). Elle nécessite également un arbre de décision qui mémorise toutes les décisions prises par le décideur. Un mécanisme de propagation de contraintes, un modèle service vente et un arbre de décision sont associés à une aide à la décision service vente (service achat).

Cette architecture logicielle permet de tracer la totalité du cycle de vie d'une commande depuis sa création jusqu'à son achèvement. Cette traçabilité inclue également toutes les informations concernant les relations de coopération entre les partenaires pour une commande donnée.

Le chapitre suivant décrit les interfaces qui ont été réalisées pour mettre en œuvre cette architecture.

Chapitre 7

Description des interfaces

Le chapitre précédent a présenté les besoins fonctionnels et la conception générale de l'outil de coopération des points de vue *service vente* et *service achat*. Ce chapitre présente et décrit les interfaces du prototype réalisées pour le centre de décision *service vente*. Les différentes fonctions de la coopération (négociation, renégociation et coordination), ainsi que la gestion des contrats de coopération, sont accessibles à partir d'onglets disponibles lors de l'exécution de l'outil de coopération. L'aide à la décision étant utilisée lors des processus de négociation et de renégociation, l'interface de l'aide à la décision est accessible à partir des interfaces de ces deux processus.

7.1 Interface pour la négociation et la renégociation

Les interfaces pour la négociation (figure 7.1) et pour la renégociation (figure 7.2) sont composées de trois parties.

La partie de gauche correspond à une arborescence qui peut être triée indifféremment par produit ou par client. Dans l'interface pour la négociation, l'arborescence regroupe les conversations des commandes en cours de négociation. Par exemple, sur la figure 7.1, trois commandes sont en cours de négociation. Dans l'interface pour la renégociation, l'arborescence regroupe les commandes en cours de réalisation, et le cas échéant les conversations liées aux processus de renégociation. Par exemple, sur la figure 7.2, un processus de renégociation est en cours pour la commande 0 du Client3.

Au centre, la partie graphique détaille la proposition ou la contre-proposition sélectionnée dans l'arborescence. Dans l'interface pour la négociation, sélectionner le dernier message ou sélectionner le nom de la commande correspond au même affichage. Par exemple sur la figure 7.1 l'utilisateur visualise les cadres de décision de la commande 3. Dans l'interface pour la renégociation, lorsque l'intitulé d'une commande est sélectionné, l'utilisateur visualise le cadre de décision associé à cette commande ainsi que les courbes de mise à disposition des produits si elles sont connues. Par exemple sur la figure 7.2, l'utilisateur

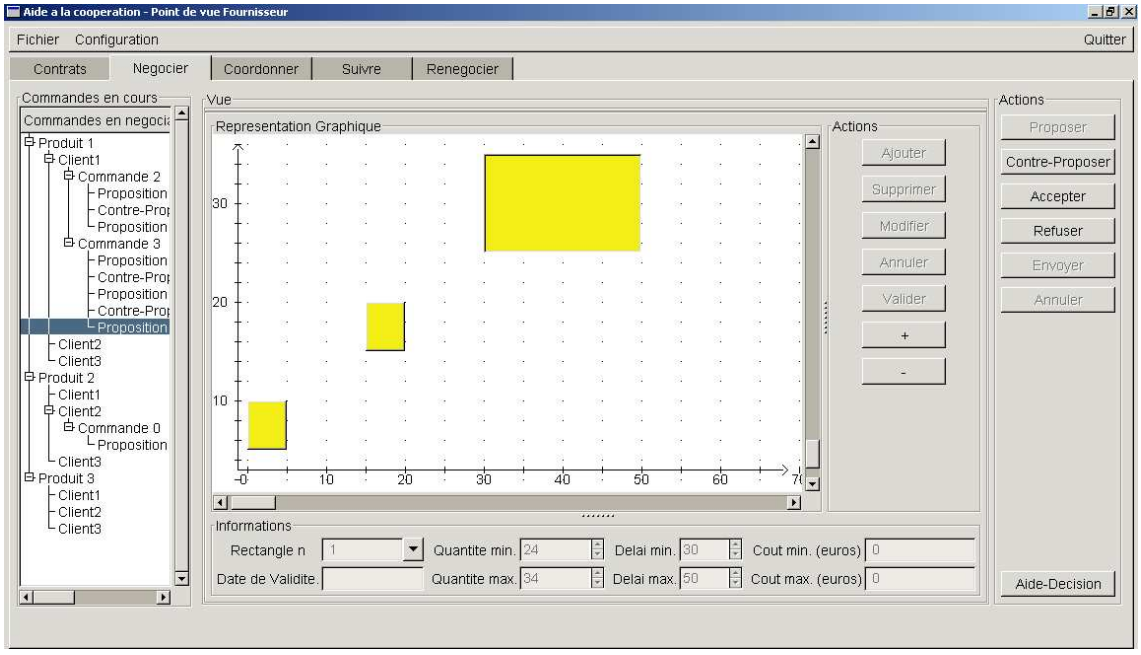

FIG. 7.1: Interface pour la négociation

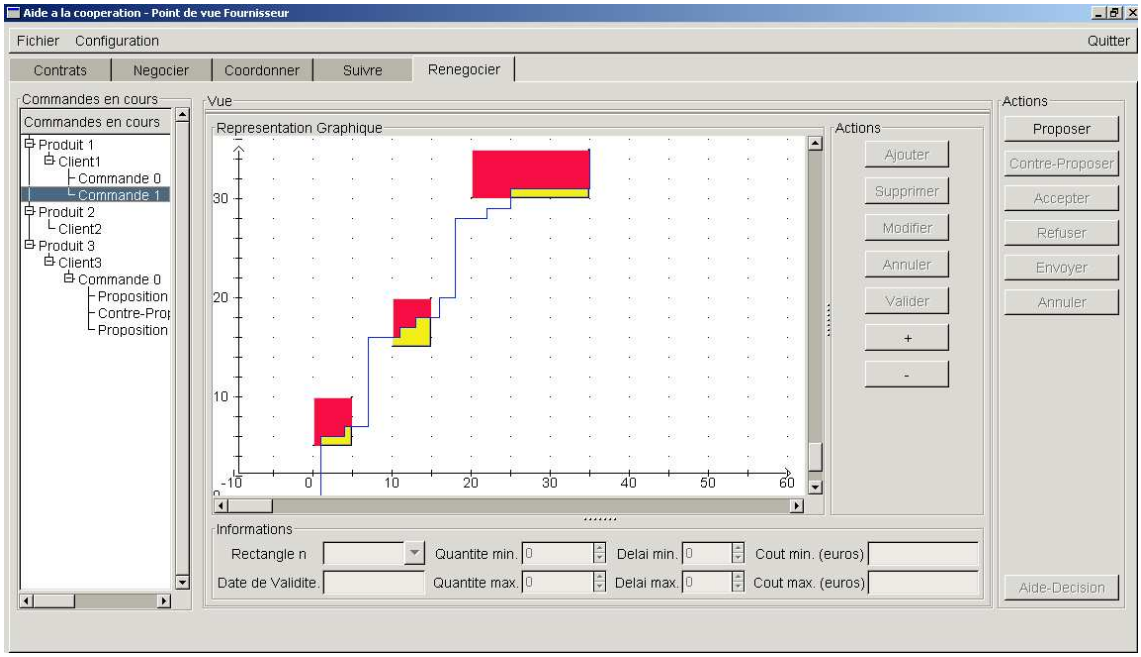

FIG. 7.2: Interface pour la renégociation

visualise les cadres de décision et les courbes de mise à disposition de la commande 1.

Le détail des cadres de décision est donné dans la partie information. Les données de chaque rectangle sont accessibles soit en sélectionnant le rectangle sur la zone graphique, soit en indiquant le numéro du rectangle dans la zone information. Par exemple dans la figure 7.1, le rectangle le plus à droite du cadre de décision de la commande 3 du client1 correspond à une mise à disposition d'une quantité comprise entre 24 et 34 produits pour un délai compris entre 30 et 50.

Enfin, la zone action de cette partie permet d'ajouter, de supprimer, ou de modifier un rectangle. Elle permet également, à l'aide des boutons + et − de zoomer, en avant ou en arrière sur la zone graphique.

La partie de droite recense les actions qu'il est possible de réaliser lors des processus de négociation ou de renégociation : émettre une proposition, émettre une contre-proposition, ou accepter ou refuser une proposition ou une contre-proposition émise par un des clients.

Pour élaborer des propositions ou des contre-propositions, l'utilisateur peut invoquer l'aide à la décision en appuyant sur le bouton *Aide-Decision*. L'appui sur ce bouton provoque l'ouverture de l'interface de l'aide à la décision présentée dans le paragraphe suivant.

7.2 Interface pour l'aide à la décision

L'aide à la décision du logiciel doit supporter deux fonctionnalités : permettre à l'utilisateur de répondre à une sollicitation de l'un de ses clients ou de ses fournisseurs ou de solliciter un de ses partenaires, en émettant une proposition ou une contre-proposition.

Pour pouvoir prendre une décision, l'utilisateur doit pouvoir visualiser les impacts correspondant à l'insertion d'un nouveau cadre sur les cadres de décision déjà existants. Il doit également pouvoir modifier les cadres de décision déjà présents en développant une ou plusieurs stratégies, mémorisées à l'aide d'un arbre de décision.

L'interface de l'aide à la décision permettant de réaliser ces fonctionnalités est composée de quatre parties (cf. figure 7.3).

La partie de gauche contient une arborescence des commandes en cours de réalisation. La partie de droite contient l'arbre des décisions qui ont été prises concernant le cadre de décision sur lequel l'utilisateur a demandé une aide à la décision. La gestion de l'arbre des décisions n'est pas à ce jour implémentée. La partie *Actions* permet de valider la décision prise ou de l'annuler. Elle permet également de lancer le module gérant les mécanismes de propagation de contraintes lors de l'appui sur le bouton *Aide Decision*.

La partie centrale est composée de deux zones. La zone *Cadre de decision de travail* contient le cadre de décision pour lequel l'utilisateur a effectué une aide à la décision, c'est-à-dire le cadre de décision sur lequel porte le processus de négociation ou de renégociation. La zone *Commandes en cours* contient la visualisation graphique de toutes les commandes

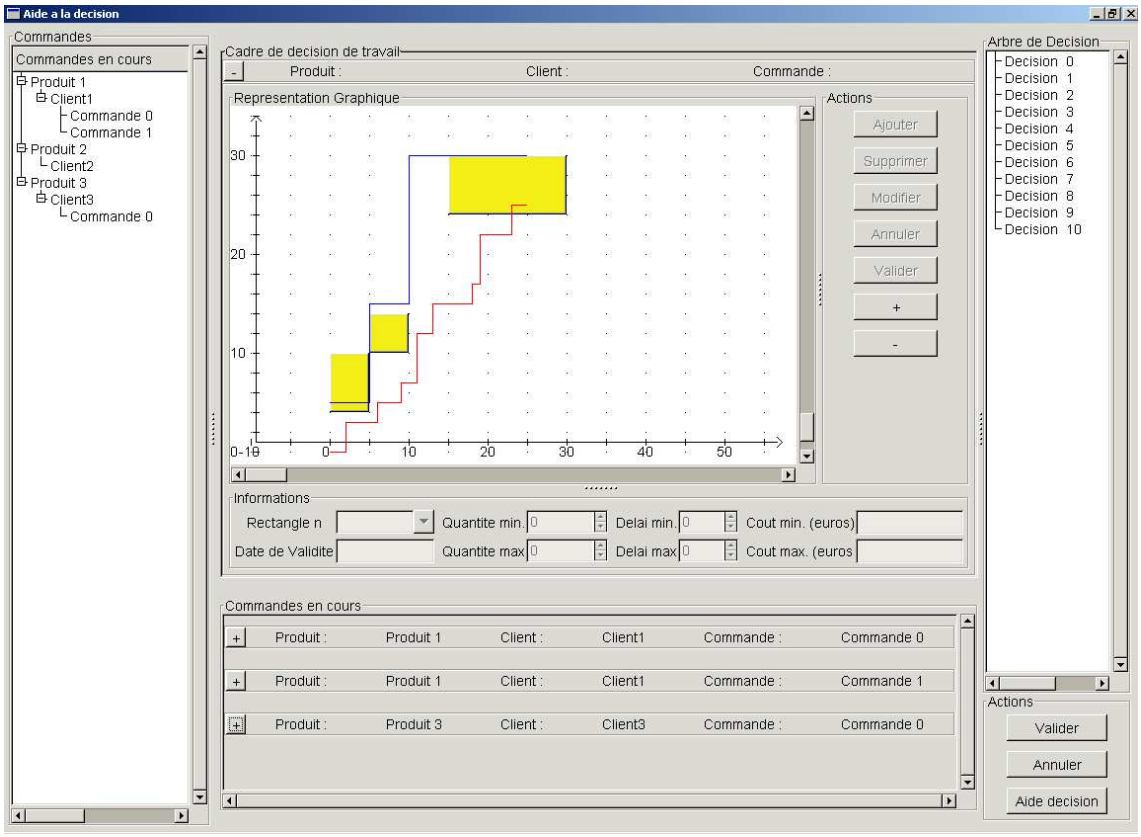

FIG. 7.3: Interface pour l'aide à la décision

qui sont en cours de réalisation. Les courbes de mise à disposition des commandes en cours sont également représentées. L'utilisateur peut les modifier puis appuyer sur le bouton *Aide Decision* de la zone action, afin de voir l'impact sur les courbes de production maximale et minimale du cadre de décision de travail.

Pour ne pas surcharger cette interface, la représentation graphique associée à un cadre de décision est visible seulement si l'utilisateur le demande en cliquant sur l'icône + de ce cadre de décision, dans le cas contraire seul un résumé des commandes en cours est disponible. Nous pouvons noter que la représentation graphique d'une commande en cours est également accessible en sélectionnant la commande dans l'arborescence. Sur la figure 7.3, la représentation graphique du cadre de décision de travail est visible, mais pas celles concernant les commandes en cours.

Notons également que dans la version actuelle du prototype la possibilité de renégocier les mises à disposition en composants avec le service achat, n'est pas offerte.

7.3 Interface pour la coordination

La coordination consiste en l'envoi de messages d'information. Ces messages peuvent être générés automatiquement comme l'illustre la figure 7.4 en respectant les règles du contrat de coopération. Ces informations peuvent concerner des délais, des quantités ou des prix.

L'interface pour la coordination présentée sur la figure 7.4 est composée de quatre parties.

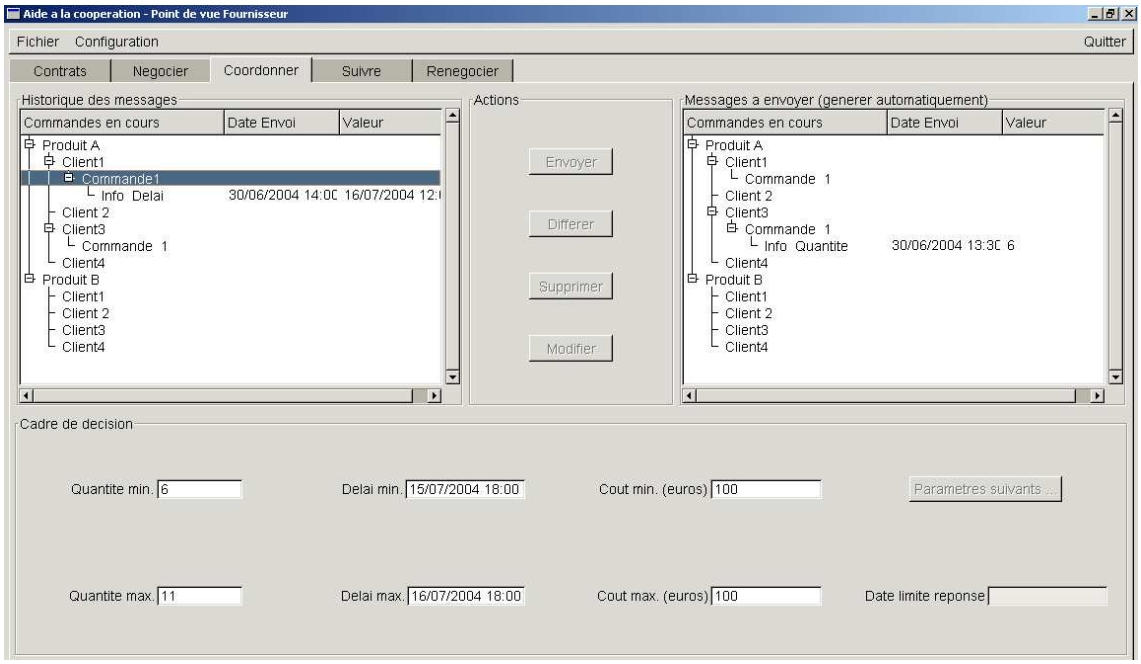

FIG. 7.4: Interface pour la coordination

La partie de gauche, nommée *Historique des messages*, contient une arborescence des messages qui ont été envoyés. Par exemple, sur la figure 7.4, le fournisseur a averti son client le 30 juin que la commande 1 sera livrée le 16 juillet à midi. Cette information concerne un délai. Dans l'arborescence le type des messages est également indiqué.

La partie de droite, nommée *Messages a envoyer*, contient une arborescence des messages à envoyer qui peuvent être générés automatiquement. Sur la figure 7.4, un message concernant la quantité de la commande 1 du client 3 a été préparé. Le décideur a le choix sur la gestion des messages générés à l'aide de la partie centrale (nommée *Action*) : soit il décide de les envoyer, soit de différer leur envoi, soit de les supprimer, soit de les modifier avant envoi. Les deux dernières correspondent bien sûr à des comportements non coopératifs.

La partie basse, *Cadre de décision*, permet de visualiser les informations du cadre de décision de la commande sélectionnée dans l'arborescence de la partie *Historique des messages*.

7.4 Interface pour le contrat de coopération

Chaque relation client-fournisseur étant gérée par un contrat de coopération, l'utilisateur peut visualiser, créer ou modifier un contrat à partir de l'interface 7.5. Cette interface est composée de trois parties.

La partie de gauche contient une arborescence représentant les clients et les produits liés par un contrat. La partie de droite indique les différentes actions disponibles sur le contrat sélectionné. La partie centrale détaille les informations du contrat que l'utilisateur a sélectionné dans l'arborescence.

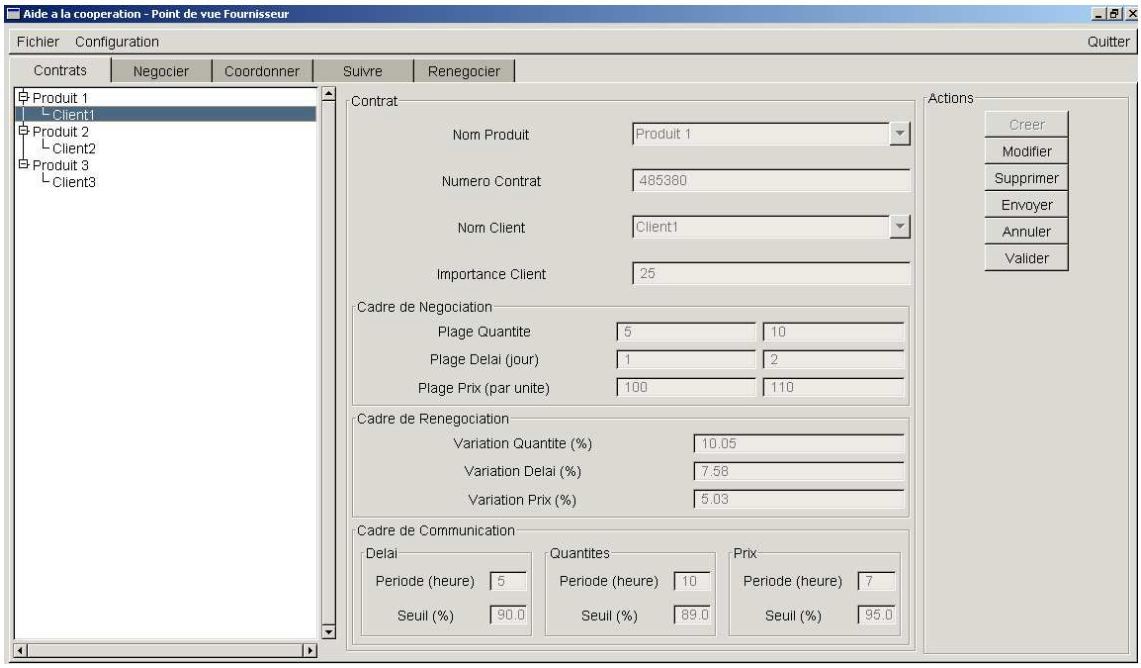

FIG. 7.5: Interface pour la gestion des contrats de coopération

Par exemple sur la figure 7.5, le contrat de coopération sélectionné concerne le fournisseur et son client 1 pour le produit 1.

Le cadre de négociation de ce contrat précise les paramètres de chaque commande établie entre ces deux acteurs. Elles devront contenir entre 5 et 10 pièces pour un délai variant entre 1 et 2 jours et pour un prix variant entre 100 et 110 euros par unité.

Le cadre de coordination prévoit qu'une information sur la quantité que le fournisseur a prévu de fournir à son client sera envoyée toutes les 10 heures ou dès que la quantité prévue sera différente de plus de 89% de la dernière quantité communiquée. La coordination concerne aussi les délais, communiqués toutes les 5 heures ou dès que le délai prévu est différent de plus de 90% du dernier délai communiqué. Enfin la coordination porte également sur les prix, communiqués toutes les 7 heures ou dès que le prix unitaire est modifié de plus de 95%.

Le cadre de renégociation précise que la variation maximale admise pour la quantité est de 10,05%, de 7,58% pour le délai et de 5,03% pour le prix.

Conclusion

L'instrumentation des processus de coopération et d'aide à la décision, décrits dans les parties précédentes, étant indispensable pour évaluer les performances de la coopération, cette partie a décrit l'architecture logicielle et les interfaces du prototype que nous avons développées.

Le premier chapitre s'est focalisé sur les interactions entre l'outil de coopération et son environnement qu'il soit logiciel ou humain. Nous avons présenté, à l'aide de diagrammes de séquences, quelques exemples de scénarii que le prototype doit être capable de satisfaire. Nous avons ensuite présenté les hypothèses que nous avons retenues en vue de réaliser un prototype au plus tôt. Enfin, nous avons présenté les architectures logicielles orientées objets pour un *service vente* et un *service achat*, résultantes des premières étapes de la conception.

Le deuxième chapitre a décrit les différentes interfaces développées pour le prototype d'aide à la coopération. Une interface générale a été présentée. Cette interface fait le lien entre toutes les interfaces relatives aux fonctions de la coopération.

Ce prototype permet, grâce à la phase de coordination, de mettre en évidence, au plus tôt, les dérives liées à la réalisation d'une commande. La réception, quasi-instantanée de messages, suite à un aléa, permet alors de faciliter la coopération entre les acteurs en évitant d'entamer des processus de renégociation trop tard.

Enfin, grâce à ce prototype, chaque décideur peut conserver un historique complet de chaque processus de coopération. Cet historique peut servir pour analyser l'efficacité d'une coopération concernant un partenaire, et le cas échéant, permet de faire évoluer la coopération de façon à ce qu'elle s'améliore en modifiant les clauses du contrat de coopération.

Le développement complet des interfaces est encore aujourd'hui en cours. Cette version provisoire de mémoire présente uniquement son état actuel. Une nouvelle présentation des interfaces sera proposée dans la version définitive, intégrant notamment la présentation de l'interface associée au *service achat* et une description plus précise du maniement des interfaces d'aide à la décision.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Ce travail aborde le problème de la coopération interentreprises au sein d'une chaîne logistique. L'objectif était, d'une part de caractériser la coopération inter-entreprises en répondant notamment aux questions : qui coopèrent ? quand coopérer ? comment coopérer ? et sur quoi coopérer ? D'autre part, il s'agissait également de fournir une aide à la décision pour la coopération, instrumentée au sein d'un prototype réaliste, susceptible de favoriser les comportements coopératifs.

Ce travail propose une structuration de la relation de coopération dans le cadre de la production à la commande en se focalisant sur la relation client - fournisseur. La formalisation de la coopération proposée s'appuie principalement sur la notion de cadre de décision. Un cadre de décision est défini pour une commande concernant un produit fini donné. Il permet de tendre les flux de production en amenant les acteur à expliciter davantage et à mieux dimensionner les marges que chacun se réservent tout en préservant l'autonomie de chaque acteur, ce qui procure une plus grande robustesse pour la réalisation de la commande. Ce cadre de décision peut également évoluer dynamiquement en fonction des besoins des partenaires.

Ce travail propose également une modélisation de chaque entreprise en trois centres de décision distincts représentant les fonctions principales d'une entreprise : la *gestion de production* qui regroupe toutes les fonctions classiques de la gestion de production d'une entreprise, le *service vente* qui gère les relations avec les clients de l'entreprise et les fournisseurs de l'entreprise. Une coopération intra et interentreprises peut alors être envisagée entre chaque centre de décision. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux relations inter-entreprises et intra-entreprise liant les centre de décisions *service vente* et *service achat* pour lesquelles une instrumentation de la coopération a été proposée.

Nous avons choisi d'assimiler la coopération à la mise en œuvre de trois fonctions distinctes : négocier, renégocier et coordonner. La négociation et la renégociation sont réalisées à l'aide de conversations asynchrones, fondées sur l'échange de propositions et de contre-propositions, visant à déterminer un cadre de décision accepté par les deux partenaires. La coordination consiste en l'envoi de messages informatifs, à des moments clés ou dès qu'un

aléa se produit, et permet de synchroniser les partenaires. Ces messages concernent les caractéristiques quantitatives et temporelles liées à une commande, aussi bien en termes de besoins du client, qu'en termes de mise à disposition des produits du fournisseur. La phase de coordination met ainsi en évidence les dérives d'une commande relativement au cadre de décision initial. Elle rend donc plus aisée la détection au plus tôt des incohérences, et incite à l'émergence de comportements coopératifs proactifs, puisqu'elle incite les acteurs à anticiper les problèmes. Le mode de coopération est donc de type asynchrone et point à point, ce type de relation nous paraissant en effet plus souple et plus facile à implanter sur site.

Pour guider les décideurs lors de l'élaboration des cadres de décision relatifs aux processus de coopération, une aide à la décision est nécessaire puisqu'il est difficile de déterminer a priori quel est le meilleur cadre de décision étant donné un contexte particulier. Pour formaliser cette aide à la décision, nous avons proposé, pour chaque centre de décision, un modèle linéaire basé sur une décomposition du temps en périodes. Les informations relatives aux approvisionnements, à la production et aux cadres de décision sont modélisées par des contraintes restreignant les valeurs des variables du modèle de coopération. L'aide à la décision est alors fondée sur des mécanismes de propagation de contraintes sur ces modèles qui permettent de caractériser un espace de décisions possibles, aussi bien du point de vue d'un client que de celui d'un fournisseur.

Nous avons aussi proposé que la relation de coopération soit régie par un contrat de coopération, définissant les droits et devoirs de chaque partenaire. Les clauses du contrat peuvent différer selon l'horizon temporel correspondant à la commande considérée. Le pouvoir de décision étant réparti de façon homogène, chaque acteur reste libre de remettre en cause des décisions, dans la limite de ce que lui permet le contrat. Nous pensons ainsi que cette approche permet réellement aux acteurs de vivre la coopération, non comme une contrainte supplémentaire, mais comme une façon de travailler plus efficace.

Un prototype logiciel permettant d'instrumenter la relation de coopération client - fournisseur a été développé. Cet outil permet notamment de gérer les diverses conversations intervenant dans les processus de négociation et de renégociation, et offre une visualisation graphique des cadres de décision. Ceci constitue un outil précieux pour saisir, en un seul coup d'oeil, l'état courant et les caractéristiques d'une commande. Les inconvénients d'un système où les informations foisonnent, mais où il est difficile de se repérer et de comprendre ce qui se passe, sont donc ainsi évités.

De plus, cet outil permet de conserver la trace complète de l'élaboration à l'archivage de chaque commande, de façon structurée, afin de pouvoir analyser à long terme, et pour chaque produit / composant, client / fournisseur, l'efficacité de la coopération. Un retour global est donc possible, ce qui permet, le cas échéant, d'agir sur la coopération , en modifiant les clauses des contrats de coopération ou en les enrichissant.

Ce travail présente cependant quelques limites. Tout d'abord, notre approche de la coopération n'envisage que le cas d'une production à la commande, où les temps de cycle d'une commande sont suffisamment longs pour permettre le développement de comportements coopératifs basés sur une communication par envoi de message.

De plus, l'hypothèse retenue de ne pas superviser les relations de coopération implique que les protagonistes soient réellement coopératifs. En effet une négociation ou une renégociation peut ne pas aboutir à un compromis et donc à une décision effective, dans le cas où l'un des protagonistes ferait toujours passer ses intérêts personnels avant ceux des autres, ce qui serait un frein à la coopération. Nous pensons toutefois que cet inconvénient est à relativiser du fait qu'une trace des coopérations est conservée et que donc, de telles attitudes non-coopératives peuvent être mise en évidence au niveau stratégique et corrigées.

De plus, des objectifs de performances peuvent être éventuellement imposés dans le contrat de coopération, comme, par exemple, recenser le nombre de renégociation de la commande ou le nombre de retard.

Enfin, bien que la fiabilité des informations quantitatives et temporelles échangées soit favorisée par l'aide à la décision, les mécanismes de propagation de contraintes utilisés ne permettent pas de garantir qu'un cadre de décision, déterminé par un service vente ou achat, pourra réellement être respecté par la gestion de production. Ils sont en effet basés sur des modèles agrégés. La robustesse d'une décision dépend donc principalement des résultats de la gestion de production, et des contraintes propres à ce centre décision.

Différents prolongements de ces travaux peuvent être envisagés si on désire dépasser les hypothèses de l'étude.

Tout d'abord, le prototype d'aide à la coopération proposé a été réalisé sous un certain nombre d'hypothèses qui ont permis de ne mettre en œuvre que des fonctions jugées essentielles. Il serait intéressant de continuer le développement logiciel afin de pouvoir valider en contexte réel notre approche et notre outil.

D'autre part, nous nous sommes principalement focalisés sur les relations entre les centre de décision *service vente* et *service achat*. Il serait aussi nécessaire d'étudier de plus près les relations de ces centres avec le centre *gestion de production*, afin de renforcer les liens intra-entreprise grâce à la coopération. Les informations circulant entre les entreprises pourraient ainsi être validées par la gestion de production de chaque entreprise, ce qui renforcerait leur fiabilité.

De plus, ce travail s'est uniquement intéressé aux relations de type client-fournisseur, pour lesquelles le flux de produits est unidirectionnel. Cette approche pourrait être adaptée aux relations de type sous-traitant / donneur d'ordre, pour lesquelles le flux de produits est bidirectionnel. En effet, la relation de sous-traitance est très présente au sein de chaîne

logistique fonctionnant à la commande. Dans ce cas, la coopération porte sur la négociation des dates de début et de fin de l'activité sous-traitée, et éventuellement sur la capacité de travail mise en jeu chez le sous-traitant pour sa réalisation.

Enfin, les clauses d'un contrat de coopération, bien que nous en ayons précisé quelques unes, doivent être mieux analysées et caractérisées. Ce contrat pouvant notamment stipuler des clauses de performances, il serait intéressant d'étudier comment ces objectifs de performance pourraient être pris en compte au cours des relations de coopération et au sein de l'aide à la décision.

Annexe A

Notation UML

CAS D'UTILISATION

Un diagramme de cas d'utilisation décrit les acteurs, les cas d'utilisation et le système. Un cas d'utilisation correspond à une fonction visible par l'utilisateur et permet de définir les fonctions essentielles du système, les limites du systèmes et le système par rapport à son environnement. Le système est un ensemble de cas d'utilisation mais ne contient pas les acteurs. Un acteur est un élément externe qui interagit avec le système.

Relation entre acteurs : la seule relation entre acteur est la relation de spécialisation. L'acteur 1 est une spécialisation de acteur 2, acteur 1 pourra donc utiliser les cas d'utilisation associé à acteur 2.

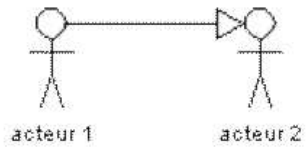

FIG. A.1: Relation de spécialisation

Relation entre un acteur et un cas d'utilisation : la relation entre un acteur et un cas d'utilisation est la relation d'association qui peut être orientée ou non.

Relation entre deux cas d'utilisation : les cas d'utilisation sont reliés entre eux par trois types de relation qui sont la relation d'extension, la relation d'inclusion et la relation de généralisation.

- Dans la relation d'extension, le cas d'utilisation source ajoute son comportement au cas d'utilisation destination. Cette relation permet de modéliser des variantes de com-

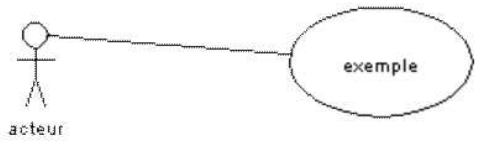

FIG. A.2: Relation d'association

portement d'un cas d'utilisation. Des points d'extension, qui spécifient les conditions d'extension, sont alors ajoutés au cas d'utilisation destination.

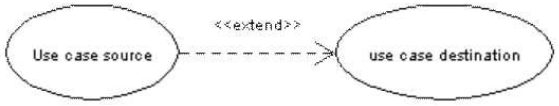

FIG. A.3: Relation d'extension

– Dans la relation d'inclusion, le cas d'utilisation source comprend également le comportement décrit par le cas d'utilisation destination. Cette relation, qui a un caractère obligatoire permet de définir des comportement partageables entre plusieurs cas d'utilisation.

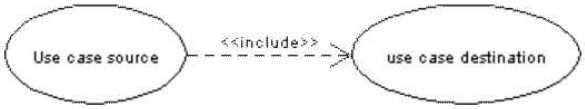

FIG. A.4: Relation d'inclusion

– Dans la relation de généralisation, le cas d'utilisation source est une spécialisation du cas d'utilisation destination.

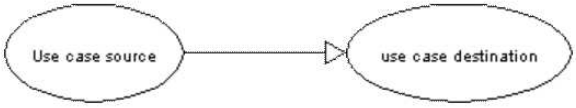

FIG. A.5: Relation de généralisation

Bibliographie

[Aalst & Kumar 03] V.M.P. Van Der Aalst & A. Kumar. *XML Based Schema Definition for Support of Inter-organizational Workflow.* Information Systems Research, vol. 14, no. 1, pages 23–46, 2003.

[Alliot & Scheix 94] J.M. Alliot & T. Scheix. Intelligence artificielle et informatique théorique. Cepadues Editions, 1994.

[Anthony 65] R.N. Anthony. Planning and control systems : a framework for analysis. Harvard University Press, 1965.

[Artigues *et al.* 02] C. Artigues, C. Briand, M.C. Portmann & F. Roubellat. *Pilotage d'atelier basé sur un ordonnancement flexible.* Dans Méthodes du pilotage des systèmes de production sous la direction de P. Pujo et J.P. Kieffer, pages 61–97. Hermes Science, 2002.

[Barnard 38] C.J. Barnard. The functions of the executive. Harvard University Press, Cambridge, 1938.

[Bassok & Anupindi 97] Y. Bassok & R. Anupindi. *Analysis of supply contracts with total minimum commitment.* IIE Transactions, vol. 29, pages 373–381, 1997.

[Bassok *et al.* 99] Y. Bassok, A. Bixby, R. Srinivasan & H.Z. Wiesel. *Design of component-supply contract with commitment-revision flexibility.* IBM journal of research and development, vol. 41, 1999.

[Bessiere 91] C. Bessiere. *Algorithmes d'arc-consistance pour les CSP dynamiques.* Rapport de recherche, LIRMM, 1991.

[Blazewicz *et al.* 96] J. Blazewicz, K.H. Ecker, E. Pesch, G. Schmidt & J. Weglarz. Scheduling in computer and manufacturing processes. Springer Verlag, 1996.

[Boujut *et al.* 02] J.F. Boujut, J.B. Cavaillé & A. Jeantet. *Instrumentation de la coopération.* Dans Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, pages 91–109. Lavoisier, Hermes Science, 2002.

[Bourrières *et al.* 01] J.-P. Bourrières, T. Lecompte, J.-C. Deschamps & R. Alami. *Un cadre formel de décision pour la planification multiniveaux des systèmes de production distribués*. APII-JESA, vol. 35, pages 859–883, 2001.

[Bourrières 04] J.P. Bourrières. *RTP 47 : Production Coopérative Médiatisée*, http://www.univ-valenciennes.fr/RTP-PCM/, 2004.

[Briand *et al.* 04] C. Briand, M.J. Huguet, H.T. La & P. Lopez. *Approches par contraintes pour l'ordonnancement robuste*. Dans Flexibilité et Robustesse en Ordonnancement sous la direction de J.C. Billaut, A. Moukrim et E. Sanlaville. Hermes Science, 2004. Rapport LAAS 04355 sous presse en 2004.

[Cachon & Zipkin 99] G. Cachon & P.H. Zipkin. *Competitive and Cooperation Inventory Policies in a Two-Stage Supply Chain*. Management Science, vol. 45, no. 7, pages 936–953, 1999.

[Caldentey & Wein 03] R. Caldentey & L.M. Wein. *Analysis of a Decentralized Production-Inventory System*. Manufacturing and Service Operations Management, vol. 5, no. 1, pages 1–17, 2003.

[Calvi *et al.* 00] R. Calvi, M.A. Le Dain & S. Harbi. *Le pilotage des partenariats client-fournisseur dans l'industrie*. Revue Française de Gestion Industrielle, vol. 19, no. 1, pages 5–15, 2000.

[Camalot 00] J.P. Camalot. *Aide à la décision et à la coopération en gestion du temps et des ressources*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Toulouse, France, Mai 2000.

[Campagne & Sénéchal 02] J.P. Campagne & O. Sénéchal. *Les nouvelles exigences de la coopération*. Dans Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, pages 51–67. Lavoisier, Hermes Science, 2002.

[Coffman 76] E.G. Coffman. Computer and job-shop scheduling theory. John Wiley and Sons, 1976.

[Couture & Loussararian 99] A. Couture & G. Loussararian. *L'entreprise se transforme : de l'organisation mécanique et figée à l'organisation réactive et vivante*. Revue Française de Gestion Industrielle, vol. 18, no. 2, 1999.

[Crochet-Damais 03a] A. Crochet-Damais. *ebXML vers un nouveau standard des relations interentreprises*, http://solutions.journaldunet.com/0310/031023_ebxml.shtml, 2003.

[Crochet-Damais 03b] A. Crochet-Damais. *XML appliqué à la chaîne logistique*, http://solutions.journaldunet.com/0305/030505_scm.shtml, 2003.

[Davis 87] E. Davis. *Constraints Propagation with intervals labels*. Artificial Intelligence, vol. 32, pages 281–331, 1987.

[Dechter 03] R. Dechter. Constraint processing. Morgan Kaufmann, 2003.

[Despontin *et al.* 04a] E. Despontin, C. Briand & P. Esquirol. *A decision Support for Cooperation in Make-to-Order Production*. Dans Cooperative Systems Design, pages 69–82. IOS Press, 2004.

[Despontin *et al.* 04b] E. Despontin, C. Briand & P. Esquirol. *Une aide à la coopération interentreprises pour la production à la commande*. Document numérique, vol. 8, no. 1, pages 23–36, 2004.

[Erschler 76] J. Erschler. *Analyse sous contraintes et Aide à la décision pour certains problèmes d'ordonnancement*. Thèse d'État, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, Novembre 1976.

[Erschler 96] J. Erschler. *Approche par contraintes pour l'aide à la décision et à la coopération : une nouvelle logique d'utilisation des modèles formels*. Dans Coopération et Conception sous la direction de G. de Terssac et E. Friedberg, pages 137–147. Octares Editions, 1996.

[Esquirol & Lopez 99] P. Esquirol & P. Lopez. L'ordonnancement. Economica, 1999.

[Esquirol *et al.* 01] P. Esquirol, P. Lopez & M.J. Huguet. *Propagation de contraintes en ordonnancement*. Dans Ordonnancement de la production sous la direction de P. Lopez et F. Roubellat, pages 131–167. Hermes Science, 2001.

[Fages 96] F. Fages. Programmation logique par contraintes. Ellipses, 1996.

[Ferber 95] J. Ferber. Les systèmes multiagents : vers une intelligence collective. InterEdition, 1995.

[Fink 04] A. Fink. *Supply Chain Coordination by Means of Automated Negotiations*. Dans 37th Hawaii International Conference on System Sciences, Big Island, Hawaii, 5-8 Janvier 2004.

[Freuder 78] E.C. Freuder. *Synthesizing constraint expressions*. Journal of the ACM, vol. 21, pages 958–966, 1978.

[Fron 94] A. Fron. Programmation par contraintes. Addison-Wesley France, 1994.

[Gagnepain *et al.* 02] J.J. Gagnepain, R. Soënen & J. Perrin. *http://www.univ-valenciennes.fr/PROSPER*. Web site, 2002.

[Giard 03] V. Giard. Gestion de la production et des flux. Economica, 3 edition, 2003.

[Guinet 00] A. Guinet. *A multi-site production management approach*. APII-JESA, vol. 34, pages 367–377, 2000.

[Hamadi 99] Y. Hamadi. *Traitement des problèmes de satisfaction de contraintes distribués*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier 2, Montpellier, France, Juillet 1999.

[Hammami *et al.* 01] A. Hammami, P. Burlat & J.P. Campagne. *Contribution à la coopération et au pilotage d'une entreprise réseau*. Dans Conférence francophone de MOdélisation et SIMulation : Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels(MOSIM'01), Université de Technologie de Troyes, Troyes, France, 25-27 Avril 2001.

[Hammami *et al.* 03] A. Hammami, P. Burlat & J.P. Campagne. *Modélisation analytique du problème d'allocation de commande dans un réseau d'entreprises*. Dans Conférence francophone de MOdélisation et SIMulation : Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels(MOSIM'03), Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse, France, 23-25 Avril 2003.

[Hétreux 96] G. Hétreux. *Structures de décision multiniveaux pour la planification de la production : robustesse et cohérence des décisions*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Toulouse, France, Décembre 1996.

[Huang *et al.* 03] G.Q. Huang, J.S.K. Lau & K.L. Mak. *The Impacts of Sharing Production Information on Supply Chain Dynamics: A Review of the Litterature*. International Journal of Production Research, vol. 41, no. 7, pages 1483–1517, 2003.

[Huguet *et al.* 96] M.J. Huguet, G. De Terssac, J. Erschler & N. Lompré. *De la réalité à la modélisation de la coopération en gestion de production*. Dans Coopération et Conception sous la direction de G. de Terssac et E. Friedberg, pages 149–169. Octares Editions, 1996.

[Huguet 94] M.J. Huguet. *Approche par contrainte pour l'aide à la décision et à la coopération en gestion de production*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Toulouse, France, Décembre 1994.

[Huy 00] T.P. Huy. Constraint propagation in flexible manufacturing. Springer, 2000.

[Jemai 03] Z. Jemai. *Modèles stochastiques pour l'aide au pilotage des chaînes logistiques : l'impact de la décentralisation*. Thèse de Doctorat, École Centrale de Paris, Paris, France, Décembre 2003.

[Labrou & Finin 97] Y. Labrou & T. Finin. *A proposal for a new KQML*, http://www.cs.umbc.edu/kqml/, 1997.

[Lee & Emden 93] J.H.M Lee & M.H. Van Emden. *Interval Computation as deduction in CHIP*. Journal of Logic Programming, vol. 16, pages 255–276, 1993.

[Lee *et al.* 93] H.L. Lee, C. Billington & B. Carter. *Hewlett-Packard Gains control of Inventory and Service through Design for Localization*. Interface, vol. 23, no. 4, pages 1–11, 1993.

[Lee *et al.* 97] H.L. Lee, V. Padmanabhan & S. Whang. *Information Distortion in a Supply Chain : The Bullwhip Effect*. Management Science, vol. 43, no. 4, pages 546–558, Avril 1997.

[Lemoigne 74] J.L. Lemoigne. Les systèmes de décision dans les organisations. Presse Universitaire de France, 1974.

[Lesaint 95] D. Lesaint. *Calcul d'ensembles de solutions pour problèmes de satisfaction de contraintes*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse, France, Mars 1995.

[Mercé 87] C. Mercé. *Cohérence des décisions en planification hiérarchisée*. Thèse d'État, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, Juillet 1987.

[Mohtashami *et al.* 03] M. Mohtashami, F.P. Deek & I. Im. *Critical Factors of Collaborative Software Development in Supply Chain Management*. Dans Strategy and Organization in Supply Chains, pages 257–272. Springer, Physica-Verlag, 2003.

[Montanari 74] U. Montanari. *Networks of constraints : Fundamental properties and applications to picture processing*. Information Sciences, vol. 7, pages 95–132, 1974.

[Monteiro 01] T. Monteiro. *Conduite distribuée d'une coopération entre entreprises : le cas de la relation donneurs d'ordres - fournisseurs*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France, Octobre 2001.

[Muller & Gaertner 01] P.A. Muller & N. Gaertner. Modélisation objet avec uml. Eyrolles, 2001.

[Nurcan 96] S. Nurcan. *Analyse et conception de systèmes d'information coopératifs*. Technique et science informatique, vol. 15, no. 9, pages 1287–1315, 1996.

[Pinedo 95] M. Pinedo. Scheduling : Theory, algorithms, and systems. Prentice Hall, 1995.

[Poirier & Reiter 01] C. Poirier & S.E. Reiter. La supply chain. Dunod, 2001.

[Quéré 02] M. Quéré. *Coopération ou co-opérations : quels enjeux économiques ?* Dans Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, pages 33–50. Lavoisier, Hermes Science, 2002.

[Rota-Frantz *et al.* 01] K. Rota-Frantz, G. Bel & C. Thierry. *Gestion des flux dans les chaînes logistiques*. Dans Performance Industrielle et gestion des flux, pages 153–187. Hermes Science, 2001.

[Sam-Haroud & Faltings 96] D. Sam-Haroud & B. Faltings. *Consistency techniques for continous constraints*. Constraints, vol. 1, no. 1-2, pages 85–118, 1996.

[Sardas *et al.* 02] J.C. Sardas, J. Erschler & G. De Terssac. *Coopération et organisation de l'action collective*. Dans Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, pages 69–90. Lavoisier, Hermes Science, 2002.

[Schneeweiss 03] C. Schneeweiss. Distributed decision making. Springer, 2 edition, 2003.

[Simchi-Levi *et al.* 99] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky & E. Simchi-Levi. Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies. Irwin McGraw-Hill, 1999.

[Soënen 02] R. Soënen. *Introduction*. Dans Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, pages 19–28. Lavoisier, Hermes Science, 2002.

[Sposito 00] F. Sposito. *CSCW, Groupware and social issues - Applications, analytical perspectives and possible solutions in an ever-changing and critical study field*, http://citeseer.ist.psu.edu/444664.html, 2000.

[Tayur *et al.* 99] S. Tayur, R. Ganeshan & M. Magazine. Quantitative model for supply chain management. Kluwer Academic Publishers, 1999.

[Telle 03] O. Telle. *Gestion des chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : Aide à la coopération au sein d'une relation Donneurs d'Ordres/Fournisseurs*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse, France, Janvier 2003.

[Terssac & Maggi 96] G. De Terssac & B. Maggi. *Autonomie et conception*. Dans Coopération et Conception sous la direction de G. de Terssac et E. Friedberg, pages 243–266. Octares Editions, 1996.

[Thierry & Bel 04] C. Thierry & G. Bel. *Instaurer la coopération au sein de chaînes logistiques : une approche pédagogique*. Dans Conférence francophone de MOdélisation et SIMulation : Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels(MOSIM'04), École des Mines de Nantes, Nantes, France, 1-3 Septembre 2004.

[Thierry 94] C. Thierry. *Planification et ordonnancement multisites : une approche par satisfaction de contraintes*. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse, France, Janvier 1994.

[Trentesaux *et al.* 98] D. Trentesaux, N. Moray & C. Tahon. *Integration of the human operator into responsive discrete production management systems*. European Journal of Operational Research, vol. 109, pages 342–361, 1998.

[Tsang 93] E. Tsang. Foundations of constraint satisfaction. Academic Press INC, 1993.

[Tsay & Lovejoy 99] A.A. Tsay & W.S. Lovejoy. *Quantity Flexibility Contracts ans Supply Chain Performance*. Manufacturing and Service Operations Management, vol. 1, no. 2, pages 89–111, 1999.

[Yu *et al.* 01] Z. Yu, H. Yan & T.C. E. Cheng. *Benefits of information sharing with supply chain partnerships*. Industrial Management and Data Systems, vol. 101, no. 3, pages 114–119, 2001.