



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

THESE

Présentée à :

L'UNIVERSITÉ PAUL VERLAINE DE METZ
UFR Mathématiques, Informatique, Mécanique, Automatique

Pour l'obtention du titre de
DOCTEUR
Spécialité Sciences de l'ingénieur
Mention Informatique

Sur le Thème :

OUTILS D'AIDE A LA DECISION POUR LA PRISE DE COMMANDES IMPREVUES

Présenté par :
Smaïl Khouider

Version soumise aux rapporteurs

Membre du jury

Rapporteurs :

Bernard Grabot Professeur des Universités à Ecole Nationale d'Ingénieurs de
Tarbes
Bernard Espinasse Professeur des Universités à Université Aix-Marseille

Examineurs :

Damien Trentesaux Professeur des Universités à Université de Valenciennes et du
Hainaut-Cambrésis
Vincent Chevrier Maître de Conférences (HDR), Université H. Poincaré, Nancy 1

Directeur de thèse :

Marie-Claude Portmann Professeur des Universités l'Institut Nationale Polytechnique de
Lorraine

Co-encadrant :

Thibaud Monteiro Maître de Conférences à Université Paul Verlaine de Metz

*A mes très chers parents
A mes frères
Merci pour tout, pour votre amour, votre soutien et votre patience.
Sans vous je ne serai rien.
Je vous aime*

Remerciements

Ma reconnaissance la plus profonde et ma gratitude la plus sincère à ma Directrice de thèse Madame Marie-Claude Portmann, Professeur à l'école des mines de Nancy, pour m'avoir encadré et encouragé durant ces quatre années et sa patience de suivre avec attention les travaux de cette thèse jusqu'à son aboutissement. Mes remerciements les plus sincères à mon co-encadreur de thèse, Monsieur Thibaud Monteiro, Maître de Conférences à l'université Paul Verlaine de Metz pour son soutien et ses conseils et ses encouragements tout au long de ma thèse surtout pour cette dernière année. Je le remercie aussi pour sa confiance, ses conseils et tout le temps qu'il m'a consacré

Je remercie également Monsieur Nidhal Rezg, Professeur de l'université Paul Verlaine de Metz et Directeur de l'UFR-MIM, pour m'avoir accueilli dans son équipe, pour ça patience ainsi que le temps qu'il m'a consacré.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent à ceux qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury de ma thèse :

Monsieur Bernard Grabot, Professeur des Universités à Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes. Monsieur Bernard Espinasse, Professeur des Universités à Université Aix-Marseille. Monsieur Damien Trentesaux, Professeur des Universités à Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis. Monsieur Vincent Chevrier, Maître de Conférences (HDR), Université H. Poincaré, Nancy 1. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance pour avoir accepté d'examiner cette thèse et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Je veux également remercier tout le personnel de l'UFR MIM, Je voudrais remercier et saluer la disponibilité et la gentillesse de Mme Christel WIEMERT ainsi que Mme Chantal FOUSSE.

Enfin je voudrai remercier mes amis : Mohammed, Zerouk, Ziad, Sofiane, Jérémy ainsi que tous ceux qui ont contribué à la réussite de cette thèse.

Sommaire

Introduction générale

1

Chapitre 1 : ETAT DE L'ART ET CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

1	Introduction.....	6
2	Organisation en réseau des entreprises	6
2.1	Type d'organisation en réseau.....	6
2.1.1	Notion de centre de décision.....	6
2.1.2	Système fragmenté.....	7
2.1.3	Système centralisé.....	7
2.1.4	Système hiérarchisé	7
2.1.5	L'organisation centralisé / hiérarchisé	8
2.1.6	Système distribué.....	9
2.1.7	Système holarchique.....	10
2.2	La gestion de la chaîne logistique.....	10
2.2.1	Définition de la chaîne logistique	10
2.2.2	Les flux d'une chaîne logistique.....	11
2.3	Rôles d'une chaîne logistique classique	12
2.3.1	L'approvisionnement de matières.....	12
2.3.2	La production de biens ou de services	12
2.3.3	Le stockage de matières.....	12
2.3.4	Distribution et transports.....	13
2.3.5	La vente	13
2.4	Les différents types de relations industrielles.....	13
2.5	Modèles de pilotage des chaînes logistiques	14
2.5.1	Le modèle de Cooper <i>et al.</i> , (1997)	14
2.5.2	Le modèle de Gilmour ([Gilmour 99]).....	15
2.5.3	Le modèle SCOR.....	15
2.5.4	Le modèle de l'ASLOG	16
2.5.5	Le modèle EVALOG	17
2.6	Problème liée au pilotage des chaînes logistiques distribuée	17
2.6.1	L'effet <i>bullwhip</i> (coup de fouet)	17
2.6.2	Problème de cohérence et de robustesse des décisions	18
2.7	Les instruments de pilotage de telles structures	18
2.8	Les outils de pilotage des chaînes logistiques	20
2.8.1	Entreprise Resource Planning (ERP).....	21
2.8.2	Advanced Planning and Scheduling APS	22
3	La problématique de notre étude.....	23
3.1	Contexte générale de notre travail	24
3.2	Modélisation de la chaîne logistique : l'entreprise virtuelle.....	25
3.3	Le but du travail	26
4	Conclusion	27

Chapitre 2 : PROBLEME DE PRISE DE COMMANDE IMPREVUE DANS UNE CHAINE LOGISTIQUE.

1	Introduction.....	30
2	L'entreprise.....	30

2.1	Structure décisionnelle multi niveaux	32
2.2	Mode de production d'une entreprise	34
3	Problématique de prise d'une commande	36
3.1	Mécanismes de prise de décisions au niveau opérationnel	36
3.1.1	Acteurs de la prise de décisions	36
3.1.2	Processus de la prise de décision	36
3.2	Impacts des décisions opérationnelles dans le fonctionnement interne de l'entreprise	38
3.3	Impacts des décisions opérationnelles sur la chaîne logistique (vision externe de l'entreprise)	38
4	Problèmes liés à la prise de commandes	38
5	Processus de prise de commande et présentation globale de notre approche	40
5.1	Structure de données pour le management des ressources	41
5.2	Mécanisme de traitement d'une nouvelle demande	42
5.3	Arrivée d'une nouvelle demande	43
5.4	Cas n°1 – Satisfaction de la demande en utilisant les produits disponibles dans les stocks ainsi que les capacités internes de transport	44
5.5	Cas n°2 – Disponibilité du transport	45
5.6	Cas n°3 et 4 – Satisfaction de la demande par production	47
5.7	Cas n°5 et 6 – Disponibilité de la matière première	49
5.8	Synthèse de l'approche proposée	50
6	Conclusion	51

Chapitre 3 : MODELES D'AIDE A LA DECISION POUR LA PRISE D'UNE DEMANDE IMPREVUE

1	Introduction	55
2	Problème de manque de composants ρ	56
2.1	Positionnement du problème	56
2.2	Démarche de résolution	57
2.2.1	Création des scénarios	57
2.2.2	Recherche de fournisseurs	57
2.2.3	Envoi d'une demande aux fournisseurs	58
2.2.4	Réception des réponses	58
2.2.5	Sélection des propositions	59
2.3	Modèles d'aide à la décision	61
2.3.1	Faisabilité d'un scénario d'approvisionnement	61
2.3.2	Modèle d'optimisation de la sélection	62
2.4	Synthèse des modèles de sélection	64
3	Problème du transport τ	66
3.1	Démarche de résolution	66
3.1.1	Réception de la demande	67
3.1.2	Élaboration d'un planning des dates aux plus tard de départ des transports	67
3.1.3	Calcul des besoins en transport	68
3.1.4	Recherche de transporteur	68
3.1.5	Optimisation du choix des propositions de transport	68
3.2	Modèles d'aide à la décision	68
3.2.1	Modèle χ de dimensionnement des capacités de transport nécessaires	68
3.2.2	Modèle δ d'optimisation du choix des propositions	70
3.3	Synthèse de la démarche de recherche de transport	71
4	Illustration de notre approche globale de prise d'une demande imprévue	72
4.1	Contexte de l'exemple	72
4.2	Résolution du problème ρ	77
4.2.1	Création de scénarios d'approvisionnement	77
4.2.2	Recherche des fournisseurs potentiels	78
4.2.3	Envoi de demandes aux fournisseurs potentiels	78
4.2.4	Réception de propositions d'approvisionnement	79
4.2.5	Sélection des propositions des fournisseurs	80
4.3	Résolution du problème τ	83
4.3.1	Dimensionnement des capacités de transport	84
4.3.2	Recherche et sélection des propositions de transport	84

4.4	Synthèse de l'exemple numérique.....	85
5	Conclusion.....	86

Chapitre 4 : ARCHITECTURE MULTI AGENTS POUR LA MODELISATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE

1	Introduction.....	89
2	La technologie des multi agents.....	89
2.1	Typologie des agents.....	90
2.2	Architectures d'intégration des agents.....	93
2.3	Applications des systèmes multi agents.....	95
3	Notre approche multi agents.....	96
3.1	L'agent de négociation des ventes (ANV).....	97
3.2	L'agent de négociation des plannings (ANP).....	98
3.3	L'agent de négociation des achats (ANA).....	100
3.4	Architecture d'intégration et synthèse de la démarche.....	102
3.5	Agent de facilitation de négociation.....	103
3.5.1	Le besoin.....	103
3.5.2	Le rôle.....	104
3.5.3	La démarche de recherche de nouveaux fournisseurs.....	104
3.6	Exemples d'interaction entre les agents pour la prise de commande ferme.....	105
3.7	Architecture de la plate-forme.....	108
3.8	Illustration du cas 3.....	109
4	Evaluation des performances des négociations dans une chaîne logistique distribuée.....	112
4.1	Évaluation des performances dans les chaînes logistiques par simulation d'un système multi agent.....	113
4.2	Contexte de l'évaluation des performances d'une co-décision.....	114
4.2.1	Négociation dans la chaîne logistique.....	115
4.2.2	Données prises en compte dans le modèle.....	115
4.2.3	Architecture multi agents de la simulation.....	115
4.3	Simulation.....	116
4.3.1	Impact des négociations en parallèle.....	117
4.3.2	Paramètre de la simulation.....	117
4.3.3	Résultat de la simulation.....	118
4.3.4	Propagation des flux d'informations.....	119
4.3.5	Résultats des simulations.....	120
4.4	Discussions.....	120
4.5	Synthèse de l'évaluation des performances.....	120
5	Conclusions.....	121

Conclusions générales et perspectives	122
Bibliographie	126

Introduction générale

L'univers actuel de l'entreprise moderne se caractérise par la globalisation des échanges commerciaux et la diversification des acteurs qui le composent. Pour survivre dans un tel environnement, l'entreprise doit s'adosser à un ensemble d'entreprises partenaires solides et donc s'intégrer à une structure externe qui lui permet non seulement de subsister dans son environnement mais aussi d'assurer durablement son développement.

Ce conglomérat d'entreprises prend généralement la forme d'un réseau d'entreprises plus simplement appelé chaîne logistique. Chaque acteur qui compose ce réseau prend en charge la mise en œuvre d'actions qui profitent à une partie ou à la totalité du réseau.

L'intérêt de plus en plus croissant pour la gestion des chaînes logistiques est dû au développement constant des technologies de l'information et des réseaux informatiques, tel qu'Internet. Ils permettent, en effet, d'accélérer les processus informationnels et décisionnels et d'appuyer les décisions sur des données plus abondantes. Ces réseaux autorisent une plus grande diversification du choix des partenaires (fournisseurs et/ou clients) habituels d'une entreprise. Aussi, la nécessité de s'appuyer sur des partenaires stables et compétitifs pour une entreprise devient aujourd'hui un enjeu majeur et stratégique.

Pour subsister dans cet environnement concurrentiel, les entreprises partenaires sont un élément essentiel pour le bon déroulement des plans de développement d'une entreprise. Sans ce genre de partenariat, il est fort à penser qu'une entreprise ne peut pas subsister durablement, car la fiabilité des décisions, prises dans le cadre de ses activités et qui induisent le recours à des partenaires, n'est pas assurée.

La prise de décision dans ce genre de structure en réseau d'entreprises est un processus complexe qui demande l'interaction entre une partie ou la totalité des partenaires qui le compose. L'une des difficultés dans ce domaine est de garantir la cohérence des décisions prises dans le réseau. L'un des phénomènes résultant de l'incohérence des décisions prises le plus connu en gestion des réseaux d'entreprises est l'effet coup de fouet (*Bullwhip*). Pour parvenir à limiter au maximum ces incohérences, la coordination des actions et des décisions prises semble être le meilleur moyen.

Dans ce contexte de réseau d'entreprises et d'environnement concurrentiel, la prise de décision locale d'une entreprise peut avoir des conséquences importantes. Le processus de prise de décisions peut être complexe du fait que pour prendre une décision,

l'entreprise doit prendre en compte des spécificités de ses partenaires. La difficulté de la prise de décision réside dans le fait que l'entreprise ne maîtrise pas l'ensemble de ces spécificités. Cela implique le besoin de trouver des moyens de coordination capables de limiter les effets « néfastes », c'est-à-dire les incohérences issues de la prise de décision.

Le rapport entre les partenaires d'une chaîne logistique peut se réduire à un ensemble de relations de type demandeurs (de services ou de biens) / fournisseurs. Le point central de ces relations est la satisfaction des demandes. Sur le long terme, plus les demandes sont satisfaites plus la chaîne logistique gagne en performance, c'est-à-dire que l'ensemble des partenaires gagne en efficacité dans la satisfaction des demandes d'où une réduction des demandes perdues. Dans la majorité des cas étudiés, le moyen le plus efficace pour satisfaire un maximum de demandes est d'avoir une prévision fiable non seulement des demandes, mais également d'avoir mis en œuvre une planification prévisionnelle adaptée et à capacité limitée incluant les approvisionnements en composants. C'est dans ce but que des outils de type *ERP* (voir le chapitre 2) pour organiser et optimiser le processus global de production intraentreprise.

La planification prévisionnelle peut être mise en défaut par l'occurrence d'événements non prévus (volumes de demandes beaucoup plus importants que les prévisions ou changements dans le choix des produits). Dans ce cas, une demande ne peut être satisfaite qu'à condition que l'entreprise possède suffisamment de flexibilité pour y répondre. Dans le cas où les délais de réponse à ces demandes sont longs, alors on peut supposer que l'entreprise a le temps de mettre en œuvre les opérations nécessaires pour y répondre (planification de la production, acquisition des composants, acquisition de moyens de transport). Si par contre, l'entreprise ne possède pas le temps suffisant pour faire face à ce genre de demande, elle doit mettre en œuvre une recherche de flexibilités pour y répondre.

Le travail que nous présentons dans ce mémoire s'inscrit dans la continuité du travail de thèse de Latifa Ouzizi [Ouzizi 05] qui traite de problèmes de planification (situé au niveau tactique). Nous nous intéressons ici à des problèmes situés sur les niveaux tactique et opérationnel de prise de décision. L'ensemble de ce mémoire de thèse s'intéresse au problème de prise de décision pour la satisfaction de commandes imprévues. Ce problème est majeur, car comme nous l'avons dit préalablement, la satisfaction de commandes est le but essentiel de toute entreprise en réseau. Dans ce contexte, la prise de décision est opérationnelle, car les délais impartis pour répondre à une commande sont courts. En outre, nous nous plaçons volontairement dans la situation pour laquelle les demandes ne correspondent pas aux prévisions préalablement élaborées. Enfin, les entreprises qui forment le réseau considéré sont de natures autonomes dans leurs prises de décisions et dans leur système d'information. Il s'agit alors, d'une architecture distribuée.

L'objectif de ce travail est d'élaborer des processus et des outils d'aide à la décision pour permettre la satisfaction d'une commande ferme dans le contexte chaîne logistique distribuée.

Pour cela, nous modélisons l'entreprise en une structure composée de trois entités « le service vente, le service planification et le service achat/approvisionnement ». Chaque entité travaille conjointement avec les autres afin de réaliser les buts que s'est fixée l'entreprise. Nous proposons aussi un processus de prise de décisions pour la satisfaction

d'une commande ferme. Ce processus s'appuie sur deux approches complémentaires de résolution de problèmes liés à la prise de commande ferme. Le premier problème apparaît lorsque les quantités de composants nécessaires pour le démarrage d'une production dans le but de réaliser une commande ferme sont insuffisantes. Le second problème réside dans la mise à disposition de moyen d'acheminement des quantités commandées.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à un état de l'art qui décrit le contexte de recherche à savoir le pilotage distribué des chaînes logistiques et les modèles de pilotage ainsi qu'à la présentation de la problématique générale de ce mémoire qui concerne la prise de décision pour la satisfaction de commandes imprévues.

Le chapitre 2 aborde le problème de la prise de commandes imprévues dans un contexte de décisions opérationnel. Ensuite, nous décrivons le processus induit par cette prise de décision qui nous permet de mettre en avant les sous problèmes à aborder à savoir : le problème de disponibilité des quantités de composants nécessaires à la réalisation de telles commandes, le problème de mise à disposition de capacités de transport nécessaire à l'acheminement des quantités commandées vers le client dans le respect des délais de livraison souhaités.

Dans une première partie, le chapitre 3 traite du problème de disponibilité des composants nécessaires. Pour le résoudre, nous proposons une démarche de recherche de composants ainsi qu'un modèle de sélection des propositions des fournisseurs potentiels. Ce modèle comporte un outil mathématique d'aide à la décision pour la sélection de fournisseurs apte à satisfaire ce problème tout en garantissant un résultat optimal au sens du coût total d'acquisition. La deuxième partie de ce chapitre s'intéresse au problème de mise à disposition de capacités de transport nécessaires pour l'acheminement des quantités commandées. Nous proposons un modèle de dimensionnement et de planification des capacités nécessaires. Nous développons aussi un modèle formel de sélection de propositions de transporteurs afin de proposer une solution de transport pour la réalisation des commandes imprévues. Nous terminons ce chapitre par une illustration de la méthode globale de traitement des commandes imprévues

Dans le chapitre 4 de ce mémoire, nous introduisons l'architecture multi agents utilisée pour modéliser l'ensemble de la chaîne logistique distribuée. Elle a pour base trois types d'agents de négociations qui travaillent conjointement pour la réalisation des objectifs de chaque entreprise. Cette architecture nous permet l'implantation des outils d'aide à la décision présentés dans le chapitre 3. Cette architecture est ensuite utilisée pour l'élaboration d'un simulateur afin de réaliser une évaluation des performances des négociations nécessaires pour la prise de commande imprévue dans le contexte des chaînes logistiques distribuées.

Nous terminons ce mémoire en résumant l'ensemble des travaux réalisés et en présentant des perspectives de poursuite de ce travail de recherche.

Chapitre 1

ETAT DE L'ART ET CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

Sommaire Chapitre 1

1	Introduction.....	6
2	Organisation en réseau des entreprises	6
2.1	Type d'organisation en réseau	6
2.1.1	Notion de centre de décision.....	6
2.1.2	Système fragmenté.....	7
2.1.3	Système centralisé.....	7
2.1.4	Système hiérarchisé	7
2.1.5	L'organisation centralisé / hiérarchisé	8
2.1.6	Système distribué	9
2.1.7	Système holarchique	10
2.2	La gestion de la chaîne logistique.....	10
2.2.1	Définition de la chaîne logistique	10
2.2.2	Les flux d'une chaîne logistique.....	11
2.3	Rôles d'une chaîne logistique classique	12
2.3.1	L'approvisionnement de matières.....	12
2.3.2	La production de biens ou de services	12
2.3.3	Le stockage de matières	12
2.3.4	Distribution et transports.....	13
2.3.5	La vente.....	13
2.4	Les différents types de relations industrielles.....	13
2.5	Modèles de pilotage des chaînes logistiques	14
2.5.1	Le modèle de Cooper <i>et al.</i> , (1997)	14
2.5.2	Le modèle de Gilmour ([Gilmour 99])	15
2.5.3	Le modèle SCOR	15
2.5.4	Le modèle de l'ASLOG	16
2.5.5	Le modèle EVALOG	17
2.6	Problème liée au pilotage des chaînes logistiques distribuée	17
2.6.1	L'effet <i>bullwhip</i> (coup de fouet).....	17
2.6.2	Problème de cohérence et de robustesse des décisions.....	18
2.7	Les instruments de pilotage de telles structures.....	18
2.8	Les outils de pilotage des chaînes logistiques.....	20
2.8.1	Entreprise Resource Planning (ERP).....	21
2.8.2	Advanced Planning and Scheduling APS	22
3	La problématique de notre étude.....	23
3.1	Contexte générale de notre travail	24
3.2	Modélisation de la chaîne logistique : l'entreprise virtuelle.....	25
3.3	Le but du travail	26
4	Conclusion	27

1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de définir la chaîne logistique et son environnement. Ceci est un préalable pour, introduire le contexte général de notre étude à savoir le pilotage distribué des chaînes logistiques, et poser la problématique qui est sujet de ce mémoire.

Nous organisons ce chapitre de la manière suivante : dans la première partie, nous détaillons l'ensemble des caractéristiques et définitions des chaînes logistiques et nous donnons un aperçu des travaux réalisés dans ce domaine. Cela nous permet d'avoir une vision globale sur le domaine étudié. Dans le second volet de ce chapitre, nous abordons la problématique ainsi que le contexte général de l'étude que nous traitons tout au long de ce mémoire.

2 Organisation en réseau des entreprises

L'univers des entreprises se caractérise depuis quelques décennies par une concurrence de plus en plus accrue. Cela est dû essentiellement à plusieurs facteurs majeurs. Le premier est la mondialisation des échanges commerciaux, l'ouverture de nouveaux marchés (telle que la Chine, l'Inde) où les coûts de production sont considérablement réduits à cause de la main-d'œuvre bon marché.

L'émergence de zone de libre-échange tel que l'Union européenne ainsi que l'explosion de l'utilisation des technologies de l'information (Internet). Il devient de plus en plus facile pour une entreprise de trouver des partenaires à l'autre bout de la Terre pour satisfaire ses besoins. Pour faire face à ce type d'environnement concurrentiel, les entreprises ont tendance à se regrouper en structure homogène ou non (*organisation en réseau d'entreprises*) qui leur permet d'atteindre leurs objectifs respectifs et de faire face à la concurrence [Giard 03]. Les entreprises sont alors organisées en réseaux.

2.1 Type d'organisation en réseau

Nous nous appuyons pour ce point sur les travaux réalisés dans la thèse de doctorat de Monteiro T. [Monteiro 01] afin de présenter les différents types d'organisation en réseau. Il existe plusieurs structures d'organisations en réseaux d'entreprises.

2.1.1 Notion de centre de décision

Chacun des acteurs qui composent les organisations en réseaux peut être assimilé à un centre de décision. Car, chaque centre de décision a la capacité de prendre ses propres décisions, en réponse ou non à des événements extérieurs qui influent sur l'environnement où ils évoluent. Cet ensemble d'entreprises organisées en réseaux est communément appelé chaîne logistique.

La difficulté de ce type de représentation est de s'assurer de la cohérence ainsi que de la robustesse des décisions prises dans le réseau.

2.1.2 Système fragmenté

Structurellement le plus simple, ce système d'organisation (figure 1.1) est caractérisé par l'absence de relations physiques ou virtuelles entre chaque entité. Il est archaïque et n'a pas pour vocation une quelconque coordination entre les entités qui le compose.

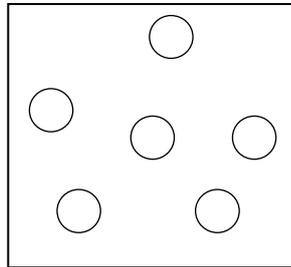


Figure 1.1 : Représentation du système fragmenté

2.1.3 Système centralisé

Ce type de système est caractérisé par le contrôle d'une entité de l'ensemble de l'organisation, la coordination entre les entités se fait par l'intervention de l'entité de contrôle.

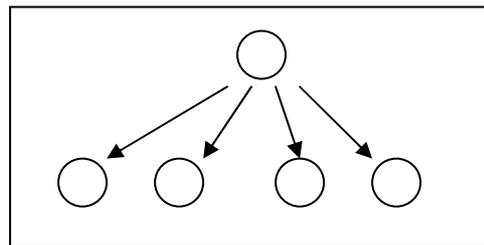


Figure 1.2 : Représentation du système centralisé

2.1.4 Système hiérarchisé

Il est caractérisé par une structure (figure 1.3) dans laquelle les niveaux supérieurs définissent les contraintes et les objectifs à atteindre. On peut difficilement parler ici de coopération. La synchronisation est réalisée par des décisions unilatérales qui sont répercutées en fonction d'une hiérarchie décisionnelle.

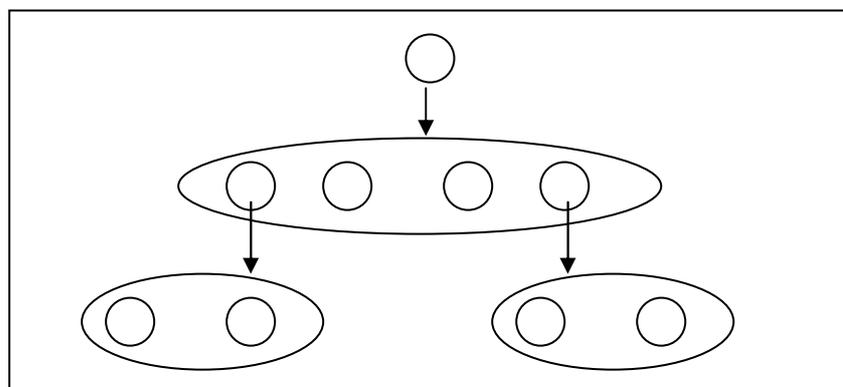


Figure 1.3 : Représentation du système hiérarchisé

2.1.5 L'organisation centralisé / hiérarchisé

Ce type d'organisation se caractérise par le fait que toute entité possède un centre de décision qui est autonome dans ses prises de décisions à condition de respecter des contraintes globales fournies par le système de décision coordinateur. La hiérarchie est ainsi plus ou moins souple selon la marge de décision laissée aux niveaux inférieurs. Dans ces organisations il existe un ou plusieurs (super) centres de décision qui gèrent ensemble et hiérarchiquement l'intégralité du réseau (figure 1.4). Cela implique que chacun des autres centres est soumis non seulement au contrôle du centre coordinateur mais aussi doit appliquer les décisions de ce dernier.

L'avantage de ce type d'organisation est que toutes les phases du processus de fabrication sont sous contrôle du centre dirigeant. Cela implique l'assurance de la cohérence de l'ensemble des décisions prises par les autres centres de décision.

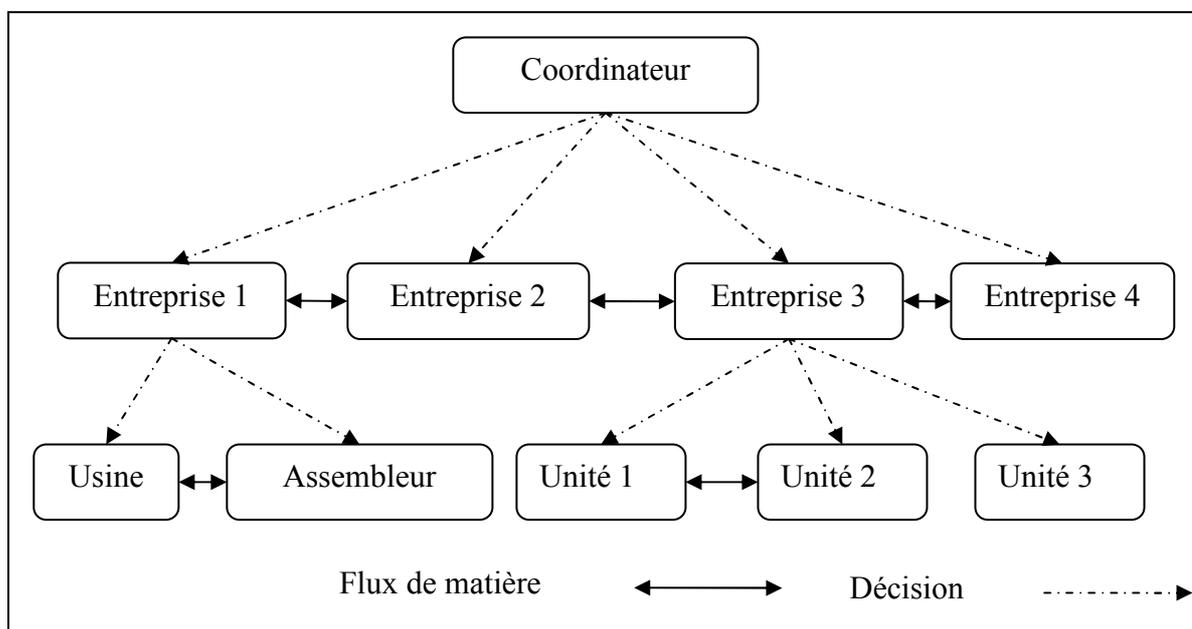


Figure 1.4 : organisation centralisée / hiérarchisée

L'inconvénient réside dans le fait que ce type d'organisation est mal adapté à l'environnement actuel des entreprises. Cela est dû à la difficulté ou à l'impossibilité de réunir l'ensemble des acteurs dans de telles structures en raison de leur appartenance à des organismes partenaires voire concurrents.

Ces organisations sont aussi identifiées sous le nom de systèmes hiérarchiques intégrés. Par rapport aux architectures hiérarchiques simples, ces architectures (figure 1.5) sont coordonnées. Les îlots peuvent s'informer. Ces échanges d'informations peuvent donner lieu à une coopération sur le même niveau hiérarchique. C'est le cas par exemple de la co-traitance qui permet à un groupement de fournisseurs de répondre ensemble à la demande d'un donneur d'ordres commun.

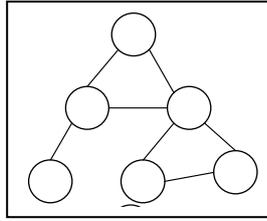


Figure 1.5 : Représentation du système intégré

2.1.6 Système distribué

Il constitue des hétéralchies dans lesquelles les îlots ne sont plus subordonnés par des îlots hiérarchiquement supérieurs. Dans ces architectures (figure 1.6), la coopération de ces îlots dépend de leur interopérabilité (coopération de leurs services, ressources).

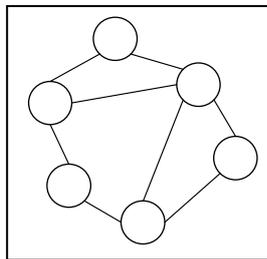


Figure 1.6 : Représentation du système hiérarchisé

Ce type d'organisation (figure 1.8) se caractérise par le fait que chacun des centres de décision, qui représente un partenaire, est totalement autonome dans ses prises de décisions. Il n'existe pas de structure dirigeante de l'ensemble de l'organisation.

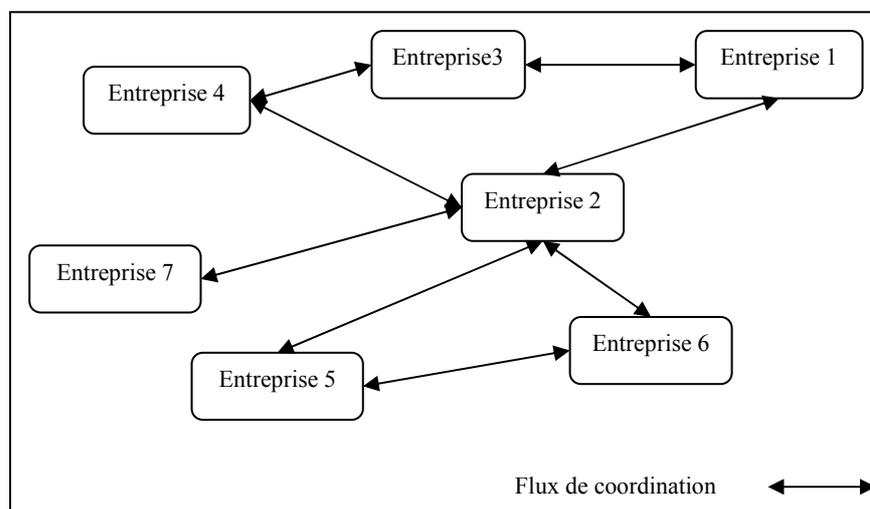


Figure 1.8 : réseau d'entreprises distribuée.

L'avantage de ce type d'organisation réside dans le fait que toute entité peut y intervenir sans prise de contrôle d'une autre entité.

Par contre il est difficile de mesurer dans ce type d'organisation la cohérence et l'influence que peuvent avoir les décisions prises localement sur le reste du système.

Dans notre recherche, nous nous intéressons plus particulièrement à ces organisations en réseaux d'entreprises dits distribués, pour lesquels une grande partie des outils de gestion des négociations et des prises de décision restent à inventer et à valider.

2.1.7 Système holarchique

À l'opposé des systèmes fragmentés, ces systèmes intelligents (figure 1.7), constituent la quintessence théorique entre les architectures distribuées et intégrées. La coopération entre les holons constituant un tel système est très forte et demeure le seul moyen de synchronisation des actions [Ounnar et Pujo 05], pour plus de détail voir le chapitre 4 section 2.2.

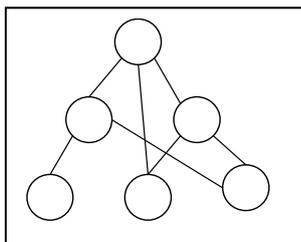


Figure 1.7 : Représentation du système hiérarchisé

2.2 La gestion de la chaîne logistique

2.2.1 Définition de la chaîne logistique

La chaîne logistique peut se définir par référence à un produit ou à un projet 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 assurent 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 et 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 quelquefois aux fournisseurs et aux clients immédiats de l'entreprise. Le parallélisme entre la chaîne logistique et l'organisation en réseau est très significatif, il met en évidence la complexité de sa gestion étant donné que cette organisation est le point qui rassemble plusieurs acteurs participants à un même projet ou à défaut participant tous au processus de création, ou de développement d'un service ou d'un produit. New et al [New et al, 1995] vont dans le même sens et proposent de représenter les activités et les entreprises impliquées dans une chaîne qui commence à la phase l'extraction de la matière première en passant par les entreprises de production, les grossistes, les détaillants jusqu'au client final.

Pour notre travail, nous retenons la définition de [Chopra et al, 2007] qui définissent la chaîne logistique ainsi : « une chaîne logistique consiste en toutes les étapes impliquées directement ou indirectement dans la satisfaction de la requête d'un client. La

chaîne logistique inclut non seulement le fabricant et ses fournisseurs, mais aussi les transporteurs, les centres d'entreposage, les détaillants et les clients eux-mêmes ».

Ainsi, dans ce travail, nous considérons que la chaîne logistique est composée de tous les partenaires qui interviennent dans la réalisation d'un produit ou d'une famille de produits donnés. Les relations entre les partenaires se basent sur la relation client/fournisseur. Chacun des partenaires est libre dans sa prise de décision, il peut accepter ou refuser une demande d'un de ses partenaires.

2.2.2 Les flux d'une chaîne logistique

Les entreprises appartenant à une même chaîne logistique sont reliées classiquement par des flux de produits, des flux d'informations et des flux financiers (figure 1.9) [Rota 98], [Claver 97], [Simchi-Levy 00].

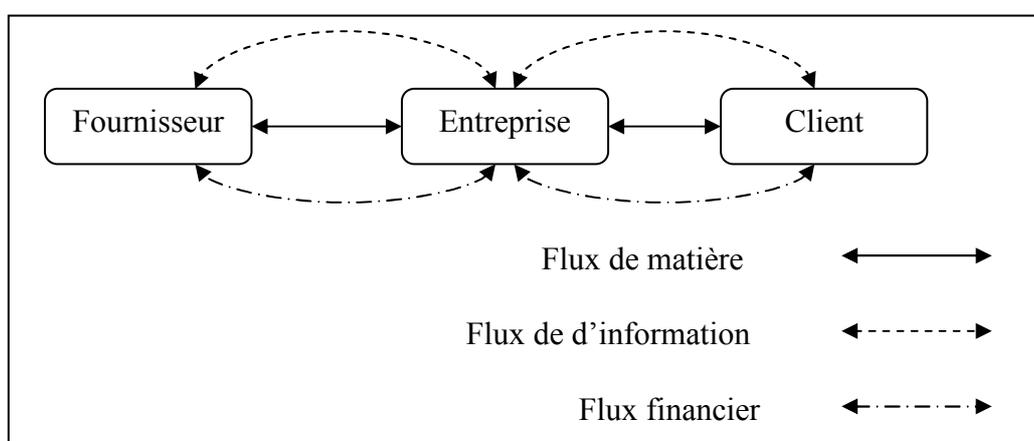


Figure 1.9 : les différents flux interentreprises

- Le flux de produits correspond au flux de matières entre les entreprises [Monteiro 01] et [Giard 03]. 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 circuit peut être encore plus complexe dans le cadre de la logistique inverse.
- 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.

Dans ce mémoire, nous allons prendre en compte uniquement les flux de matières ainsi que les flux d'informations. Nous considérons que les flux financiers sont la

conséquence directe d'échange de matières ou de services (incluant des informations) entre deux partenaires.

2.3 Rôles d'une chaîne logistique classique

[Ganeshan et al., 1995] donnent une définition de la chaîne logistique qui apporte des fonctions de la chaîne logistique : « une chaîne logistique est le réseau des moyens de production et de distribution qui assure les tâches d'approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en produits semi-finis et en produits finis, et la distribution de ces produits finis aux clients »

Plus généralement, les fonctions d'une chaîne logistique vont de l'achat des matières premières à la vente des produits finis en passant par la production, le stockage et la distribution.

Nous pouvons résumer ces rôles en cinq points :

- 1- L'approvisionnement de matières ;
- 2- La production de biens physiques et de services ;
- 3- Le stockage de matières ;
- 4- La distribution et le transport ;
- 5- La vente aux clients.

2.3.1 L'approvisionnement de matières

Il constitue la fonction amont de la chaîne logistique. Dans une majorité d'entreprises, les matières et les composants approvisionnés constituent de 60% à 70% des coûts des produits fabriqués [Ouzizi, 05]. Réduire les coûts d'approvisionnement contribue à réduire les coûts des produits finis, et ainsi à avoir plus de marges financières. Les délais de livraison des fournisseurs et la fiabilité de la distribution influent plus que le temps de production sur le niveau de stock ainsi que la qualité de service de chaque fabricant [Harmon, 92].

2.3.2 La production de biens ou de services

La fonction de production est au cœur de la chaîne logistique, il s'agit là des compétences que détient l'entreprise pour fabriquer, développer ou transformer les matières premières en produits ou services.

La tendance actuelle est de migrer d'une production monosite vers un système de production multisites. Ainsi, les actions logistiques deviennent de plus en plus prépondérantes dans ces activités industrielles.

2.3.3 Le stockage de matières

Le stockage inclut toutes les quantités stockées tout au long du processus en commençant par le stock de matières premières, le stock des composants, les stocks des en-cours et finalement le stock des produits finis. Les stocks sont partagés entre les différents acteurs : les fournisseurs, les producteurs et les distributeurs. Ici aussi se pose la question de l'équilibre à trouver entre une meilleure réactivité et la réduction des coûts. Il est évident que plus on a de stocks, plus la chaîne logistique est réactive aux fluctuations des demandes sur le marché. Cependant, avoir des stocks engendre des coûts et des risques surtout dans le cas de produits périssables ou bien des produits dont la rapidité

d'innovations est telle qu'une nouvelle gamme du même produit mise sur le marché par un concurrent puisse rendre obsolètes les quantités de ce produit en stock et ainsi une perte importante. La gestion des stocks est l'une des clés de la réussite et l'optimisation de toute chaîne logistique.

2.3.4 Distribution et transports

La fonction transport intervient tout au long de la chaîne, le transport des matières premières, le transport des composants entre les usines, le transport des composants vers les centres d'entreposage ou vers les centres de distribution, ainsi que la livraison des produits finis aux clients.

Les problèmes liés à la distribution et au transport peuvent être vus sous plusieurs angles. On peut chercher à trouver les meilleures routes possible pour visiter les points de collecte et/ou de distribution (vehicle routing problems, problèmes de tournées des véhicules) [Maffioli 03], [Laport et *al.* 02], ou bien, comme dit plus haut, chercher les meilleurs modes de transports, ou bien les quantités des produits qui doivent être transportés aux clients tout en minimisant le coût global des transports et des stocks. En effet, selon les études [Hugos, 03] les coûts de transport et distributions constituent le tiers des coûts opérationnels globaux d'une chaîne logistique, ce qui rend leur optimisation un défi majeur pour les entreprises.

2.3.5 La vente

La fonction de vente est la fonction ultime dans une chaîne logistique, son efficacité est interdépendante des performances des fonctions situées en amont. Si elle a bien été optimisée pendant les étapes précédentes, alors on facilite la tâche du personnel chargé de la vente, car il pourra offrir des prix plus compétitifs que la concurrence. Dans le cas contraire, les marges demeureront très étroites et les bénéfices peu importants, voire négatifs.

2.4 Les différents types de relations industrielles

Il existe différentes relations entre les partenaires d'une chaîne logistique [Giard 03]. Cela est dû essentiellement au fait qu'une entreprise ne fabrique pas l'intégralité des produits qu'elle consomme. Dans ce contexte, l'entreprise peut être amenée à acquérir soit des composants qui sont nécessaires pour sa production et/ou à faire appel à des prestataires de service (sous-traitants) afin de produire une partie de sa production.

La relation élémentaire entre deux entreprises correspond à une relation **client/fournisseur** dans le cas où une entreprise (le client) s'approvisionne en composants auprès d'une autre entreprise (le fournisseur).

Elle correspond à une relation **donneur-d'ordres/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).

Notre travail s'intéresse plus particulièrement aux relations de type client/fournisseur. Cependant, la relation de type donneur-d'ordres/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, la sollicitation entre partenaires est toujours unidirectionnelle, le donneur-d'ordres peut solliciter le sous-traitant par contre, l'inverse n'est pas possible.

2.5 Modèles de pilotage des chaînes logistiques

Dans la littérature, il existe de nombreux modèles relatifs à la gestion et au pilotage des chaînes logistiques qui se construisent autour de l'identification de ses processus. Parmi ces travaux, on trouve principalement des approches de types audit, processus d'analyse ou encore des outils de diagnostic de la chaîne logistique : les modèles de [Cooper *et al.* 97] et [Gilmour 99], le modèle SCOR [SCC, 06], le guide logistique [ASLOG 06], et le modèle de référence EVALOG (2006) sont des exemples de ses types de modèles. Le travail de [Gruat la Forme-Chretien *et al.* 07] donne une analyse plus étendue de ces modèles.

2.5.1 Le modèle de Cooper *et al.*, (1997)

Ce modèle met en avant la liaison existant entre les processus, les composants de gestion et la structure d'une chaîne logistique. La Figure 1.10 détaille le modèle sous la forme présentée dans [Chan et Qi 03] d'après [Cooper *et al.*, 97].

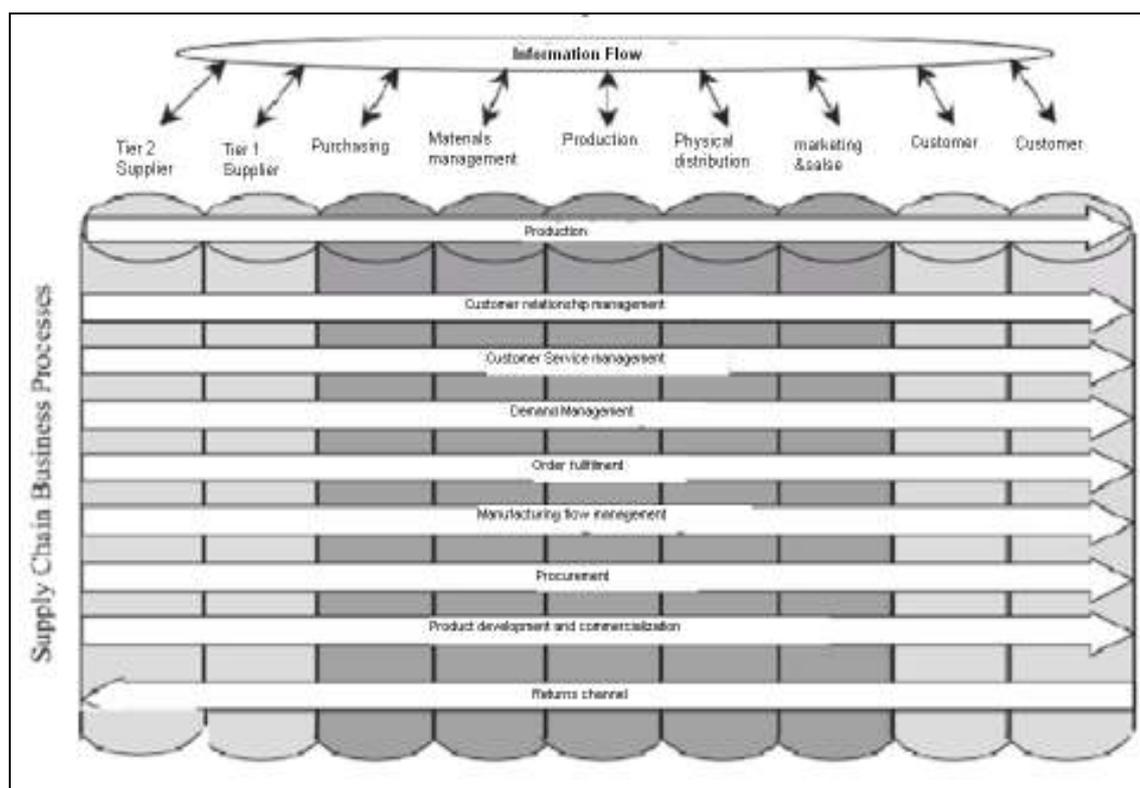


Figure 1.10 : Architecture de gestion d'une chaîne logistique [Chan et Qi 03] d'après [Cooper *et al.*, 97]

Ce modèle est ainsi centré sur neuf processus. Deux d'entre eux concernent directement le flux physique (« product flow » et « return channel ») et les sept autres correspondent à des processus informationnels. La structure de la chaîne logistique est quant à elle représentée par un enchaînement classique d'entités fonctionnelles, allant des

fournisseurs jusqu'aux clients et passant par les achats, les approvisionnements, la production, la distribution et les ventes.

2.5.2 Le modèle de Gilmour ([Gilmour 99])

L'approche proposée par Gilmour consiste à analyser une chaîne logistique selon trois angles de vues : les processus, les technologies d'information mises en oeuvre et l'organisation. L'analyse est supportée par le modèle représenté par la Figure 1.11.

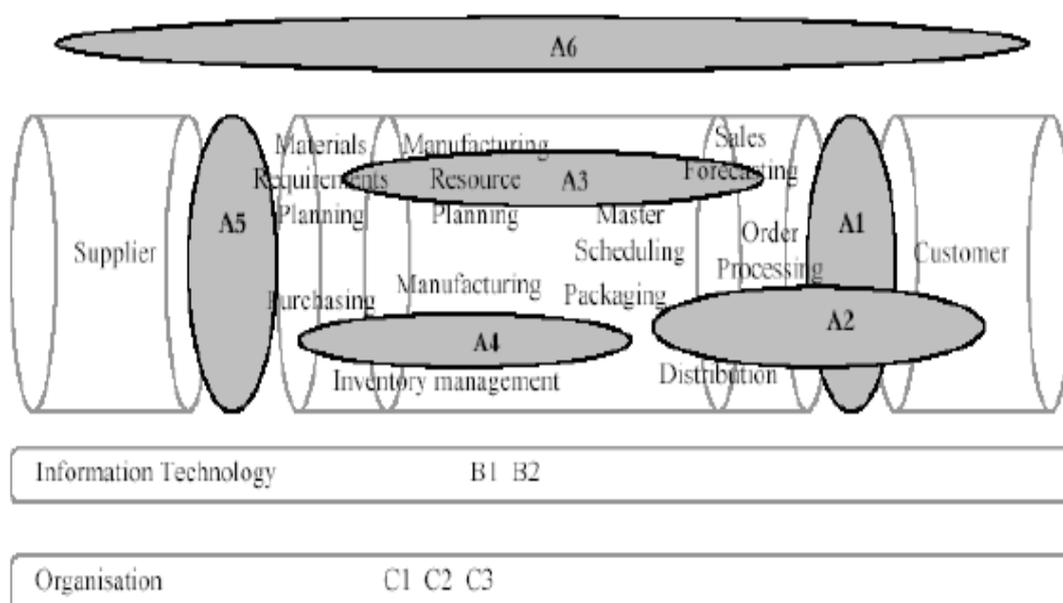


Figure 1.11 : modèle de diagnostic de [Gilmour 99]

Le modèle décompose ainsi la chaîne logistique d'une entreprise en six compétences clef de type processus, nommées « capabilities » ou capacités organisationnelles par l'auteur :

- L'orientation client de la chaîne logistique (A1)
- La distribution efficace (A2)
- Le pilotage de la planification par les ventes (A3)
- Le « lean production » (A4)
- Le partenariat avec les fournisseurs (A5)
- La gestion intégrée de la chaîne logistique (A6)

Ces compétences sont ensuite reliées aux aspects relatifs aux technologies de l'information et à l'organisation de la chaîne logistique, ces deux dimensions permettant de structurer les questions dans la démarche d'audit.

2.5.3 Le modèle SCOR

Le modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference) (figure 1.12) s'appuie sur une méthode standardisée de description et d'évaluation des flux au sein d'une chaîne logistique. Cet outil de modélisation fait aujourd'hui référence dans le monde industriel, de par son origine. Il a été construit par et pour des industriels dont le but était d'une part de structurer un référentiel de processus logistiques types et d'autre part de mettre en évidence les critères de performance, les indicateurs et les meilleures pratiques associées.

A partir de cinq processus (planification, approvisionnement, fabrication, livraison et gestion des retours), le modèle SCOR propose une démarche d'analyse descendante faisant ressortir les liens entre la stratégie d'une organisation et la gestion individuelle et opérationnelle des entités.

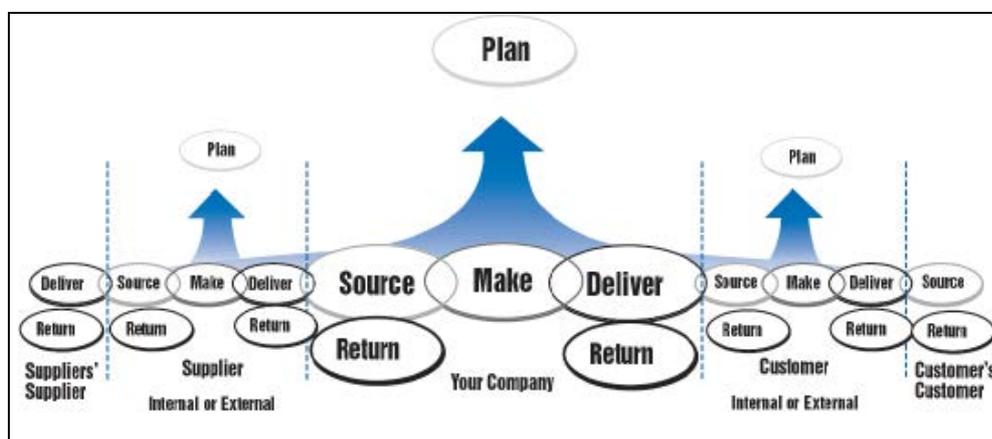


Figure 1.12 : le modèle SCOR [SCC, 06]

Le modèle s'organise autour des interactions entre le client et la chaîne logistique, depuis la réception de la commande jusqu'au paiement de sa facture. Il considère également l'ensemble des échanges s'opérant depuis le client du client jusqu'au fournisseur du fournisseur. Enfin, le modèle SCOR qualifie les activités autour de la demande, depuis son analyse jusqu'à l'exécution de chaque commande client. Une modélisation classique de SCOR.

Il faut noter que SCOR est spécifiquement établi pour les modèles de pilotage centralisés ou hiérarchisés sur des chaînes logistiques mono-entreprises. Ce modèle SCOR est donc peu adapté à la problématique du pilotage distribué que nous étudions dans ce mémoire.

2.5.4 Le modèle de l'ASLOG

Le guide d'audit logistique de l'ASLOG (Association française pour la LOGistique) fait figure de référentiel standard permettant d'atteindre, selon eux, l'excellence logistique [Aslog, 06]. Ce modèle s'appuie sur 8 processus de la chaîne logistique (conception produit, achat, approvisionnement, production, livraison, stockage, ventes, maintenance et retour) et permet à une entreprise de caractériser sa situation actuelle (« as is ») ainsi que l'évaluation de sa performance logistique. À partir de ces éléments de caractérisation, les auditeurs de l'ASLOG analysent la situation de l'entreprise au sein de sa chaîne logistique et formulent un certain nombre de recommandations permettant une amélioration à venir (« to be »).

2.5.5 Le modèle EVALOG

Le guide logistique proposé par l'organisation EVALOG est destiné à l'industrie automobile et axe son analyse sur six thématiques majeures dont quatre sont de type processus :

- Relation client
- Relation fournisseur
- Production
- Développement produit

Les autres axes d'étude concernent la stratégie de l'entreprise et son organisation. De nombreuses questions, dont l'importance est pondérée par un système de points, sont rattachées à chacun des axes et constituent un ensemble de bonnes pratiques du secteur automobile [EVALOG, 06].

2.6 *Problème liée au pilotage des chaînes logistiques distribuée*

Tous les modèles que nous avons présentés ci-dessus ont pour but d'améliorer les performances du management de la chaîne logistique. Cela dit, il nous semble important de mettre en lumière certains problèmes liés au fonctionnement de telles chaînes logistiques.

Dans sa thèse de doctorat, Latifa Ouzizi [Ouzizi 05] reporte quatorze problèmes, pouvant apparaître, liés au fonctionnement même des chaînes logistiques et qui sont ; l'absence d'indicateurs de performance globaux de chaîne logistique, la définition insuffisante du service client, les données insuffisantes concernant la livraison, les systèmes d'information inefficaces, l'ignorance de l'impact des incertitudes, les politiques de stockage simplistes, la discrimination contre les clients internes, la coordination faible, l'analyse incomplète des moyens de transport, l'évaluation incorrecte des coûts de stock, la définition des limites des organisations, la conception du Produit-Processus qui ne prend pas en considération la chaîne logistique, la séparation entre la conception de la chaîne logistique et des décisions opérationnelles et enfin la chaîne logistique incomplète. Tous ces problèmes sont toujours d'actualité et doivent être complétés par ce qui suit.

2.6.1 L'effet *bullwhip* (coup de fouet)

La performance de beaucoup de systèmes distribués est affectée par l'instabilité que confère la structure décisionnelle et informationnelle. Chaque entité de ce système agit de manière autonome et n'a aucune vision de l'impact de ses décisions sur le reste du système. Un des effets majeurs de la fluctuation des demandes d'un partenaire à un autre de la chaîne logistique est l'effet *bullwhip* [Moyaux 04].

Prenons le cas d'une chaîne logistique composée par trois acteurs, un détaillant, un centre de distribution et un assembleur. Lorsque le détaillant passe ses commandes au centre de distribution, cela peut impliquer une propagation des demandes de ce dernier à l'assembleur. Ces demandes peuvent être amplifiées du fait d'aléas survenus dans les demandes du centre de distribution. Cette amplification de la demande se propage et s'amplifie vers l'assembleur, voir la Figure 1.13.

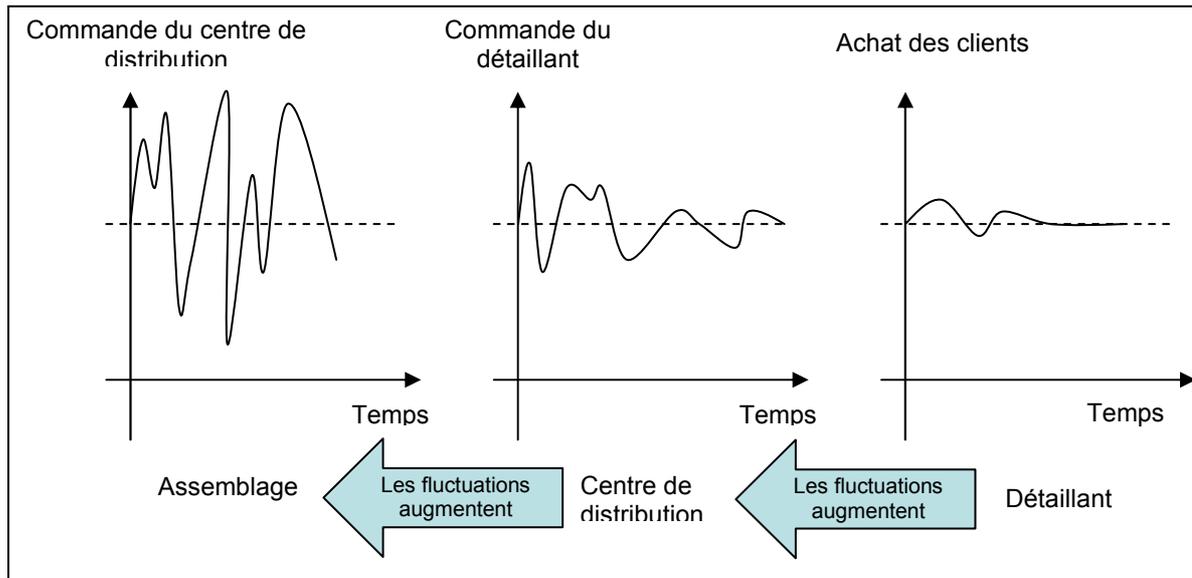


Figure 1.13: exemple de l'effet *bullwhip* [Moyaux]

C'est [Forrester 58] qui a le premier décrit ce phénomène. Pour [Lee et al 97] les causes principales de cet effet sont les changements dans les plannings de demandes, le problème dû à la fabrication par lots, la fluctuation des prix, ainsi que l'occurrence de pénuries. Pour d'autres auteurs [Sternan 89], cet effet est dû aussi essentiellement au manque de visibilité des acteurs de la chaîne logistique. [Moyaux 04] a proposé une approche multi agents pour la simulation et la maîtrise de ce type de phénomène dans une chaîne logistique de la filière forestière du Québec.

2.6.2 Problème de cohérence et de robustesse des décisions

La prise de décision dans ce genre de système est locale, car une entreprise ne peut pas percevoir l'ensemble des effets à court, moyen ou long terme de ces décisions. L'un des problèmes qui émerge à cause de cette vision restreinte est l'incohérence des décisions dans une vision large du système [Moyaux 04]. La robustesse des décisions est aussi un enjeu essentiel pour donner une certaine stabilité dans l'ensemble du système, car si cela n'est pas garanti, une décision qui serait émise est automatiquement mise en doute et donc ne permet pas un bon fonctionnement du système.

L'une des solutions qui peut être apportée à ce genre de problèmes réside dans l'échange et le partage des informations dans le système. Ce qui permet à une entreprise de prédire, dans une certaine mesure, les effets potentiels de ces décisions sur son environnement.

Notre travail s'inscrit dans ce domaine de recherche des chaînes logistiques. L'enjeu principal des échanges d'informations est de permettre une meilleure cohérence dans les prises de décisions au niveau local de l'entreprise, mais aussi au niveau global, c'est-à-dire dans toute la chaîne logistique. La cohérence ainsi obtenue permet d'assurer la robustesse des décisions prises localement.

2.7 Les instruments de pilotage de telles structures

Le pilotage des chaînes logistiques distribuées est très difficile à mettre en œuvre. Afin de réduire au maximum les incohérences dues à la nature même de la chaîne logistique, les entreprises ont besoin de se coordonner.

La coordination entre partenaires 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.

Un moyen simple pour coordonner les activités entre les partenaires de la chaîne logistique serait de mettre en place un super coordinateur qui à l'instar d'un chef d'orchestre distribue les ordres qui permettent à l'ensemble de jouer la même partition. Cette proposition ne convient pas lorsque la chaîne logistique est distribuée. Il n'y a pas de chef d'orchestre dans de telles structures. Elle ne peut donc pas être utilisée dans notre approche.

Du fait que la chaîne logistique considérée est distribuée, il est nécessaire d'appliquer d'autres moyens pour coordonner les activités :

- La **coopération** interentreprises est une solution pour la maîtrise et le pilotage de telle structure industrielle. En effet, coopérer signifie la mise en commun des ressources physiques ou non des entreprises afin d'achever la réalisation de buts conjoints. Un attrait majeur de la coopération est la réduction des coûts sur l'ensemble du système. 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 présent et éventuellement de ses prévisions. Il possède en retour une vision plus riche de son environnement.
- 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. Le terme collaboration s'utilise à la place de coopération lorsque les actions individuelles ne sont pas différenciables.

Dans le cas de la coopération ainsi que de la collaboration, les partenaires influent sur des opérations physiques afin d'obtenir une coordination des activités.

Un autre type d'action peut être mis en œuvre qui influe uniquement sur les décisions prises entre les partenaires de la chaîne logistique :

- La **codécision** est une collaboration relative au processus de décision. Dans le cas d'une décision prise en commun par un ensemble d'acteurs, on parle de codécision. Celle-ci se définit comme une collaboration décisionnelle. Par exemple, le vote est une codécision. Les choix individuels ne sont pas différenciés et seul le résultat final compte.

L'enjeu essentiel de notre travail est d'organiser la coordination d'un ensemble d'actions nécessaires à la prise d'une commande ferme, pour cela, l'étude que nous

présentons nous a menés à la conception de protocole de type codécision que nous détaillons tout au long de ce mémoire.

2.8 Les outils de pilotage des chaînes logistiques

Nous avons vu dans les sections précédentes la complexité des organisations en chaînes logistiques. Celles-ci comprennent plusieurs partenaires et réalisent plusieurs fonctions. Nous avons vu aussi que le pilotage de telles structures est un processus complexe et difficile à mettre en œuvre. Tous les partenaires qui la composent coordonnent ou non leurs activités en vue de l'obtention du meilleur résultat pour le collectif ou individuellement. La taille importante d'un tel système, la diversité des données, et l'antagonisme des objectifs des différentes fonctions font sentir le besoin de mise en œuvre d'outils d'aide à la décision capables de prendre en compte tous ces paramètres.

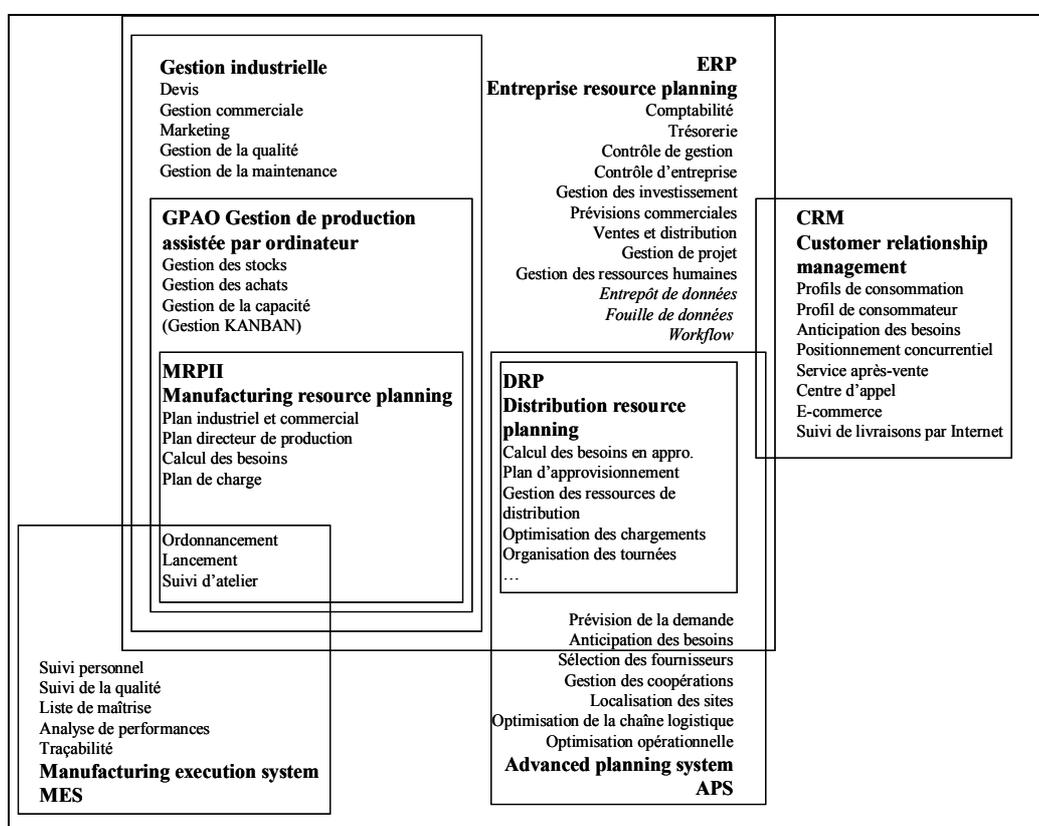


Figure 1.14 : Outils logiciels classiques de gestion des chaînes logistiques

Il existe une très grande offre dans ce secteur parce que les fonctions contenues dans ces outils (Figure 1.14) sont devenues indispensables pour les gestionnaires de chaînes logistiques. Nous détaillons deux de ces systèmes, qui à notre sens sont les plus emblématiques : les Enterprise Resource Planning ERP, et les Advanced Planning and Scheduling APS.

2.8.1 Entreprise Resource Planning (ERP)

Les ERP sont des systèmes transactionnels qui couvrent les différentes fonctions d'une entreprise (production, distribution, mais aussi comptabilité/finances, ressources humaines...). L'organisation des traitements et des données des ERP répond pour l'essentiel à des préoccupations de découpage analytique par fonction, de suivi des flux, des performances financières et d'exécution, de suivi des principales activités et tâches. Ils se concentrent généralement sur les opérations internes principalement liées à la gestion de la production (figure 1.15).

Historiquement, on distingue trois étapes dans l'évolution de la technique MRP et des logiciels associés. La « technique MRP » à l'origine part des prévisions et/ou des commandes fermes en produits finis, ainsi que des différents niveaux de stocks, pour en déduire les besoins manquants (besoins nets) à tous les niveaux de la chaîne logistique. Les logiciels dits « MRP1 » (Material Resource planning) calculent en plus les ressources nécessaires pour acquies les besoins manquants (produits ou sous-traitance essentiellement), mais sans chercher à lisser la charge pour trouver des solutions réalisables. La génération des progiciels dits de type « MRP2 » (Manufacturing Resource Planning) ajoute des contraintes effectives de ressources et/ou des coûts de ressources excédentaires. Ils cherchent à lisser les charges au moindre coût en utilisant des métas heuristiques ou de la programmation linéaire en nombre entier (en limitant les contraintes aux ressources les plus contraignantes, pour limiter la taille des modèles).

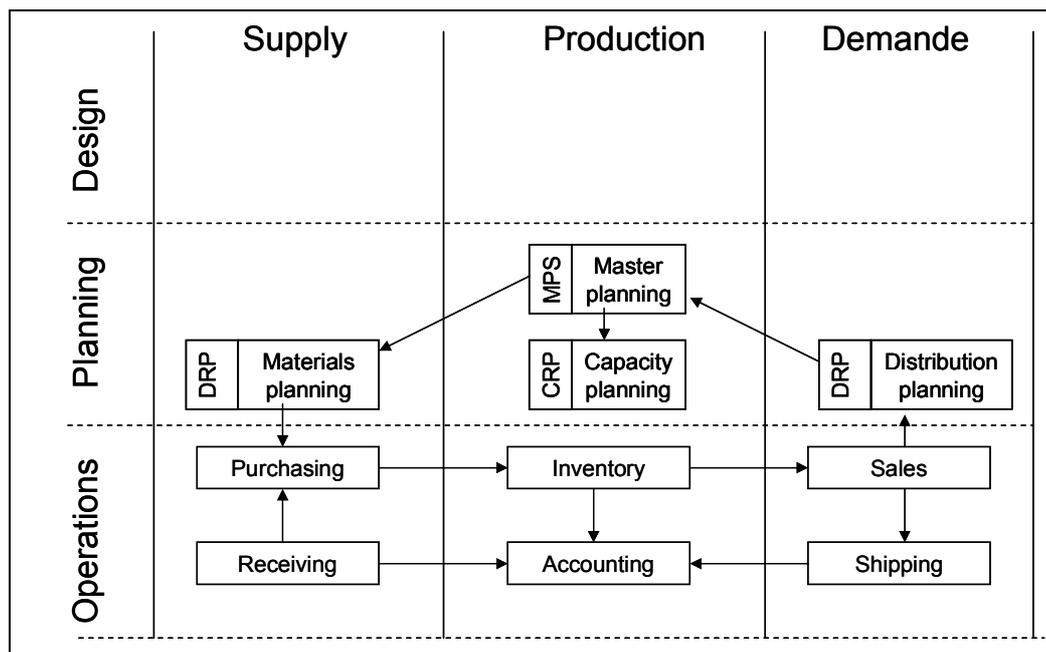


Figure 1.15 : modules d'un ERP (Taylor, 2003)

En interrelation avec l'ERP et l'APS, le DRP (Distribution Requirements Planning) utilise l'historique et les prévisions de ventes comme données pour construire des programmes de distribution qui indiquent les quantités de chaque produit à transporter pour chaque localisation. Ces derniers plans sont passés comme entrée au module MPS (Master Production Scheduling) qui réalise l'ordonnancement de la production afin de satisfaire le plan de distribution. Ensuite, le MPS appelle le MRP (Material Requirements Planning) pour s'assurer que toutes les matières premières et les composants nécessaires à

la production sont bien disponibles, et le CRP (Capacity Requirements Planning) assure que la capacité de production est suffisante pour satisfaire la demande.

Comme son architecture l'indique, les ERP ont été conçus à la base pour piloter la gestion de la production au sein des ateliers et des usines, c'est-à-dire des environnements assez contrôlés. Ils sont initialement dédiés à la production mono-site. Ils ne sont donc pas aptes, tout seuls, à gérer la totalité de la chaîne logistique. Logiquement, une nouvelle génération d'applications de gestion des ressources est donc apparue, les APS.

2.8.2 Advanced Planning and Scheduling APS

L'APS est une application destinée à la planification de la chaîne logistique. En fonction de la demande, elle permet d'analyser la capacité des ressources et les contraintes afin de proposer un horaire détaillé et adaptable pour une production optimale. Elle intervient à tous les niveaux :

- **la demande** : détermine combien de produits doivent être fabriqués.
- **les achats** : vérifie la disponibilité des matières premières et des composants suivant la nomenclature du produit.
- **la production** : analyse les contraintes et la capacité à développer un plan de production optimal.
- **le stockage** : prévoit les espaces nécessaires.
- **le transport et la distribution** : optimise les coûts et assure la qualité de service à la clientèle.

La figure 1.16 illustre les différents modules qui composent un système de type APS. Notons que cette représentation n'est pas commune à tous les APS, en effet il n'existe pas d'architecture générique de tous les modèles. Celle représentée ci-dessous comporte néanmoins les modules importants. Cette critique doit cependant être relativisée par le fait que les éditeurs développent aujourd'hui des outils développés adaptés aux secteurs d'activité de leurs clients.

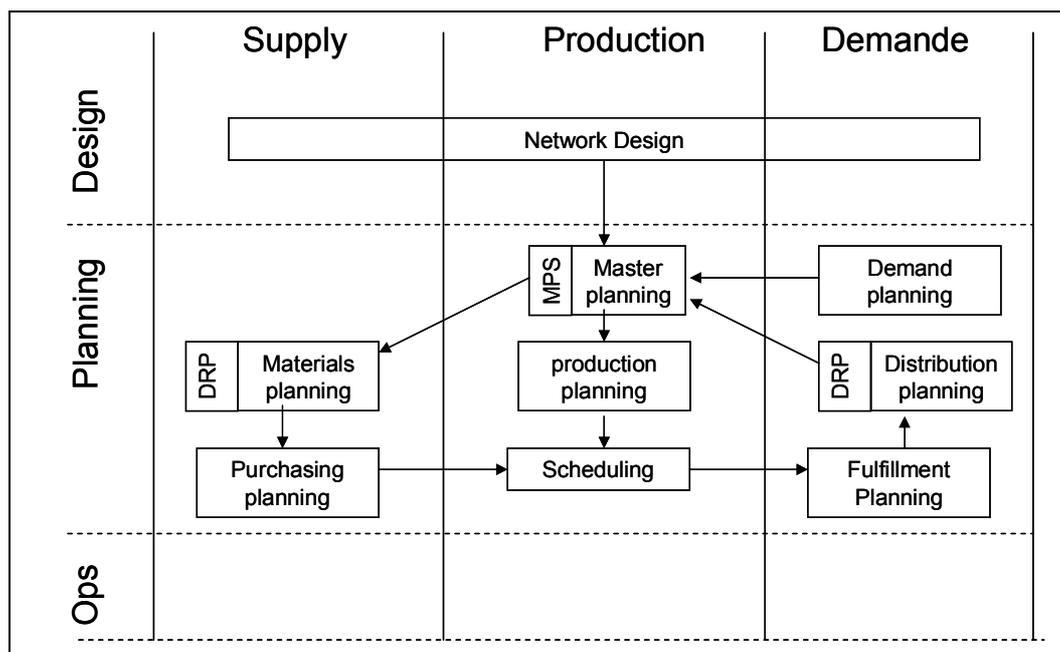


Figure 1.16 modules d'un APS ([Taylor 03])

La différence majeure que l'on peut constater en comparant les deux figures précédentes est que les ERP se situent plutôt à un niveau opérationnel d'actions, alors que les APS se situent au niveau tactique. Ainsi, l'ERP reste au niveau d'un site de production et plusieurs ERP seront coordonnés par l'intermédiaire de l'outil APS.

Dans la mesure où nos travaux se destinent à la coordination des activités dans les réseaux d'entreprises distribués, ceux-ci peuvent être vus comme de nouveaux modules d'un APS

3 La problématique de notre étude

Notre travail s'inscrit dans la continuité des travaux de [Ouzizi 05]. Ces travaux proposent un ensemble d'outils d'aide à la décision de niveau tactique pour la construction d'un ensemble cohérent de plannings prévisionnels au sein d'une entreprise virtuelle, dans le cadre de l'utilisation d'une technique de plan glissant. Entre une approche totalement centralisée où l'ensemble de tous les plannings est construit par un organe central et une approche totalement distribuée où chaque entité de l'entreprise virtuelle détermine son propre planning, l'étude porte sur une approche semi-centralisée.

Son approche est centralisée dans la mesure où un médiateur pilote la recherche globale de l'ensemble des plannings cohérents en utilisant une stratégie itérative et convergente. Son approche est décentralisée dans la mesure où les plannings de chaque niveau sont négociés entre les entités du même niveau et en interaction avec les niveaux immédiatement adjacents

Nous proposons dans ce mémoire d'étendre le travail de Latifa Ouzizi vers la prise de décision opérationnelle en nous intéressant aux problèmes de courts termes. Notre travail se concentre sur la problématique de la prise de commande ferme et la gestion des événements imprévus.

Dans la mesure où la prise de décision opérationnelle est un mécanisme complexe dans une structure de réseau d'entreprises distribuée. La mise en oeuvre de moyen de pilotage n'est pas chose facile. Plusieurs travaux dans la littérature se focalisent sur l'échange d'informations sous diverses formes. La plus proche de nos préoccupations est l'échange de planning de production pour la collaboration en vue de réalisation d'actions de production entre partenaires.

[Dudek et al 04] propose un modèle non hiérarchique de planification entre deux partenaires d'une chaîne logistique connectés uniquement par un flux de matière. Ils proposent en outre un mécanisme de négociation qui permet de coordonner les plannings de production des deux partenaires.

Notre démarche ne s'inscrit pas dans l'optique de coordination entre seulement deux partenaires d'une chaîne logistique distribuée. Le but de notre recherche est de mettre en place les fondements d'une démarche globale de collaboration entre les partenaires existants dans la chaîne logistique distribuée. Cela en vue de la réalisation des opérations de prise de commandes fermes dans le contexte où les délais de réponses sont courts tout en évitant l'explosion combinatoire des échanges d'informations nécessaires à l'accomplissement de telles codécisions.

Une autre piste de pilotage des chaînes logistiques distribuées est l'utilisation d'une architecture logicielle qui facilite les échanges d'informations et qui permet en outre de faciliter la synchronisation des actions communes dans la chaîne logistique. [Verwijmeren 04] propose une architecture multi agents qui permet l'utilisation d'outil tel que les ERP afin de permettre une bonne gestion du pilotage des chaînes logistiques. La décomposition des entités de l'entreprise en composants permet une meilleure structuration de la circulation du flux d'information et ainsi facilite les échanges entre les partenaires d'une chaîne logistique.

Le travail que nous présentons, dans ce mémoire, a pour but l'étude d'un des aspects essentiels à la bonne marche et à la réalisation des actions dans une chaîne logistique distribuée. Cet aspect réside dans la prise de décisions pour la réalisation d'une commande ferme qui diverge de la prévision préalablement élaborée. Car l'enjeu exigé pour toute entreprise est de satisfaire un maximum de demandes afin d'améliorer ses performances internes, mais aussi d'améliorer la performance globale de la chaîne logistique distribuée.

3.1 Contexte général de notre travail

La chaîne logistique (figure 1.17) que nous considérons, dans cette thèse, se compose de plusieurs entreprises autonomes dans leurs prises de décision. Dans ce modèle, les entreprises sont structurées par rangs en fonction de la propagation des demandes. Ainsi, un fournisseur se trouve dans un rang supérieur par rapport à son client. Le rang spécifique de la chaîne logistique est constitué des transporteurs qui opèrent dans la chaîne logistique. Nous nous plaçons dans un cadre d'étude similaire à celui de la thèse de [Ouzizi 05].

Nous prenons l'hypothèse qu'une entreprise figure une seule fois dans la chaîne logistique et qu'il n'existe pas de cycle de commandes dans la chaîne logistique. Nous pouvons alors représenter la chaîne logistique par un graphe orienté sans circuits (Figure 1.17).

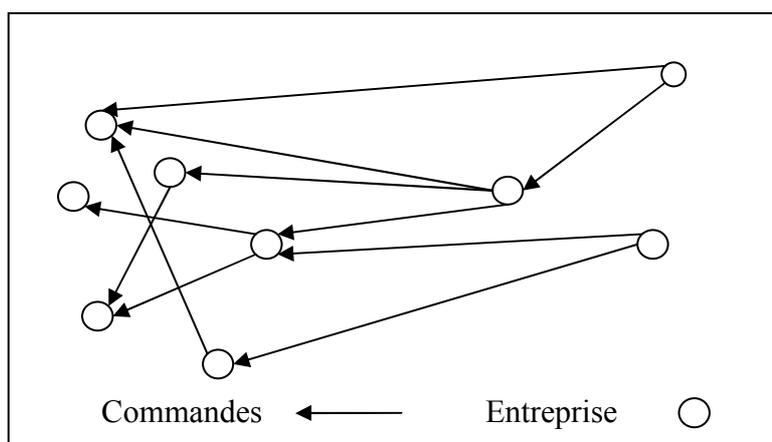


Figure 1.17 : Représentation par un graphe orienté sans circuit d'un réseau d'entreprises

Les entreprises modélisées peuvent être de natures différentes. Ainsi, le modèle permet d'intégrer à la fois des entreprises de type « production », de type « entreposage »

ou de type « transport »... Chaque entreprise possède son propre centre de décision. Elle effectue ses choix sans l'intervention ou l'influence coercitive de ses partenaires. Ainsi se constitue le réseau distribué d'entreprises.

Nous considérons ici le transport comme un *service* qui peut être requis de manière analogue pour déplacer les produits entre n'importe quels couples de partenaires de la chaîne logistique, sauf si le transport de produits très volumineux requiert des moyens de transport particulier. Nous plaçons le transport au niveau le plus élevé pour éviter de le répéter plusieurs fois dans la chaîne logistique. Cette hypothèse est différente de celle prise dans la thèse de [Ouzizi 05] où un transporteur est considéré comme une entreprise comme les autres et n'a pas cette caractéristique de position.

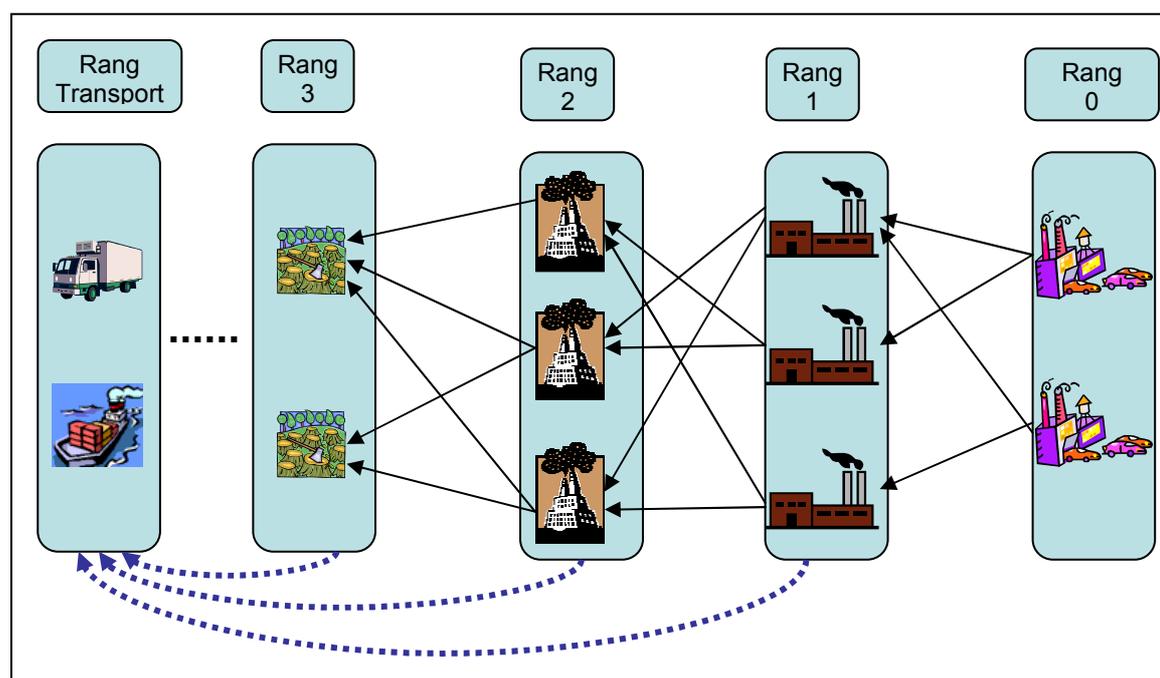


Figure 1.18 : Exemple de chaîne logistique

Pour permettre la coordination de ces centres de décision, des mécanismes de négociations et d'échange d'informations sont intégrés dans l'architecture. La relation qui régit deux partenaires directs de la chaîne logistique est basée sur la collaboration de type gagnant - gagnant [Ouzizi *et al.* 03]. Chacune de ces relations a pour but de maximiser ses profits dans le cadre d'un compromis global.

3.2 Modélisation de la chaîne logistique : l'entreprise virtuelle

Le modèle que nous avons choisi dans cette thèse est une extension de celui utilisé par [Ouzizi 05]. Chaque entreprise qui compose la chaîne logistique est modélisée par un Nœud d'Entreprise Virtuelle (voir figure 1.19). Il existe plusieurs types d'Entreprises Virtuelles (EV) selon que le regroupement est pérenne ou seulement lié à la réalisation d'un projet. Dans cette étude, nous nous intéressons aux EV pérennes qui ont été développées pour élargir le concept des entreprises étendues ([Perrin *et al.* 04], [Wu *et al.* 05]).

Pour [Aerts *et al.* 02], l'EV est une organisation *ad hoc* qui regroupe les compétences et les ressources des entreprises qui la composent, aptes à faire face à d'éventuelles opportunités extérieures. Contrairement aux entreprises étendues, le concept d'EV se caractérise par l'indépendance dans la prise de décision des entreprises qui la composent.

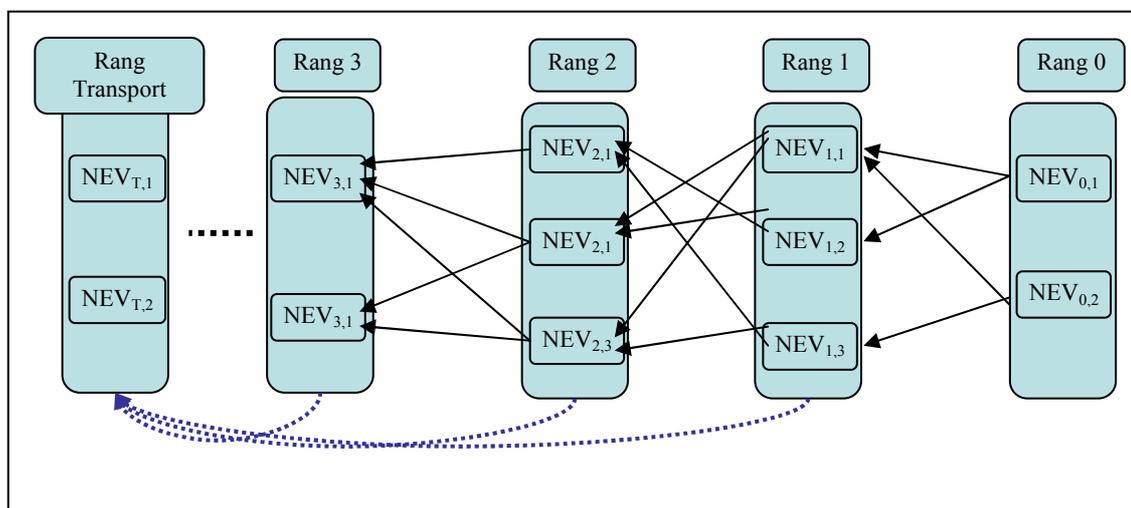


Figure 1.19 : Exemple d'architecture logistique

3.3 Le but du travail

Le travail que nous présentons dans ce mémoire aborde la problématique engendrée par la nécessité de satisfaire des commandes fermes. Lorsque les demandes des clients pour une entreprise divergent trop fortement des prévisions préalablement établies, nous pouvons avoir alors un processus décisionnel plus ou moins complexe. Ceci est étroitement lié aux flexibilités dont dispose l'entreprise pour faire face à ces perturbations.

Ces flexibilités sont relatives aux disponibilités des ressources nécessaires à l'acceptation des demandes. Elles sont de nature à influencer directement la bonne marche de la prise de décision. Ces ressources sont liées aux quantités de stock des produits finis, aux capacités de production, aux quantités de stock de composants nécessaire à l'achèvement d'une production ainsi qu'aux capacités de transport dont dispose l'entreprise pour acheminer les quantités demandées.

Si une ou plusieurs de ces flexibilités sont insuffisantes pour répondre à une demande considérée, l'achèvement de celle-ci est compromis.

Les conséquences d'un tel cas peuvent n'être que locales. C'est le cas par exemple pour une perte d'une commande de l'entreprise pour laquelle la non-satisfaction du client correspondant n'influe pas sur le fonctionnement interne de ce dernier. Dans ce cas précis, les effets sont limités.

Dans le cas où l'effet sur le client se propage vers ses propres clients, l'effet est par conséquent aggravé et ces propagations peuvent contribuer à l'émergence d'instabilités dans toute la chaîne logistique.

Nous voyons alors la nécessité de se pencher sur ce genre de problématique en vue de réduire et de limiter les effets engendrés par ce genre de situation.

4 Conclusion

Afin de répondre à cette problématique, le processus de prise de commande ferme doit entreprendre la recherche des flexibilités manquantes. Cette acquisition doit se faire, dans le meilleur des cas, de manière optimale relativement aux coûts induits. Cela est dû au fait qu'une entreprise ne peut pas accepter la réalisation d'une demande à n'importe quel prix.

Quels sont les moyens dont dispose l'entreprise pour arriver à ce but ?

Le moyen le plus simple pour une entreprise est de puiser dans son stock de sécurité les quantités défaillantes pour satisfaire son client, mais si celles-ci sont déjà réservées, il existe un autre moyen qui est de faire appel aux entreprises partenaires qui peuvent répondre de manière rapide et efficace aux demandes de flexibilités. Ce cas est « idyllique », mais dans la réalité du monde industriel, ce genre de partenariat est très difficile à mettre en œuvre.

Un autre moyen, plus difficile, mais plus réaliste, est de recourir à des outils d'aides à la prise de décisions adéquats. Ce type d'outil doit prendre en compte les différentes spécificités liées au problème. Ils sont internes à l'entreprise ou externes.

Dans cette optique, nous avons opté pour la résolution de deux problèmes qui influent directement sur la prise de décision. Ces problèmes sont présentés dans les chapitres suivants (chapitres 2). L'étude de ces problèmes nous a amenés à proposer des outils d'aides à la décision pour résoudre le problème de recherche et de sélection de fournisseurs et pour résoudre le problème de recherche et de sélection de prestation de transporteurs (chapitre 3).

En ce qui concerne les problèmes de production, ils sont présentés dans le chapitre 2, mais nous prenons l'hypothèse que les outils locaux préexistants de gestion de production sont utilisés pour cette étape du processus décisionnel.

La démarche globale de prise de commande imprévue, utilisant ces différents outils d'aide à la décision qui peuvent se distinguer selon les contextes plus ou moins favorables, est présentée dans les chapitres suivants.

Chapitre 2

PROBLEME DE PRISE DE COMMANDE IMPREVUE
DANS UNE CHAINE LOGISTIQUE.

Sommaire Chapitre 2

1	Introduction.....	30
2	L'entreprise.....	30
2.1	Structure décisionnelle multi niveaux.....	32
2.2	Mode de production d'une entreprise.....	34
3	Problématique de prise d'une commande.....	36
3.1	Mécanismes de prise de décisions au niveau opérationnel.....	36
3.1.1	Acteurs de la prise de décisions.....	36
3.1.2	Processus de la prise de décision.....	36
3.2	Impacts des décisions opérationnelles dans le fonctionnement interne de l'entreprise.....	38
3.3	Impacts des décisions opérationnelles sur la chaîne logistique (vision externe de l'entreprise).....	38
4	Problèmes liés à la prise de commandes.....	38
5	Processus de prise de commande et présentation globale de notre approche.....	40
5.1	Structure de données pour le management des ressources.....	41
5.2	Mécanisme de traitement d'une nouvelle demande.....	42
5.3	Arrivée d'une nouvelle demande.....	43
5.4	Cas n°1 – Satisfaction de la demande en utilisant les produits disponibles dans les stocks ainsi que les capacités internes de transport.....	44
5.5	Cas n°2 – Disponibilité du transport.....	45
5.6	Cas n°3 et 4– Satisfaction de la demande par production.....	47
5.7	Cas n°5 et 6 – Disponibilité de la matière première.....	49
5.8	Synthèse de l'approche proposée.....	50
6	Conclusion.....	51

1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de mettre en lumière la complexité du problème de prise de décision pour l'acceptation ou non d'une commande non prévue. Nous illustrons aussi l'organisation des activités nécessaires à cette prise de décision qui doit être réalisée dans un contexte où les délais de réponses sont réduits, c'est-à-dire au niveau de décision opérationnel.

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons les spécificités des entreprises actuelles ainsi que leur environnement. Cela permet de cadrer notre champ de travail et de formuler certaines hypothèses.

Une fois ce contexte de travail établi, dans la deuxième partie de ce chapitre, nous détaillons la problématique de prise de décision pour une commande ainsi que les enjeux et les impacts de telles décisions sur l'environnement dans lequel évolue une entreprise.

La dernière partie de ce chapitre présente globalement l'approche que nous proposons pour le traitement d'une commande ferme dans le cadre du contexte particulier de la chaîne logistique distribuée.

2 L'entreprise

L'entreprise est l'entité élémentaire d'une chaîne logistique. En général, elle est modélisée par trois systèmes différents, mais complémentaires qui sont nécessaires à la bonne gestion de celle-ci. Les trois systèmes classiquement considérés en systémique sont rapidement décrits dans la figure 2.1 ci-dessous inspirée par [Pierreval 90] et [Boulding 56] :

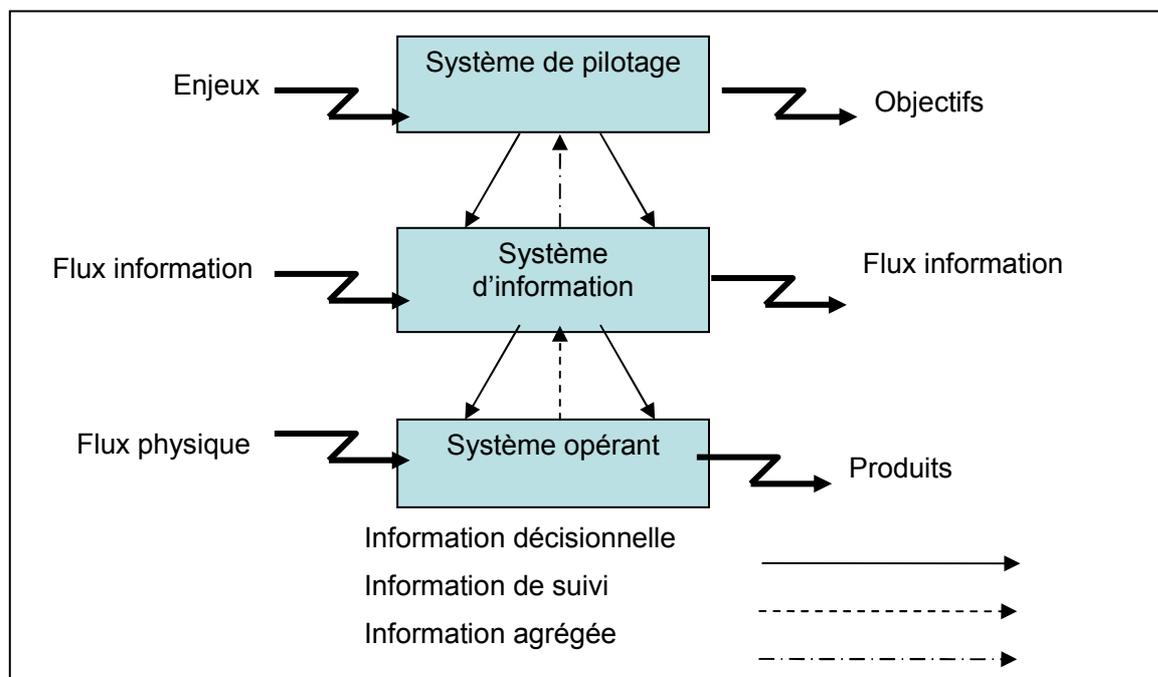


Figure 2.1 : Représentation systémique (niveau 7 de [Boulding 56])

- Le système de pilotage : à partir des informations et des logiciels disponibles dans le système d'information, le système de décision produit des consignes adéquates et cohérentes afin d'assurer un fonctionnement optimal des composantes de l'entreprise. Les décisions sont normalement prises par des décideurs qui s'appuient sur des outils d'aide à la décision afin d'analyser les conséquences des décisions possibles.
- Le système d'information : il regroupe les informations relatives à l'entreprise et à son environnement qui sont utilisées par le système de décision. C'est ce système qui fait le lien entre les deux autres systèmes en permettant l'envoi des consignes du système de décision vers le système opérant et en assurant le suivi du système opérant vers le système de décision
- Le système opérant qui rassemble l'ensemble des ressources de l'entreprise et qui transforme le flux entrant en flux sortant.

Le système d'information et une partie du système de décision forment le système de gestion de production qui assure quatre activités principales [Despontin-Monsarrat 04] :

1. La gestion des données techniques qui recense les nomenclatures (listes et quantités des composants et/ou matières premières requises 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 précédé 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 production 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 est possible, ou plus généralement de structure de décomposition du travail lorsque le produit à réaliser présente un caractère unique.

Cette gestion des données techniques doit être enrichie dans le cas des chaînes logistiques aux ressources de logistique externes tels que les transports et les contraintes liées à leur organisation.

2. 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.
3. La gestion des données commerciales qui reçoit les commandes et négocie les prix, quantités et délais de livraison souhaités.
4. 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.

2.1 Structure décisionnelle multi niveaux

Il est classique de considérer que la structure décisionnelle d'une entreprise se décompose dans une vision hiérarchique à trois niveaux [Anthony 65] : les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles (figure 2.2).

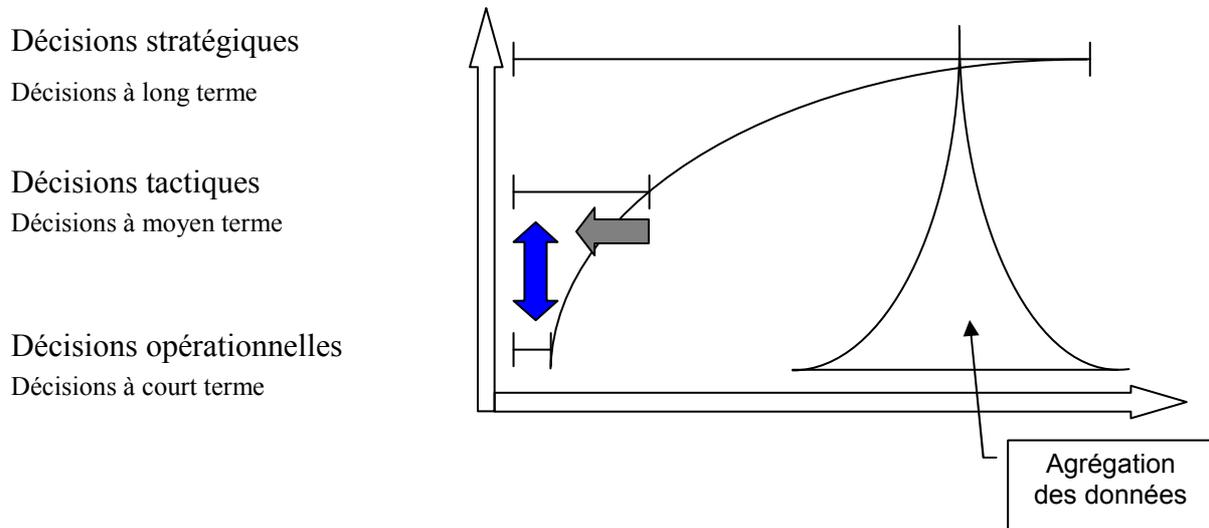


Figure 2.2 : Structure décisionnelle multi niveaux classique

- Les décisions stratégiques sont relatives aux politiques de fonctionnement de l'entreprise ; leur horizon d'application est généralement le long terme. Ces décisions couvrent un horizon qui peut aller du trimestre à l'année voire beaucoup plus, selon le cycle de vie des produits. Ces décisions sont prises à partir de données très agrégées et incertaines. Elles relèvent de la direction de l'entreprise.
- Les décisions tactiques sont liées à la gestion des flux et sont prises à moyen terme. Dans ce cas précis l'horizon de décision peut se réduire au mois voire moins. Les données sont agrégées à un certain niveau, mais moins que pour le niveau stratégique. Ces décisions sont du ressort des cadres de l'entreprise.
- Les décisions opérationnelles sont prises à court terme et à très court terme par des agents de maîtrise ou d'exécution. Leur horizon d'application est très réduit de l'ordre de la semaine ou de la journée voire moins. Les données sont ici beaucoup plus détaillées.

On peut résumer le champ d'action des décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles par le tableau suivant (Tableau 2.1) qui présente une liste non exhaustive de problématique logistique [Logistique 03]. La classification n'est qu'indicative, car la frontière entre les classes est généralement floue. La partie italique du tableau donne une précision sur cette frontière.

Problématique	Logistique amont	Production	Logistique aval	
Stratégiques	Choix des fournisseurs	Choix d'investissement ; robotisation	Conception de réseau	
	Mise en place d'un partenariat	Localisation de la production des gammes	Choix d'un mode de transport	<i>Le choix du moyen de transport peut être tactique</i>
	Mise en place de la politique de flux tendus	Conception de nouveaux produits	Schéma directeur d'échange d'information (ECR ; GPA)	
Tactiques	Mise en place d'un système d'information			
	Démarche de qualification			
	Définition des règles d'approvisionnement	Redéfinition de la gamme de production	Choix des prestataires	<i>le choix de partenaire peut être stratégique</i>
	Appel d'offre vers des prestataires	Schéma directeur à moyen terme	Mise en place d'un système de prévision de la demande	
	Plan de ramassage inter sites	Dimensionnement des ressources	Mise en place d'un tableau de bord	
	Localisation des stocks de matières premières	Charte de qualité	Choix d'un routage de livraison par client produit	
			Définition d'un cahier des charges	<i>Peut être un choix tactique</i>
		Contrôle et suivi de la production	Organisation de tournées ; définition des zones de chalandise	
	Suivi des stocks de matières premières	Ordonnancement court terme	Réalisation de prévisions	
	Approvisionnement spéculatif		Gestion des stocks	
Opérationnelles	Localisation des stocks saisonniers	Gestion du personnel direct et temporaire	Gestion des contre flux, retours, conditionnement	
		Anticipation de production	Gestion de la pénurie	

Tableau 2.1 : Résumé du champ d'action des décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles.

Il existe d'autres structures décisionnelles pour la représentation d'entreprise, la méthode GRAI [Gaillard 94] utilise la structure présentée dans la figure 2.3 :

La méthode GRAI est une méthode de modélisation de fonctionnement d'une entreprise. Développée à l'Université de Bordeaux I au début des années 1980, elle permet de représenter et d'analyser le fonctionnement de tout ou partie d'une activité de production. La force de la méthode GRAI réside dans sa capacité à fournir aux modélisateurs la possibilité de représenter efficacement le système décisionnel de l'entreprise, c'est-à-dire l'organisation des processus qui génèrent les décisions et les flux informationnels qui en découlent.

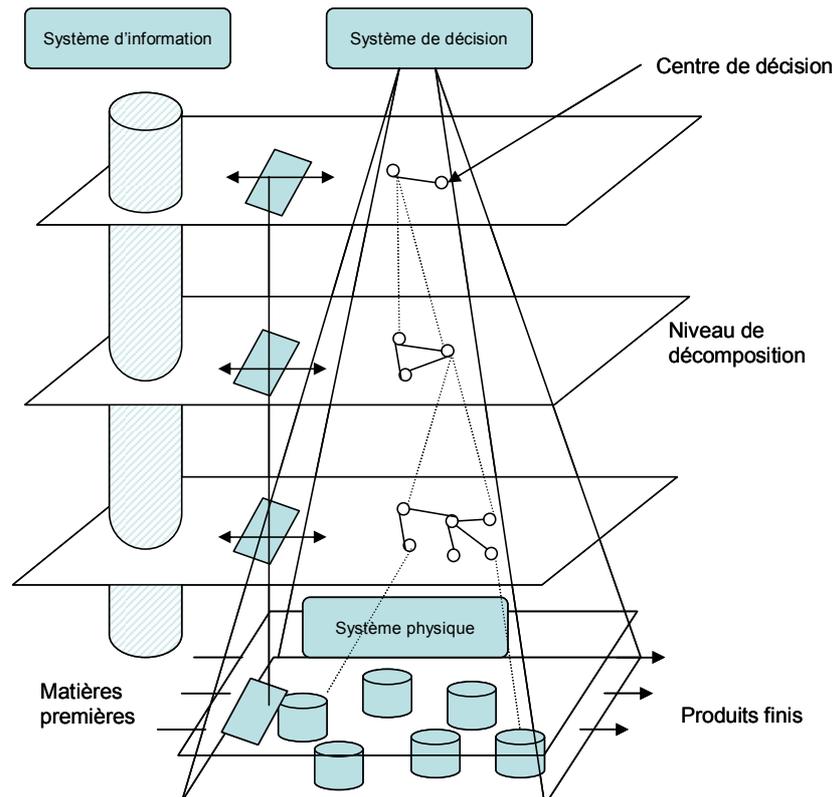


Figure 2.3 : Structure GRAI. [Gaillard 94]

Dans notre travail, nous nous plaçons à cheval entre le niveau tactique et le niveau opérationnel. Nous sommes au niveau opérationnel au sens où nous réservons des ressources pour assurer la prise des commandes que nous acceptons. Mais nous sommes encore à un niveau agrégé : nous vérifions la faisabilité de la prise de commandes au niveau des plannings (de production, de transport...), traditionnellement rattachés au moyen terme, sur des contraintes de volumes et non pas au niveau de l'ordonnancement. Cela serait très complexe et totalement inutile puisque la prise de commande suivante remettrait presque sûrement en cause cet ordonnancement.

2.2 Mode de production d'une entreprise

Les modes de production d'une entreprise ont un impact direct sur les mécanismes de décisions que nous étudions. D'une entreprise à une autre, le mode de production peut être très différent même si celles-ci appartiennent à une même chaîne logistique. On distingue en général :

- La production à la commande : une production est qualifiée de production à la commande lorsque le processus de fabrication est déclenché par la commande ferme d'un client, ce type de production nécessite de s'appuyer sur des ressources, aussi bien matérielles qu'humaines, disponibles afin de satisfaire cette commande ferme. La production à la commande est adoptée lorsque les commandes ne sont pas ou peu prévisibles, lorsque ladite commande est liée aux exigences des clients (commande spécifique) ou encore lorsque le cycle industriel est suffisamment court pour cadrer à l'exigence de délai du client.

- La production pour stock : l'origine de la production sur stock est l'anticipation d'une demande, donc de la planification par une prévision de celle-ci. Une entreprise opte, en général, pour une organisation de production sur stock lorsqu'il est possible d'effectuer une prévision fiable de la demande.

Ces deux modes de production induisent deux types d'organisation du flux de production [Giard 03] :

- La production à flux poussés (*Push system*) : elle 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, par exemple, dans les techniques de production de type MRP2, basées sur des structures de décision multi niveaux.
- La production à flux tirés (*Pull system*) : la production d'un produit est déclenchée par la demande effective des centres de production demandeurs de la référence (au lieu de l'être par la demande prévisionnelle). Ce type de production est généralement associé au terme « juste-à-temps ». Cette organisation est, en général, utilisée lors d'une production de masse avec des demandes relativement stables. C'est une production déclenchée par une commande, mais en fait c'est un processus local de renouvellement de stocks à tout niveau du processus de production.

Il se peut aussi qu'une entreprise adopte des comportements hybrides suivant le type de produit. Par exemple, une entreprise, qui fabrique un produit de grande série, a tendance à adopter pour celui-ci une production sur stock. Mais cette même entreprise peut offrir à ses clients la possibilité de personnaliser un produit, c'est le cas par exemple dans l'étape d'assemblage dans l'industrie automobile. Dans ce cas précis, l'entreprise adopte plutôt une production à la commande.

De façon générale, les entreprises adoptent ces approches hybrides, utilisant une production à la commande pour la fin des gammes hautement personnalisée et une production sur stock et de masse pour la production des composants banalisés qui se prêtent mieux à une technique de flux tirés, c'est le cas par exemple d'une entreprise qui assemble à la commande.

Dans une entreprise ou dans une chaîne logistique, chaque activité de fabrication ou de distribution sur les produits, comme la fabrication sur commande (*make to order*), la livraison sur stock de matière première (*make to stock*), l'assemblage sur commande (*assemble to order*), peut relever de deux modes de contrôle du flux de matière : sur stock ou sur commande (*on stock* ou *on order*). La limite entre les modes poussé et tiré est concrétisée par un stock stratégique de produits dont la localisation est nommée *point de découplage* [Christopher 00]. La position de ce point de découplage influe directement sur la relation interentreprises, selon qu'elles sont en aval ou en amont de ce point [Labarthe 05].

Dans notre démarche, nous supposons que les entreprises qui composent la chaîne logistique peuvent adopter n'importe quelle politique de production. Il se peut qu'une entreprise soit en production sur stock, alors qu'une autre adopte une production à la commande. Le but de notre démarche est la réalisation d'un système global de pilotage et de gestion de crises dans la chaîne logistique sans tenir compte du mode ou de la politique de fabrication des entités qui la composent.

3 Problématique de prise d'une commande

Dans la section 2 de ce chapitre, nous venons de présenter les différents aspects internes et externes d'une entreprise. Dans ce qui suit, nous mettons en lumière notre problématique de recherche qui est relative au pilotage du processus de la prise de commande imprévue qui se situe entre le niveau tactique et le niveau opérationnel.

Dans un premier temps, nous exposons un processus de prise de commandes fermes. Cela permet de spécifier l'ensemble des paramètres et des intervenants à prendre en compte dans ce genre de processus décisionnel. Dans le second volet, nous présentons quelques problèmes liés à ces processus décisionnels.

3.1 Mécanismes de prise de décisions au niveau opérationnel

3.1.1 Acteurs de la prise de décisions

Les acteurs qui entrent en jeu dans la prise de décision dans le cadre d'une commande ferme sont multiples. Nous pouvons les classer en deux familles, la famille des acteurs internes et la famille des acteurs externes à une entreprise.

La famille des acteurs internes est composée des différentes structures (services) qui composent l'entreprise :

Classiquement, trois entités types sont présentées.

L'acteur **vente** gère aussi bien les demandes clients que la gestion des appels d'offres de l'entreprise (lors de la mise sur le marché d'un nouveau produit par exemple).

L'acteur de **production** assure la mise à disposition des produits fabriqués par l'entreprise.

L'acteur **achat** gère les besoins externes de l'entreprise qu'ils soient en matières physiques (composants ou matières premières) ou en services.

La seconde famille d'acteurs de la prise de décision se résume dans l'environnement extérieur de l'entreprise. Il est composé par l'ensemble des clients et des fournisseurs connectés à cette entreprise.

3.1.2 Processus de la prise de décision

La connaissance du processus de propagation du flux d'information dans le cadre d'une prise de décision est nécessaire. Cela nous permet d'avoir une vision précise sur la définition et le rôle de chacun des acteurs internes et externes qui participent à la prise de décision. Nous illustrons ainsi la complexité de ce processus décisionnel.

Dans une vision externe à l'entreprise, nous pouvons exposer le cheminement suivant dans les prises de décision (voire la figure 2.4) :

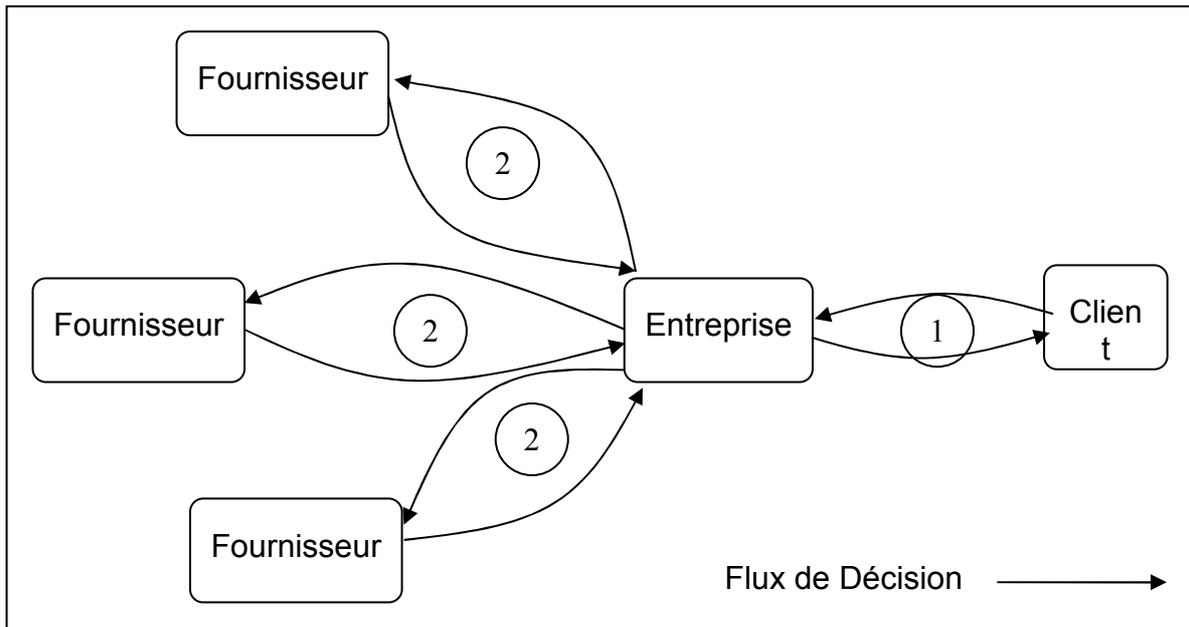


Figure 2.4 : propagation externe de la prise de décision

Une prise de décision dans la vision externe d'une entreprise se déclenche généralement lorsqu'un client sollicite (1) celle-ci par le biais d'une demande de fourniture de produits. Cette demande peut elle-même générer des demandes secondaires (2).

Dans le périmètre interne de l'entreprise, la prise de décision, dite locale, est similaire dans son cheminement à la vision externe. Lorsqu'une demande est émise par un service vers un autre, le mécanisme de prise de décision entre en jeu et son issue peut être conditionnée par d'autres décisions locales ou bien externes.

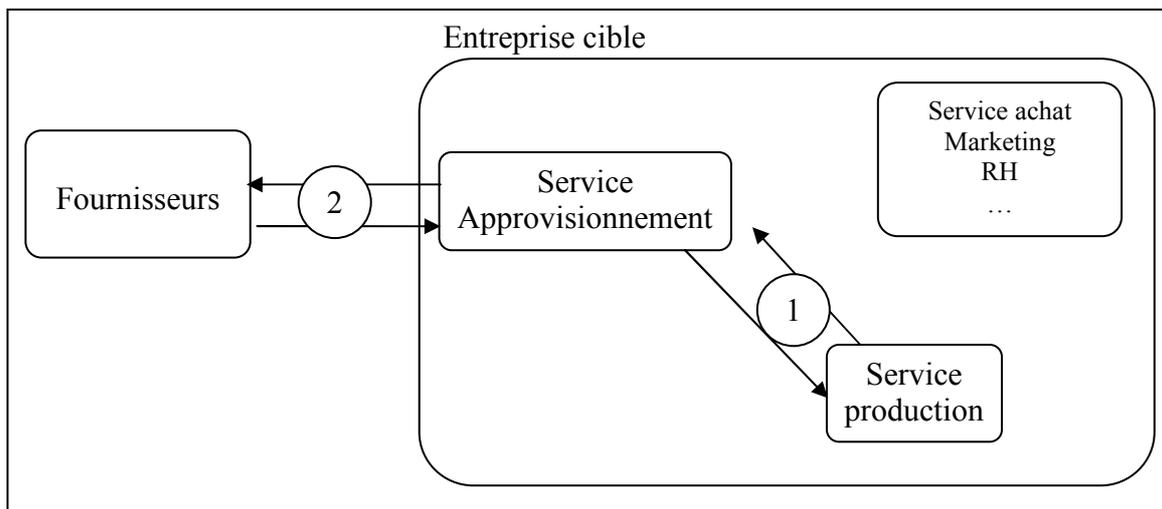


Figure 2.5 : Exemple de cheminement interne des décisions

Dans la figure 2.5 ci-dessus, nous donnons l'exemple d'un service d'approvisionnement qui est sollicité par un service de production afin de lui mettre à disposition les composants nécessaires au lancement de la production. La décision du lancement de la production est donc conditionnée par la disponibilité des composants et donc la décision de confirmation du service des approvisionnements

3.2 Impacts des décisions opérationnelles dans le fonctionnement interne de l'entreprise

Comme nous venons de le voir, la prise de décisions dans une entreprise est un phénomène complexe qui peut nécessiter l'intervention de plusieurs acteurs. L'impact d'une décision au sein de l'entreprise peut prendre des formes variées.

Nous pouvons les classer en deux grandes familles. Il s'agit de l'impact à court terme qui influe sur les ressources physiques dont dispose l'entreprise et de l'impact à long terme, lorsqu'une décision peut engendrer un changement dans la stratégie de fonctionnement de l'entreprise. Par exemple lors de la perte définitive d'un client important.

L'impact à court terme peut se produire par exemple lorsqu'une ressource est complètement affectée à la réalisation d'une décision dans une plage temporelle précise. La ressource ne peut pas donc être sollicitée jusqu'à la fin de la période dédiée à son exécution, car cela affectera la réalisation de la décision.

Pour l'impact à long terme, nous pouvons citer l'exemple d'une demande d'un client important qui ne peut pas être satisfaite. L'entreprise peut alors perdre ce client et donc avoir des conséquences déplorables à long terme sur son chiffre d'affaires qui peut engendrer par exemple des pertes de compétitivité et d'image de marque de l'entreprise.

3.3 Impacts des décisions opérationnelles sur la chaîne logistique (vision externe de l'entreprise)

L'impact des décisions prises en interne conduit généralement à l'occurrence de modifications dans l'environnement immédiat de l'entreprise (ses clients et ses fournisseurs directs). Mais, par le biais de la propagation des décisions, cet impact peut s'étendre à l'ensemble des partenaires de la chaîne logistique.

Par exemple, lorsque l'impact interne est sur les ressources libres les demandes des clients, à leur tour, peuvent ne pas être satisfaites si celles-ci ont besoin de la ressource pour les réaliser. Dans cette situation, ces clients n'ont d'autre choix que de trouver un autre fournisseur pour satisfaire leurs besoins initiaux ou d'y renoncer.

Nous voyons ainsi que le résultat d'une décision interne peut avoir un impact sur l'entourage de l'entreprise, en l'occurrence ses clients et ses fournisseurs.

De plus, lorsque l'entreprise se trouve dans une situation de surcharge de commande, c'est-à-dire, lorsqu'elle doit en traiter un qui surpasse ses capacités, la prise de décision relative au choix des commandes à satisfaire devient problématique et complexe. Ce problème relatif au parallélisme des prises de décisions est étudié dans le chapitre 4 de ce mémoire.

4 Problèmes liés à la prise de commandes

Pour assurer une prise de commandes, une entreprise doit satisfaire plusieurs conditions qui entrent en jeu pour la prise de décisions. Ces conditions sont aussi bien liées à la nécessité du respect des différents paramètres de satisfaction de la demande qu'à leur impact sur l'environnement interne ou externe à l'entreprise.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons retenu les situations suivantes comme étant à prendre en compte dans la prise de commande non prévue :

- *Produit fini dans les stocks* : lorsqu'une entreprise reçoit une demande de fourniture d'un ou de plusieurs produits, la première action qu'entreprend l'entreprise est de vérifier si le ou les produits demandés sont en quantités suffisantes dans les stocks et non réservés pour un autre client. Dans le cas où cela est vérifié, l'entreprise peut alors satisfaire la demande sans autre impact dans son fonctionnement interne. Ce cas se produit généralement lorsque la demande est déjà planifiée et se réalise selon les prévisions. Cette situation est la plus courante. Elle n'engendre pas de problèmes de décisions particuliers et elle n'a aucun impact négatif sur la chaîne logistique. Si une partie des produits nécessaires ne sont pas disponibles, l'entreprise doit produire ces quantités manquantes. Il existe des méthodes de prévision ou de planification du stock (exemple constitution d'un stock de sécurité) qui permet à l'entreprise de palier à ce genre de problème, dans notre démarche nous supposons que ces techniques peuvent être insuffisantes pour satisfaire la demande initiale.

- *Capacité de production* : lorsque l'entreprise ne dispose pas de la quantité suffisante de produits pour répondre à une demande, elle doit produire dans les délais impartis une quantité de produits au moins égale à la quantité manquante pour satisfaire la demande. Il est donc nécessaire de s'assurer de la disponibilité des capacités de production aussi bien matérielles qu'humaines. Les capacités de production peuvent être internes à l'entreprise cible ou bien externes par l'utilisation de la sous-traitance.

- *Composantes ou matières premières dans les stocks* : lorsque l'entreprise veut s'engager dans un processus de production, elle doit s'assurer de la présence de composants ou des matières premières nécessaires à la fabrication du produit demandé.

Dans le cas où ceci n'est pas vérifié, l'entreprise ne peut pas donc produire, elle peut s'approvisionner en conséquence auprès de ses fournisseurs.

Dans le contexte qui nous concerne, c'est-à-dire, la prise de commandes imprévues ou divergentes, les délais d'approvisionnement sont réduits et il est possible que l'entreprise ne trouve pas un fournisseur apte à lui fournir les quantités nécessaires pour la réalisation de sa production. Ce phénomène, bien que marginal, doit être bien maîtrisé, car il est source d'une dégradation des performances d'une chaîne logistique. Il est donc crucial d'y apporter des solutions innovantes et performantes.

- *Capacité de transport* : afin d'acheminer la production vers les clients ou même éventuellement d'acheminer les composants en provenance des fournisseurs, l'entreprise doit s'appuyer sur ses capacités de transport, si elles existent, mais aussi sur des capacités affrétées auprès des sociétés de transport. La prise en compte des capacités disponibles de transport est un point important dans la satisfaction de n'importe quelle commande. Le problème est similaire à celui rencontré pour la disponibilité des composants.

- *Capacité de stockage* : c'est un paramètre majeur pour toute entreprise. Il est nécessaire de respecter toutes capacités de stockage dont dispose l'entreprise aussi bien pour les matières premières que pour les produits finis. Nous prenons l'hypothèse, dans ce mémoire, que pour chaque produit l'entreprise réserve une capacité de stockage.

- *Capacité de chargements/déchargements* : c'est un facteur aussi bien humain que matériel. Il entre en compte dans la réussite ou non de la prise de commande. Lorsque l'entreprise réceptionne des matières, elle doit mettre à disposition les moyens de manutention

nécessaires afin de ne pas créer un retard dans la mise à disposition de ces matières. De manière analogue, pour l'expédition des produits commandés, l'entreprise doit mettre à disposition les ressources suffisantes pour ne pas engendrer des retards dans le départ vers les clients.

Ainsi, lorsque la planification de ces activités est bien réalisée, la prise de commande ne nécessite pas de grande modification dans l'entreprise cible et dans son entourage immédiat. Par contre, lorsqu'un de ces facteurs de prise de décision est défaillant ou insuffisant en raison d'une mauvaise planification ou en raison de l'occurrence d'un aléa, l'entreprise peut perdre la demande de son client et peut même voir sa performance réduite. Nous considérons comme aléa tout événement imprévu dont l'occurrence modifie l'état du système.

5 Processus de prise de commande et présentation globale de notre approche

L'objectif du travail que nous présentons dans ce mémoire est l'étude de la faisabilité de la prise d'une commande ferme qui diverge de la planification dans un contexte de chaîne logistique distribuée. Nous parlons alors de prise de commande imprévue.

Lorsqu'une entreprise reçoit d'un client une demande de produits, elle peut y répondre favorablement ou non.

Elle peut y répondre favorablement si :

- la demande ne modifie pas ou modifie de manière acceptable le planning de production et de transport de l'entreprise.
- l'entreprise est capable d'absorber la charge induite par cette demande. Pour cela, la modification des plannings de production et de transport en découlant doit être sans impact dégradant les performances du système ni sur le plan local, ni sur le plan global.

L'entreprise ne peut que répondre défavorablement à une requête si elle ne peut la satisfaire sans la modifier. Dans ce cas, l'entreprise peut adopter deux comportements bien distincts :

- Refuser définitivement la demande.
- Entrer en négociations avec son client et lui proposer une alternative à sa demande initiale pour converger vers un consensus commun.

C'est dans la recherche de ce consensus que se situe le contexte de nos travaux. Ainsi, lorsque la commande ferme diverge par rapport aux volumes prévus, il est nécessaire de proposer des outils d'aide à la décision apte à coordonner les activités des partenaires. Pour cela, si la demande ne correspond pas à ce qui a été prévu entre l'entreprise et ses clients, l'entreprise doit intégrer de nouveaux paramètres dans sa prise de décision pour tenter de la satisfaire au mieux.

5.1 Structure de données pour le management des ressources

Dans ce travail, nous considérons que toutes les ressources de l'entreprise peuvent être associées à la même structure d'états. Selon cette approche, toute ressource peut être dans trois états distincts (figure 2.6). Il en est de même pour son planning associé (figure 2.7).

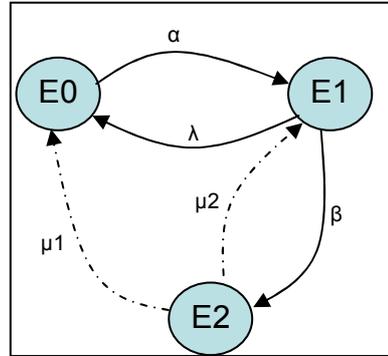


Figure 2.6 : Graphe d'état d'une ressource

- Le premier état (E0) est celui de la capacité libre, qui peut être utilisée à tout moment. Le second état (E1) est relatif à une capacité dite flexible. Celle-ci est temporairement réservée (α) et elle concerne une capacité allouée à une commande en négociation. Si la négociation réussit, la capacité flexible devient réservée définitivement (β). Sinon elle est libérée (λ).
- Le dernier état d'une ressource est relatif à sa réservation définitive (E2). Cette ressource ne peut être utilisée pour une autre activité, car elle est relative à une commande déjà confirmée (sauf dans le cas extrême où on remet en cause l'ensemble des plannings) (μ_1 et μ_2).

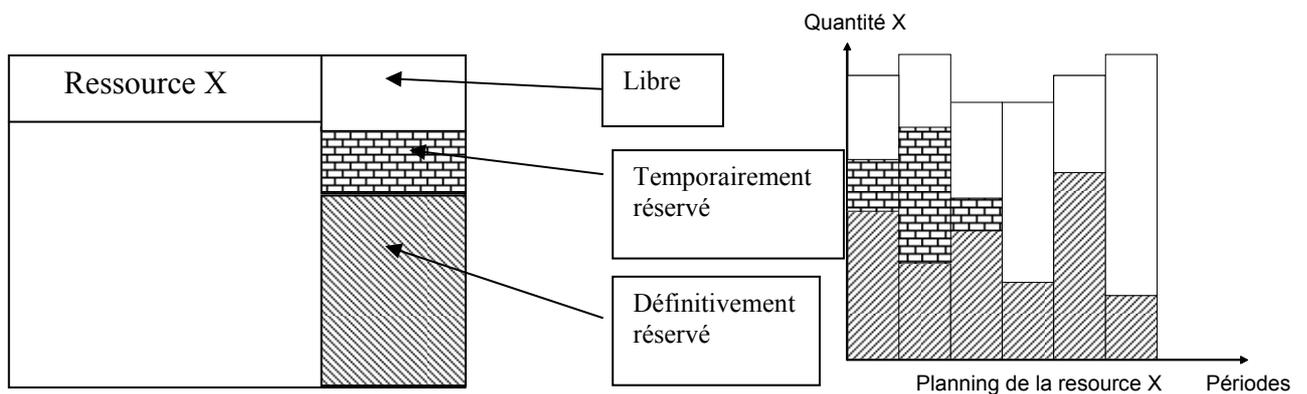


Figure 2.7: Structure de données

Dans cette structuration des ressources, nous voyons que si l'entreprise doit gérer plusieurs demandes en parallèle, les capacités temporairement réservées peuvent atteindre voir dépasser les limites du système de production. Cela engendre un problème de prise de décisions sur le quoi et le quand réserver et pour quelles demandes. Une étude de cette problématique est proposée dans le chapitre 4 de ce mémoire.

5.2 Mécanisme de traitement d'une nouvelle demande

Dans cette partie, nous nous focalisons sur le mécanisme de traitement d'une demande d'approvisionnement d'un produit qui arrive d'un client vers une entreprise. Le but de ce mécanisme est de permettre la prise de décision sur cette demande. La décision consiste soit à :

1. accepter la demande : répondre favorablement à la sollicitation du client en termes de quantité du produit, du respect des délais de livraison, mais aussi du prix proposé par l'entreprise.
2. refuser la demande : quand l'entreprise ne peut pas satisfaire la demande (exemple : le délai de réalisation ne permet pas de produire les quantités demandées) ou ne veut pas accepter la demande (exemple : le client est un mauvais payeur).
3. entrer en négociation : lorsqu'au moins une des composantes de la demande ne peut être satisfaite par l'entreprise, elle peut répondre par une contre-proposition à la demande. On entre alors dans une phase de négociation entre l'entreprise et son client. Cette phase peut s'achever soit par un compromis entre les deux protagonistes (acceptation d'une demande modifiée) ou par une divergence (la demande est définitivement refusée).

Afin d'avoir une vision claire des paramètres de prise de décision dans le cadre de notre étude, il nous semble nécessaire de faire une classification des contextes de prise de commandes ferme, cette classification est résumée dans le tableau suivant :

Ressources Cas	Quantités produits finis	Capacité de production	Quantités composants	Capacité de transport	Décision locale possible sans approvisionnement
Cas 1	OK	—	—	OK	oui
Cas 2	OK	—	—	NON	non
Cas 3	NON	OK	OK	OK	oui
Cas 4	NON	NON	OK	OK	oui
Cas 5	NON	OK	NON	OK	non
Cas 6	NON	OK	NON	NON	non

OK : Disponible pour la réalisation de la demande

NON : capacités insuffisantes pour la réalisation de la demande.

Tableau 2.1 : Contexte de prise de commandes

Dans le cas 1 : la décision de prise de commande ferme peut se faire sans l'intervention d'acteur extérieur à l'entreprise. Cela est dû à la satisfaction de toutes les flexibilités nécessaires à la prise de la commande.

Dans le cas 6 par exemple, la décision ne peut pas être locale, elle est conditionnée par la réussite des opérations d'acquisitions des flexibilités manquantes. Donc de la sollicitation de fournisseurs (de biens ou de services).

Nous décrivons maintenant l'ensemble du processus décisionnel lié à la prise d'une commande imprévue.

5.3 Arrivée d'une nouvelle demande

Lorsqu'une demande est émise par un client vers une entreprise. Celle-ci est traitée par l'entreprise en vue de prendre une décision. Dans notre démarche, le traitement de cette demande consiste à transformer la demande en une courbe cumulée [Ouzizi 05] qui intègre les données de la demande (figure 2.8).

A partir d'un vecteur de flux de données, qui contient les informations de la demande, l'entreprise constitue une courbe cumulée. Le flux de données reçu se compose des informations suivantes :

1. La nature du produit commandé.
2. Les quantités souhaitées du produit.
3. Les délais de mise à disposition.
4. Le coût unitaire demandé.

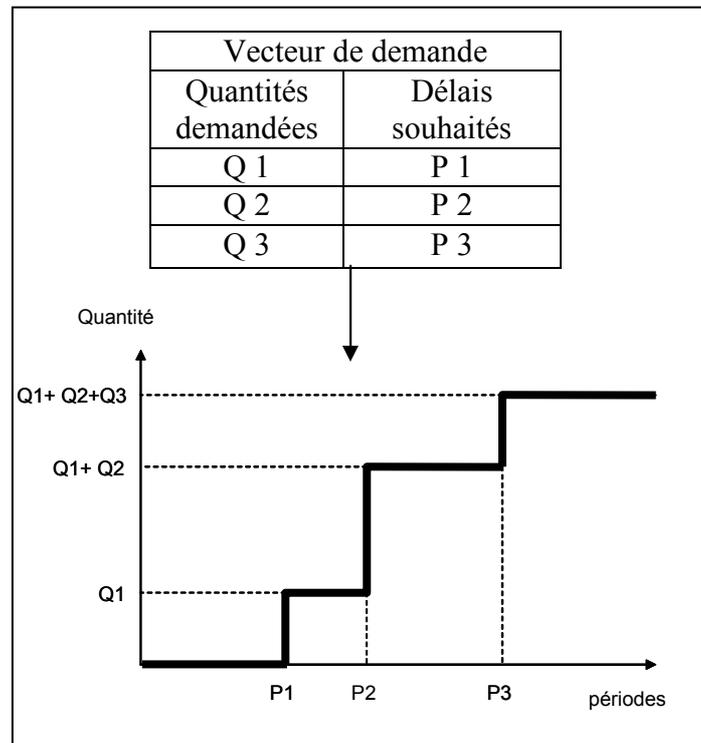


Figure 2.8: exemple de courbe cumulée

Une fois l'ensemble des courbes cumulées constitué, l'analyse de la demande peut débuter. En nous fondant sur les cas identifiés dans le tableau 2.1, plusieurs processus de prise de décision sont à modéliser.

Les différentes situations sont détaillées dans les parties suivantes.

5.4 Cas n°1 – Satisfaction de la demande en utilisant les produits disponibles dans les stocks ainsi que les capacités internes de transport

Une fois la demande formatée à l'aide de courbes cumulées, l'entreprise regarde dans son stock de produits finis si les quantités demandées y sont disponibles ou sur le point d'arriver. Ces quantités sont nécessairement de types libres.

Si la disponibilité du produit est vérifiée dans les délais demandés (Tableau 2.1, cas 1), l'entreprise peut donc fournir celui-ci à son client. La demande peut être satisfaite si l'entreprise dispose directement ou indirectement de capacités de transport. Si ses deux conditions sont réunies, la demande est satisfaite et l'entreprise modifie en conséquence ses cumuls de stocks disponibles et ses plannings de transport. Les capacités de stocks et de transport correspondants à la demande passent de l'état libre vers l'état définitivement réservé.

Que se passe-t-il si une des deux conditions n'est pas satisfaite ?

- Le niveau de stock de produits finis ne suffit pas pour satisfaire la demande : dans ce cas, pour satisfaire la demande, l'entreprise doit se procurer la quantité manquante nécessaire du produit demandé par production ou sous-traitance. La capacité disponible dans le stock de produits finis devient de type réservé flexible et on examine la possibilité de compléter ce stock par production de la partie manquante.
- La capacité de transport est insuffisante : dans ce cas, pour satisfaire la demande, l'entreprise doit rechercher des capacités palliatives de transport (Tableau 2.1, cas 2).

La figure 2.9 illustre l'opération de réservation de la ressource de produits finis. A partir du planning prévisionnel de l'évolution du stock de produits finis et de la demande client, un nouveau planning prévisionnel est construit et il prend en compte la réservation des quantités souhaitées.

Ici nous illustrons le placement d'une demande client dans le planning de réservation du stock des produits finis. La quantité demandée, indiquée par des zones hachurées notées 1 dans la figure 2.9, est définitivement réservée pour le client demandeur. Le nouveau planning de réservation prend en compte ces quantités pour mettre à jour l'état des stocks de produits finis.

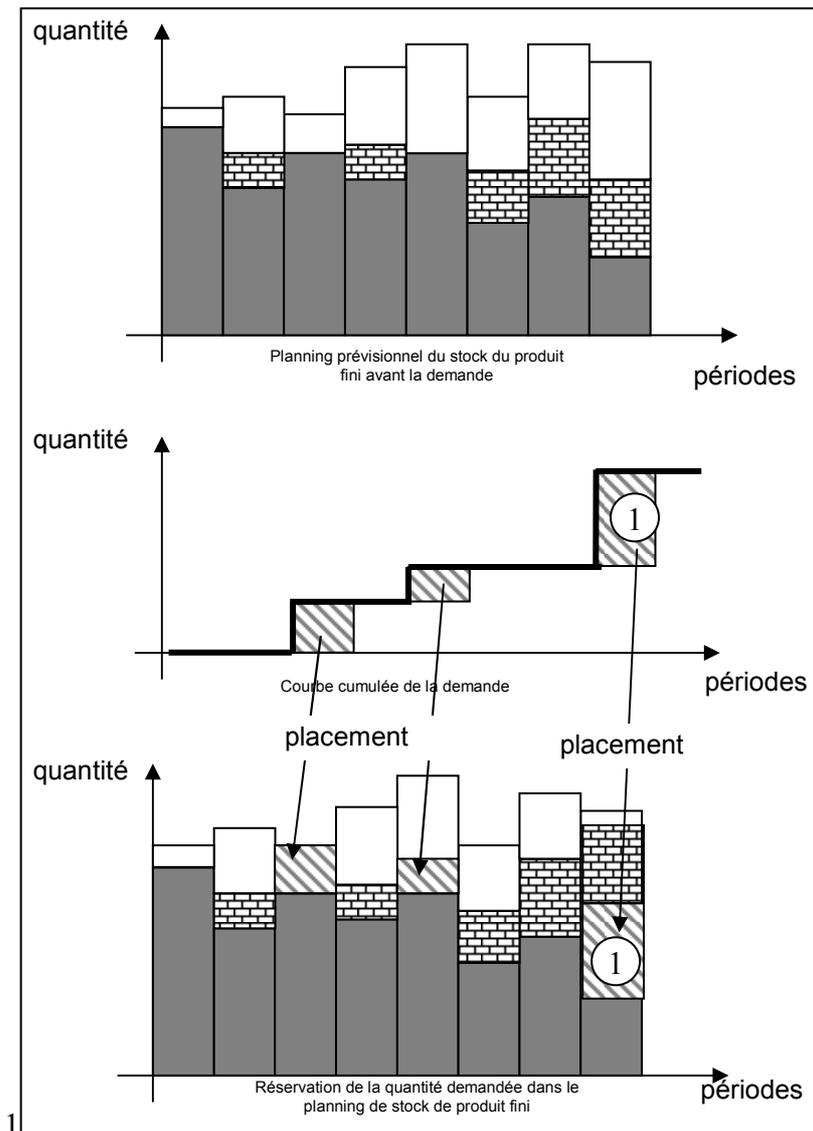


Figure 2.9: Prise en compte de la demande dans le planning de stock de produit fini.

5.5 Cas n°2 – Disponibilité du transport

Pour satisfaire une demande, l'entreprise doit vérifier la disponibilité de sa capacité de transport. Dans le cas où celle-ci n'est pas suffisante, l'entreprise peut rechercher des capacités de transports alternatifs. Il s'agit du problème τ , problème de recherche de capacité de transport qui influe directement sur la prise de décision en vue de satisfaire la demande. Une formalisation mathématique de ce problème est proposée dans le chapitre 3 de ce mémoire.

Dans ce contexte de prise de décision, l'entreprise réalise une demande de capacités de transport à ses fournisseurs de services. Dans ce cas, on parle de transporteurs. L'analyse suit le processus décrit dans la figure 2.10.

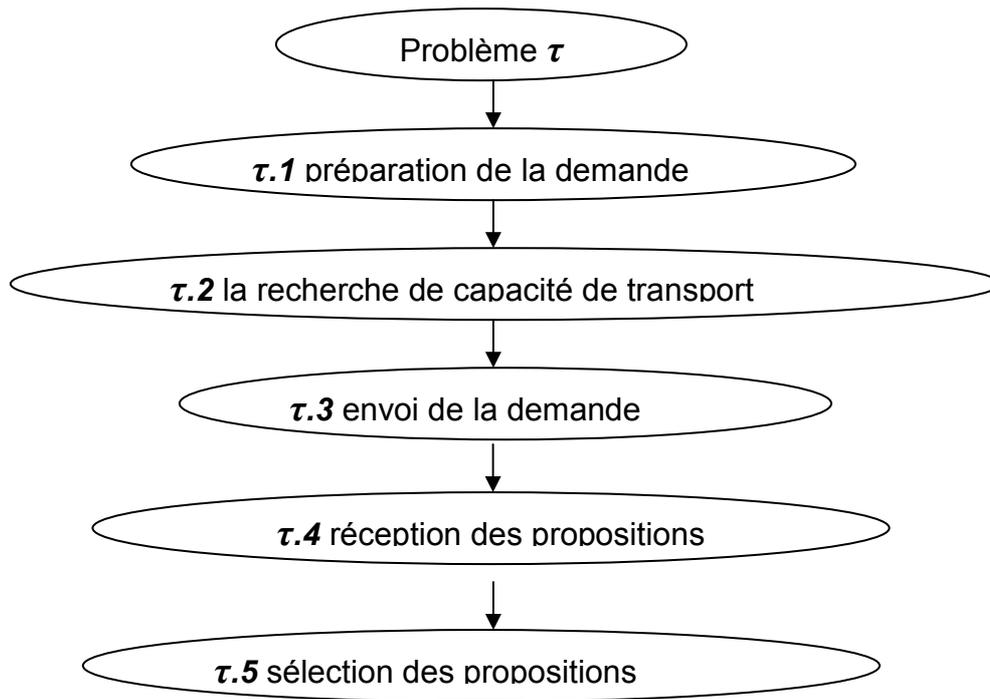


Figure 2.10 : Diagramme de l'approche pour la résolution du problème τ

$\tau.1$ préparation de la demande : en prenant en compte la capacité de transport existant, l'entreprise conçoit plusieurs demandes de fourniture de service. Ces demandes sont exprimées sous forme de scénarios de mise à disposition de transport. Les scénarios décrivent les différentes possibilités de transport du produit demandé. Cette stratégie permet à l'entreprise d'élargir son spectre de recherche afin de pouvoir trouver plus rapidement une solution réalisable à son problème de capacité de transport.

$\tau.2$ la recherche de capacité de transport : l'entreprise recherche, dans son carnet d'adresses des sociétés de transport, les candidats potentiels afin de transmettre la demande de service. Cette étape permet de cibler les partenaires de l'entreprise. En effet, la société de transport doit disposer de moyens adéquats qui prennent en compte les spécificités du produit et du cheminement vers le client.

$\tau.3$ envoi de la demande : une fois que les sociétés de transport sont sélectionnées, l'entreprise leur envoie les scénarios préalablement élaborés et attend leurs réponses.

$\tau.4$ réception des propositions : les transporteurs envoient une ou différentes propositions de mises à disposition de moyens de transport. Celles-ci sont exprimées sous forme de scénarios. Ils sont alors formatés en courbes cumulées.

$\tau.5$ sélection des propositions : la phase de sélections des propositions est primordiale afin de minimiser les coûts de transport tout en satisfaisant au maximum la demande. Pour accomplir cette tâche, nous proposons un modèle de prise de décisions (voir chapitre 3). Ce modèle prend en compte les paramètres nécessaires à la sélection, à savoir, les capacités demandées, les délais de mise à disposition des moyens de transport.

5.6 Cas n°3 et 4– Satisfaction de la demande par production

Dans le cas où les quantités demandées par le client ne sont pas disponibles en totalité dans le stock de produits finis, l'entreprise doit produire les quantités manquantes pour satisfaire la demande (exemple du tableau 2.1, cas 3).

Cette opération consiste en l'introduction de la charge induite par la fabrication des quantités manquantes dans le planning de production en respectant les quantités souhaitées ainsi que les délais de mise à disposition du produit fini demandé.

L'entreprise peut introduire la charge induite par la production des quantités manquantes si les capacités de production ainsi que les capacités de matières premières sont disponibles. Dans ce cas, l'entreprise réserve (figure 2.11) les capacités correspondantes et cela dans le respect des quantités à produire ainsi que les délais de mises à disposition.

Les capacités réservées sont définitivement introduites dans le planning de production uniquement dans le cas où les capacités de transport sont suffisantes (voir le cas 2) et que la commande devient donc ferme.

Si l'entreprise ne peut introduire en partie ou en totalité la charge de production induite par la demande du client. L'entreprise peut adopter deux stratégies afin de lui permettre d'obtenir une capacité de production nécessaire à l'achèvement de ce processus.

1. stratégie de re-planification d'une ancienne demande

Cette stratégie consiste à libérer des capacités de production afin de permettre le placement de la charge induite. Ceci est réalisé en déplaçant dans le planning des capacités préalablement alloué pour une autre demande afin de libérer les capacités nécessaires.

Cette opération peut s'effectuer uniquement dans le cas où ce déplacement ne modifie pas les conditions de la demande préalable. Cette opération peut consister à déplacer vers la gauche, c'est-à-dire, à avancer les dates de mise en production de la demande préalable sous réserve de disponibilité des capacités autres que celles nécessaires pour la nouvelle demande (figure 2.12).

Cette stratégie ne peut être utilisable que de manière locale dans la mesure où l'entreprise ne devrait pas modifier la nature des commandes préalablement acceptées.

2. stratégie de sous-traitance

Dans ce cas, l'entreprise recherche des capacités de production ou de sous-traitants. Les capacités internes de production ne sont pas suffisantes afin d'assurer le respect de la demande et la procédure de re-planification ne donne pas de solution satisfaisante. L'entreprise entame alors un processus de recherche analogue à la recherche de transporteurs alternatifs

Une fois les sous-traitants potentiels trouvés, l'entreprise envoie des demandes (scénarios) de mises à disposition des capacités de production. Ces demandes ont les mêmes caractéristiques que les demandes de transport.

Lorsque les sous-traitants répondent à la demande de l'entreprise. Les besoins en sous-traitance sont transformés en, courbes cumulées de proposition de mise à disposition de moyens de production. Alors, une phase de sélection peut débuter qui peut aboutir à une solution qui combine de la production interne et de la sous-traitance

Cette solution consiste d'une part à réserver une quantité de produits finis dans le stock, mais aussi à produire le complément réalisable en interne et enfin à faire produire par sous-traitance le restant de la demande. Bien sûr, tout cela est conditionné par la disponibilité de capacités de transport et le respect des délais et des coûts.

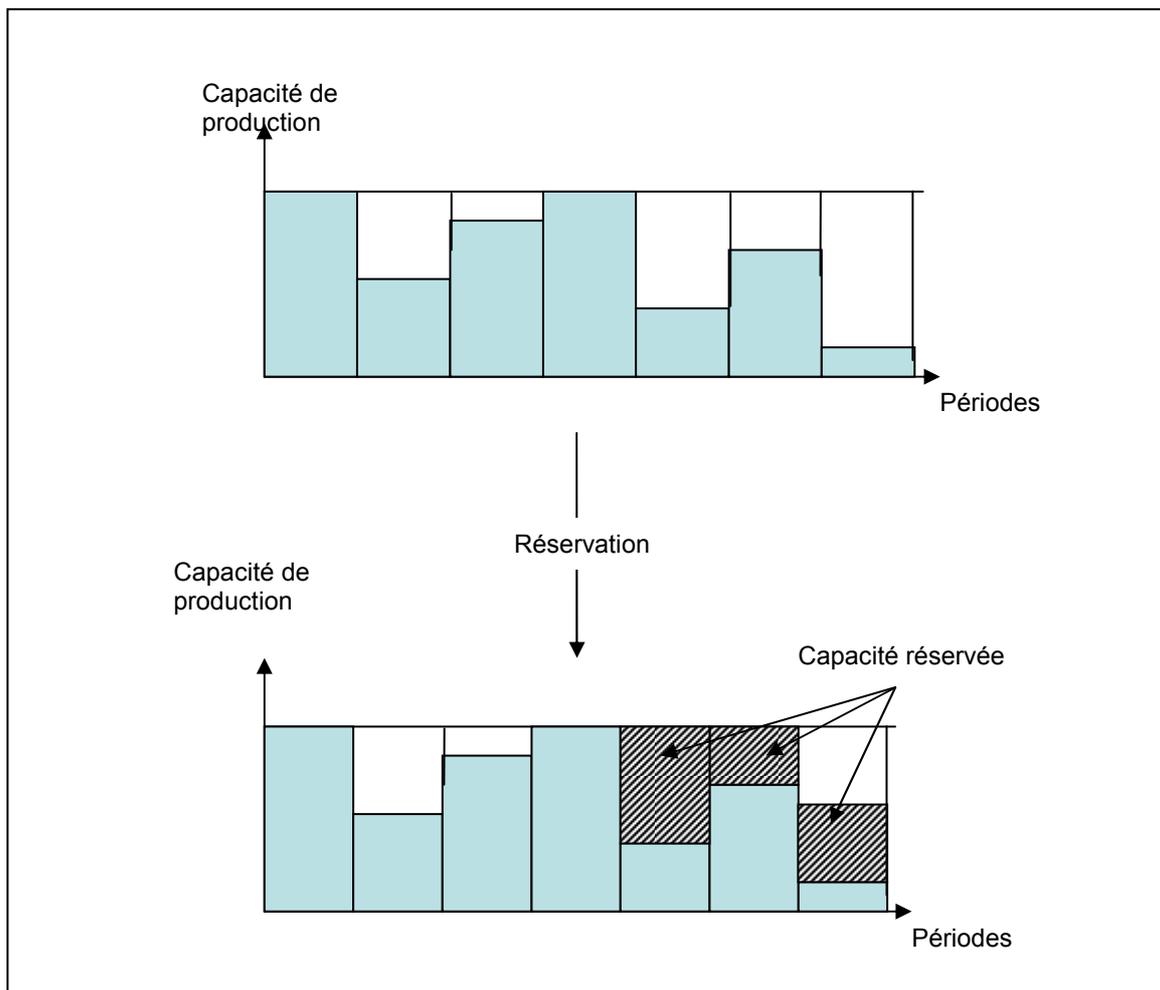


Figure 2.11 : Exemple de réservation de capacités de production.

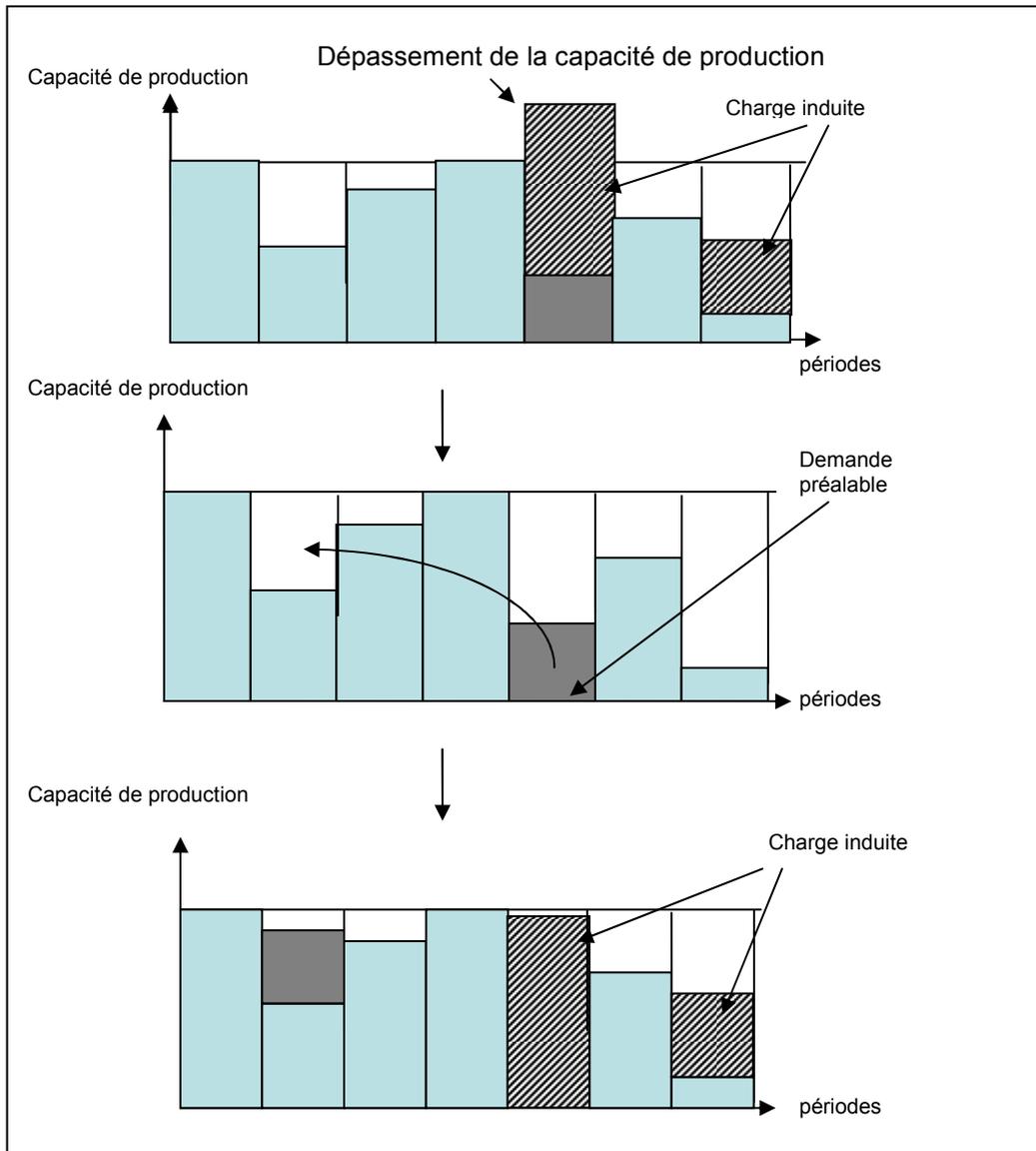


Figure 2.12 : Exemple de re-planification

5.7 Cas n°5 et 6 – Disponibilité de la matière première

C'est un point essentiel pour le bon déroulement de la phase de production. Dans le meilleur des cas, l'entreprise dispose d'une quantité suffisante de stock de matières premières pour répondre à la production. Dans le cas contraire, un problème de disponibilité des matières premières (problème ρ) survient. Une formalisation de ce problème est proposée dans le chapitre 3 de ce mémoire.

Pour pouvoir produire complètement les quantités souhaitées, l'entreprise doit rechercher des fournisseurs de matières premières pour compléter son stock de composants. Dans la mesure où les délais de production sont très réduits du fait du contexte de la demande, nous proposons une méthode de recherche et de sélection de fournisseurs afin de satisfaire au mieux le manque de matières premières. Les grandes étapes de cette procédure sont :

$\rho.1$ Création de la demande : à partir des quantités manquantes de composants, l'entreprise construit des scénarios d'approvisionnement.

$\rho.2$ Recherche de fournisseurs : l'entreprise dispose dans son carnet d'adresse d'un ensemble de fournisseurs, qu'ils soient habituels ou non.

$\rho.3$ L'envoi de la demande : après une phase de sélection de ces fournisseurs, elle transmet des demandes d'approvisionnements sous forme de scénarios (courbe cumulée de demande d'approvisionnement) aux fournisseurs sélectionnés. Ces demandes décrivent le manque en matières premières.

$\rho.4$ Réception des propositions d'approvisionnements : les propositions d'approvisionnements sont eux aussi sous forme de courbes cumulées. Nous supposons qu'un fournisseur peut envoyer une ou plusieurs propositions (scénarios). Toutefois si une de ces propositions est choisie, elle est prise en compte en totalité, et toutes les autres propositions de ce même fournisseur sont écartées.

$\rho.5$ Sélection des propositions : pour réaliser la sélection des propositions des fournisseurs, nous introduisons un modèle de sélection (voir chapitre 4). Cette opération a pour but de choisir la ou les meilleures propositions d'approvisionnement afin de satisfaire le manque de matières premières.

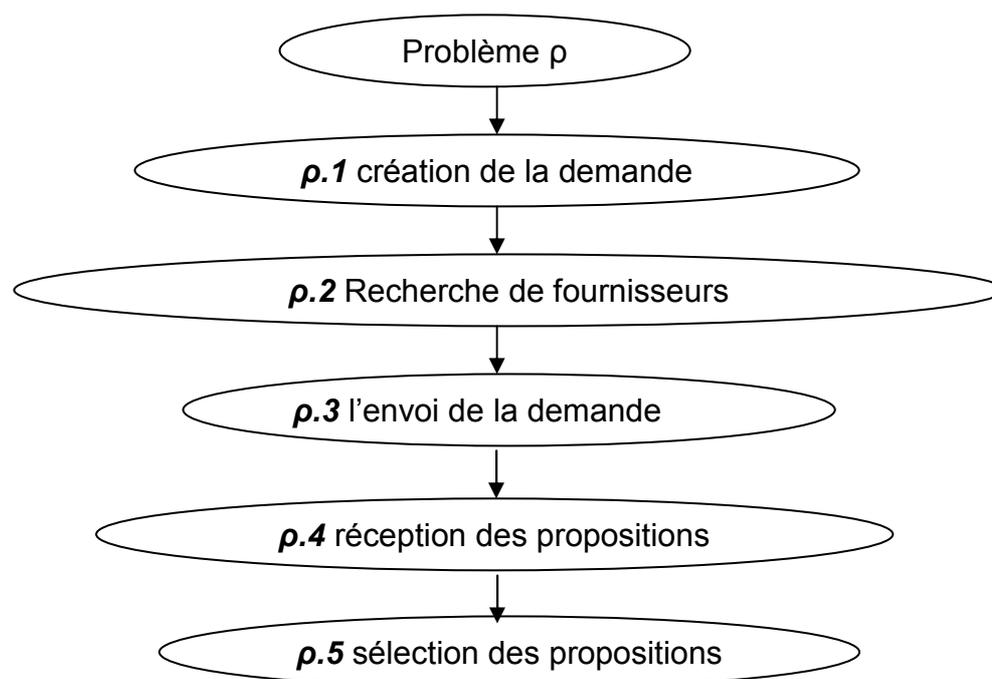


Figure 2.13 : Diagramme de l'approche pour la résolution du problème ρ

5.8 Synthèse de l'approche proposée

La prise de décision pour une commande est un processus complexe qui demande la satisfaction de plusieurs critères. La démarche que nous entreprenons dans ce travail s'articule non seulement autour d'un processus de prise de décision, mais aussi sur la proposition d'outils mathématiques d'aide à la décision. L'originalité de notre approche réside dans le fait de prendre en compte tout le processus de prise de décision dans le contexte distribué de la chaîne logistique. Il est vrai que certains outils existants, décrits dans le chapitre 1, pourraient

permettre la gestion d'une partie de ce processus. En revanche, il n'existe pas d'outils aptes à gérer intégralement cette problématique dans un processus distribué. Nous pouvons ainsi présenter le processus de décision comme une suite d'activités décisionnelles élémentaires. Le schéma suivant (Figure 2.14) les récapitule.

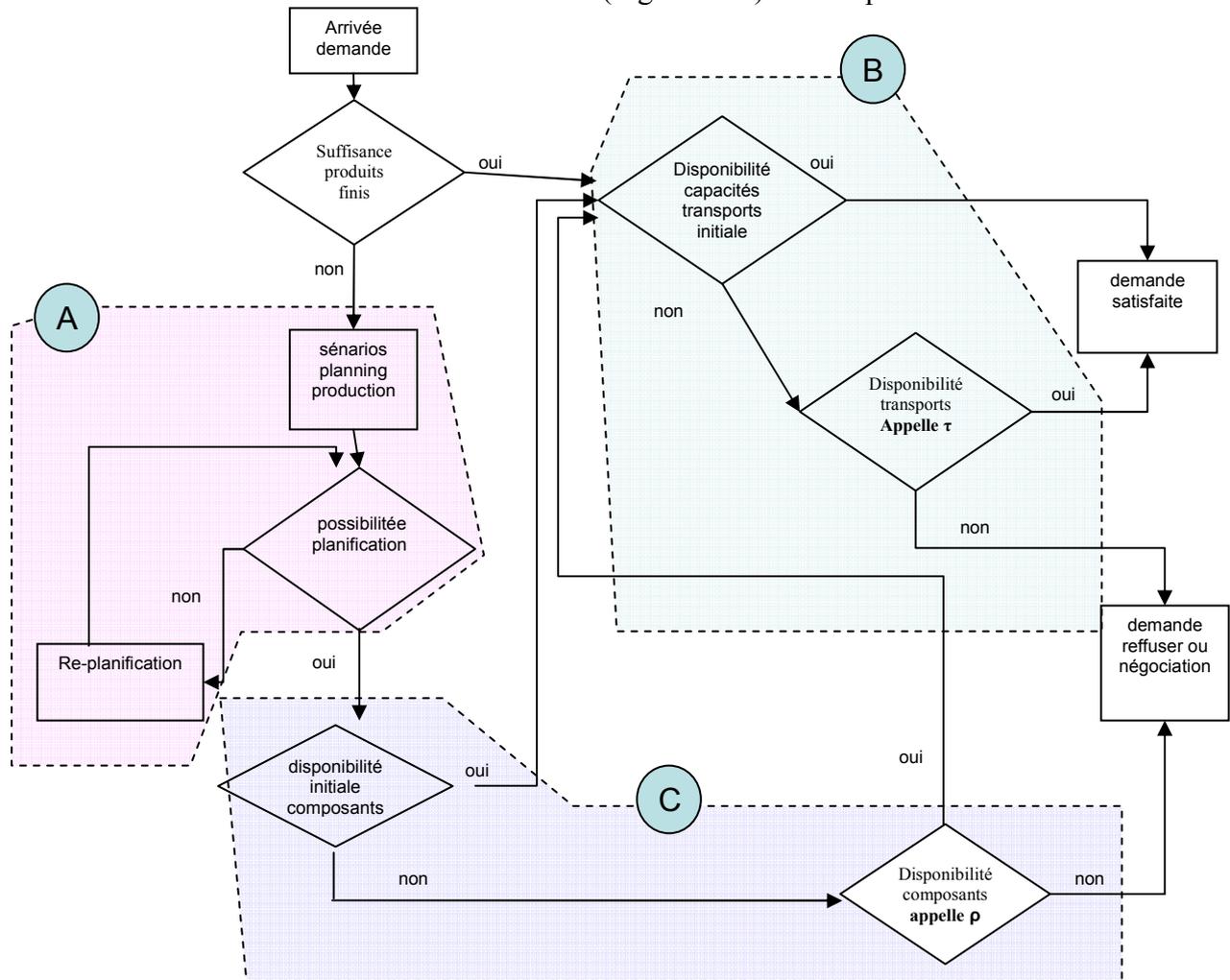


Figure 2.14 : Synthèse de l'approche globale

La partie A de cette figure 2.14 concerne la planification des activités de production, la partie B résume la procédure de satisfaction des capacités de transport suffisantes pour satisfaire une demande. Enfin, la partie C décrit la procédure de disponibilité des composants nécessaires pour satisfaire une demande.

6 Conclusion

La démarche de prise de décisions pour une commande imprévue dans un contexte de délais réduits nécessite l'emploi de modèles d'aide à la décision.

Lorsqu'une demande arrive dans un court délai et qu'elle n'est pas conforme à un planning préalablement établi, l'entreprise se trouve dans une situation délicate. Elle dispose de peu de temps pour s'organiser afin de répondre favorablement à la demande. Nous avons au cours de ce chapitre mis en lumière la complexité de cette prise de décision dans ce

contexte où le temps alloué à une décision est réduit et où son impact tant local que global peut être majeur.

Dans notre approche de traitement de ce genre de situation, nous pouvons distinguer deux types de problématiques complémentaires

Le premier type est relatif aux contraintes internes de l'entreprise, comme les capacités de production ou de stockages dont dispose l'entreprise. Dans notre démarche, nous ne détaillons pas les outils de décisions nécessaires pour la prise de décision interne. Ces outils sont ceux qui sont utilisés par le service planification pour la gestion de la production. En faisant attention qu'à ce niveau « opérationnel » et non pas « tactique », il faut gérer soigneusement les ressources réservées pendant le processus de négociation

Le second type est relatif aux contraintes dites externes à l'entreprise. Ces contraintes sont les capacités d'obtention de matières premières, ainsi que, éventuellement, les capacités de transport. Elles sont intimement liées aux partenaires de l'entreprise.

Dans le chapitre suivant (chapitre 3), nous développons des outils d'aide à la décision pour les problèmes de disponibilité de la matière première ρ et de transport τ .

Chapitre 3

MODELES D'AIDE A LA DECISION POUR LA PRISE
D'UNE DEMANDE IMPREVUE

Sommaire Chapitre 3

1	Introduction.....	55
2	Problème de manque de composants ρ	56
2.1	Positionnement du problème.....	56
2.2	Démarche de résolution	57
2.2.1	Création des scénarios.....	57
2.2.2	Recherche de fournisseurs	57
2.2.3	Envoi d'une demande aux fournisseurs	58
2.2.4	Réception des réponses	58
2.2.5	Sélection des propositions.....	59
2.3	Modèles d'aide à la décision.....	61
2.3.1	Faisabilité d'un scénario d'approvisionnement	61
2.3.2	Modèle d'optimisation de la sélection	62
2.4	Synthèse des modèles de sélection	64
3	Problème du transport τ	66
3.1	Démarche de résolution	66
3.1.1	Réception de la demande	67
3.1.2	Élaboration d'un planning des dates aux plus tard de départ des transports. 67	
3.1.3	Calcul des besoins en transport.....	68
3.1.4	Recherche de transporteur.....	68
3.1.5	Optimisation du choix des propositions de transport.....	68
3.2	Modèles d'aide à la décision.....	68
3.2.1	Modèle χ de dimensionnement des capacités de transport nécessaires	68
3.2.2	Modèle δ d'optimisation du choix des propositions.....	70
3.3	Synthèse de la démarche de recherche de transport.....	71
4	Illustration de notre approche globale de prise d'une demande imprévue	72
4.1	Contexte de l'exemple	72
4.2	Résolution du problème ρ	77
4.2.1	Création de scénarios d'approvisionnement	77
4.2.2	Recherche des fournisseurs potentiels	78
4.2.3	Envoi de demandes aux fournisseurs potentiels	78
4.2.4	Réception de propositions d'approvisionnement.....	79
4.2.5	Sélection des propositions des fournisseurs.....	80
4.3	Résolution du problème τ	83
4.3.1	Dimensionnement des capacités de transport.....	84
4.3.2	Recherche et sélection des propositions de transport.....	84
4.4	Synthèse de l'exemple numérique	85
5	Conclusion	86

1 Introduction

Nous détaillons dans le chapitre 3 la complexité ainsi que la problématique de prise de décision pour satisfaire une commande imprévue dans le contexte d'une chaîne logistique distribuée. Nous présentons aussi globalement l'approche de coopération que nous mettons en œuvre. A partir de l'analyse des critères et des conditions d'accomplissement d'une commande, nous nous concentrons essentiellement dans notre travail à la mise en œuvre de méthodes d'aide à la décision. La complexité de la prise de décision nous conduit au traitement de problèmes étroitement liés à la prise de commandes fermes qui divergent de la prévision et auxquelles l'entreprise ne peut répondre directement.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à deux facteurs qui découlent de cette problématique. Le premier facteur est lié à la non-disponibilité de matières premières dans les stocks. Ce problème doit être résolu pour pouvoir produire une partie ou en totalité la quantité de produits demandée. Cette situation est celle présentée dans le chapitre 2 (tableau 2.1, cas 4). Nous définissons aussi le problème ρ de déficience de la matière première et nous détaillons la démarche de résolution. Pour résoudre ce problème nous proposons un algorithme qui repose sur un modèle mathématique d'aide à la décision. Ce modèle se présente comme un programme linéaire en variables mixtes.

Le second facteur que nous analysons réside dans la nécessité, pour une entreprise, de s'assurer de la disponibilité des capacités de transport nécessaires à l'acheminement des produits commandés dans le respect des délais souhaités par son client.

Dans ce travail, nous supposons que ce sont les fournisseurs qui prennent en charge l'expédition des matières demandées. Il est cependant aussi possible que ce soit le client qui assure l'acheminement des produits qu'il commande. Le problème τ et sa démarche de résolution restent analogues. Le problème de transport que nous traitons ici ne vise pas à l'optimisation des moyens de transport nécessaires ni au traitement de problème classique de transport tel que le problème de tournée ou le problème de remplissage optimal de la capacité des véhicules (problème dit du *sac à dos*). Nous cherchons à travers cette étude à satisfaire un phénomène de manque de capacité de transport. Par notre démarche, l'entreprise est amenée à acquérir des moyens supplémentaires de capacités de transport pour satisfaire une commande ferme. L'acquisition de ces capacités se fait par appel d'offres et sélection des propositions. L'hypothèse simplificatrice prise dans notre modèle est que tous les moyens de transport existant dans le système sont caractérisables par un modèle identique. Les transports ont une capacité homogène. Cette hypothèse réduit considérablement la complexité du problème τ .

Nous détaillons dans un premier temps la problématique de satisfaction des capacités de transport. A partir du contexte général de l'arrivée d'une demande, nous présentons un outil d'aide à la décision pour la satisfaction de ce problème.

Ainsi, dans la première partie de ce chapitre nous détaillons le problème ρ , la démarche de résolution que nous proposons ainsi que le modèle d'aide à la décision que nous avons développé. La seconde partie est consacrée à la description du problème de transport τ ainsi qu'à la présentation du processus et du modèle de résolution. Enfin, dans un dernier temps, nous illustrons notre démarche par un exemple qui intègre les deux problématiques.

2 Problème de manque de composants ρ

Le problème ρ se produit lorsqu'une entreprise est confrontée à un manque de composants ou de matières premières nécessaires pour réaliser une quantité de produits finis relatifs à une demande imprévue de son client. Nous nous plaçons dans le contexte des cas 5 et 6 présentés dans le tableau 2.1 du chapitre 2. L'entreprise ne dispose pas d'une quantité suffisante de produits finis et doit donc produire une partie de la demande du client. Pour cela, l'entreprise doit puiser dans son stock de matières premières. Les cas 5 et 6 expriment le fait que l'entreprise ne dispose pas des quantités de matières premières nécessaires à l'achèvement de cette production, d'où l'occurrence du problème ρ .

Dans cette première partie, nous nous intéressons donc à la recherche de fournisseurs de matières premières dans le but de répondre à la question suivante :

Comment faire pour trouver et sélectionner les fournisseurs pouvant résoudre le problème de déficience en matière première ?

Pour y répondre, nous développons dans ce qui suit une méthode de sélection de fournisseurs.

2.1 Positionnement du problème

Dans la littérature, durant les années 90, plusieurs entreprises cherchaient à collaborer avec leurs fournisseurs dans le but d'améliorer leurs performances et leur compétitivité [Ittner et al., 99]; [Shin et al., 00]. Le problème de sélection de fournisseurs devient un facteur très important dans l'établissement d'un système de réseau d'entreprises. Les principaux objectifs de cette démarche de sélection de fournisseurs sont de réduire les risques dus aux achats et de construire une relation durable et fiable entre l'acheteur et le fournisseur [Monczka et al., 98].

De nombreux modèles ont été développés pour la sélection de fournisseurs qui sont basés sur des perceptions plutôt simplistes des processus de prise de décision [Boer et al., 98], [Lee et al., 01]. La plupart de ces méthodes ne semblent pas aborder les questions complexes et non structurées, contexte de la prise de décisions d'achat actuelle [Boer et al., 1998]. En fait, dans de nombreux modèles de décision, seul le critère de quantité est pris en considération pour le choix du fournisseur. Toutefois, plusieurs facteurs d'influence ne sont pas souvent pris en compte dans le processus de prise de décision, tels que des informations incomplètes, des critères qualitatifs et des critères de préférences...

À ce niveau de la thèse, nous nous appuyons sur les travaux de thèse de Hanen Bouchriha [Bouchriha, 02] pour classifier les différentes méthodes de sélection de fournisseurs. Il existe trois types de méthodes [Weber et al, 91] ; les méthodes de pondération linéaire [Wind et al] [Timmeman, 94] [Gregory, 86], les méthodes de programmation mathématique [Current et al, 94] (programmation linéaire [Pan, 89], programmation mixte en nombre entier [Fayoraman et al. 99] [Nam et al. 95] et la programmation mathématique multi-objectifs [Weber et al, 93]) ainsi que des approches statistiques / probabilistes [Sokep 87], à ces trois types s'ajoutent les méthodes de classement multi-critères telle que la méthode AHP (*Analytic Hierarchy process*) [Nydick et al. 92].

Dans notre approche de sélection de fournisseurs, nous supposons que les relations sont déjà établies entre les partenaires de la chaîne logistique, nous sommes au niveau opérationnel de décision. Nous utilisons la programmation mixte en nombres entiers pour résoudre le problème de sélection de fournisseurs. Notre démarche s'inscrit dans une optique de satisfaction d'une demande imprévue.

2.2 Démarche de résolution

La démarche de résolution du problème de déficience en matière première repose sur un processus qui combine traitement de l'information et optimisation de la sélection des fournisseurs.

Ce processus s'appuie sur les activités suivantes :

1. création de scénarios d'approvisionnement.
2. recherche des fournisseurs potentiels.
3. envoi d'une demande aux fournisseurs potentiels.
4. réception de propositions d'approvisionnement.
5. sélection des propositions des fournisseurs.

Dans ce qui suit, nous détaillons les différentes étapes de ce processus.

2.2.1 Création des scénarios

Tout en respectant le planning de production préalablement établi, l'entreprise souhaite insérer une nouvelle charge qui correspond à une demande imprévue. Nous supposons qu'il existe différentes façons de réaliser cette insertion. Ce qui signifie qu'il existe plusieurs propositions de planning. Pour chaque planning de production, l'entreprise doit quantifier le profil des consommations en matières premières correspondant. Ceci permet de définir, pour chaque planning de production, un scénario d'approvisionnement différent (figure 3.1).

Un scénario représente une demande d'approvisionnement relative à un planning de production qui permet de satisfaire la demande initiale du client. Il se présente sous forme d'une courbe cumulée de la quantité de la matière première demandée aux fournisseurs en fonction de délais de mise à disposition de celle-ci.

2.2.2 Recherche de fournisseurs

L'entreprise se lance dans la recherche de fournisseurs potentiels. Cette recherche consiste à trouver des fournisseurs qui peuvent approvisionner en composants ou en matières premières l'entreprise dans des délais courts. Ces fournisseurs figurent dans le carnet d'adresses de l'entreprise, ils peuvent être habituels ou non. L'entreprise constitue donc une liste de fournisseurs à contacter.

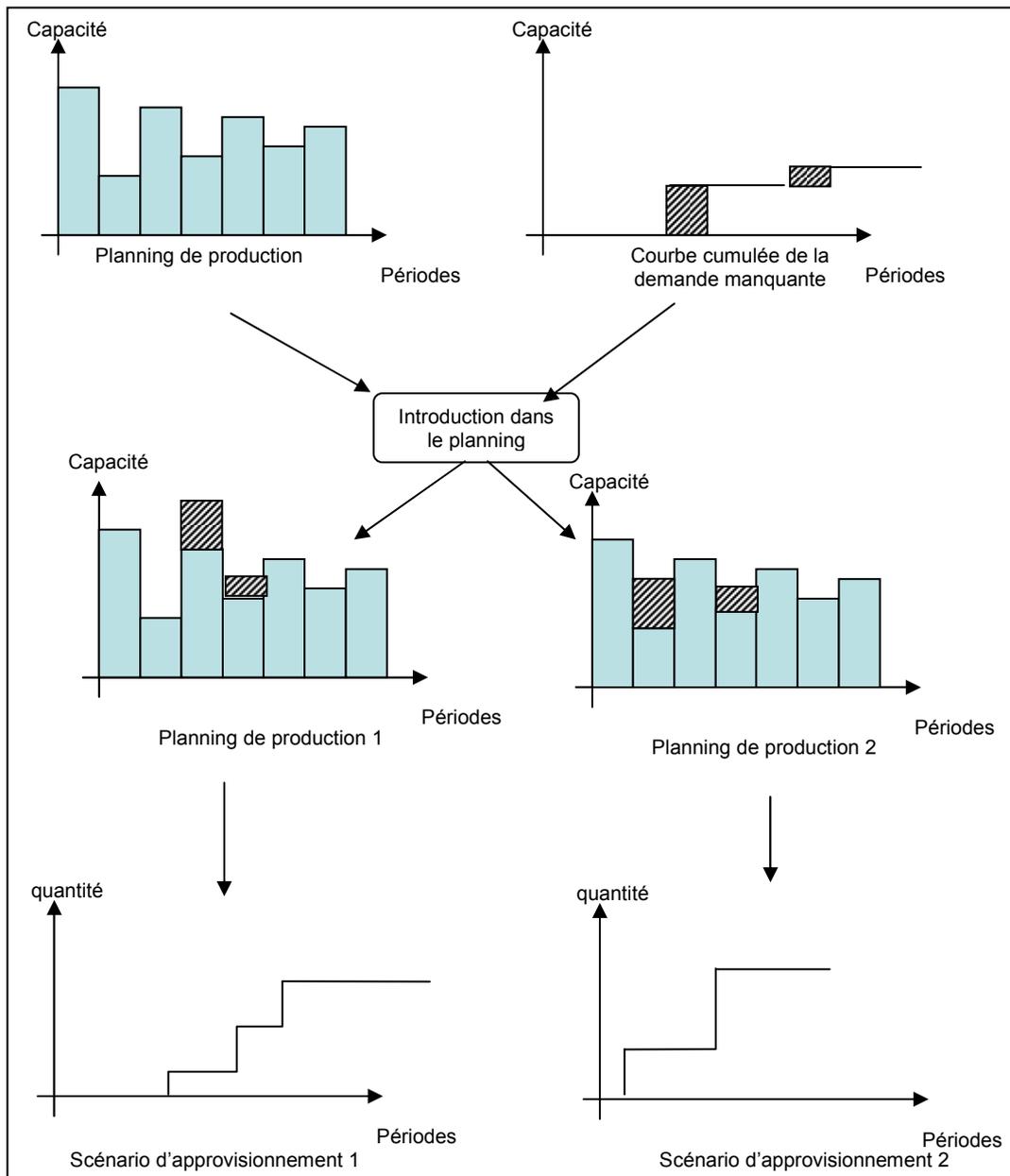


Figure 3.1 : Exemple de scénario d'approvisionnement en matières premières.

2.2.3 Envoi d'une demande aux fournisseurs

L'entreprise contacte tous ses fournisseurs potentiels en leur envoyant une demande préalablement élaborée. Cette demande contient l'ensemble des scénarios qui intéressent l'entreprise.

2.2.4 Réception des réponses

Nous supposons dans cette étape que les fournisseurs font au plus une proposition pour chaque scénario. Cette hypothèse permet la réduction des flux d'information qui circule dans le réseau. Une fois que toutes les réponses sont collectées par l'entreprise ou après un certain temps (temps limite de réception des propositions) l'entreprise passe à l'étape de traitement des réponses.

2.2.5 Sélection des propositions

Une fois la réception des propositions terminée, la procédure de traitement peut commencer. Elle consiste à construire la meilleure solution réalisable pour l'approvisionnement des matières premières à partir d'un ensemble de propositions issues des fournisseurs

Pour cela, les réponses des fournisseurs sont transformées en courbes cumulées des propositions. Afin de vérifier si l'ensemble des propositions couvre un scénario d'approvisionnement, nous cumulons à leur tour les courbes cumulées des propositions qui correspondent à un scénario. En faisant la comparaison entre la courbe cumulée résultante et la courbe cumulée du scénario d'approvisionnement, nous pouvons savoir si ce scénario peut être satisfait ou non.

Si le scénario ne peut être satisfait (figure 3.2, cas 2), il est éliminé. Graphiquement, la courbe cumulée du scénario dépasse en au moins un point la courbe cumulée des propositions.

Dans le cas contraire, nous pouvons continuer par l'étape d'optimisation, c'est-à-dire, la sélection des meilleures propositions pour un scénario donné (figure 3.2, cas 1).

Dans le cas où il existe un scénario faisable, nous pouvons appliquer le modèle d'aide à la décision (voir le point 4).

S'il existe au moins un scénario réalisable, la phase de sélection peut débuter. Elle consiste dans l'application de l'algorithme de sélection présenté dans la figure 3.3 qui s'appuie sur les modèles d'aide à la décision que nous présentons dans la section 3 de ce chapitre.

Les résultats de l'analyse des sélections peuvent être les suivants :

pas de solution réalisable : lorsque les propositions des fournisseurs ne couvrent aucun des scénarios d'approvisionnement, l'entreprise n'a pas d'ensemble de fournisseurs qui soient aptes à résoudre son problème de déficience en matière première. Cette situation induit que l'entreprise ne peut produire la quantité nécessaire à la satisfaction de la demande de son client.

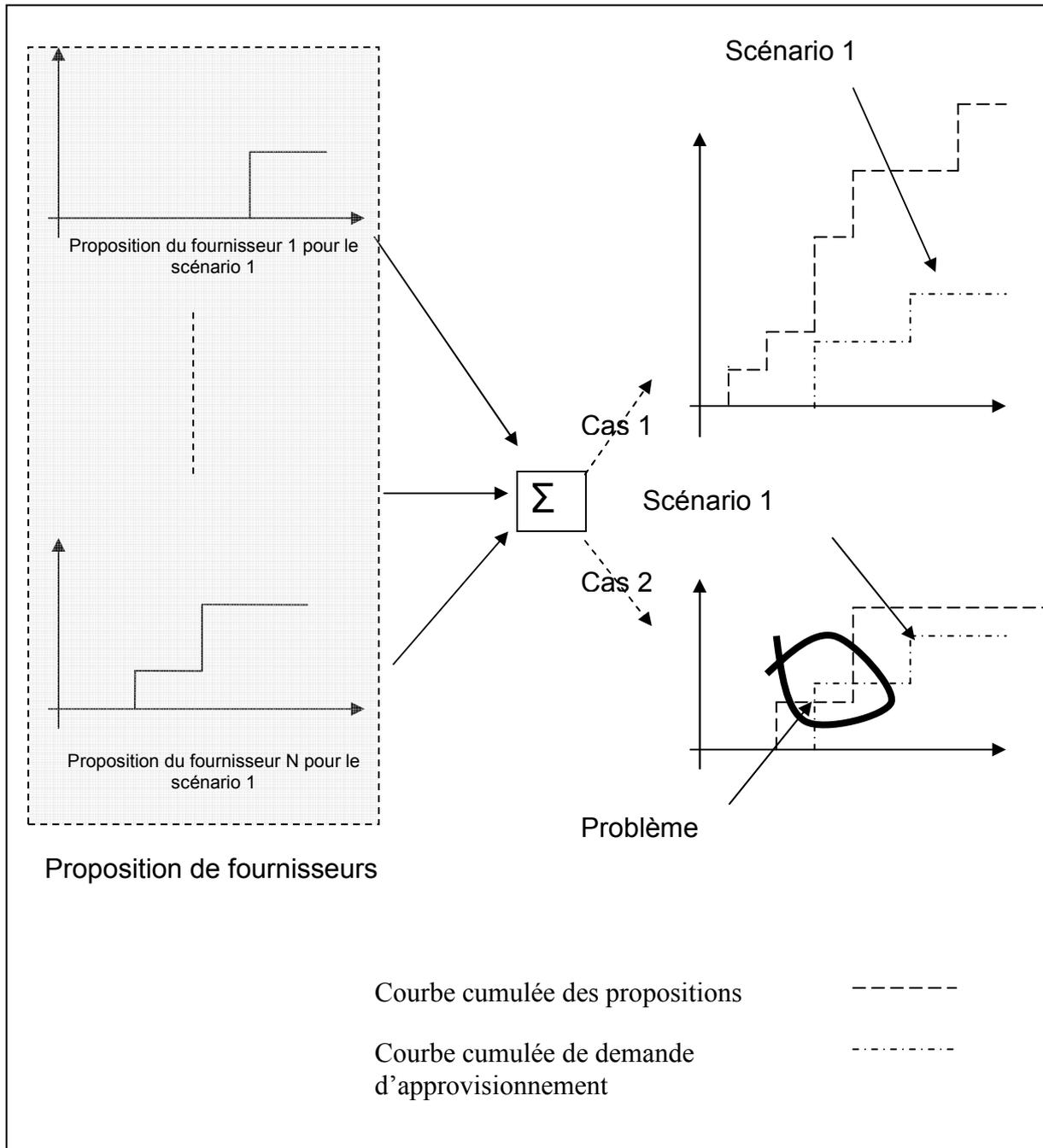


Figure 3.2 : Exemple de faisabilité d'un scénario

1. Elle ne pourra accepter au mieux que partiellement une commande. Pour cela, elle peut entrer en phase de négociation avec son partenaire pour trouver une solution consensuelle. Cette recherche est assurée par le biais de contre-propositions.
2. **solution unique** : il y a possibilité d'avoir une solution unique lorsqu'une seule proposition d'un fournisseur couvre de manière optimale, au sens des coûts d'acquisition, la demande d'approvisionnement en matière première. Dans ce cas, l'entreprise peut entreprendre la mise en action de la production.

Mais cela ne signifie pas que la demande du client est satisfaite, car il faut en définitive s'assurer de la disponibilité des moyens de transport nécessaires à

l'accomplissement de cette commande. En effet, par cette démarche, l'entreprise s'assure seulement de la possibilité ou non de production des quantités nécessaires pour satisfaire la demande de son client.

3. **solution composée** : il est nécessaire d'élaborer une solution composée lorsque le résultat de la sélection nous donne un ensemble de propositions de fournisseurs où l'addition de celles-ci permet le recouvrement optimal de la demande d'approvisionnement. Alors, il convient de sélectionner un sous-ensemble de propositions couvrant le besoin de manière optimale au sens des coûts. C'est l'objectif de la section suivante.

2.3 Modèles d'aide à la décision

Les modèles que nous développons dans cette section s'appuient sur les hypothèses de notre étude, c'est-à-dire que l'ensemble des partenaires de la chaîne logistique joue le jeu gagnant-gagnant. Nous considérons aussi que, lorsqu'une proposition est sélectionnée, elle est entièrement prise en compte. Il n'y a donc pas de segmentation d'une proposition. Les paramètres pris en compte dans ces modèles sont relatifs aux capacités de stockage dont dispose l'entreprise, aux capacités de réception des composants ainsi qu'aux paramètres liés à la demande d'approvisionnement en composants.

Nous entamons cette section par l'analyse de faisabilité d'un scénario, celle-ci nous permet d'éliminer les scénarios non faisables. Ensuite, nous présentons le modèle de sélection des propositions (modèle π) pour les scénarios retenus dans l'étape précédente. Nous poursuivons par la présentation du modèle relaxé (modèle π_g) qui permet d'obtenir une solution au problème relaxé de sélection. Nous terminons cette section par une synthèse des modèles proposés.

2.3.1 Faisabilité d'un scénario d'approvisionnement

a) Notations

- i : indice du fournisseur
- j : indice du scénario
- $Cumq_{i,j,t}$: quantité cumulée proposée par le fournisseur i pour le scénario j à la période t
- $CumQ_{j,t}$: quantité cumulée demandée pour le scénario j à la période t

b) Equation de faisabilité d'un scénario

La faisabilité du scénario j est vérifiée par l'équation (E.1). On compare la courbe cumulée de l'addition de toutes les propositions relatives à un scénario d'approvisionnement avec le scénario correspondant.

$$\forall t : \sum_i Cumq_{i,j,t} \geq CumQ_{j,t} \quad (E.1)$$

Si l'équation E.1 n'est pas satisfaite, le scénario j est écarté.

Dans le cas contraire, nous pouvons conclure que le scénario j est réalisable. On peut dans ce cas passer à l'étape d'optimisation.

2.3.2 Modèle d'optimisation de la sélection

L'optimisation consiste à la sélection des propositions des fournisseurs qui satisfont le problème de déficience en matière première. Cette opération s'appuie sur un modèle de programmation linéaire en variables mixtes (π). Ce modèle permet de minimiser le coût total d'acquisition de la matière première demandée (EQ.1) dans le respect des contraintes liées aux capacités internes de l'entreprise ainsi que les spécifications de la production (le respect des quantités et de délais imposés).

a) Notations complémentaires

- $x_{i,j}$: $\begin{cases} = 1 \text{ si la proposition relative au scénario } j \text{ est sélectionnée} \\ = 0 \text{ sinon} \end{cases}$
- $Q_{t,j}$: quantité de matière première demandée à la période t pour le scénario j
- $q_{i,j,t}$: quantité de matière première proposée à la période t par le scénario j
- $c_{i,j}$: coût unitaire de la matière première proposé par le fournisseur i pour le scénario j
- $CF_{i,j}$: somme sur toutes les périodes t des quantités de matières premières proposées $q_{i,j,t}$ multipliées par les coûts $c_{i,j}$
- CD_j : coût unitaire d'approvisionnement demandé pour le scénario j
- QD_j : la quantité totale demandée pour le scénario j
- QR_t : capacité de réception potentielle de l'entreprise à la période t
- QS_t : capacité de stockage de la matière première potentielle à la période t
- ΔQR_t : capacité fixe additionnelle de réception à la période t

- ΔQS_t : capacité fixe additionnelle de stockage à la période t
- y_t : nombre des ΔQR_t
- z_t : nombre des ΔQS_t
- CR_t : coût d'acquisition de ΔQR_t
- CS_t : coût d'acquisition de ΔQS_t

b) *Le modèle π*

La fonction objective

$$Z_j = \text{Min} \left(\sum_i CF_{i,j} x_{i,j} \right) \quad (\text{EQ.1})$$

Sous les contraintes

$$\forall t : \sum_i \text{Cum}q_{i,j,t} x_i \geq \text{Cum}Q_{j,t} \quad (\text{E.2})$$

$$\forall t : \sum_i q_{i,j,t} x_{i,j} \leq QR_t \quad (\text{E.3})$$

$$\forall t : \sum_i q_{i,j,t} x_{i,j} \leq \text{Cum}Q_{j,t} + QS_t \quad (\text{E.4})$$

$$x_{i,j} \in \{0,1\}$$

(E2) représente la famille de contraintes de satisfaction des quantités demandées aux périodes souhaitées. Elle permet d'identifier l'ensemble des fournisseurs aptes à réaliser l'approvisionnement.

(E3) représente la famille des contraintes de capacité de réception, si l'entreprise ne dispose pas des capacités suffisantes cela induit au mieux un retard dans l'exécution de l'opération de livraison qui peut engendrer la non-validité du scénario correspondant.

(E4) est relative à la famille des contraintes de la capacité de stockage de l'entreprise. De manière analogue à (E3), le manque de capacité de stockage peut pénaliser la réalisation du scénario correspondant.

Dans notre travail, nous ne nous intéressons pas aux méthodes de résolution de tel programme de modélisation. Pour la résolution de ce programme π nous pouvons utiliser un outil de type solveur tel que [Cplex] ou [LP solve].

Si une solution existe, alors le solveur fournit une solution optimale pour le scénario correspondant. Dans ce cas l'entreprise dispose d'un ensemble de fournisseurs aptes à l'approvisionnement. Le problème de déficience de matière première est donc résolu ce qui signifie que l'entreprise peut éventuellement lancer la production en vue de la réalisation de la demande de son client.

Si la solution n'existe pas, cela est dû au non-respect d'une ou de plusieurs contraintes relatives aux capacités de réception et/ou de stockage. Dans cette situation, nous proposons une relaxation des contraintes liées aux respects des capacités de réception (E3) ainsi que des capacités de stockage (E4).

Le programme π devient alors le programme π_g où la fonction économique (EQ.2) tient compte des coûts d'acquisitions des capacités supplémentaires de réception et de stockage.

c) *Le modèle π_g*

La fonction objective

$$Z_j = \text{Min} \left(\sum_i (CF_{i,j} x_{i,j}) + \sum_t (CR_t y_t) + \sum_t (CS_t z_t) \right) \quad (\text{EQ.2})$$

Sous les contraintes

$$\forall t : \sum_i \text{Cum}q_{i,j,t} x_i \geq \text{Cum}Q_{j,t} \quad (\text{E.2})$$

$$\forall t : \sum_i q_{i,j,t} x_{i,j} \leq QR_t + y_t \Delta QR_t \quad (\text{E.5})$$

$$\forall t : \sum_i q_{i,j,t} x_{i,j} \leq \text{Cum}Q_{j,t} + QS_t + z_t \Delta QS_t \quad (\text{E.6})$$

$$x_i \in \{0,1\}$$

La relaxation des contraintes liées aux capacités de réception ainsi que de stockage assure l'existence d'une solution réalisable à ce programme. Cette solution constitue une simple proposition et donne une piste pour la prise de décision définitive relative à la mise en œuvre ou non de la production.

2.4 Synthèse des modèles de sélection

A partir des modèles présentés préalablement dans cette section, nous développons un algorithme d'optimisation (figure 3.3). Les entrées de celui-ci sont les scénarios d'approvisionnement faisables qui sont associés aux propositions des fournisseurs correspondants. Ces entrées forment la liste de recherche de solutions.

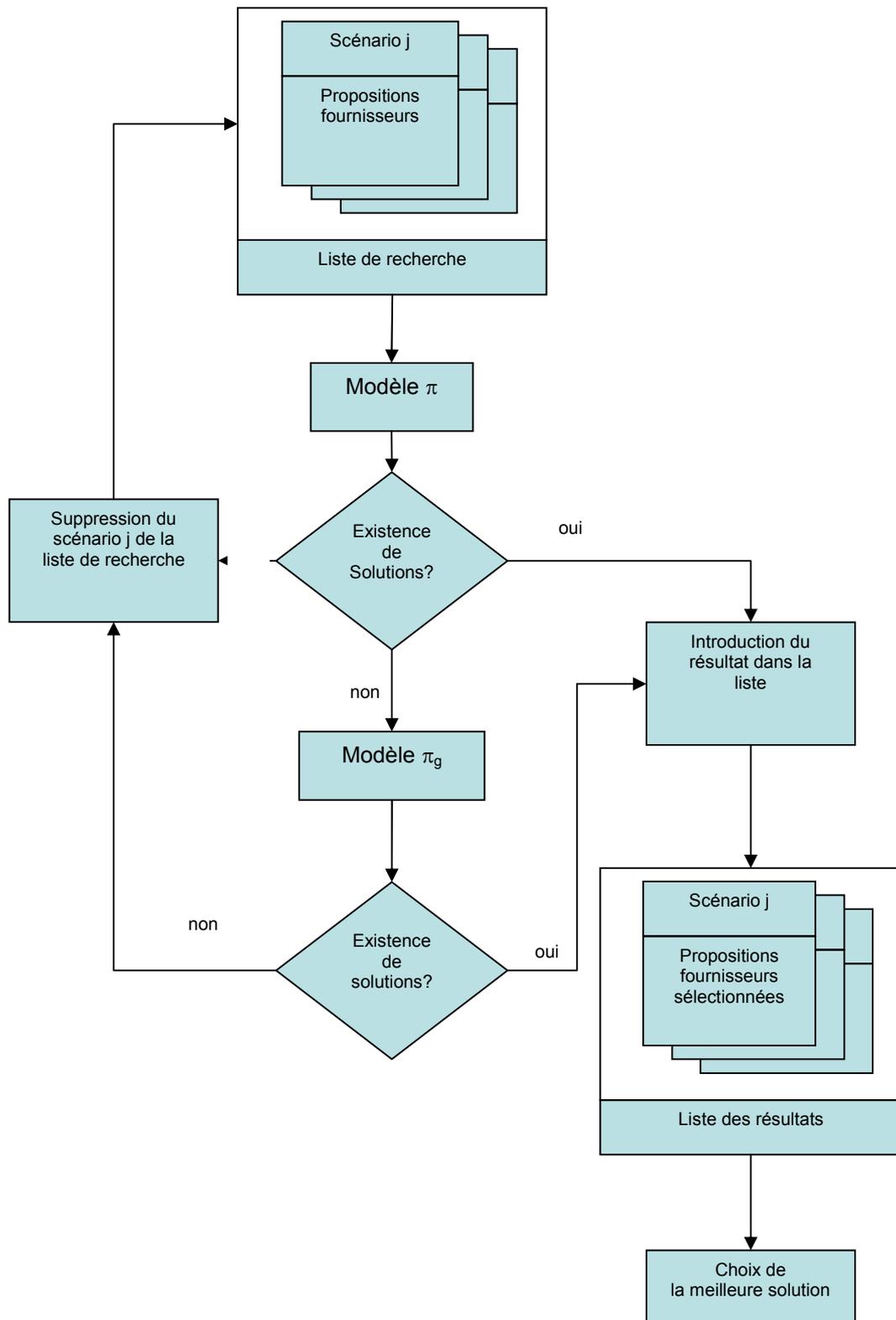


Figure 3.3 : Algorithme de choix des propositions des fournisseurs.

3 Problème du transport τ

La prise en compte du transport dans le domaine du management des chaînes logistiques prend de plus en plus d'importance. Plusieurs cas sont considérés par la communauté scientifique. Ainsi, la prise en compte des problèmes spécifiques au transport de marchandises donne une vision plus réaliste du management des chaînes logistiques.

Dans [Kiesmüller et al 05] le problème du choix des moyens de transport des composants nécessaires à une industrie est étudié. Les auteurs proposent un modèle mathématique de sélection des moyens de transport qui respecte les capacités de stockages et des transporteurs tout en garantissant un coût minimal.

Dans [Van Norden et al 05] les coûts de transport sont étudiés dans un cadre particulier de problème de dimensionnement des lots de production (*lot-sizing problem*). Un modèle de programmation linéaire est proposé ainsi qu'une relaxation lagrangienne permettant de déterminer les bornes inférieures et supérieures optimales.

Considérons une entreprise qui reçoit une demande imprévue d'un client. Cette demande est critique pour l'entreprise, car on suppose qu'elle perturbe ses plannings de livraison, de production ou de stockage. Pour satisfaire cette demande, nous supposons que l'entreprise a déjà étudié les problèmes liés à la production et à l'approvisionnement en matières premières, il lui reste à planifier ses expéditions. Nous nous situons volontairement dans le contexte où l'entreprise ne dispose pas en interne de suffisamment de moyens de transport nécessaires à l'accomplissement de cette demande.

L'entreprise se trouve dans la situation où elle dispose des quantités demandées, mais ne peut satisfaire son client du fait du manque de capacités de transport. D'où l'occurrence d'un problème qui a un impact réel sur la prise de décision par rapport à la demande du client.

L'impact de ce problème peut se manifester de différentes manières. Il peut, dans le meilleur des cas, occasionner des retards dans la livraison. Cela peut induire pour l'entreprise des pénalités financières relatives aux retards de livraison. Dans le pire des cas, lorsque l'impact ne se limite pas au voisinage immédiat de l'entreprise, la propagation de ce problème induit des retards aux clients de l'entreprise. De là, l'impact peut influencer l'ensemble de la chaîne logistique.

Pour faire face à ce problème, nous proposons dans ce chapitre une démarche et un modèle de résolution. Ce modèle s'appuie sur un programme linéaire en variables mixtes. Le but de ce modèle est d'optimiser le choix des fournisseurs de capacités de transport.

3.1 Démarche de résolution

La démarche que nous proposons s'appuie sur l'utilisation des courbes cumulées (figure 4.1) pour représenter les informations échangées entre un fournisseur et son client. La démarche s'appuie sur le processus suivant :

1. réception de la demande du client.
2. élaboration d'un planning des dates aux plus tard de départ des transports.
3. calcul des besoins en transport.
4. recherche de transporteur.
5. optimisation du choix des propositions de transport.

Dans ce qui suit, nous détaillons les différentes étapes de ce processus.

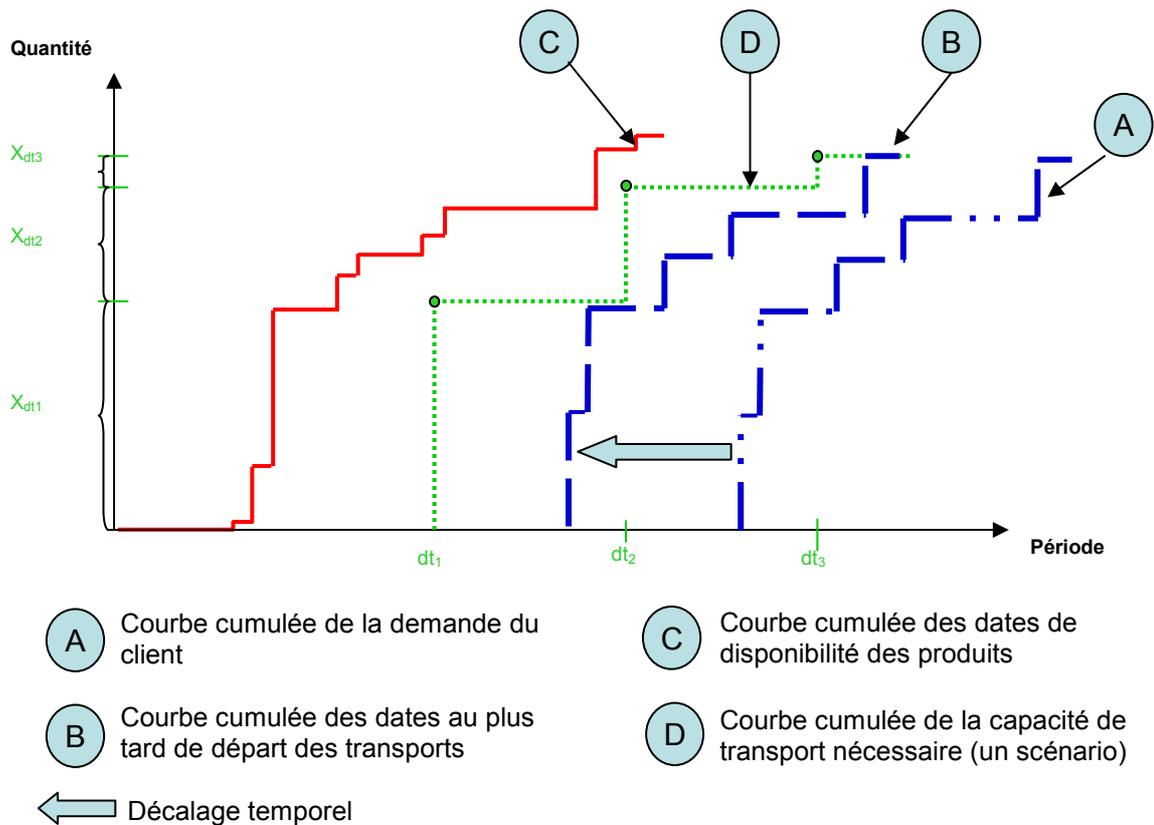


Figure 3.4 : Démarche de résolution

3.1.1 Réception de la demande

Pour nous cantonner au problème de transport, nous supposons dans cette partie que la demande du client peut être satisfaite, car les quantités souhaitées sont disponibles à temps dans le stock de produits finis (figure 3.4 courbe C). La demande est formalisée par une courbe cumulée (figure 3.4 courbe A). Ces deux courbes permettent de définir l'espace de recherche pour l'établissement du planning de transport potentiel entre les courbes B et C.

3.1.2 Élaboration d'un planning des dates aux plus tard de départ des transports.

En fonction de la courbe cumulée des besoins du client (figure 3.4, A), le fournisseur élabore une courbe cumulée des dates au plus tard de départ des transports (figure 3.4, B). Nous prenons l'hypothèse que celle-ci est réalisée en effectuant une translation temporelle vers la gauche correspondant au temps de transport moyen nécessaire entre l'entreprise et son client, c'est-à-dire que le temps de parcours moyen entre le client et l'entreprise est homogène pour tout type de transport.

Pour définir la courbe D (figure 3.4) relative à un planning de transport qui satisfait la demande client, il faut prendre en compte les deux courbes cumulées, la courbe C et la courbe B, qui constituent les bornes supérieures et inférieures au problème de disponibilité des capacités de transport. La borne supérieure illustre le respect des délais de livraisons désirées

par le client. La borne inférieure illustre les disponibilités des produits à livrer et les capacités internes de production prenant en compte les disponibilités de matières premières.

3.1.3 Calcul des besoins en transport.

Afin de dimensionner la capacité de transport nécessaire pour l'acheminement du produit demandé, nous proposons le modèle χ formulé par un programme linéaire en nombres entiers. Le but de ce modèle est de réaliser un planning potentiel optimal de transport qui tient compte des quantités à transporter aux délais souhaités. Le résultat de ce modèle forme la demande en capacité de transport de l'entreprise (voir la section 3.2.1).

3.1.4 Recherche de transporteur.

L'entreprise dispose dans son carnet d'adresses des transporteurs potentiels. Elle leur envoie la demande en transport préalablement élaboré à l'étape précédente.

3.1.5 Optimisation du choix des propositions de transport.

Lorsque l'ensemble des transporteurs a répondu par des propositions de mises à disposition de capacités de transport, l'entreprise doit faire face à un problème de choix des propositions. Ce choix est double, il consiste d'une part à sélectionner parmi les propositions celle à retenir, d'autre part à constituer un scénario d'expédition optimal. Nous proposons, pour répondre à ce problème, le modèle δ d'aide à la décision pour la résolution et optimisation de ce problème.

3.2 Modèles d'aide à la décision

3.2.1 Modèle χ de dimensionnement des capacités de transport nécessaires

Ce modèle permet à l'entreprise de déterminer le nombre de moyens de transport nécessaire pour satisfaire la demande du client. Comme l'avons dit, nous prenons l'hypothèse fortement simplificatrice que la capacité de chargement d'un transport est équivalente pour tous les moyens dont disposent l'entreprise ainsi que les transporteurs et qu'il n'y a pas de mise en commun des moyens de transport entre plusieurs commandes.

a) Notations

- v_c : capacité d'un transport
- T : durée totale de la demande
- CS_t : capacité de stockage des produits du fournisseur à la période t
- CSS : coût unitaire du stockage supplémentaire des produits par le fournisseur
- CS_{max} : maximum des capacités supplémentaires
- CAM_t : somme des quantités disponibles jusqu'à la période t

- CAV_t : somme des quantités à livrer jusqu'à la période t
- n_t : nombre des transports nécessaires à la période t
- r_t : capacité non utilisée du dernier transport à la période t
- X_t : capacité de transport nécessaire à la période t
- γ_t : quantité des stocks supplémentaires utilisés à la période t
- CX_t : somme des capacités de transport nécessaires jusqu'à la période t

b) Modèle de dimensionnement

Définition de l'objectif à optimiser :

$$Z_{\min} = \sum_t ((T-t)n_t + \gamma_t CSS) \quad (\text{EQ.3})$$

Sous les contraintes :

$$\forall t : CX_t \leq CAM_t \quad (\text{E.7})$$

$$\forall t : CX_t \geq CAV_t \quad (\text{E.8})$$

$$\forall t : CAM_t - CX_{t-1} \leq CS_t + \gamma_t \quad (\text{E.9})$$

$$\forall t : CS_t + \gamma_t \leq CS_{\max} \quad (\text{E.10})$$

Où :

$$CX_t = \sum_{\alpha=1}^t X_{\alpha}$$

$$X_t = n_t v_c - r_t$$

$$n_t, v_c, \gamma_t \in \mathbb{N}$$

Ainsi, pour chaque période t :

Les inéquations E.7 représentent la famille des contraintes relatives au respect des quantités de produits que doit mettre à disposition l'entreprise.

Les inéquations E.8 illustrent le respect des périodes de départ des transports vis-à-vis des périodes de livraison souhaitées par le client.

Les inéquations E.9 vérifient que les quantités disponibles et non transportées ne saturent pas les stocks. Elles permettent de vérifier la faisabilité du planning de production par rapport au stock des produits finis.

Les inéquations E.10 indiquent que la capacité de stock additionné au stock supplémentaire ne doit pas dépasser la capacité maximale que peut supporter l'entreprise.

L'objectif de ce modèle est la minimisation des coûts résultants du transport (EQ.3). D'une part, il vise à minimiser le nombre de transports nécessaire pour satisfaire la demande du client. Mais aussi, il cherche à déterminer les dates optimales de sollicitation des transports. Enfin, il permet de minimiser le coût de stockage supplémentaire nécessaire.

À partir de la courbe cumulée des capacités de transport (Figure 3.4, D) nécessaire à la satisfaction de la demande d'un client, résultant de la résolution du premier modèle, l'entreprise transmet la demande de mise à disposition de capacités de transport à ses transporteurs habituels. Cette demande traduit les demandes de transport (nombre de moyens de transport) nécessaires au respect des périodes de livraison.

Une fois que les réponses des transporteurs arrivent à l'entreprise, elle peut alors mettre en œuvre la procédure de sélection que nous proposons. Cette procédure est illustrée dans le modèle qui suit.

3.2.2 Modèle δ d'optimisation du choix des propositions.

La stratégie de sélection se base sur le principe de la prise en compte de toute la proposition d'un transporteur s'il est sélectionné, en d'autres termes, il n'est pas possible de tronquer une proposition sélectionnée.

a) Notations

- i : indice des transporteurs
- NT_t : nombre de transports demandé à la période t
- $NTP_{i,t}$: nombre de transports proposé par le transporteur i à la période t
- c_i : coût unitaire d'un transport proposé par i
- CC_t : capacité potentielle de chargement à la période t
- ΔCC_t : capacité unitaire de chargement additionnel pour la période t
- CR_t : coût de ΔCC_t
- $CumNTP_{i,t}$: nombre cumulé de transports proposé par i jusqu'à la période t
- $CumNT_t$: nombre cumulé des transports demandé jusqu'à la période t
- T_i : variable de décision, qui vaut 1 si le transporteur i est sélectionné et 0 sinon
- b_t : capacité de transport perdue à la période t
- y_t : variable qui indique le nombre de ΔCC_t

b) Le modèle

L'objectif de ce modèle est de déterminer les propositions des transporteurs aptes à prendre en charge l'acheminement des produits demandés par le client, tout en minimisant le coût global d'affrètement.

Définition de l'objectif à optimiser :

$$D_{\min} = \sum_i \left(\left(\sum_t NTP_{i,t} c_i \right) T_i \right) + \sum_t (CR_t y_t) \quad (\text{EQ.4})$$

Définition des contraintes :

$$\forall t : \sum_i CumNTP_{i,t} T_i \geq CumNT_t \quad (\text{E.11})$$

$$\forall t : \sum_i NTP_{i,t} \leq CC_t + y_t \Delta CC_t \quad (\text{E.12})$$

$$\forall t : \left(\sum_i CumNTP_{i,t} T_i \right) v_c \leq CAM_t + b_t \quad (\text{E.13})$$

$$\forall t : \left(\sum_i CumNTP_{i,t} T_i \right) v_c \geq CAV_t \quad (\text{E.14})$$

$$T_i \in \{0,1\}$$

Les inéquations E.11 vérifient que le nombre de transports proposé par les transporteurs est suffisant pour satisfaire la demande.

Les inéquations E.12 illustrent le respect des capacités de chargement.

Les inéquations E.13 et E.14 indiquent les bornes inférieures et supérieures d'affrètement des transports.

3.3 Synthèse de la démarche de recherche de transport

La figure 3.5 représente un résumé de la démarche d'aide à la satisfaction de la contrainte transport pour la satisfaction d'une demande imprévue, elle s'appuie sur les deux modèles que nous présentons ci-dessus dans la section 3.2. Lorsqu'une entreprise ne dispose pas de capacité de transport suffisant pour acheminer une quantité de produits finis à son client, elle doit solliciter ses partenaires de transport afin de trouver les capacités manquantes.

Dans ce cadre, nous présentons une approche en deux parties, la première consiste à dimensionner les capacités de transport nécessaire ainsi qu'à réaliser un planning optimal de transport, qui tient compte des caractéristiques du problème. Pour cela, nous proposons un modèle mathématique mixte en nombre entier. La deuxième partie de notre approche de résolution consiste à réaliser la sélection de propositions de transport émises par les transporteurs. Ainsi, l'objectif final de notre approche est réalisé, à savoir, la mise à disposition de capacités de transports suffisants pour acheminer les quantités demandées dans un contexte de demande imprévue.

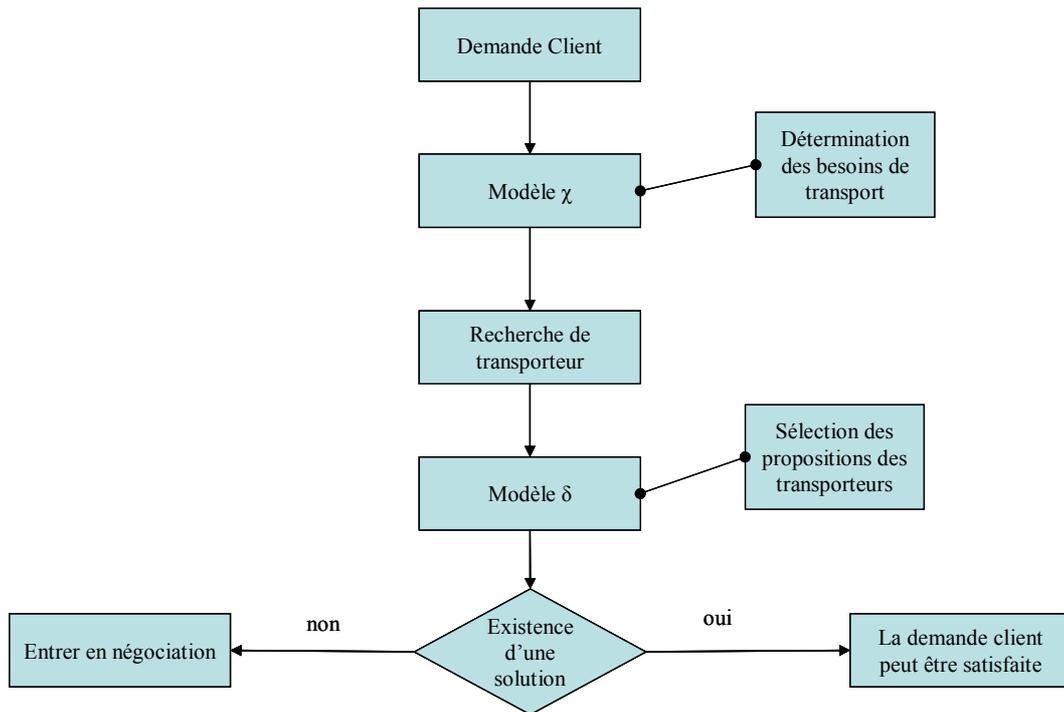


Figure 3.5 : démarche globale de traitement du problème τ

4 Illustration de notre approche globale de prise d'une demande imprévue

Pour illustrer les modèles décisionnels présentés dans ce chapitre ainsi que la démarche globale (de prise d'une nouvelle demande imprévue figure 2.14, chapitre 2), nous allons présenter dans cette section un exemple d'une entreprise qui reçoit une demande imprévue et qui se trouve dans la situation décrite par le cas 6 du tableau 2.1 du chapitre 2. ainsi l'entreprise se retrouve dans une situation où elle doit trouver à la fois les composants manquants et les capacités de transports nécessaires

On notera que dans cet exemple le processus gère l'occurrence de plusieurs demandes séquentiellement ; à ce niveau de la thèse, l'entreprise ne traite qu'une seule demande à la fois. Par contre, dans le chapitre suivant, nous introduisons une architecture multi agents qui nous permettra le traitement parallèle de demande.

4.1 Contexte de l'exemple

La chaîne logistique distribuée utilisée pour cet exemple (Figure 3.6) se compose d'un client, d'une entreprise cible, de cinq fournisseurs et de trois transporteurs. Chaque entité est libre de ses décisions, il n'y a pas de relations hiérarchiques entre les partenaires. Les entreprises évoluent dans un contexte gagnant-gagnant précédemment décrit dans le chapitre 1.

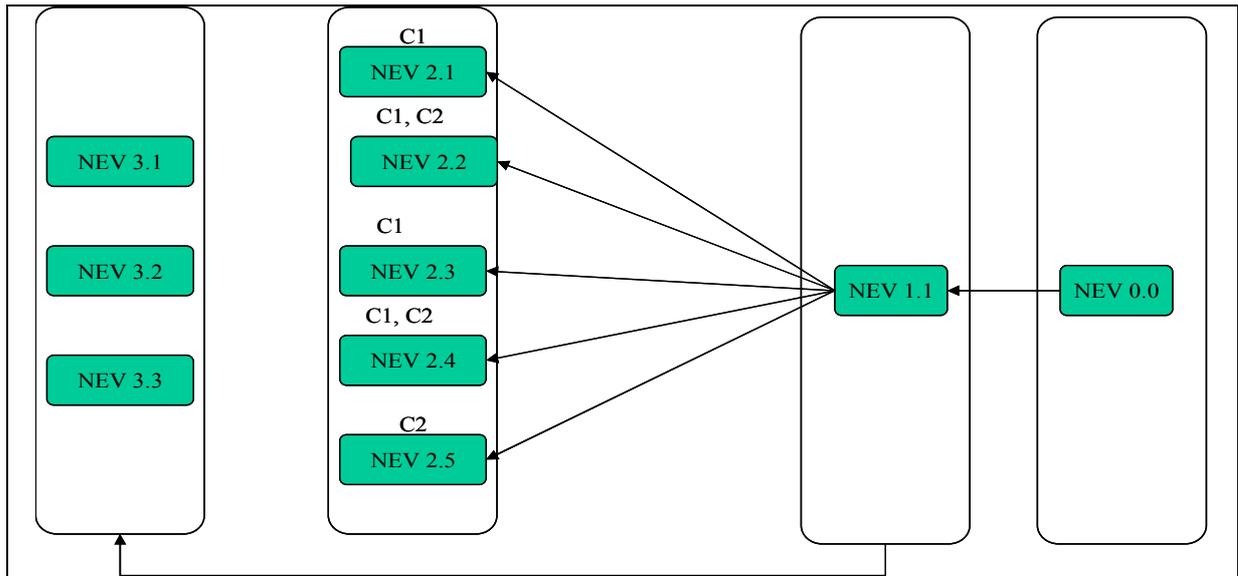


Figure 3.6 : composition de la chaîne logistique.

L'entreprise cible (NEV 1.1) reçoit une demande *imprévue* (tableau 3.1) de son client (NEV 0.0). Elle est imprévue, car elle diverge de la demande prévisionnelle (tableau 3.2) préalablement établie, dans cette thèse nous ne nous intéressons pas à la phase d'élaboration de demande prévisionnelle, nous prenons les prévisions de demande comme paramètres du problème. Nous considérons qu'une période correspond à un jour.

Profil de la demande initiale

Demande initiale du client

Délai	6	9	12	15	
Quantité	600	450	550	400	2000
Coût unitaire				12	
Total coût livraison				24000	

Tableau 3.1 Demande initiale du client pour le produit P

Profil de la demande prévisionnelle du client

Demande prévisionnelle				Total	
Délai	6	9	12	15	
Quantité	100	150	200	150	600
Coût unitaire				12	
Total coût livraison				7200	

Tableau 3.2 Demande prévisionnelle du client pour le produit P

Lorsque nous comparons les deux tableaux, nous obtenons le tableau 3.3 de divergence entre la demande prévisionnelle et la demande initiale du client. C'est cet écart qui est traité en tant que demande imprévue.

Profil de la demande imprévue du client

Délai	6	9	12	15	
Quantité	500	300	350	250	1400
Coût unitaire				12	
Total coût livraison				16800	

Tableau 3.3 : Demande imprévue du client pour le produit P.

Pour pouvoir répondre favorablement à cette demande, l'entreprise doit disposer des quantités excédantes de produits finis P. Cela peut-être le cas si elle dispose de suffisamment de stock *libre* (défini dans le chapitre 2) de produits finis ou le cas échéant pouvoir produire une partie ou la totalité de ces quantités.

Dans cet exemple, nous considérons que l'entreprise cible ne dispose pas de la totalité des quantités demandées P manquantes. Une partie de ces quantités est réservée dans le stock libre pour cette demande. Le tableau 3.4 représente le planning de disponibilité du stock de produits finis P libre.

Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quantité	150	250	150	150	100	150	150	150	150	150	250	250	250	250

Tableau 3.4 : planning de disponibilité du stock de produit fini P libre

La quantité à produire au plus tard par l'entreprise devient alors (tableau 3.5)

Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quantité manquante avant production					400		250				250			250

Tableau 3.5 : Quantité à produire au plus tard pour satisfaire la demande

Nous supposons que le délai de production du produit P est d'une journée, c'est-à-dire une période du planning. Cette hypothèse est justifiée par le fait que le travail présenté dans ce mémoire ne traite volontairement pas de l'ordonnancement interne détaillé de l'entreprise. Nous introduisons aussi la nomenclature du produit (figure 3.7). Pour fabriquer un produit fini P il nous faut deux composants (C1 et C2). La quantité de composants nécessaire pour un produit fini est reportée sur la figure 3.7, il nous faudra 2 C1 et 4 C2 pour fabriquer 1 P. la durée du processus de fabrication est d'une journée (une période).

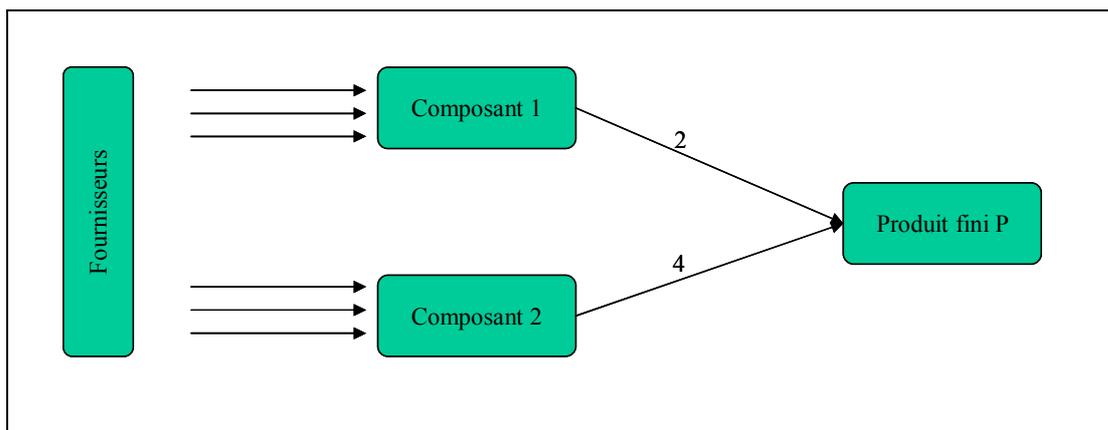


Figure 3.7 : Nomenclature du produit P.

La charge de travail supplémentaire induite par la demande client est exprimée par la figure 3.8. On suppose que cette charge peut être absorbée en totalité par la production. Ceci implique que les capacités de production sont réservées flexibles pour cette demande client.

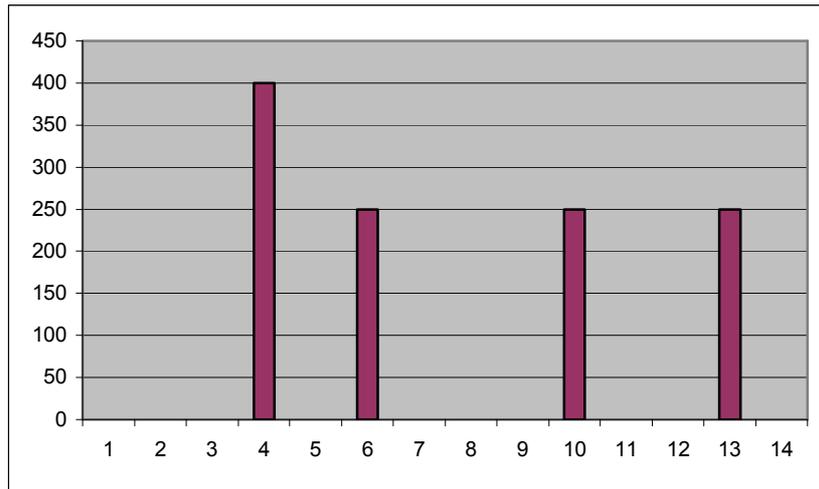


Figure 3.8 : Charge de travail induite par la demande client

Pour produire, l'entreprise doit disposer de quantités suffisantes de matières premières (composant C1 et C2) aux délais nécessaires. Ceci peut être vérifié grâce aux plannings de disponibilité des composants, le tableau 3.6 les présente.

Planning du stock libre de composants 1

Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quantité	250	300	300	250	320	320	400	400	500	500	500	500	500	500

Planning du stock libre de composants 2

Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quantité	500	600	600	500	640	640	800	800	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Tableau 3.6 : Planning du stock libre pour C1 et C2.

Grâce aux quantités disponibles dans le stock libre de composants, l'entreprise cible peut produire une partie de la demande manquante.

Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Quantité	0	0	0	160	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 3.7 : Quantité potentielle de production avec les stocks libres disponibles.

Nous obtenons alors les quantités manquantes que l'entreprise ne peut pas produire à cause d'un stock libre de composants C1 et C2 insuffisant. Nous obtenons alors un problème d'insuffisance de matière première (figure 3.9) nécessaire pour fabriquer une partie de la demande initiale du client (Problème ρ).

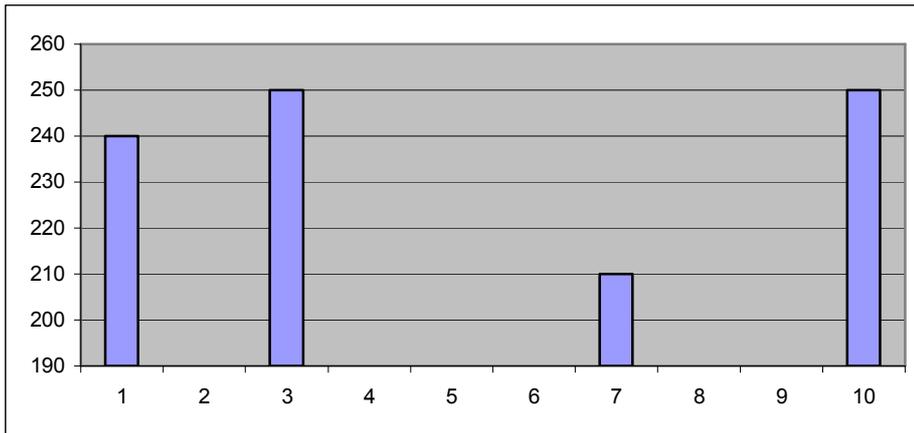


Figure 3.9 : Quantités manquantes du produit P.

La carence en composants est exprimée par la courbe cumulée des quantités des composants manquants nécessaires pour satisfaire la demande du client (figure 3.10).

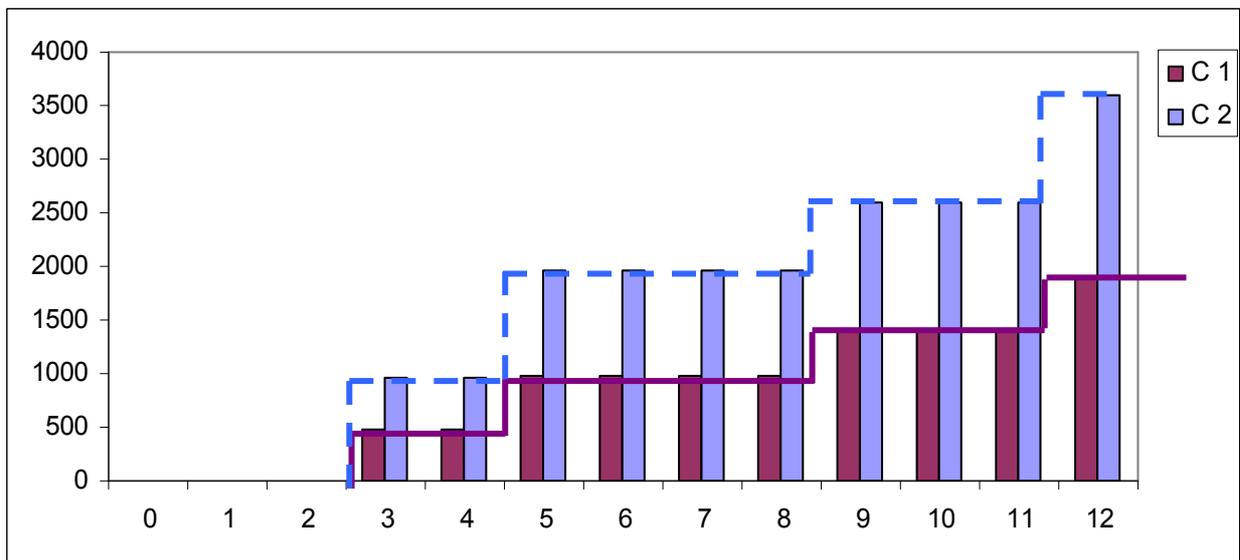


Figure 3.10 : Courbes cumulée des composants C1 et C2 manquants pour la production.

Dans cet exemple, nous sommes dans le cas où les capacités en stocks libres de composants C1 et C2 ne satisfont pas la demande de production induite par la demande imprévue du client, nous nous trouvons dans le contexte du problème ρ . Afin de combler les manques, l'entreprise doit acquérir ses capacités via ses fournisseurs. Nous voyons dans la figure 3.6 de composition de la chaîne logistique qu'il existe 4 fournisseurs du composant C1 et 3 fournisseurs du composant C2. À ce niveau de l'exemple numérique, nous allons utiliser la procédure ainsi que les modèles présentés dans le chapitre 2 ainsi que dans la première partie du chapitre 3 pour rechercher et sélectionner les propositions des fournisseurs pour nous permettre de produire les quantités manquantes du produit P.

Si notre approche de résolution du problème ρ apporte une solution réalisable et acceptable pour l'entreprise cible, reste à l'entreprise à satisfaire une dernière contrainte qui est la disponibilité des capacités de transport nécessaires pour satisfaire la demande imprévue du client.

Au début de cette section, nous avons supposé que l'entreprise a déjà planifié une partie de la demande client, elle représente la partie de la demande planifiée prévisionnelle (tableau 3.2). Il reste à l'entreprise à planifier la partie imprévue de la demande client (tableau 3.3). Nous supposons à ce niveau que l'entreprise ne dispose pas de moyen de transport interne, elle doit solliciter ces partenaires de transport afin d'acheminer cette demande à l'entreprise. On se trouve dans le contexte du problème τ . Nous allons utiliser le processus ainsi que les modèles décrits dans ce chapitre pour traité ce problème.

En résumé, dans cet exemple, pour répondre favorablement à la demande imprévue du client l'entreprise doit résoudre les deux problèmes d'insuffisance des capacités en matière de composants (problème ρ) ainsi qu'en matière de transport (problème τ).

4.2 Résolution du problème ρ

Pour résoudre le problème ρ d'insuffisance des composants C1 et C2 nécessaires pour produire une partie de la demande client, nous allons appliquer l'approche que nous présentons dans la section 2 de ce chapitre. Elle se résume en cinq points :

1. création de scénarios d'approvisionnement ;
2. recherche des fournisseurs potentiels ;
3. envoi d'une demande aux fournisseurs potentiels ;
4. réception de propositions d'approvisionnement ;
5. sélection des propositions des fournisseurs.

4.2.1 Création de scénarios d'approvisionnement

Afin de proposer plusieurs plannings de livraison à ses fournisseurs, l'entreprise cible regarde les possibilités de placement de charge de travail dans sa production. Nous supposons dans notre exemple que cette phase peut être réalisée par des outils internes de planification de la production. Dans ce cas, les capacités de production sont réservées pendant la période de négociation et d'examen de la demande imprévue du client. Nous rappelons que l'entreprise ne traite qu'une seule demande à la fois.

À partir des possibilités de placement de la nouvelle charge de production induite par la demande imprévue, nous réalisons les deux scénarios d'approvisionnement (Tableau 3.8)

Scénario 1													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demande brut C1	0	0	0	480	0	500	0	0	0	420	0	0	500
Demande brut C2	0	0	0	960	0	1000	0	0	0	640	0	0	1000
Scénario 2													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demande brut C1	0	200	0	280	200	300	0	0	0	420	0	200	300
Demande brut C2	0	0	600	360	500	500	0	500	300	200	500	140	0

Tableau 3.8 : scénarios d'approvisionnement des composants C1 et C2.

Nous utilisons les courbes cumulées pour exprimer graphiquement ces deux scénarios.

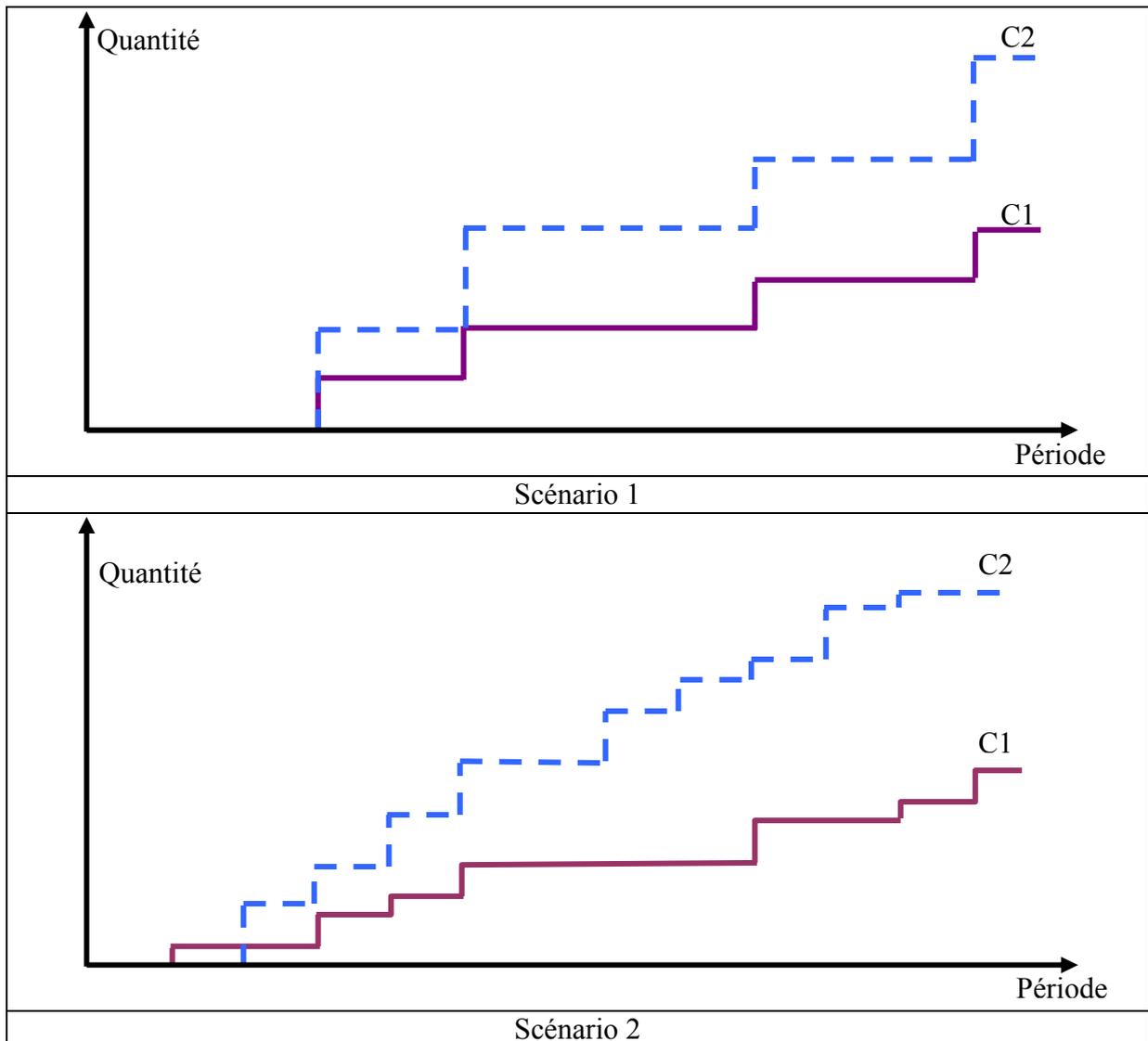


Figure 3.11 : Courbes cumulées des scénarios d’approvisionnement possibles pour C1 et C2.

Les deux scénarios ainsi constitués forment la base de recherche de partenaires (fournisseurs) pour satisfaire la demande initiale du client.

4.2.2 Recherche des fournisseurs potentiels

Cette phase consiste à rechercher les fournisseurs potentiels pour résoudre le problème ρ . Comme nous l’avons dit, l’entreprise cible dispose de 4 fournisseurs du composant C1 et de 3 fournisseurs du composant C2.

4.2.3 Envoi de demandes aux fournisseurs potentiels

La demande de composants est constituée pour un seul produit. Elle est composée de tous les scénarios d’approvisionnement pour un composant donné. Dans notre exemple, l’entreprise cible envoie deux demandes ; une pour le composant C1 et la deuxième pour le composant C2.

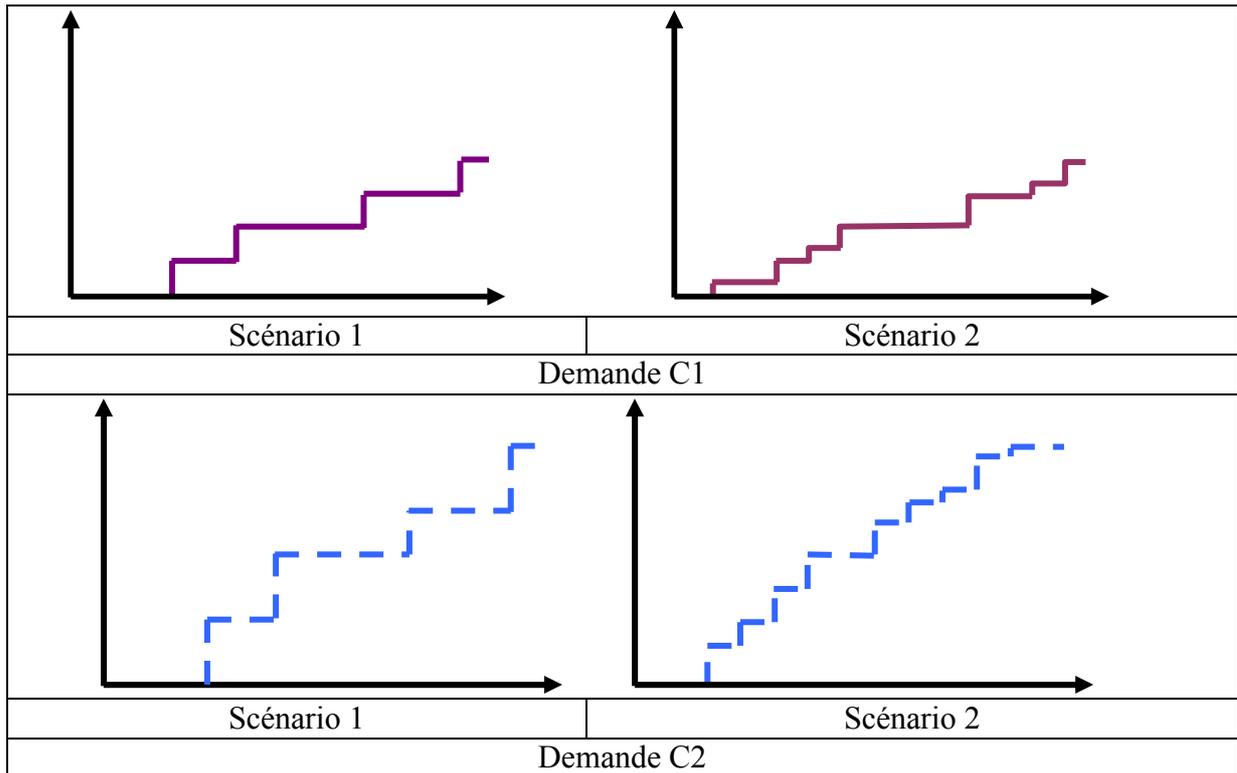


Figure 3.12 : Courbes cumulées de la demande d’approvisionnement en composants.

4.2.4 Réception de propositions d’approvisionnement

L’ensemble des réponses des fournisseurs aux demandes d’approvisionnement est résumé dans les tableaux suivants.

Réponse fournisseurs pour le composant C1 et le scénario S1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Coût unitaire
NEV2.1		385			349			167		193				4
NEV2.2		129				237		299			384			3
NEV2.3			346			271			333	325				3
NEV2.4		384			118			295			374			4
Total par période	0	898	346	0	467	508	0	761	333	518	758	0	0	

Réponse fournisseurs pour le composant C1 et le scénario S2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Coût unitaire
NEV2.1		385			349			167		193				4
NEV2.2		129					437	299			284		120	3
NEV2.3		193	153			271		160	173	120	205			3
NEV2.4		384			118	185		110			211	163		3
Total par période	0	1091	153	0	467	456	437	736	173	313	700	163		

Tableau 3.9 : réponses des fournisseurs pour la demande 1.

Réponse fournisseurs pour le composant C2 et le scénario S1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Coût unitaire
Fournisseur 2				400	500		500			250		550	2200	2
Fournisseur 4			653			700		543				500	2396	1
Fournisseur 5			324			450				640		604	2018	1
Total par période	0	0	977	400	500	1150	500	543	0	890	0	1654	6614	

4080

Réponse fournisseurs pour le composant C2 et le scénario S2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Coût unitaire
Fournisseur 2	0	0	243	500	500		0		300			140	1683	2
Fournisseur 4			653			700		543				500	2396	1
Fournisseur 5			324			450				640		604	2018	1
Total par période	0	0	1220	500	500	1150	0	543	300	640	0	1244	6097	

Tableau 3.10 : réponses des fournisseurs pour la demande 1.

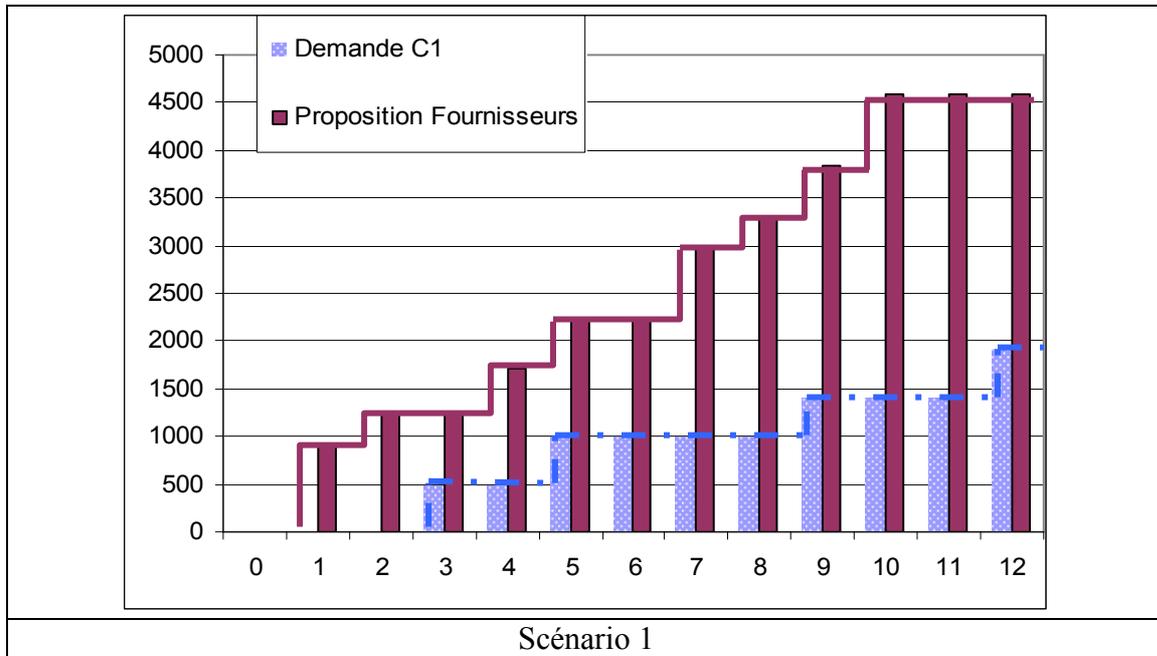
A partir de ces réponses le processus de sélection peut commencer.

4.2.5 Sélection des propositions des fournisseurs

Dans cette partie, nous allons illustrer toute la démarche de résolution pour le composant C1 et nous présentons les résultats de l'application de notre méthode sur le composant C2.

Étape 1 : faisabilité d'un scénario.

Nous appliquons l'équation E1 (section 2) pour vérifier la faisabilité d'un scénario d'approvisionnement pour un composant donné. Les résultats sont illustrés dans la figure 3.13 sous forme de courbes cumulées des demandes d'approvisionnements ainsi que les courbes cumulées des propositions de fournisseurs.



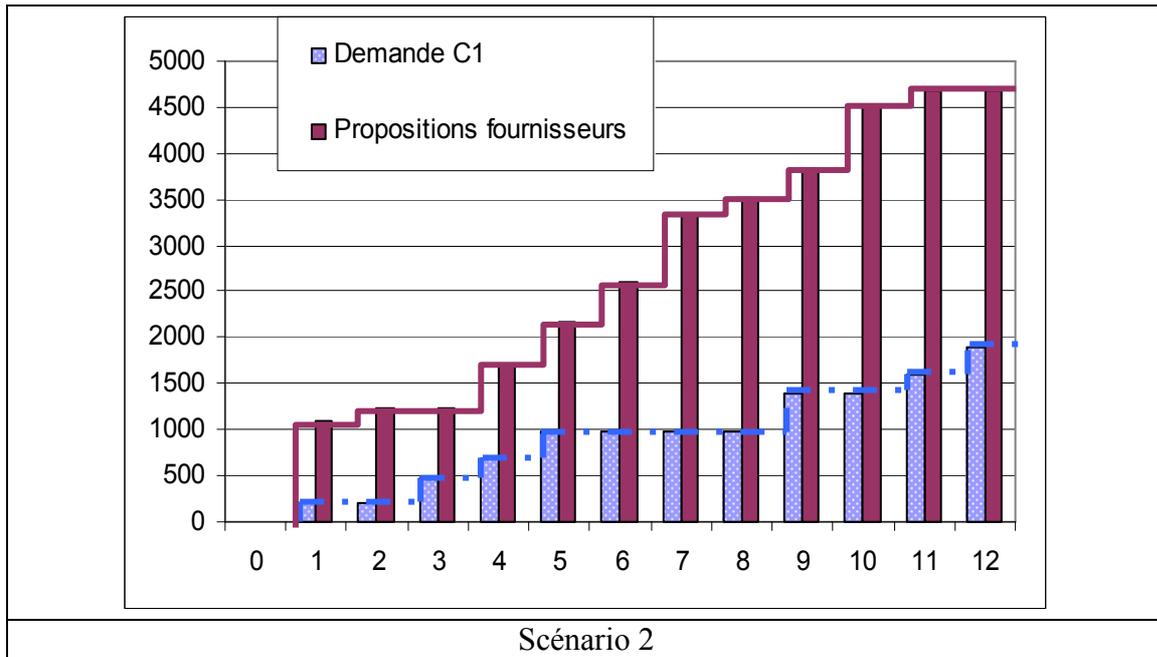


Figure 3.13 : Comparaison entre la courbe cumulée de la demande et la courbe cumulée des propositions des fournisseurs pour chaque scénario.

Les courbes de la figure 3.13 nous permettent de conclure que les scénarios 1 et 2 de demande d’approvisionnement du composant C1 sont réalisables. Pour ce composant, il reste à faire la seconde étape, celle de sélection des propositions des fournisseurs.

Étape 2 : Sélection des propositions de fournisseurs.

Nous appliquons l’algorithme que nous présentons dans ce chapitre (figure 3.3) les résultats sont les suivants :

Pour le scénario 1 :

Nous utilisons un outil de résolution des programmes linéaires (LP solve) pour résoudre le modèle π . Le problème est sans solutions. Certaines contraintes sont saturées. Cela indique, soit un manque de capacités de déchargement, soit à une déficience des capacités de stockage nécessaires pour la prise en charge des propositions des fournisseurs.

Aussi pour trouver une solution au problème, nous appliquons une relaxation de ces deux contraintes (utilisation du modèle π_g). Le logiciel LP solve dans ce cas trouve une solution optimale qui consiste à sélectionner les propositions du fournisseur 1 et 2 uniquement avec l’acquisition de 11 unités de stockage supplémentaire à la charge de l’entreprise cible.

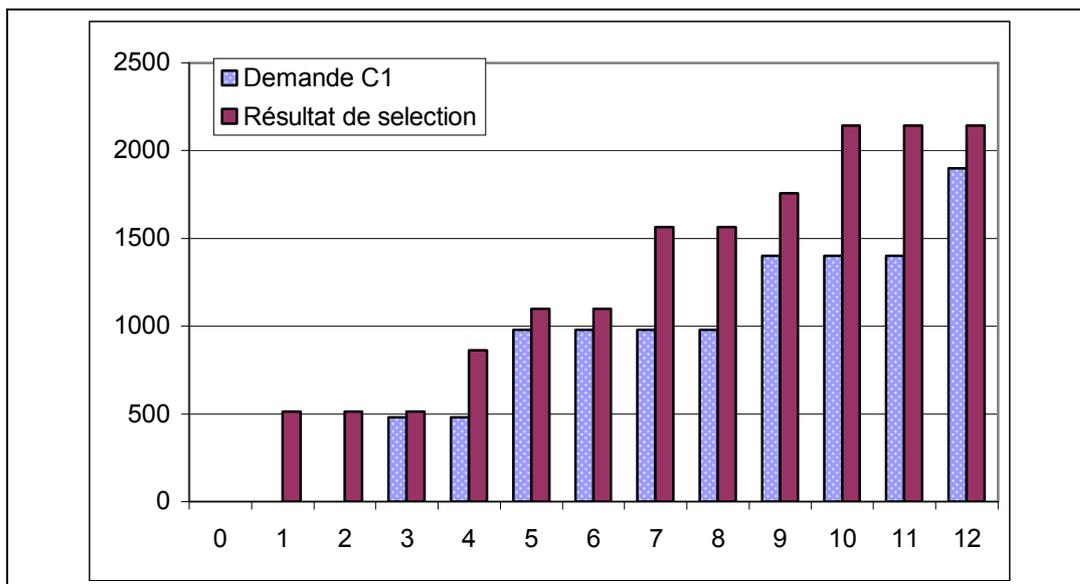


Figure 3.14 : Résultat de la sélection de fournisseurs pour le composant C1 et le scénario 1.

Pour le scénario 2 :

Le modèle π ne donne pas de solution réalisable, nous appliquons alors le modèle relaxé π_g qui nous donne les résultats suivants :

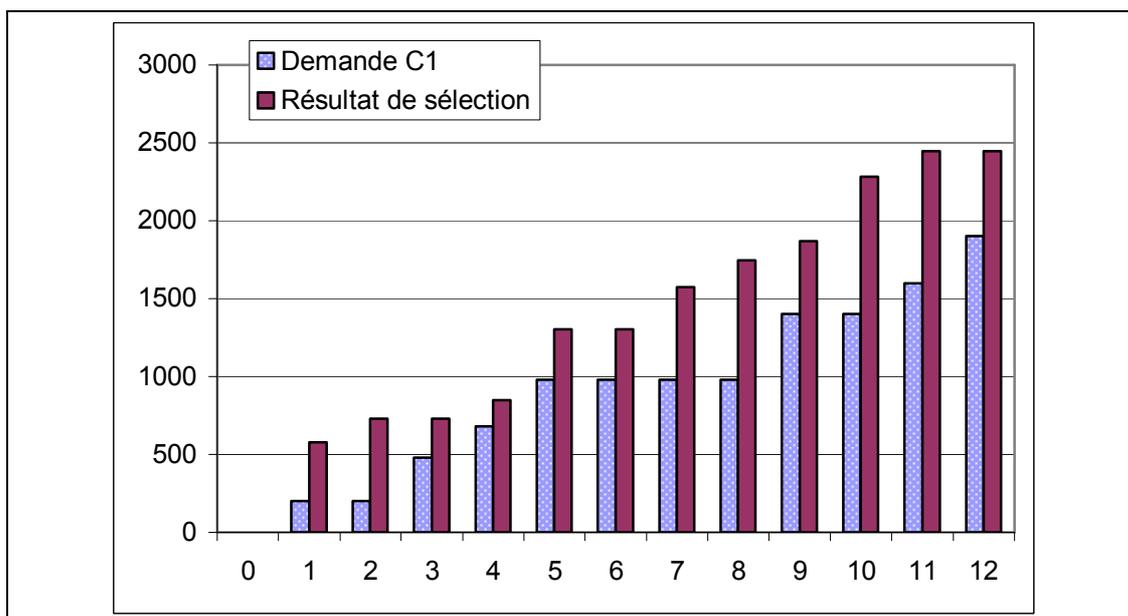


Figure 3.15 : Résultat de la sélection de fournisseurs pour le composant C1 et le scénario 1.

Le logiciel dans ce cas trouve une solution optimale qui consiste à prendre les propositions des fournisseurs 2 et 4 uniquement avec l'acquisition de 40 unités de stockage supplémentaire à la charge de l'entreprise cible.

De manière similaire nous appliquons la méthode pour les deux composants du scénario 2. Nous résumons l'ensemble des résultats dans le tableau 3.11 suivant :

	Scénario 1			Scénario 2		
	Composant 1	Composant 2	Total	Composant 1	Composant 2	Total
Quantité totale demandée	1900	3600	5500	1900	3600	5500
Quantité obtenue par la sélection	2143	4414	6557	2446	6097	8543
Différence	243	814	1057	546	2497	3043
Coût total d'acquisition	7534	4421	11955	7402	7895	15297
Capacité supplémentaire de stockage	11	7	18	64	51	115
Capacité supplémentaire de déchargement	0	0	0	0	64	64

Tableau 3.11 : Résultats de la sélection de fournisseurs pour le scénario 1 et 2.

Nous remarquons que le coût global du scénario 1 est inférieur à celui du scénario 2. Les quantités de composants à stocker après la réalisation de la production pour le scénario 1 sont largement inférieures à celles obtenues par le scénario 2. En définitive, nous conseillons de prendre le scénario 1 comme planning de production réalisable, ainsi que la sélection obtenue comme solution du problème de déficience des matières premières.

Dans cette situation, l'entreprise est en mesure de fabriquer les quantités de produits finis demandés par le client. Reste pour finaliser la procédure d'acceptation de la demande imprévue à organiser les transports pour l'acheminement de la partie imprévue de la demande sachant que la partie planifiée de la demande est déjà organisée.

Dans le contexte de cet exemple, l'entreprise ne dispose pas de moyen de transport pour organiser les livraisons des quantités imprévues de la demande du client. On est alors confronté au problème (le problème τ) de manque de capacités de transport pour satisfaire la demande imprévue.

4.3 Résolution du problème τ

Pour parvenir à résoudre ce problème, nous nous appuyons sur la méthode que nous présentons dans la section 3 de ce chapitre relative au problème τ . Dans un premier temps, nous utilisons le modèle χ pour dimensionner le nombre de transport nécessaire à l'acheminement de la quantité imprévue de la demande du client. Cela constitue la demande de capacités de transport de l'entreprise. Dans un deuxième temps, nous appliquons le modèle δ pour sélectionner, parmi les réponses, les propositions de transport des prestataires de services.

4.3.1 Dimensionnement des capacités de transport.

La demande imprévue du client se compose de deux sections, la première est déjà planifiée (Tableau 3.2), quant à la seconde elle constitue la partie imprévue de la demande du client (Tableau 3.3). Nous allons appliquer le modèle χ pour dimensionner les capacités nécessaires au transport de la partie imprévue de la demande.

Nous supposons, à ce niveau de l'exemple, que la capacité de charge d'un moyen de transport est de 75 unités du produit P. La durée d'acheminement est uniforme entre tous les moyens de transport et correspond à 1 période.

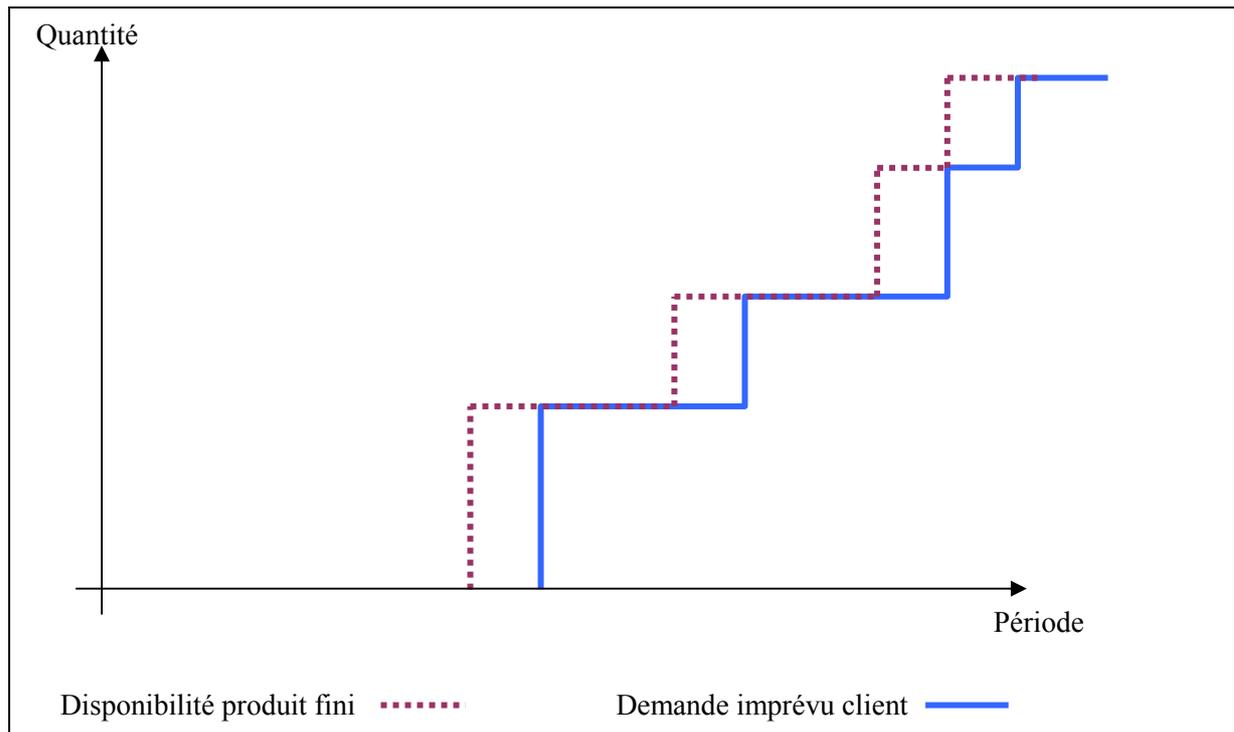


Figure 3.16 : Données du problème de transport.

Dans ce cas, les dates de départ au plus tard des moyens de transport sont égales aux dates de disponibilités du produit P, obtenues par production des quantités imprévues.

En appliquant le modèle χ nous obtenons les résultats suivants :

Période	5	8	11	14
Nombre de moyen transport nécessaire	7	4	5	4
Capacités perdues	25	0	25	50

Tableau 3.12 : Résultat du dimensionnement des moyens de transport.

Ces résultats montrent par exemple qu'à la période 5, l'entreprise aura besoin de 7 moyens de transport avec une capacité perdue de 25, c'est-à-dire, que le dernier camion (par exemple) partira avec 50 produits. Ces résultats constituent la demande de moyen de transport de l'entreprise. Nous appliquons maintenant le processus de sélection.

4.3.2 Recherche et sélection des propositions de transport.

L'entreprise dispose dans son carnet d'adresses de 3 prestataires de services de transport (figure 3.6). Elle leur envoie la demande qui correspond aux résultats obtenus (tableau 3.13).

Les propositions générées aléatoirement de transport sont reportées dans le tableau suivant.

Période	5	8	11	14	Coût unitaire
Transporteur 1	2	3	2	6	30
Transporteur 2	4	5	3	2	35
Transporteur 3	4	0	4	3	32

Tableau 3.13 : Propositions des transporteurs.

La phase de sélection peut débuter, on applique le modèle δ pour réaliser la sélection des propositions de transport.

Les résultats que nous obtenons indiquent que la sélection des transporteurs 2 et 3 donne une solution réalisable pour ce problème. Nous reportons ces résultats sur la figure 3.17.

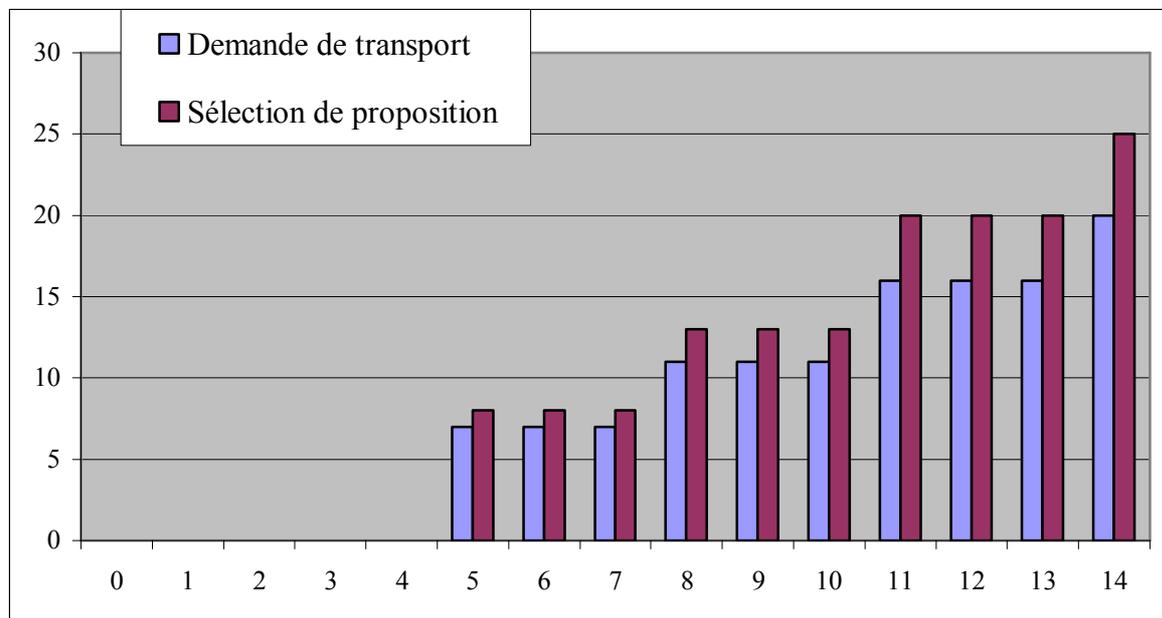


Figure 3.17 : Comparaisons entre la courbe cumulée de la demande de transport et les propositions sélectionnées.

De cette figure 3.17, nous remarquons que pour chaque besoin en transport les propositions sélectionnées la couvrent en totalité. Par contre, les capacités supplémentaires qui ne sont pas utilisées pour cette commande peuvent être soit, utilisées pour d'autres commandes en-cours, soit réduites par négociation avec les transporteurs sélectionnés pour en réduire le coût. Ce phénomène est dû à la composition de la solution, car nous avons pris comme hypothèse que toute proposition sélectionnée l'est intégralement. Donc, le cumul des propositions en terme de capacité de transport peut être supérieur à la quantité nécessaire.

4.4 Synthèse de l'exemple numérique

Nous avons vu au cours de cet exemple que pour satisfaire une demande imprévue de son client l'entreprise est amenée à :

- se fournir en matières premières pour produire une certaine quantité nécessaire de P.

- faire appel à des prestataires de services de transport pour acheminer une partie de la demande du client.

Dans ces deux cas, l'entreprise devra faire des concessions aussi bien sur ces capacités de stockages des composants, mais aussi sur la non-utilisation de capacités de transport (perdre un peu, mais gagner toujours). Ainsi, nous illustrons par cet exemple que toute négociation nécessite de trouver une solution consensuelle dans laquelle chacune des parties a été obligée de relaxer certaines de ses propres contraintes.

En conclusion, cet exemple nous permet d'illustrer la démarche globale (voir le chapitre 2) que nous proposons pour réduire au maximum l'impact dû à la demande imprévue. Le traitement de plusieurs demandes imprévues sur une chaîne logistique complète sera quant à lui traité dans le chapitre 4 où nous utilisons une architecture multi agents pour évaluer par simulation les performances globales des mécanismes de prise de décision que nous venons de présenter dans ce chapitre.

5 Conclusion

Dans ce chapitre nous présentons une démarche de résolution pour le problème de déficience en matière première (problème ρ) ainsi que des capacités de transport (problème τ). Nous voyons à travers ce chapitre leur importance de ces deux paramètres dans la prise de décision pour la satisfaction d'une demande imprévue.

La démarche de résolution du problème ρ s'appuie sur un modèle de choix des fournisseurs. Ce modèle est formalisé par un programme linéaire en variable mixte. L'objectif est d'optimiser, en termes de coûts d'acquisition, la sélection de propositions de fournisseurs afin de permettre à une entreprise de produire dans le but de satisfaire une demande et ainsi de prendre en charge une commande non planifiée. Les critères de réalisation du modèle se basent sur les capacités de stockage et de réception de l'entreprise ainsi que sur la nécessité du recouvrement de la demande d'approvisionnement de l'entreprise. L'algorithme de sélection que nous proposons est l'élément central de notre démarche. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision pour le choix des propositions des fournisseurs qui assure le bon déroulement de la production

Dans ce chapitre, nous présentons aussi un mécanisme collaboratif d'aide à la décision dans le cadre de la conduite d'une chaîne logistique. Un modèle de dimensionnement des moyens de transport est proposé. Celui-ci tient compte à la fois, des contraintes relatives aux quantités et aux délais souhaités par un donneur d'ordres à son fournisseur, et aussi des capacités internes de production et des capacités des fournisseurs. L'intégration de ces contraintes nous permet la prise en compte des spécificités des échanges des flux de matière dans la chaîne logistique.

Afin de résoudre ce type de problème, nous proposons une méthode et un modèle de sélection de transporteurs aptes à prendre en charge les flux de produits. Ce modèle permet non seulement de choisir les transporteurs adéquats en termes de délais et de quantités souhaités, mais aussi d'optimiser le coût d'affrètement global pour toute la séquence de livraison. La solution obtenue par ce modèle constitue un moyen d'aide à la décision. L'entreprise est libre de l'accepter ou de la refuser en vue de la prise de la commande imprévue. La relation étroite est claire à ce niveau entre le problème de déficience de composants (problème ρ) et le problème de transport τ .

Chapitre 4

ARCHITECTURE MULTI AGENTS POUR LA
MODELISATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE

Sommaire Chapitre 4

1	Introduction	89
2	La technologie des multi agents	89
2.1	Typologie des agents	90
2.2	Architectures d'intégration des agents	93
2.3	Applications des systèmes multi agents	95
3	Notre approche multi agents	96
3.1	L'agent de négociation des ventes (ANV)	97
3.2	L'agent de négociation des plannings (ANP)	98
3.3	L'agent de négociation des achats (ANA)	100
3.4	Architecture d'intégration et synthèse de la démarche	102
3.5	Agent de facilitation de négociation.....	103
3.5.1	Le besoin	103
3.5.2	Le rôle	104
3.5.3	La démarche de recherche de nouveaux fournisseurs.....	104
3.6	Exemples d'interaction entre les agents pour la prise de commande ferme	105
3.7	Architecture de la plate-forme.....	108
3.8	Illustration du cas 3	109
4	Evaluation des performances des négociations dans une chaîne logistique distribuée..	112
4.1	Évaluation des performances dans les chaînes logistiques par simulation d'un système multi agent.....	113
4.2	Contexte de l'évaluation des performances d'une co-décision	114
4.2.1	Négociation dans la chaîne logistique.....	115
4.2.2	Données prises en compte dans le modèle.....	115
4.2.3	Architecture multi agents de la simulation.....	115
4.3	Simulation	116
4.3.1	Impact des négociations en parallèle.....	117
4.3.2	Paramètre de la simulation	117
4.3.3	Résultat de la simulation	118
4.3.4	Propagation des flux d'informations.....	119
4.3.5	Résultats des simulations.	120
4.4	Discussions.....	120
4.5	Synthèse de l'évaluation des performances.....	120
5	Conclusions	121

1 Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons exposé une démarche d'aide à la décision pour la prise de commande imprévue dans un contexte de chaîne logistique distribuée. A partir de problèmes liés à cette prise de décision, nous développons des modèles capables de traiter de problèmes de disponibilité des matières premières et des capacités de transports. Il est à noter que dans notre approche, qui se veut générique, ces deux problèmes sont assimilés à une recherche de prestations complémentaires.

Dans un second volet de notre travail, nous nous intéressons à l'architecture de la chaîne logistique distribuée et aux méthodes pour la modéliser. Nous avons introduit, dans le chapitre 1, un modèle de l'entreprise représentée par un Nœud d'Entreprise Virtuelle (NEV), nous utilisons ce modèle afin de décrire l'architecture que nous développons dans ce chapitre.

Dans ce chapitre, nous présentons notre approche de modélisation d'une entreprise partenaire d'une chaîne logistique distribuée. A cette fin, nous utilisons les techniques issues des systèmes multi agents (SMA).

L'architecture multi agents est généralement plus facile à mettre en œuvre pour les infrastructures complexes, comme les architectures distribuées auxquelles nous nous intéressons. En effet, elle garantit une flexibilité du modèle qui prend en compte la modularité du système réel. En outre, ce type d'architecture est efficace lorsqu'une architecture centralisée ne peut être mise en place du fait de l'indépendance des acteurs qui la compose.

Dans notre travail, nous étudions une structure de chaîne logistique distribuée. Chaque entreprise est donc libre dans ses décisions. La première partie de ce chapitre est dédiée à la présentation des technologies multi agents et à leur utilisation dans le domaine des chaînes logistiques. Dans un second volet, nous présentons les motivations de l'utilisation des systèmes multi agents dans notre démarche de prise de commande imprévue ainsi que le modèle d'entreprise. Dans la dernière partie de ce travail, nous proposons un fonctionnement pour ce système ainsi que son utilisation dans le but de l'évaluation des performances de la chaîne logistique par simulation.

2 La technologie des multi agents

La notion d'agent intelligent est un paradigme issu du développement des technologies informatiques ; c'est un outil de modélisation des infrastructures complexes. Son utilité réside dans sa modélisation et dans la possibilité de réalisation d'une simulation de ses infrastructures. Nous pouvons dès lors introduire la définition suivante : un agent est une combinaison d'entités logicielles qui se caractérise par [Moyaux 04] :

- Autonomie : un agent opère sans l'intervention directe d'un opérateur externe qu'il soit humain ou autre, il a un certain contrôle sur ses actions ainsi que sur son état interne.
- Sociabilité : un agent peut être amené à interagir avec d'autres agents grâce à un langage de communication spécifique.
- Réactivité : il peut réagir aux fluctuations de son environnement et prendre des décisions.

- Pro activité : un agent peut de lui-même modifier son environnement par la mise en œuvre d'actions spécifiques.

Une autre définition d'un agent est apportée par [Ferber 95] où un agent est une entité physique ou virtuelle :

- qui est capable d'agir dans un environnement,
- qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
- qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
- qui possède des ressources propres,
- qui est capable de percevoir (mais de façon limitée) son environnement,
- qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement [...],
- qui possède des compétences et qui offre des services,
- qui peut éventuellement se reproduire,
- dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

Comme nous le voyons, un agent peut être utilisé pour modéliser une entreprise ou une partie de celle-ci. En effet, le service d'une entreprise dans une architecture distribuée est caractérisé par son autonomie de décision, sa capacité d'interactions avec les autres services, qu'ils soient internes ou externes, et par sa capacité de réaction face à l'occurrence d'événements dans son environnement.

2.1 Typologie des agents

Il existe plusieurs types d'agents qui caractérisent la complexité de l'infrastructure à modéliser. Une classification détaillée des types d'agents est proposée par [Russell et Norving, 03] :

- Agent à simple réflexe : ce type d'agent se comporte de manière simple. Il réagit de façon prédéterminée à une situation donnée de son environnement sans avoir une vision des actions précédentes. Cela est dû à l'absence de mémoire ou d'historique. Ce type d'agent est considéré comme simple.

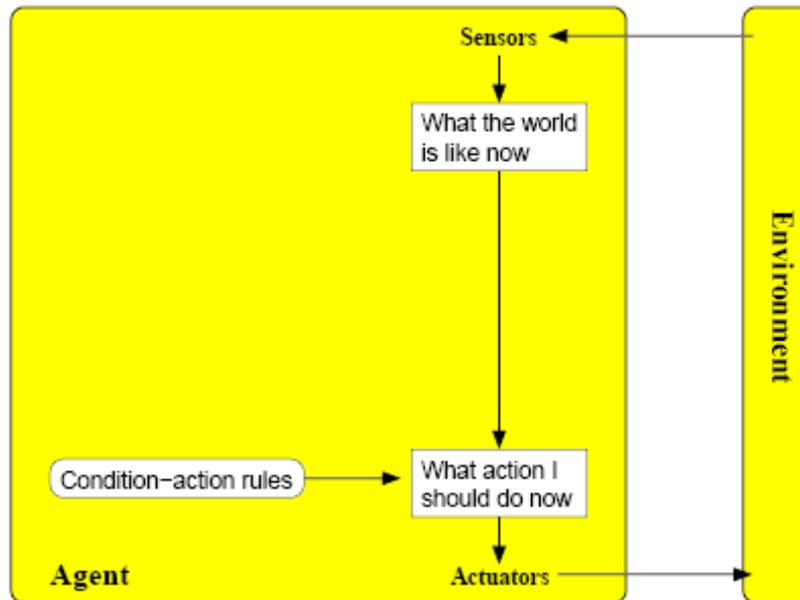


Figure 4.1 : Composition d'un agent simple reflex

- Agent à modèle basé sur le réflexe : il ne perçoit pas l'ensemble de son environnement. Pour pallier cela, l'agent est complété d'un modèle général qui représente l'évolution théorique de son environnement. Il réagit de la même façon que l'agent à simple réflexe. Cependant, pour mettre en œuvre ses actions, il se base sur la vision que lui offre son modèle.

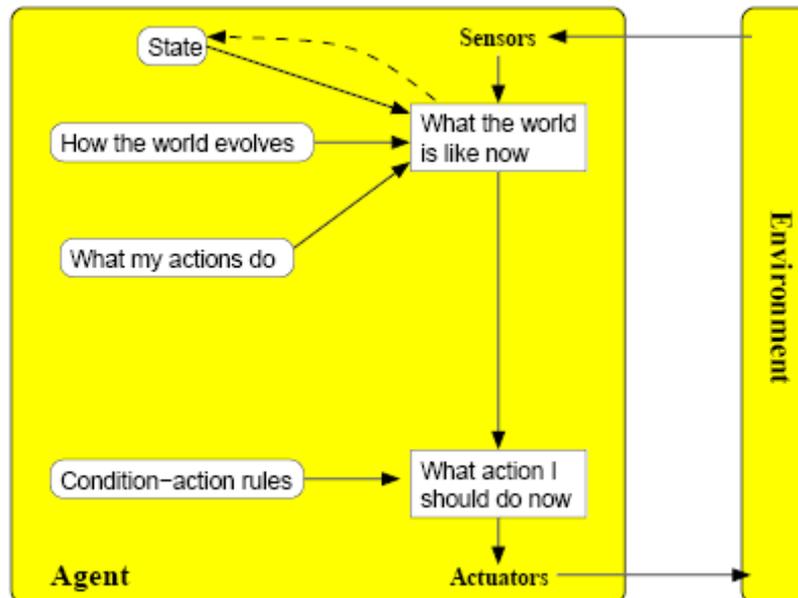


Figure 4.2 : composition d'un Agent à modèle basé sur le réflexe

- Agent basé sur le but : ce type d'agent a pour but la description d'informations décrivant les situations souhaitées, parce que l'état actuel du modèle de l'environnement ne suffit pas toujours à sélectionner une action efficace. Les décisions prises par ce type d'agent sont plus ou moins à longues périodes d'utilisation.

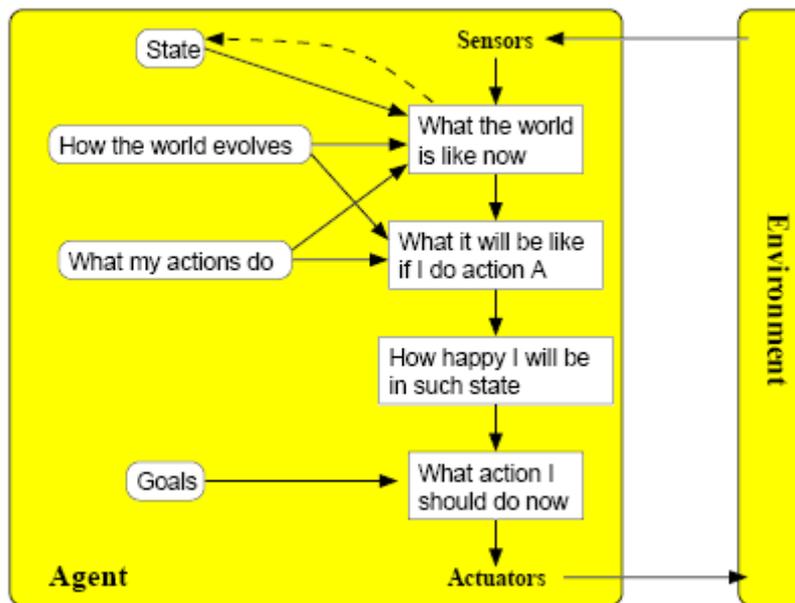


Figure 4.3 : Composition d'un agent basé sur le but

- Agent basé sur le service : ce type d'agent est basé sur une fonction de service qui s'inscrit dans une partie du modèle de l'environnement. Ceci afin d'améliorer le comportement de cet agent.

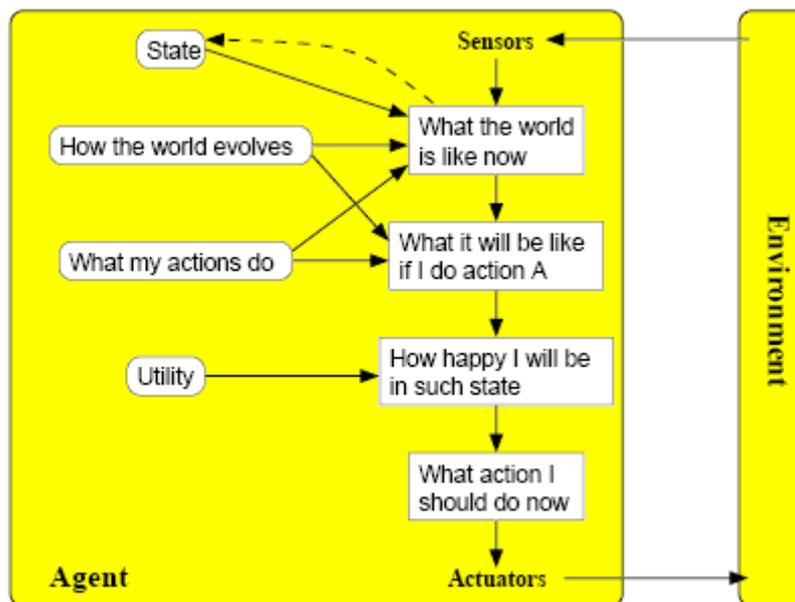


Figure 4.4 : Composition d'un agent basé sur le service.

- Agent basé sur la connaissance (agent cognitif) : ce type d'agent est généralement utilisé pour la collecte des informations liées à l'environnement. C'est un agent de préservation de la connaissance qui sert à son apprentissage, il se base sur cela pour réaliser ses actions. L'avantage de ce type d'agent est l'adaptabilité à n'importe quelle structure.

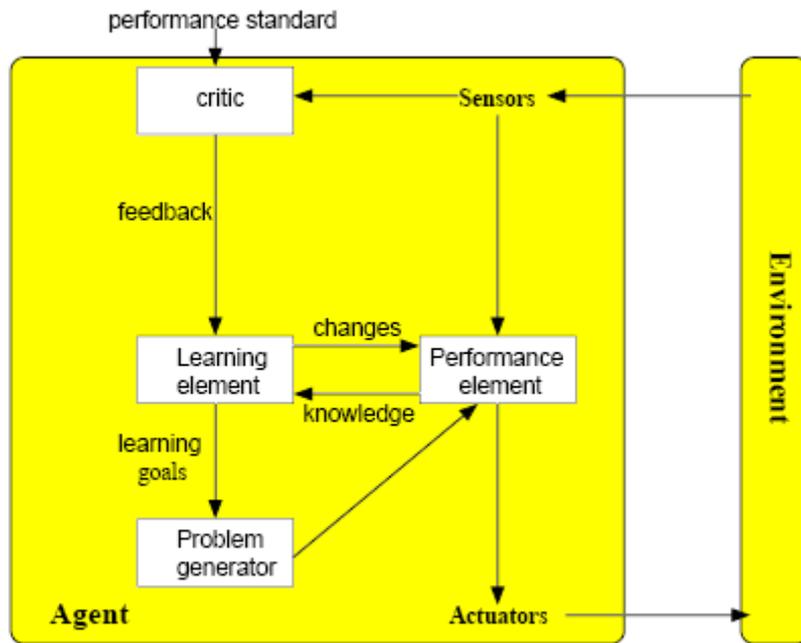


Figure 4.5 : Composition d'un agent basé sur la connaissance.

Notre choix de typologie d'agent pour la modélisation de l'architecture se porte sur les agents à simple réflexe, car comme nous allons le voir tout au long de ce chapitre nous ne disposons pas d'un modèle d'environnement et encore moins d'une base de connaissances. Les agents sont utilisés pour réagir efficacement à une situation imprévue.

2.2 Architectures d'intégration des agents

Nous avons présenté dans le chapitre 1, les différentes architectures des entreprises en réseaux (voir le tableau 1.1). L'intégration des systèmes multi agents utilise aussi ces types d'architectures afin de calquer le comportement de ces entreprises en réseaux.

Nous présentons ici six types d'architectures d'intégration dans le tableau 4.1.

Architecture	Type	Figure
Complète	Tous les agents qui la composent sont connectés par des flux d'informations. Une représentation simple de ce type est un graphe complet. Dans ce type d'architecture, tous les agents travaillent en commun et ont une vision totale de leur environnement.	

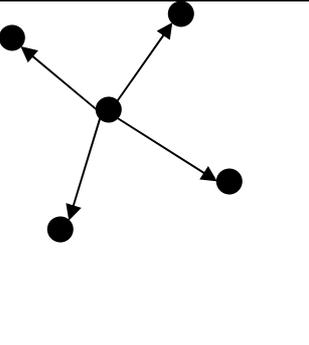
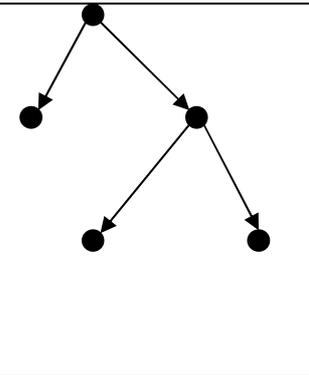
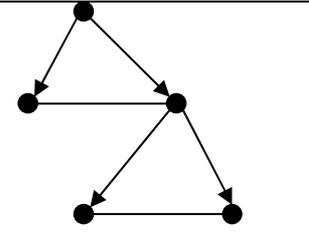
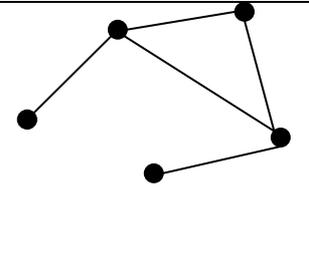
architectures centralisées	La structure est gérée par un agent unique de coordination. Les agents sont connectés dans ce cas par des flux de coordination émanant de l'agent de coordination. Nous pouvons l'illustrer par un arbre orienté qui dispose d'un sommet source	
architectures hiérarchiques	Chaque agent ou une partie d'entre eux est contrôlé par un coordinateur (un agent de coordination) qui supervise la bonne marche du système. On se rapproche d'une structure centralisée. Pour représenter ce genre d'intégration, nous pouvons utiliser un arbre orienté où chaque arc représente un flux de coordination	
l'architecture intégrée	Elle se démarque de l'architecture hiérarchique par l'existence de coordination entre les agents d'un même niveau hiérarchique	
architectures distribuées	Chaque agent est autonome dans ses actions ou dans ses prises de décisions sans qu'il existe un agent de coordination de la structure globale [Verwijmeren 04]. Nous pouvons alors représenter cette structure par un graphe non orienté	

Tableau 4.1 : Architectures d'intégrations des agents

Nous pouvons aussi trouver des architectures hétérarchiques qui est une architecture de pilotage fondée sur une prise de décision isoarchique, c'est-à-dire totalement auto organisée et décentralisée (s'effectuant sans aucune considération d'ordre hiérarchique). Dans ce contexte, il est considéré qu'un système de production est décomposable en entités à piloter. L'absence de centre de décision hiérarchique amène à doter chacune de ces entités d'une capacité propre de prise de décision qui leur permet, au travers d'un système de communication, d'élaborer, par négociation et en temps réel, une solution de pilotage qui soit la plus efficace et la plus efficiente possible [Ounnar et al. 08].

Le type d'agent utilisé dans l'architecture ainsi constituée peut être soit homogène ou bien hétérogène. Elle est homogène lorsque tous les agents utilisés sont de même type à l'exemple de ceux utilisés par [Moyaux 04] pour la modélisation de la chaîne logistique de la filière forestière du Québec.

Mais lorsque la nature même du système n'est pas uniforme, le type d'agent utilisé peut être différent donc la structure est hétérogène.

Pour ce qui nous concerne, la structure d'intégration que nous proposons dans ce chapitre est homogène. Tous les agents sont de même type (à simple réflexe).

2.3 Applications des systèmes multi agents

Les applications des systèmes multi agents sont caractérisées par leurs rôles et par leurs secteurs d'activités dans lesquels elles sont utilisées.

Il existe plusieurs rôles attribués à ces systèmes, ils peuvent être catégorisés en trois familles principales [Luck et al. 04] :

- Agent d'assistances : ce sont des agents qui servent à la collecte d'informations ou à l'exécution d'actions pour le compte d'un intervenant humain sur le *WEB*. Par exemple, le Trading Agent Competition (TAC) [Wellman et al. 02] où les agents cherchent à faire des réservations sur les hôtels ou les voyages à la demande d'un intervenant humain.
- Système multi agents de décision : Où les agents participant dans le système doivent prendre des décisions en commun. Par exemple, un système d'agents représentant les différentes composantes d'un réseau de télécommunications peuvent solliciter conjointement l'allocation des ressources limitées à travers le réseau, comme les connexions, et donc gérer le fonctionnement du réseau. Le mécanisme de décision en commun utilisé par les agents concernés peut être un mécanisme économique, comme une vente aux enchères, ou un autre mécanisme, tel que celui basé sur l'argumentation [Luck et al. 04].
- Système multi agents pour la simulation : le système multi agents est utilisé comme un modèle pour simuler certains domaines du monde réel. Typiquement, ils sont utilisés pour modéliser des systèmes complexes qui sont constitués de plusieurs composants et où le niveau des propriétés du système n'est pas aisément déduit des propriétés des composants [Luck et al. 04].

L'utilisation des architectures multi agents se répand de plus en plus. Le champ d'application de ce type de modélisation ne cesse de s'accroître. [Jennings et al. 98] les classent en quatre secteurs d'activités : les applications industrielles, commerciales, le divertissement et enfin les applications médicales ;

- **Applications industrielles** : l'utilisation des multi agents dans ce domaine ne se limite pas seulement aux chaînes logistiques, nous trouvons des applications en :

-Fabrication : par exemple le projet *Holonc Manufacturing Systems* (HMS) [Gruvers et al. 03] à pour but la standardisation de l'architecture et des technologies pour les systèmes industriels ouverts, distribués, intelligents, autonomes et coopératifs.

-Télécommunications : les réseaux de télécommunications sont géographiquement séparés, et l'utilisation des agents pour les managers est donc naturelle. Pour cela, British télécommunication plc [British Télécom 04] a développé un outil de construction d'agents appelé ZEUS.

-Le contrôle aérien : [Jennings et al. 98], par exemple l'interface OASIS qui est un système de contrôle du trafic aérien de l'aéroport de Sydney. Chaque avion est vu comme un agent. Il se crée lorsque l'appareil entre en approche de l'aéroport.

- **Applications commerciales** : depuis l'explosion de la sphère Internet, le e-commerce prend de plus en plus une part importante dans la vie de tous les jours, les multi agents sont utilisés particulièrement pour leur capacité de diffusion des informations ainsi que dans le domaine du e-commerce [Asselin et Chaib-draa 02].

- **Applications dans le domaine du divertissement** : [Grand et *al* 98] ont utilisé le concept d'agent dans le domaine des jeux vidéo pour réaliser des animaux artificiels qui évoluent dans un univers virtuel.
- **Applications médicales** : on trouve une utilisation dans le suivi des patients, [Hayes-Roth et *al.* 89] proposent le système Guardian qui a une structure hiérarchique à savoir : un agent de *contrôle*, des agents de *perception/action* ainsi que des agents de *réflexions*.

Dans ce qui suit, nous développons la modélisation en multi agents des chaînes logistiques distribuées. Le tableau 4.2 représente notre domaine d'application des systèmes multi agents, à savoir, un système de décision et de simulation dans le domaine industriel (pilotage des chaînes logistiques).

	Assistance	Décision	Simulation
Industrielles		×	×
Commerciales			
Divertissements			
Médicales			

Tableau 4.2 : Application des systèmes multi agents.

3 Notre approche multi agents

Nous présentons, dans cette partie, l'approche multi agents développée pour la conduite d'une chaîne logistique distribuée. Chaque entreprise du réseau est représentée par un Nœud d'Entreprise virtuelle (NEV), voir chapitre 2. Nous décomposons un NEV en trois sous structures de décision, la sous-structure de négociation des ventes, la sous-structure de négociation des plannings de production ainsi que la sous-structure dédiée à la négociation de l'achat/approvisionnement.

Nous modélisons chaque sous-structure par un agent de type simple réflexe, car bien que les agents que nous proposons s'appuient sur des outils d'aide à la décision si cela est nécessaire, les actions entreprises restent prédéfinies. L'ensemble connecté forme notre architecture multi agents, voir figure 4.6.

Chaque agent est muni de capacités de communication avec son environnement. L'ensemble du NEV communique avec une partie du reste de la chaîne logistique à travers une interface de communication. Nous présentons dans ce qui suit les spécificités, les rôles ainsi que le fonctionnement de chaque agent.

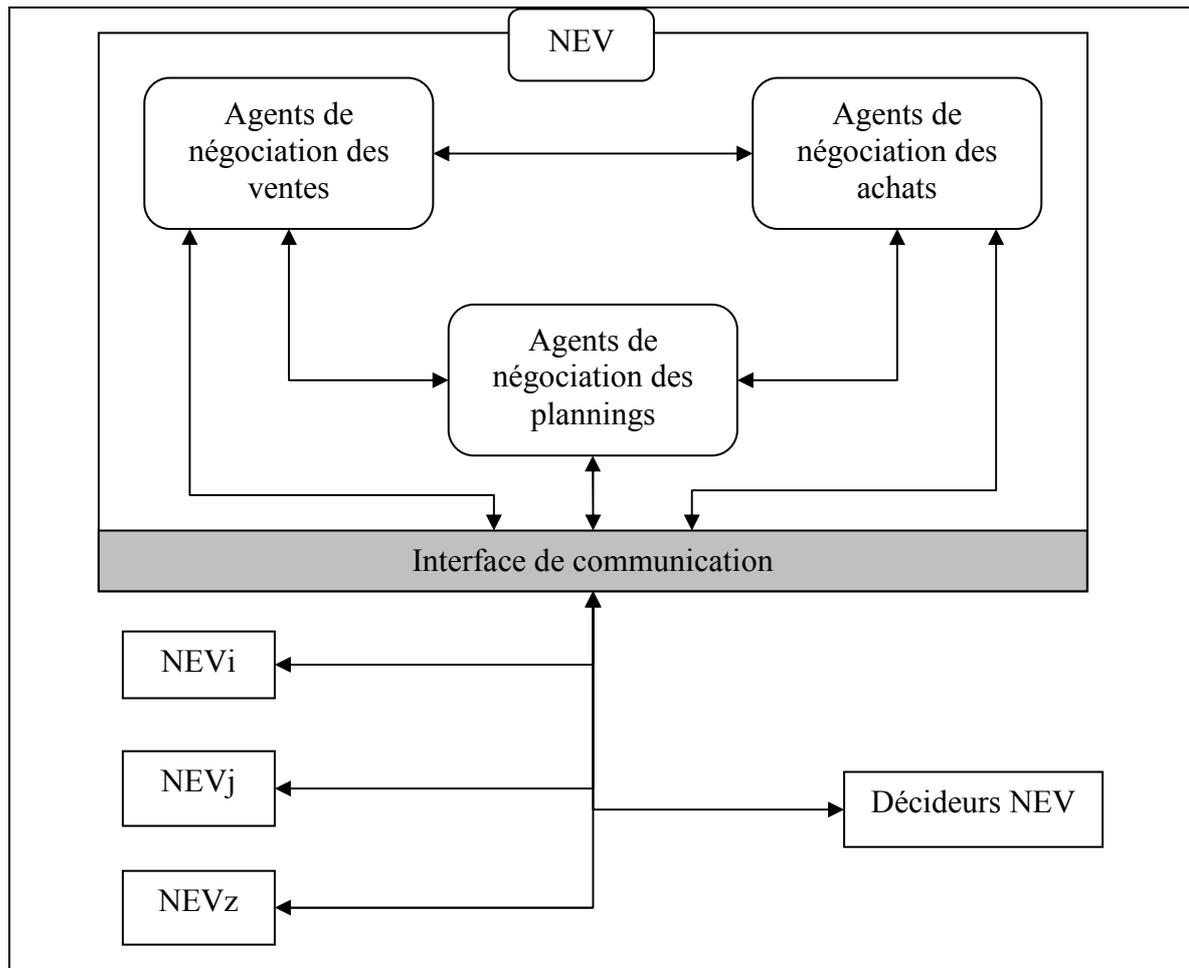


Figure 4.6 : Structure multi agents d'un NEV

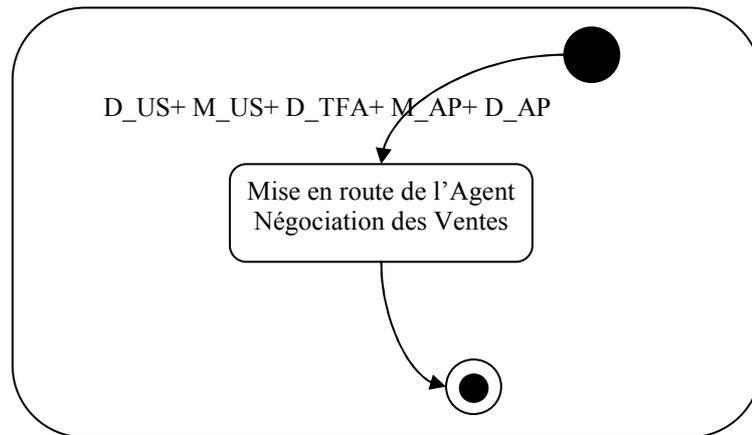
3.1 L'agent de négociation des ventes (ANV)

Le rôle principal de ce type d'agent est la prise en charge des procédures de ventes du NEV. Lorsqu'une demande d'un client arrive, un agent de négociation des ventes est activé. Il peut alors soit répondre par lui-même à cette demande soit s'appuyer sur les deux autres agents de la structure pour lui apporter les éléments nécessaires à la prise de décision.

L'ANV est activé par un flux de données qui provient aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur de la structure NEV. Les flux d'activation sont :

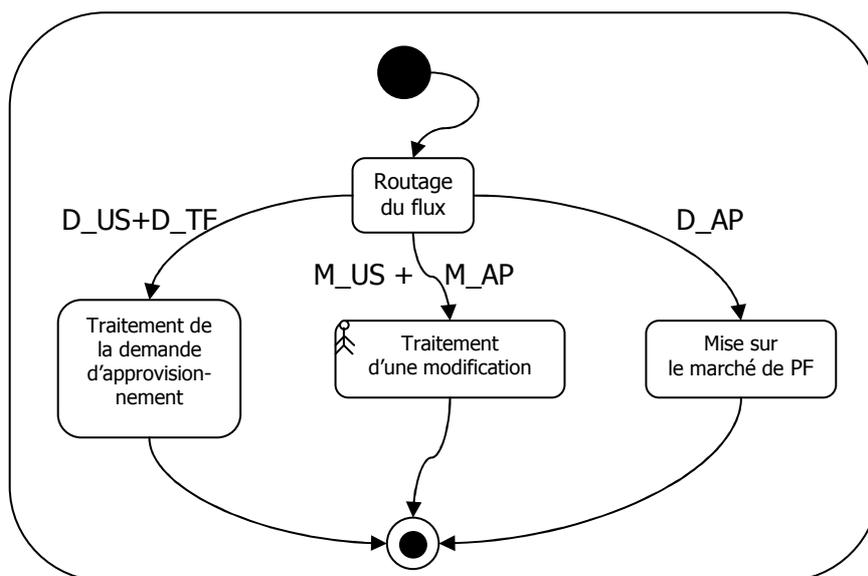
- D_US : une demande d'un client pour un produit.
- M_US : une modification d'une demande préalable d'un client.
- D_AP : une demande de mise sur le marché d'un nouveau produit.
- M_AP : une modification d'une demande préalablement acceptée pour un client.
- D_TFA : une demande d'aide à un agent de facilitation des négociations (nous détaillons cette nouvelle structure dans le point 3.5 de ce chapitre.

Nous utilisons les statecharts pour illustrer le fonctionnement interne des agents.¹



Statechart 4.1 Activation de l'ANV

Une fois l'ANV activé, il prend en charge la mise en œuvre d'actions spécifiques prédéterminées (Statechart 4.2) pour satisfaire les demandes. Il peut aussi utiliser des outils d'aide à la vente disponible préalablement dans l'entreprise.



Statechart 4.2 : Actions spécifiques de l'ANV

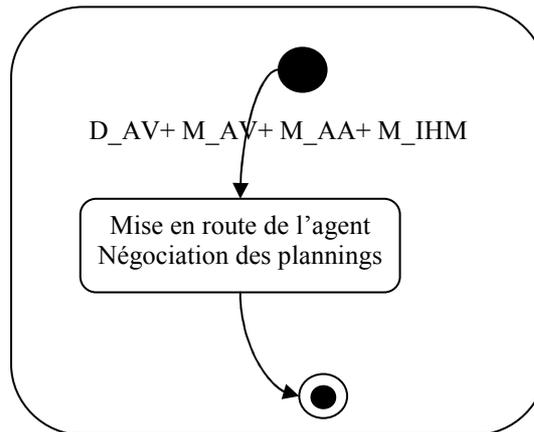
3.2 L'agent de négociation des plannings (ANP)

Le but de ce type d'agent est la gestion et la négociation des plannings de production du NEV. Il est en contact avec les autres agents de la structure (agent de négociation des ventes et des achats). L'activation de cet agent est réalisée par des flux d'informations (Statechart 4.3) des deux autres agents ainsi que par l'intervention d'un décideur humain :

- D_AV : demande de production émise par l'ANV pour satisfaire une demande client.

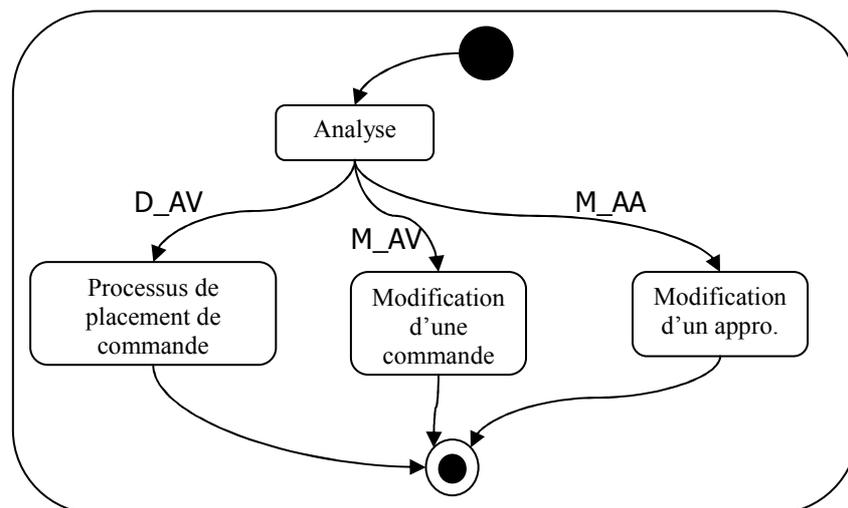
¹ Pour tout agent le fonctionnement est décrit par des statechart. L'annexe n°X propose une brève présentation de cet outil de modélisation.

- M_AV : une demande de modification du planning de production correspondant à une modification d'une demande client préalablement acceptée.
- M_AA : un flux relatif à une modification des approvisionnements qui peut influencer sur la production prévisionnelle.
- M_IHM : une intervention d'un décideur humain pour la modification d'un planning à cause d'aléas survenus dans l'entreprise et pour lesquels les réactions ne sont pas préalablement établies.



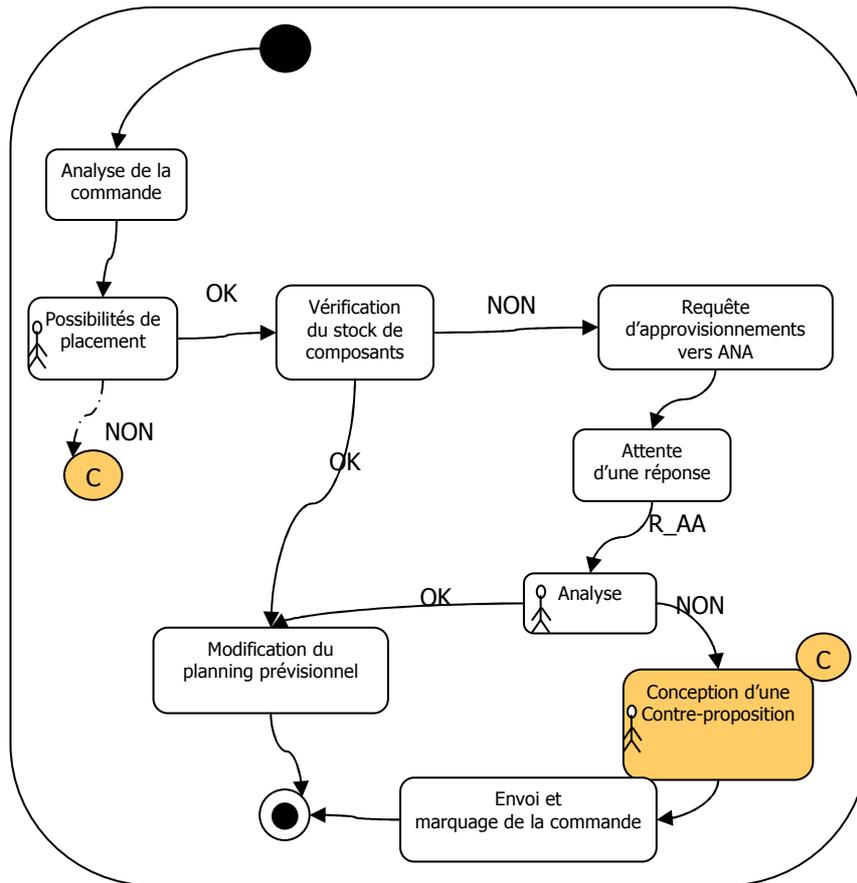
Statechart 4.3 : Activation de l'ANP

Une fois activée, l'ANP peut traiter ces informations et mettre en œuvre des actions spécifiques à chaque type de flux (Statechart 4.4). Ces actions sont prédéterminées et ils sont de nature à modifier les plannings de production afin de répondre au flux qui l'active.



Statechart 4.4 : Actions spécifiques de l'ANP.

Nous détaillons, dans le statechart 4.5, le processus de placement d'une demande de production.

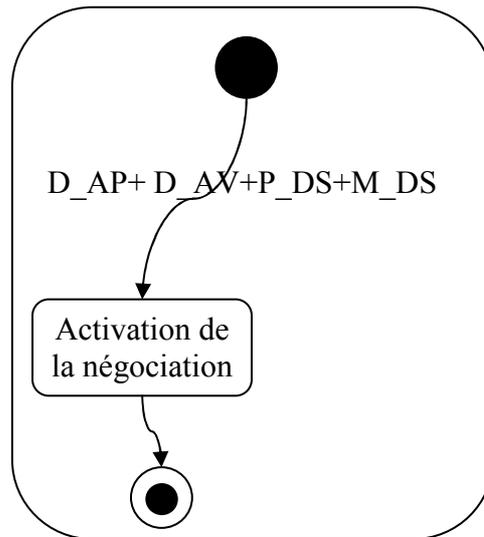


Statechart 4.5 : Processus de placement.

3.3 L'agent de négociation des achats (ANA)

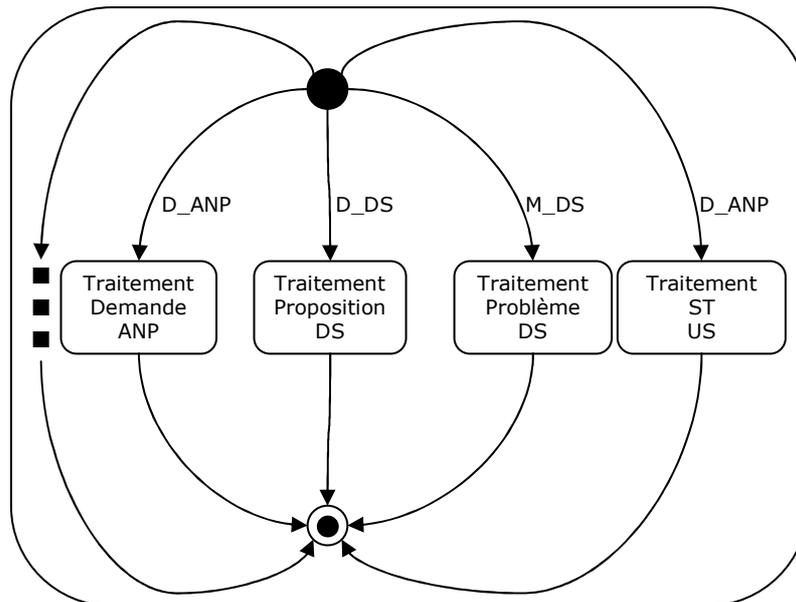
Les ANA prennent en charge, quant à eux, la négociation des achats et des approvisionnements de l'entreprise aussi bien en composants qu'en matière de prestation de services telle que la sous-traitance ou le transport. Ils sont en contact avec l'ANP et l'ANV ainsi qu'avec l'ensemble des fournisseurs de l'entreprise. L'activation de ce type d'agent se produit lorsqu'un flux d'information (Statechart 4.6) lui est adressé. Ces flux sont :

- D_AP : c'est une demande de fourniture de ressources (composants, prestation de service « capacité de production supplémentaire ») par l'ANP.
- D_AV : c'est une demande de prestation de service pour les transports.
- P_DS : une proposition de fourniture d'un nouveau produit par un fournisseur.
- M_DS : une modification d'un approvisionnement.



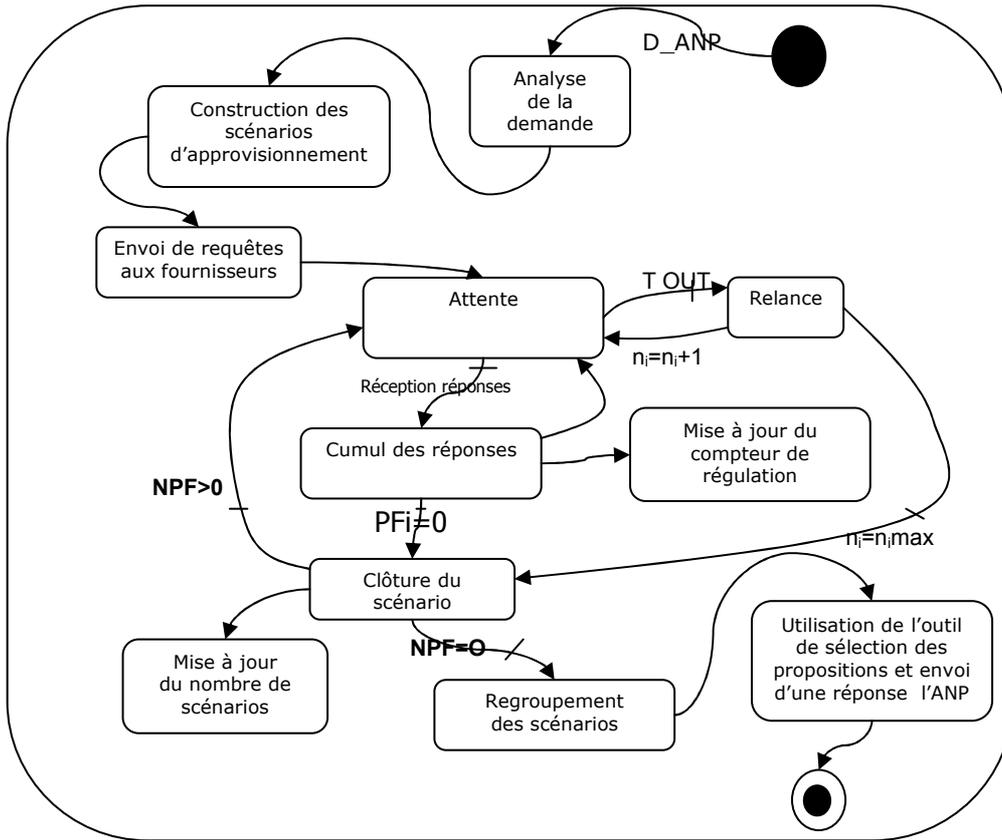
Statechart 4.6 : Activation de l'ANA

Une fois activée, l'ANA prend en charge le flux d'informations pour lequel il entreprend des actions prédéterminées (Statechart 4.7).



Statechart 4.7 : Exemple d'actions de l'ANA.

La mise en œuvre de l'action de traitement d'une demande d'approvisionnement est détaillée dans le statechart 4.8. Cette procédure est conforme à ce que nous présentons dans le chapitre 2 section 4.



Statechart 4.8 : Traitement d'une demande.

3.4 Architecture d'intégration et synthèse de la démarche

Dans notre démarche, chaque entreprise de la chaîne logistique distribuée est représentée par une structure multi agents (Nœud d'Entreprise Virtuelle). Nous nous sommes focalisés sur la description des mécanismes locaux de prise de décisions dans chacun des agents ainsi que les comportements associés. Cette démarche permet de structurer et de faciliter les échanges entre les partenaires de la chaîne logistique (figure 4.7) et d'avoir une vision claire de l'ensemble de la chaîne logistique.

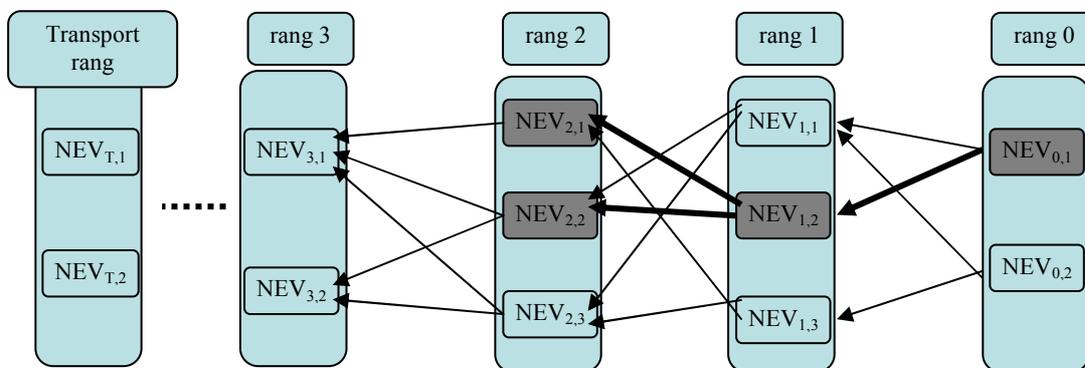


Figure 4.7 : Échange d'informations dans la chaîne logistique

Chaque entreprise n'a qu'une vision partielle de la chaîne logistique. Elle est uniquement en contact avec ses clients et ses fournisseurs directs. Il subsiste donc, dans la chaîne logistique, des clients et fournisseurs potentiels qui ne sont pas connus par l'entreprise. Par exemple dans la figure 4.7 l'entreprise représentée par le $NEV_{1,2}$ ne sait pas que le client ($NEV_{0,2}$) et que le fournisseur ($NEV_{2,3}$) existe. Cela peut induire que l'entreprise pourrait s'approvisionner auprès de l'un d'eux si elle avait une connaissance de leurs existences.

Afin de pallier à cette vision restreinte qu'a l'entreprise sur son environnement, nous présentons une structure complémentaire basée sur un agent à simple réflexe que nous nommons : Agent de Facilitation de négociations (TFA). Il est utilisé comme un intermédiaire entre les différents partenaires de la chaîne logistique distribuée. Cet agent virtuel est présent sur chaque niveau de la chaîne logistique. Nous obtenons donc l'architecture globale représentée dans la figure 4.8.

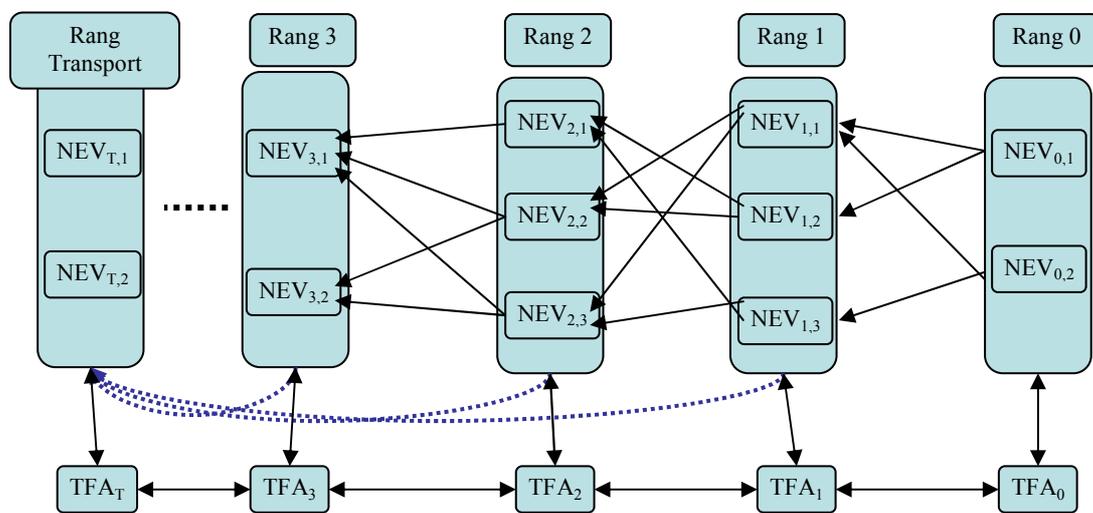


Figure 4.8 : Architecture de la chaîne logistique.

3.5 Agent de facilitation de négociation

3.5.1 Le besoin

Lorsqu'une entreprise veut réapprovisionner son stock de composants par planification ou pour le besoin d'une commande ferme, elle sollicite, généralement, en premier ces fournisseurs habituels et dans un second temps des fournisseurs disponibles dans son carnet d'adresses.

Dans le cas où aucun ne peut y répondre totalement, l'entreprise ne peut pas réaliser sa production du fait du manque de composants. C'est là qu'entre en jeu l'agent de facilitation des négociations (TFA) qui sert d'intermédiaire entre cette entreprise et d'éventuels fournisseurs qui existent dans la chaîne logistique et dont l'entreprise n'a pas connaissance. On s'inscrit donc dans une démarche de recherche de nouveaux fournisseurs ou de clients.

3.5.2 Le rôle

Chaque niveau de la chaîne logistique est muni d'un TFA qui a la connaissance de toutes les entreprises qui composent le niveau auquel il est connecté. Cela lui permet de les contacter quand le besoin se fait sentir. Tous les TFA de la structure sont aussi en contacts. Le rôle essentiel de cet agent est la mise en relation d'entreprises et cela, dans le but d'aider les entreprises à trouver de nouveaux fournisseurs.

3.5.3 La démarche de recherche de nouveaux fournisseurs

Prenons le cas de la figure 4.7 où le $NEV_{1,2}$, qui est en contact avec les $NEV_{2,1}$ et $NEV_{2,2}$, reçoit une demande d'approvisionnement qui ne peut pas être satisfaite par ses fournisseurs habituels ($NEV_{2,1}$ et $NEV_{2,2}$). Dans ce cas, Le $NEV_{1,2}$ ne dispose pas, dans son carnet d'adresses, d'autres partenaires qui peuvent lui venir en aide pour satisfaire sa demande.

Le $NEV_{1,2}$ peut, dans ce cas, entreprendre une démarche de recherche de fournisseurs de substitution en s'appuyant sur l'architecture de la chaîne logistique et plus particulièrement sur le *TFA* de son niveau.

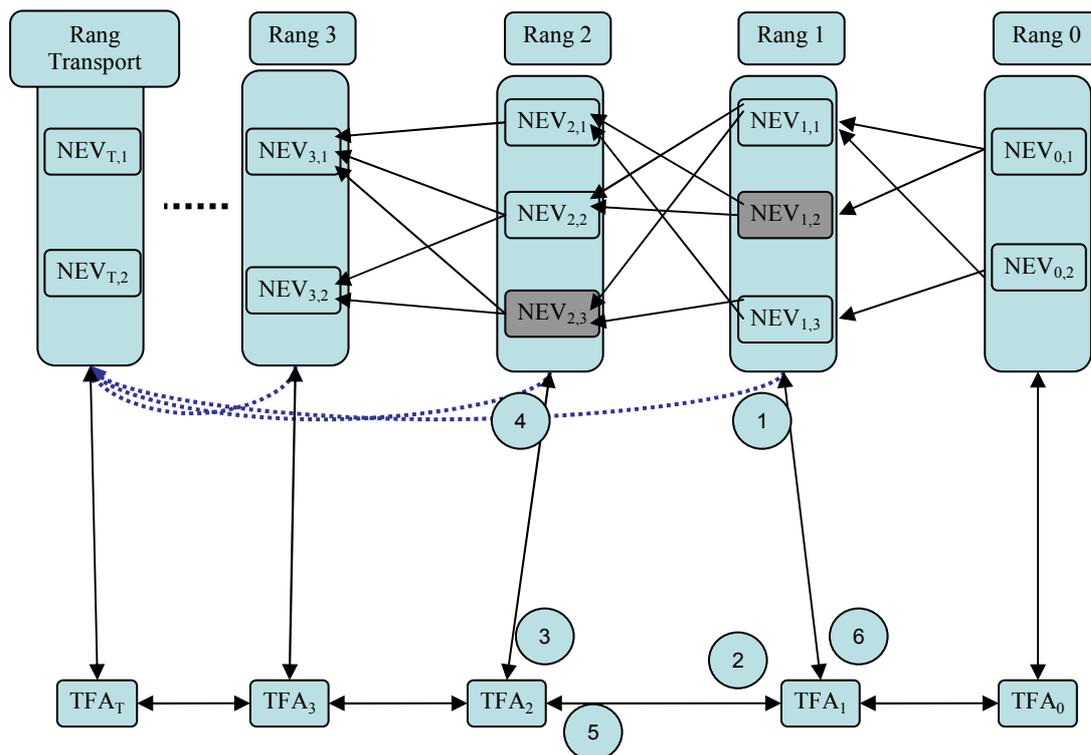


Figure 4.9 : Démarche de recherche de fournisseurs

La démarche (Figure 4.9) de recherche de nouveaux fournisseurs se décrit comme suit :

1. le $NEV_{1,2}$ envoie une requête d'approvisionnement à son TFA_1

2. le TFA_1 transmet la requête d'approvisionnement au TFA adjacent concerné (TFA_2).
3. le TFA_2 propage la demande à tous les NEV existants dans le niveau 2 ($NEV_{2,1}$, $NEV_{2,2}$, $NEV_{2,3}$)
4. le TFA_2 reçoit les propositions éventuelles d'approvisionnements des NEV contactés.
5. le TFA_2 transmet alors ses propositions au TFA_1 .
6. enfin le TFA_1 propage le résultat obtenu à $NEV_{1,2}$.

Le résultat de cette procédure de recherche, pour l'exemple illustré dans la figure 4.12, est que le $NEV_{1,2}$ reçoit une proposition d'un nouveau fournisseur potentiel qui est le $NEV_{2,3}$ avec lequel il n'était pas connecté. Cela permet au $NEV_{1,2}$ d'élargir son champ de recherche en vue de résoudre son problème de fournisseur. Ce NEV peut éventuellement introduire ce nouveau partenaire dans son carnet d'adresses et ainsi maintenir des relations partenariales avec lui.

Le TFA de notre point de vue est un agent qui permet de faciliter les échanges entre partenaires d'une même chaîne logistique. Comme nous le présentons ci-dessus, il peut être aussi utilisé pour la recherche de nouveaux fournisseurs (de biens ou de services) mais aussi pour la recherche de nouveau client pour une entreprise.

3.6 Exemples d'interaction entre les agents pour la prise de commande ferme

Dans le chapitre 2 de ce mémoire, nous présentons le mécanisme de prise de décision pour l'acceptation ou le refus d'une commande ferme, nous présentons aussi différents cas de figure d'occurrences de problèmes liés et qui sont résumées dans le tableau 2.1.

Nous développons dans ce qui suit les mécanismes de propagation des flux d'informations ainsi que les actions prédéterminées entre les agents pour la prise de décision dans le cadre d'une prise de commande ferme.

a) Cas 1 : manque de capacité de transport (Chapitre 2, Tableau 2.1, Cas 2)

Dans le cas 1, les quantités demandées par le client sont ou seront disponibles aux dates prévues, mais l'entreprise ne peut pas les acheminer à cause d'une insuffisance en matière de capacités de transport. Alors, l'entreprise utilise le protocole décrit dans la figure 4.10 afin d'acquérir les capacités complémentaires.

L'ANA d'un client de l'entreprise envoie une demande d'approvisionnement à ANV de l'entreprise (figure 4.10, 1), cette demande a les caractéristiques décrites dans le chapitre 3. L'ANV de l'entreprise transforme alors cette demande sous forme d'une courbe cumulée de la demande. La demande est ensuite analysée (figure 4.10, 2) par l'ANV. L'analyse consiste à vérifier la disponibilité en quantité et en délai du produit à fournir.

Dans le cas qui nous concerne, les quantités souhaitées sont disponibles dans le stock de produits finis. Pour répondre favorablement à cette demande, il reste à l'ANV de vérifier l'existence de capacités de transport suffisantes pour acheminer les quantités souhaitées dans le respect des délais. Dans ce cas, les capacités de transport ne sont pas disponibles, l'ANV

constitue et envoie alors une demande d'acquisition de capacités supplémentaires de transport à l'ANA du NEV (figure 4.10, 3).

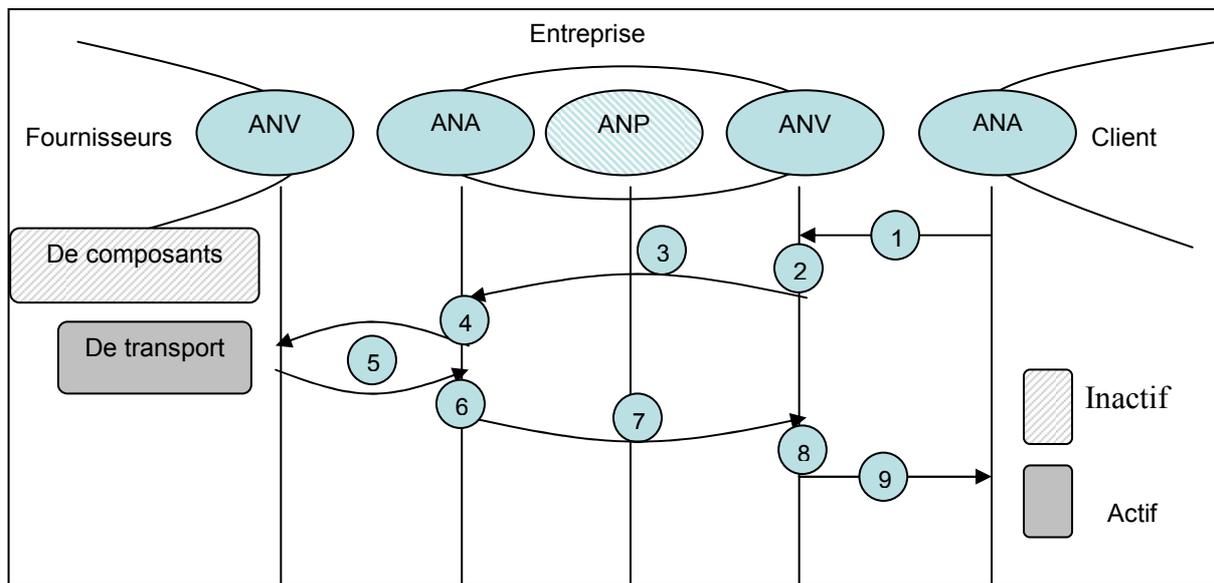


Figure 4.10: Mécanisme de résolution du cas 1

L'ANA s'active et entreprend la recherche de transporteurs (figure 4.10, 4) dans son carnet d'adresses. Une fois les transporteurs trouvés, il leur envoie une demande de prestation de service afin de couvrir ses besoins en capacité de transport. Dès lors, une phase de sélection et de négociation s'instaure entre l'ANA de l'entreprise et l'ANV des partenaires de transport (figure 4.10, 5). Cette négociation consiste en un jeu de propositions et de contre-propositions entre les protagonistes. Elle vise à déboucher sur un compromis qui satisfait les deux parties.

Une fois cette phase terminée, l'ANA transmet, le résultat de sa recherche à l'ANV (figure 4.10, 7), le résultat est analysé (figure 4.10, 8) et constitue un élément crucial pour la prise de décision pour la demande. Dans le cas favorable, l'ANV peut prendre une décision satisfaisant la demande en totalité. Dans le cas contraire, l'entreprise et son client peuvent entrer en négociation pour modifier par exemple les délais de livraison (figure 4.10, 9).

b) **Cas 2** : l'entreprise produit partiellement la quantité demandée.

Dans le cas 2, l'entreprise doit produire une partie de la demande client. Il n'y a pas de problème de composants, mais les capacités de transport sont insuffisantes. La figure 4.11 décrit la propagation de l'information dans la structure multi agent qui correspond à cette prise de décision. On retrouve dans ce protocole l'ensemble des actions décrites auparavant dans le cas 1 pour la résolution du problème de capacités de transport.

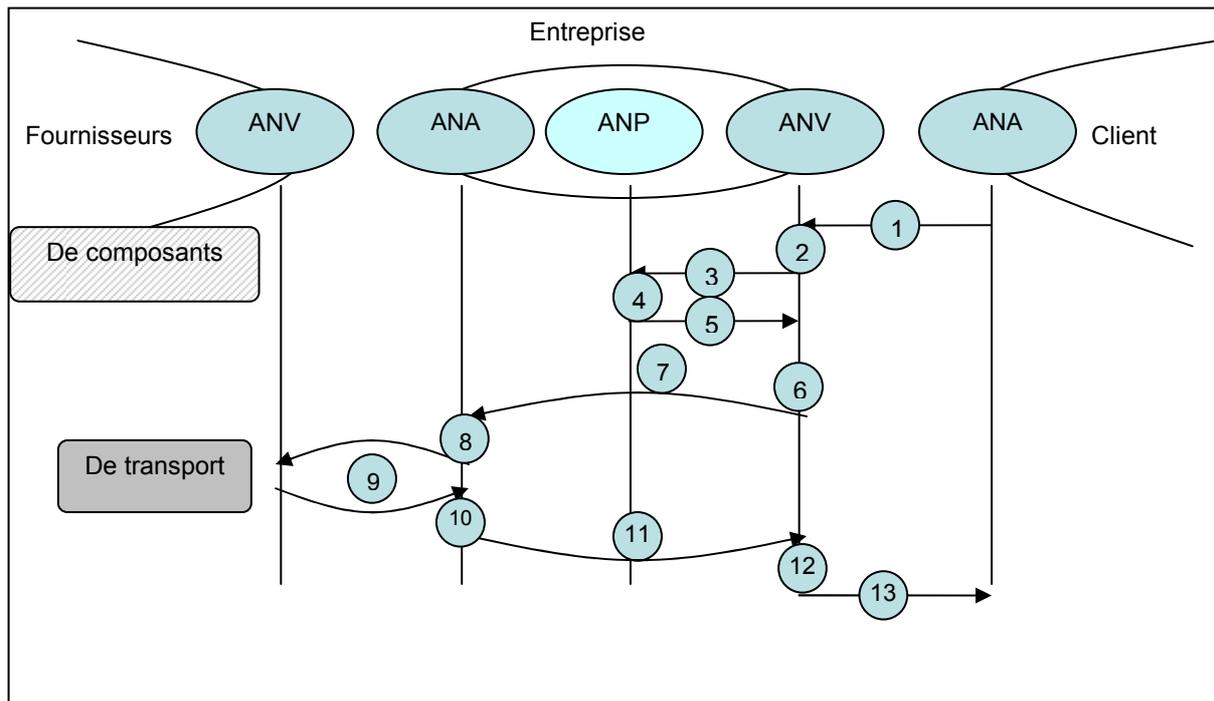


Figure 4.11: Mécanisme de résolution du cas 2

- c) **Cas 3** : l'entreprise a besoin de composants et de capacités de transport pour la prise d'une commande ferme.

L'entreprise reçoit une demande d'approvisionnement de la part d'un client, cette demande est analysée par l'ANV de l'entreprise (figure 4.12, 2). L'analyse débouche sur deux constatations. La première est que les stocks de produits finis ne sont pas suffisants pour satisfaire pleinement la demande. La seconde réside dans le fait que les capacités de transport ne sont pas suffisantes pour mener à terme cette demande. L'ANV envoie alors une requête de mise à disposition d'un complément de produits nécessaires vers l'ANP.

L'ANP vérifie la possibilité de placement de la charge induite par cette demande de produits dans son planning de production. Cette étape peut se réaliser par le biais de la re-planification par exemple. Nous supposons dans ce cas que l'entreprise n'a pas de problèmes de placement, mais ne dispose pas des quantités suffisantes en composants pour la réalisation de la production.

L'ANP envoie alors une demande (figure 4.12, 5) en composants à son ANA qui correspond au moins à la quantité nécessaire pour satisfaire la demande du client. L'ANA prend alors en charge la réalisation de scénarios d'approvisionnement ainsi que le contact et la négociation avec les partenaires de l'entreprise pour satisfaire la demande en composants.

Une fois cette demande satisfaite l'ANA propage le résultat de ses recherches vers l'ANP. Celui-ci, à son tour, envoie une réponse à l'ANV. Dans ce cas, la réponse est favorable, c'est-à-dire que les quantités demandées par le client deviennent disponibles.

Il ne reste plus à l'ANV qu'à trouver les capacités de transport nécessaires pour l'achèvement de l'opération de prise de commande ferme, voir le cas 1.

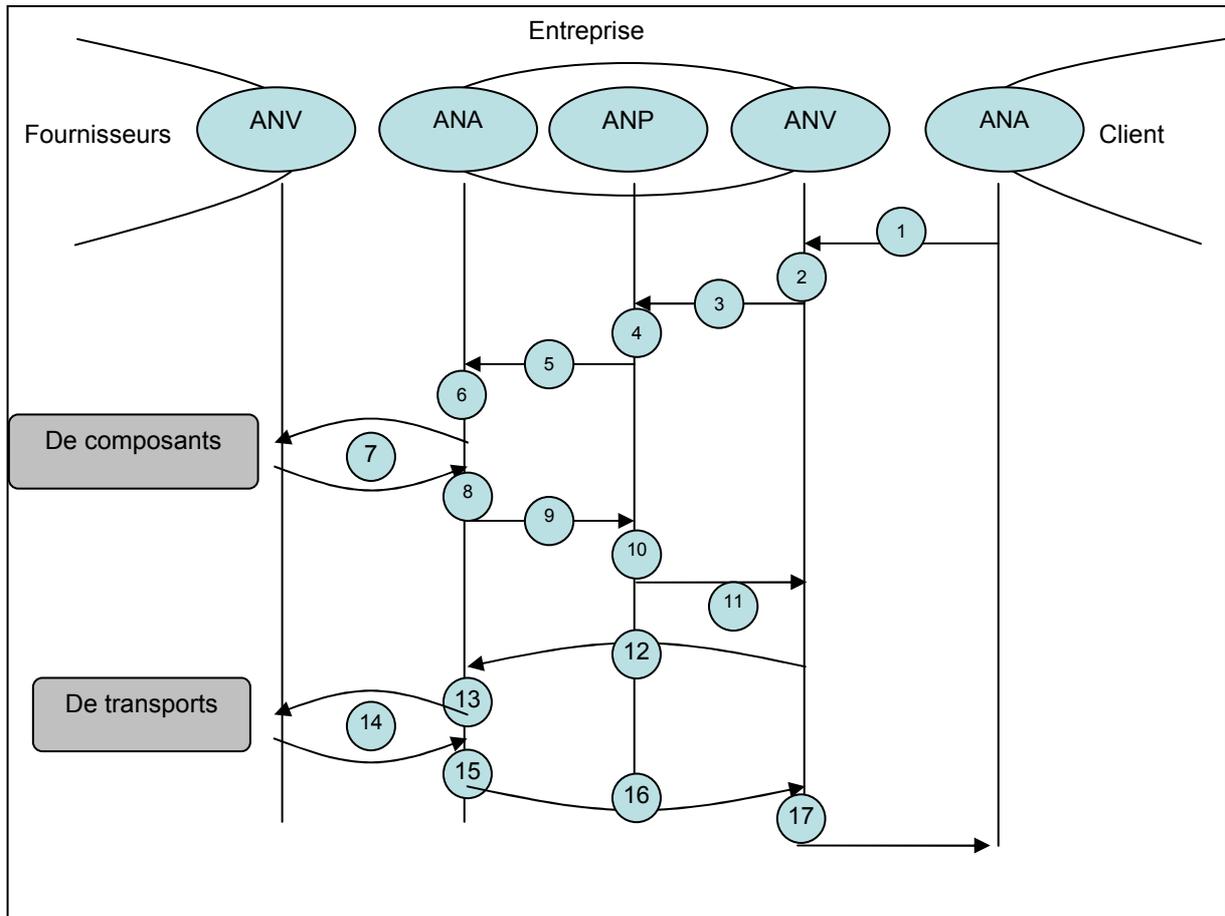


Figure 4.12: Mécanisme de résolution du cas 3

Nous allons de ce qui suit, illustrer ce cas par un exemple numérique qui intègre les outils mathématiques d'aide à la décision que nous avons présentés dans les chapitres 3.

3.7 Architecture de la plate-forme

La plateforme d'intégration de l'architecture multi-agents (figure 4.13) est réalisée à l'aide de l'outil de développement C++ Builder. Chaque agent est caractérisé par son fonctionnement décrit plus haut dans le point 3.

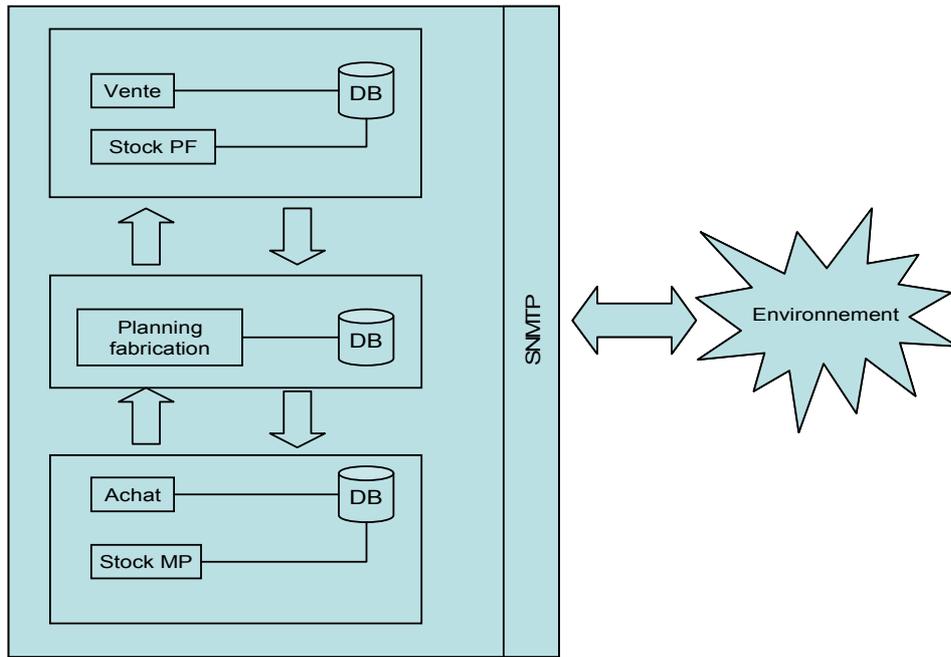


Figure 4.13: architecture d'un NEV

3.8 Illustration du cas 3

Considérons que le $NEV_{0,1}$ (voir la figure 4.7) envoie une demande d'approvisionnement au $NEV_{1,2}$. Nous nous plaçons dans le cas de figure présenté dans le *Cas 3* ci-dessus. Pour répondre à cette demande, l'entreprise doit produire une partie de la demande, mais aussi rechercher des capacités externes de transport afin d'acheminer le produit vers le client. Nous supposons en outre que la nomenclature de fabrication de ce produit indique la nécessité d'avoir deux composants externes (C1 et C2) pour fabriquer un de ces produits. Nous utilisons les étapes décrites dans le cas 3 pour répondre à cette demande. Pour plus de simplicité, nous illustrons les données ainsi que les résultats obtenus par des courbes cumulées.

L'entreprise ne dispose pas de quantités suffisantes en termes de composants pour commencer la production. À l'aide des deux scénarios fournis par l'ANP (figure 4.12, 4), le flux est transmis (figure 4.12, 5) à l'ANA. L'ANA de l'entreprise produit alors deux scénarios d'approvisionnements pour les composants C1 et C2 (Figure 4.14 et 4.15).

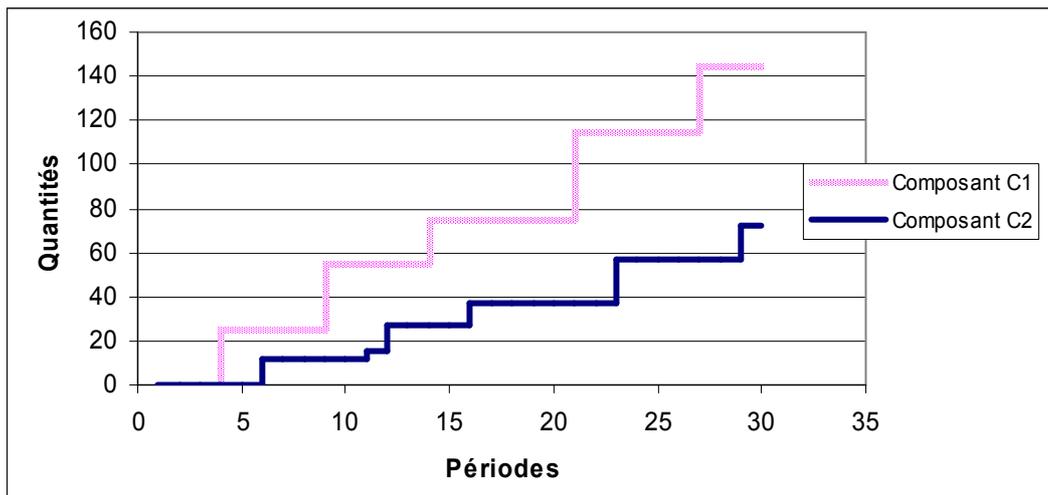


Figure 4.14: Scénario 1

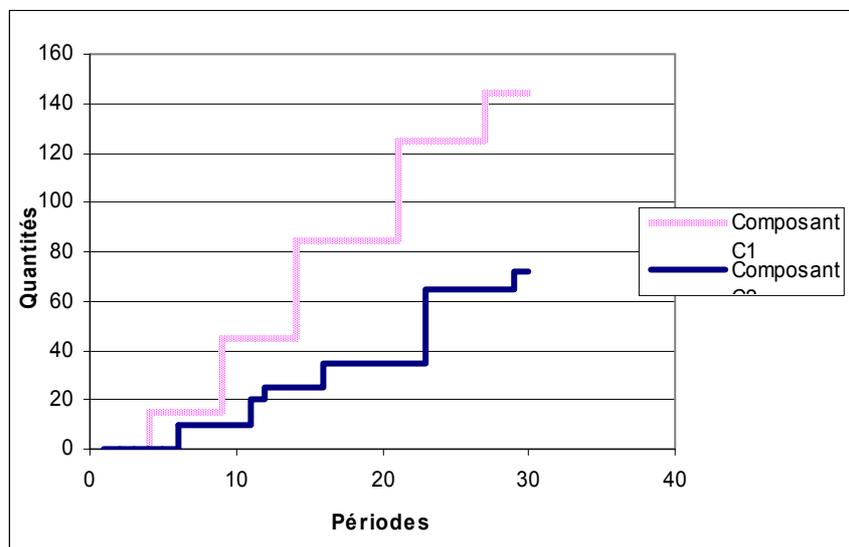


Figure 4.15: Scénario 2

L'ANA envoie alors ces scénarios d'approvisionnement à ses fournisseurs préalablement sélectionnés dans son carnet d'adresses (figure 4.12, 7). Une fois les propositions éventuelles arrivées, l'ANA peut utiliser l'outil de sélection des propositions de fournisseurs, présenté dans le chapitre 3, afin de choisir les (meilleures) propositions.

Les résultats obtenus avec l'utilisation de cet outil indiquent que le scénario 1 donne un meilleur résultat que le scénario 2 en termes de coûts d'acquisition. Par contre, pour la faisabilité du scénario 1, l'entreprise doit acquérir des capacités de stockage et de réception supplémentaires.

Le résultat de la sélection pour le scénario 1 est décrit dans la figure 4.16.

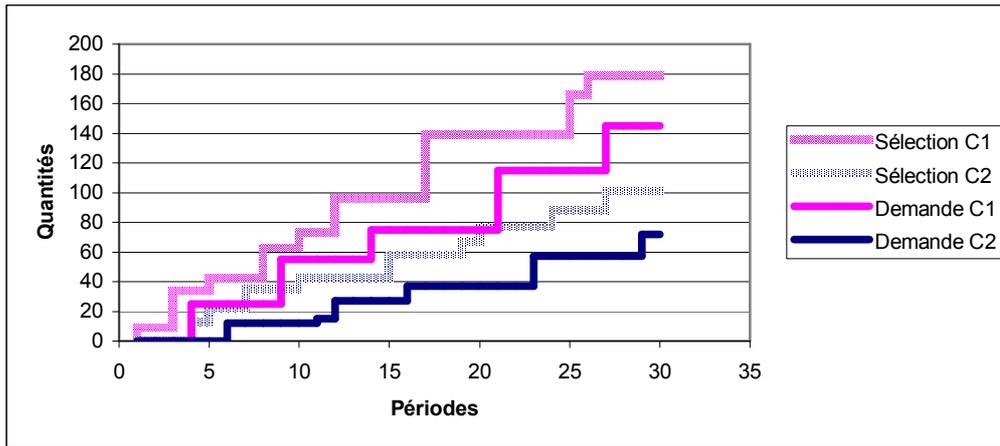


Figure 4.16 : Résultat de la sélection pour le scénario 1.

Dans cet exemple nous supposons que l'entreprise accepte les résultats obtenus.

L'ANA transmet alors la réponse à l'ANP (figure 4.12, 9). Elle correspond aux résultats de sa recherche qui est positive, ce qui signifie que l'ANP peut planifier suivant l'un de ses scénarios la production en vue de satisfaire la demande du client. Ainsi l'ANP peut répondre (figure 4.12, 11) positivement à la demande de production émise par l'ANV.

Il reste alors à satisfaire le problème de capacités de transport insuffisant pour acheminer le produit vers le client. L'ANV transmet alors une demande de prestation de service à l'ANA (figure 4.12, 12).

On suppose, pour simplifier l'exemple, que l'ANA n'élabore qu'un seul scénario (figure 4.17) de transport et l'envoi à ses transporteurs.

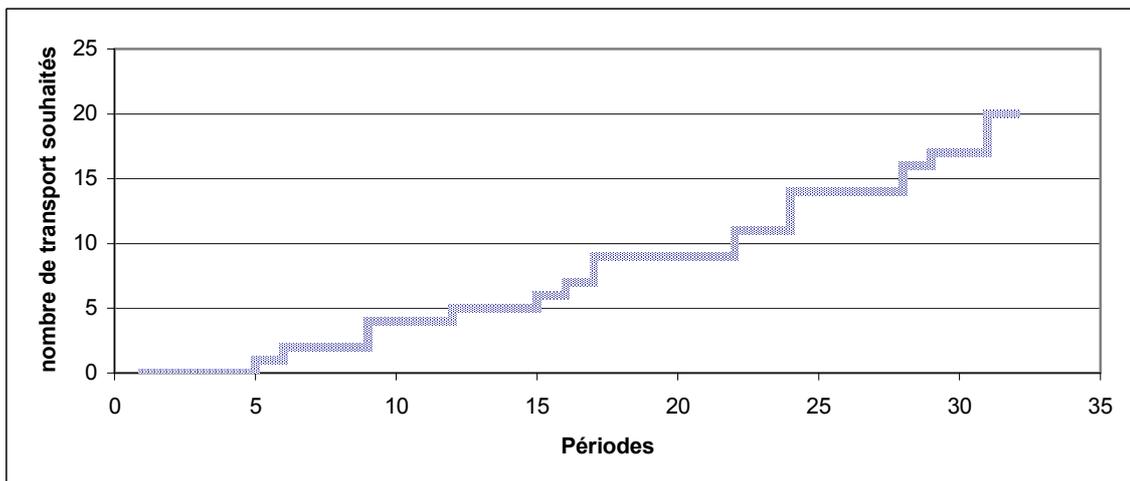


Figure 4.17 : Scénario de transport

Une fois que les propositions éventuelles arrivent à l'ANA, celui-ci utilise l'outil de sélection des propositions détaillées dans le chapitre 3 pour choisir les meilleures propositions en termes de coût. Le résultat de cette sélection est détaillé dans la figure 4.18.

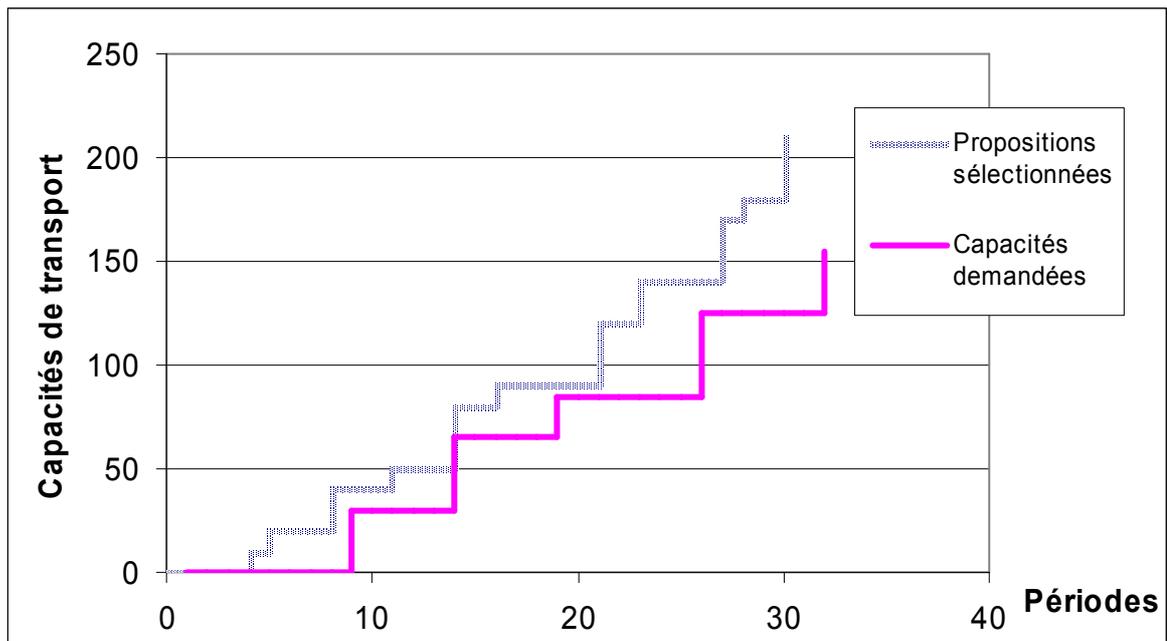


Figure 4.18 : Résultat de la sélection des propositions de transport.

Les résultats montrent que l'on peut satisfaire la demande (la courbe des propositions est en tous points au-dessus de la courbe de la demande) et donc l'entreprise peut disposer de capacités suffisantes pour transporter l'ensemble de la demande au client.

Le résultat final de toute cette démarche est que l'entreprise peut finalement prendre une décision favorable envers la demande du client. Ainsi, le processus de prise de commande ferme pour le cas présenté ici se termine avec un succès.

4 Évaluation des performances des négociations dans une chaîne logistique distribuée

Comme nous voyons tout au long de ce mémoire, dans la problématique du management des chaînes logistiques distribuées plusieurs approches sont développées pour assurer la coordination des décisions qui se produisent à travers la chaîne logistique. Cette coordination doit permettre une collaboration efficace au sens où elle permet d'assurer la bonne marche des activités entre les partenaires de la chaîne logistique.

La mise en place de ce genre de processus de coordination implique la nécessité de connaître leur l'impact, qu'il soit positif ou négatif, sur la performance globale de la chaîne logistique distribuée. On parle alors d'évaluation de ces performances.

L'enjeu de cette évaluation est de tester l'efficacité du processus de prise de décision que nous avons présenté dans le chapitre 2. Pour mesurer la performance de la négociation dans un tel système, nous proposons un outil de simulation de la chaîne logistique. L'évaluation des performances que nous développons utilise des leviers d'action bien spécifiques. Ces leviers d'actions sont relatifs au nombre maximum d'allers-retours possibles dans une négociation ainsi qu'au nombre de propositions et de scénarios traités conjointement. Les mesures attendues sont relatives aux flux d'informations générés et à la réussite de la coordination mise en place.

La première partie de ce point est dédiée à une revue partielle de la littérature des applications de l'évaluation des performances dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques. Nous nous concentrons sur les démarches se fondant sur les systèmes multi agents et la simulation. La deuxième partie décrit le modèle et la démarche proposée. La troisième partie est consacrée à la démarche de simulation. Elle propose plusieurs scénarios montrant l'impact de ceux-ci sur les performances du problème logistique. Enfin, nous terminons par quelques conclusions et perspectives relatives à l'usage de la simulation pour l'évaluation des performances des mécanismes de coordination des chaînes logistiques.

4.1 Évaluation des performances dans les chaînes logistiques par simulation d'un système multi agent

La gestion des chaînes logistiques nécessite d'avoir une vision globale sur les performances du système de gestion mis en œuvre. Donc, l'évaluation des performances est préalable à toute application de tels systèmes. Nous présentons dans ce qui suit quelques travaux sur l'évaluation des performances dans le domaine du management des chaînes logistiques qui se fondent sur une simulation d'un système multi agent.

Dans [Teti *et al.* 06], les auteurs proposent une contribution à la réalisation un outil logiciel (Multi-Agents), MATMS (*Multi-Agent Tool Management System*), qui permet le pilotage d'un réseau d'entreprises. Pour cela, ils proposent un outil de stratégie de management flexible. Les fonctions de cet outil sont fondées sur une méthode de synthèse basée sur un modèle en logique floue. Cet outil permet l'évaluation économique des stratégies de management.

[Ashutosh *et al.* 06], proposent un modèle de sélection de fournisseurs capables d'approvisionner une entreprise de manière à satisfaire les demandes. L'enjeu de ce modèle est la réduction du nombre de fournisseurs tout en gardant le même niveau d'efficacité dans l'approvisionnement. Pour cela, la méthode proposée utilise l'évaluation des performances des fournisseurs afin de réaliser la sélection.

[Schmitz *et al.* 02] présente les leviers d'actions pour l'évaluation des performances d'une chaîne logistique physique, propose une méthode d'identification du cadre conceptuel des leviers d'actions de l'évaluation des performances dans différentes situations de chaînes logistiques.

[Youngui *et al.* 04] présente une approche d'évaluation des performances se concentrant spécifiquement sur la collaboration des décisions d'inventaire entre un fournisseur et un distributeur dans une chaîne logistique à deux niveaux. Une comparaison est faite entre un système qui ne dispose pas de mécanismes collaboratifs et un autre système qui en dispose. Les résultats des simulations montrent que la collaboration accroît de manière significative la performance du distributeur.

Auteurs	Moyens de l'évaluation des performances	Résultats
Teti et al. 2006	Outil de stratégies de management flexible.	Évaluation économique des stratégies de management
Ashutosh et al. 2006	Modèle de sélection de fournisseurs	L'évaluation des performances des fournisseurs afin de réduire le nombre de fournisseurs
Schmitz et al. 2002	Une méthode d'identification du cadre conceptuel des leviers d'actions de l'évaluation des performances d'une chaîne logistique	Les leviers d'actions pour l'évaluation performances
Youngui et al. 2004	Collaboration des décisions d'inventaire entre deux partenaires	La collaboration accroît de manière significative la performance du système

Tableau 4.3 : récapitulatif des travaux réalisés

L'évaluation des performances dans les chaînes logistiques prend de plus en plus d'importance aussi bien dans la conception de la relation interentreprises que pour le dimensionnement des paramètres de pilotage des entreprises.

Comme nous venons de le voir, l'évaluation des performances de la coordination dans une chaîne logistique est peu étudiée. Dans cette partie, nous proposons une démarche par simulation pour l'évaluation d'un système de coordination par négociation d'une chaîne logistique distribuée qui s'appuie sur l'architecture multi agents présentée dans ce chapitre.

4.2 Contexte de l'évaluation des performances d'une codécision

Dans le contexte de notre travail, les demandes étudiées sont relatives à la prise de commande ferme et plus particulièrement à celles qui divergent par rapport au planning préalablement établi par le processus prévisionnel à moyen terme.

Cette divergence est relative soit à une modification de commande prévisionnelle en termes de quantité ou de délai, soit à l'occurrence d'une commande non planifiée et à caractère urgent. Bien que marginaux, ces aléas sont la cause majeure des dégradations des performances de la chaîne logistique, car ce sont eux qui engendrent l'effet *bullwhip* [Moyaux 04].

Pour la demande initiale d'un produit, le flux d'information interentreprises est modélisé sous forme d'une courbe cumulée qui correspond à l'évolution du besoin au cours du temps. Le vecteur agrégat d'une demande produit se présente comme suit : $\langle \langle P, C \rangle, \langle \langle Q_1, D_1 \rangle, \langle Q_2, D_2 \rangle, \dots \rangle, NEV_{1,1}, NEV_{2,2}, dem_ini \rangle$. Il se compose d'un couplet définissant l'identifiant du produit demandé (P) et son coût d'achat unitaire souhaité (C).

La deuxième partie de ce vecteur décrit les quantités Q_i requises pour chaque période de livraison souhaitée D_i . La dernière partie de ce vecteur est utilisée pour l'adressage et le traitement du flux. Le premier champ ($NEV_{1,1}$) correspond à l'émetteur du flux, le deuxième ($NEV_{2,2}$) identifie le destinataire dans le réseau et enfin le dernier (dem_ini) renseigne sur le type de flux.

Les autres types de flux d'information échangés sont de natures similaires. Les demandes qui sont étudiées dans cette communication sont de niveau opérationnel, car elles sont relatives à la prise de commande ferme.

Lorsqu'une demande arrive dans une entreprise de la chaîne logistique, elle est analysée puis traitée. L'analyse consiste à voir si cette demande est conforme à la demande prévisionnelle initiale.

Si cela n'est pas vérifié, l'entreprise doit modifier son planning de production pour revoir à la hausse ou à la baisse la charge de travail induite. Une hausse se traduit éventuellement par l'intégration d'une partie ou de la totalité de la demande dans son planning de production. La question qui se pose alors, est de savoir s'il existe plusieurs manières (scénarios) d'insérer cette demande dans le planning initial. Ces différents scénarios induisent différents scénarios d'approvisionnement possibles en matières premières.

Une des questions que nous cherchons à résoudre à l'aide de la simulation des chaînes logistiques est de déterminer le nombre adéquat de scénarios d'approvisionnement nécessaire à l'aboutissement d'une négociation au regard des performances attendues de la coordination.

4.2.1 Négociation dans la chaîne logistique

Le processus de négociation se déclenche lorsque se produit une divergence entre deux partenaires d'une chaîne logistique. Elle peut être de plusieurs types, mais il est fortement relié aux quantités demandées, aux dates de livraison souhaitées et aussi aux coûts. Une manière d'évaluer la performance d'une négociation réside dans le temps mis en œuvre pour aboutir à un consensus.

Nous considérons que ce temps est corrélé avec le nombre d'aller-retour entre partenaires. À travers ce travail, nous cherchons à optimiser ce nombre pour réduire les temps de réponse et les flux d'informations qui circulent dans la chaîne logistique tout en permettant la convergence des négociations.

4.2.2 Données prises en compte dans le modèle

Pour pouvoir mettre en œuvre une analyse du management de la prise de commande ferme dans la chaîne logistique, la prise en compte de plusieurs paramètres est importante. L'un des plus essentiels est lié à l'architecture industrielle. Elle nécessite de prendre en compte la taille du réseau d'entreprises en profondeur – nombre de rangs composant la chaîne logistique – et en largeur – nombre d'entités dans chaque rang.

Une autre caractéristique doit aussi être prise en compte. Il s'agit du mode de fonctionnement interne des entreprises. Celui-ci peut être de plusieurs types, on différencie les entreprises qui produisent sur stock ou à la commande. La production peut être aussi en mono ou multi produit pour cette chaîne logistique.

Enfin, il faut aussi prendre en considération le type d'approvisionnement et plus particulièrement les stratégies avec un seul ou plusieurs fournisseurs.

4.2.3 Architecture multi agents de la simulation

Comme nous l'avons présenté au début de ce chapitre, l'entreprise est modélisée par une structure multi agents composée de trois agents (l'agent de négociation des ventes, l'agent de négociation des plannings ainsi que l'agent de négociation des achats).

Pour la simulation souhaitée dans cette partie, nous prenons les hypothèses suivantes :

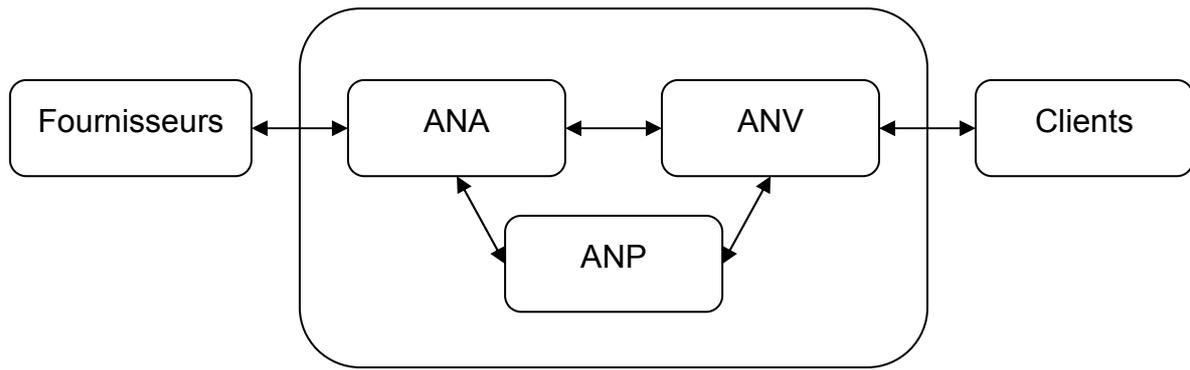


Figure 4.19 : Structure du simulateur

La prise de décision de chaque agent est générée de manière aléatoire, c'est-à-dire que si le NEV avait à choisir entre fabriquer un produit ou non c'est la fonction de génération de nombre aléatoire qui donnera l'orientation de la décision.

Agents	Génération aléatoire
Achats	-La demande de produit sous forme d'une courbe cumulée -La capacité de stock de composants -Décisions d'approvisionnement
Plannings	Décision de produire une quantité de produit finis Capacité de production Saturation des capacités de production Planning de production
Ventes	Quantité en stock de produit fini Capacité de livraison Négociation sur les prix

Tableau 4.4 : Paramètres des agents.

Dans chaque agent, nous utilisons la fonction *Random* afin de prendre des décisions aléatoires.

4.3 Simulation

Le but de ce simulateur de coordination dans la chaîne logistique est de fournir des indicateurs de performances des échanges d'informations en vue de répondre à des commandes fermes. Les résultats attendus sont liés au nombre de flux d'information nécessaire afin de répondre à une demande émise, au temps nécessaire pour aboutir à une solution et à la qualité du résultat des négociations.

Il est à noter qu'une solution d'une négociation n'est pas nécessairement un succès et que la qualité du résultat réside dans le fait de ne pas refuser une commande qui était en réalité acceptable.

Cette étude de la qualité passe par l'identification éventuelle des cas de blocage. Ces cas illustrent des situations pour lesquelles les négociations échouent à cause d'une mauvaise

coordination entre entités du réseau. Cette situation est notamment symptomatique de la parallélisations des négociations que nous allons illustrer ci-dessous.

4.3.1 Impact des négociations en parallèle

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser à l'impact en termes de temps de réponse dans le cas où plusieurs demandes sont traitées en parallèle par les entreprises qui composent la chaîne logistique.

Prenons le cas d'une entreprise qui reçoit plusieurs demandes en même temps. La première stratégie qui s'offre à elle réside dans le fait de traiter chaque demande de manière séquentielle et disjointe. Ce séquençement permet d'éviter les conflits de réservation des ressources.

Ainsi cette stratégie de traitement des demandes garantit la validité de l'analyse effectuée. En effet, en cas de refus dû à une impossibilité de placement dans le planning de production, de commande des matières premières ou de composants, on est certain du bien-fondé de cette analyse. Mais, du fait que la prise en charge de ces demandes est séquentielle, il se peut que certaines d'entre elles soient perdues pour cause de dépassement de délais des réponses.

La seconde stratégie réside dans le fait de traiter un ensemble de demandes de manière parallèle. Cela permet de prendre en charge un nombre N de demandes. Dès qu'une demande est traitée, c'est-à-dire lorsque la négociation s'est terminée par l'envoi d'une acceptation ou d'un refus, une autre demande non traitée est intégrée.

Cette stratégie permet de traiter un plus grand nombre de demandes en même temps et de réduire les plus grands retards de traitement. Ici se pose la question de la relation existant entre le nombre N de demandes traitées en même temps, les durées de réponse à ces demandes et leurs qualités. En effet, le risque dans ce cas réside dans le fait de refuser une demande alors qu'elle aurait pu être intégrée aux différents plannings et ainsi acceptée. Cependant, cette stratégie peut engendrer une explosion du nombre de requêtes qui cohabitent dans le réseau. Cette explosion est aussi un frein à la parallélisations des analyses.

4.3.2 Paramètre de la simulation

Soit l'entreprise (F1.2) qui est dans une chaîne logistique composée de plusieurs clients et fournisseurs.

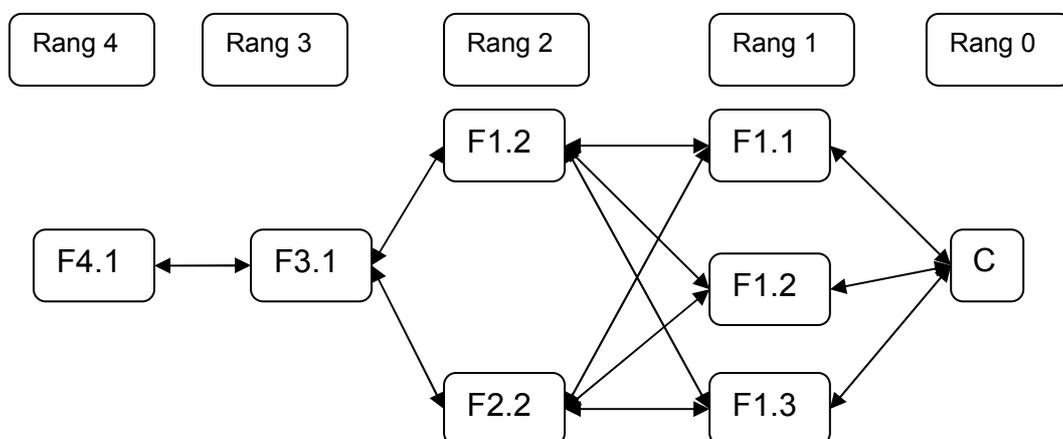


Figure 4.20 : Composition de la chaîne logistique (C-1/F-3/F2-2/F3-1/F4-1)

La représentation de la chaîne logistique (C-1/F-3/F2-2/F3-1/F4-1) signifie que la chaîne se compose de :

- C-1 : un seul client final ;
- F-3 : trois fournisseurs de rang 1 ;
- F2-2 : deux fournisseurs de rang 2 ;
- F3-1 : un fournisseur de rang 3 ;
- F4-1 : un fournisseur de rang 4.

Nous utilisons cette représentation pour toutes les chaînes logistiques que nous étudions dans ce chapitre.

Dans cet exemple, chaque entité de la chaîne logistique fabrique pour celle-ci qu'un seul produit (mono produit), les capacités de production sont limitées, chaque entreprise est autonome dans ses prises de décision.

L'horizon de la simulation est d'un mois. Les 1000 demandes à analyser sont les mêmes dans chaque simulation. Seul le paramètre N correspondant au nombre de demandes traitées en même temps est variable.

4.3.3 Résultat de la simulation

La première courbe (figure 4.21) montre l'évolution du temps moyen des réponses par rapport au nombre de demandes traitées en parallèle. Comme nous pouvons le constater, le temps moyen de traitement augmente avec le nombre de négociations en parallèle. Compte tenu de la limitation du temps pour fournir une réponse à une demande client, il y a une limite à la parallélisation des négociations.

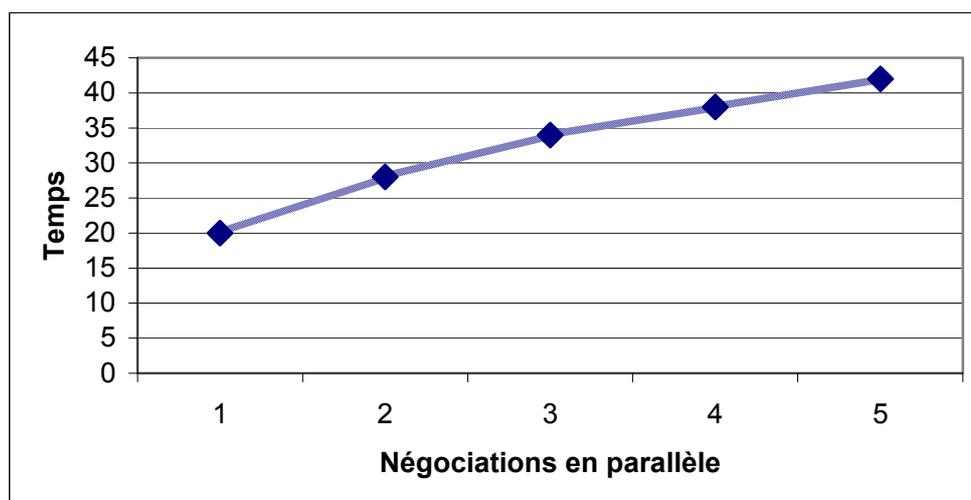


Figure 4.21 : Evolution du délai de réponse

La seconde courbe (figure 4.22) illustre les commandes perdues en raison du parallélisme des négociations. Il y a 26% de commandes refusées lorsque N est égal à 1. Comme nous pouvons le constater, la courbe montre que des commandes refusées à cause d'une fausse analyse existent et qu'elles augmentent avec le nombre de négociations en parallèle.

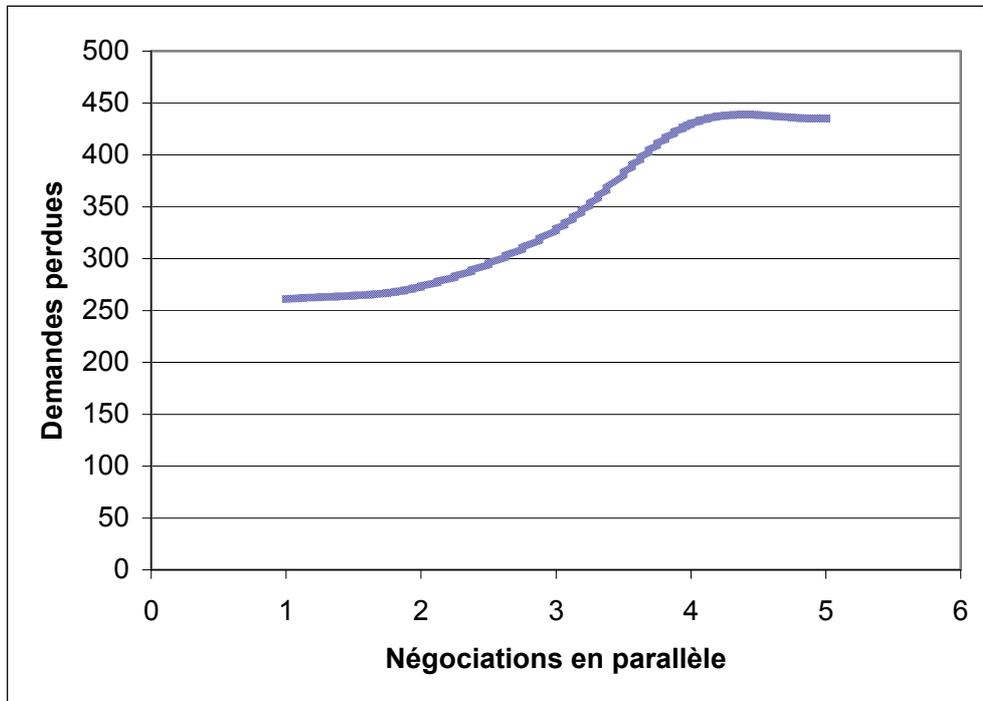


Figure 4.22 : Commandes refusées sur analyse erronée

4.3.4 Propagation des flux d'informations.

Comme nous l'avons dit, il existe plusieurs manières d'insérer une demande dans le planning initial. À l'aide de la simulation, nous cherchons à déterminer le nombre adéquat de scénarios d'approvisionnement nécessaire à l'aboutissement d'une négociation au regard des performances attendues de la coordination.

Dans cette partie, la simulation consiste à évaluer l'impact du nombre de scénarios sur les performances des prises de décision. Pour cela, une série de tests est réalisée. Ils illustrent différentes configurations de chaînes logistiques.

Les spécifications, prises en compte, des entités qui composent les chaînes logistiques étudiées sont relatives à une fabrication mono ou multi produits et à une stratégie d'approvisionnement mono ou multi fournisseurs.

A terme, l'objectif de ces simulations est de définir le nombre de scénarios adéquats à utiliser lors des négociations pour chacune des configurations identifiées.

4.3.5 Résultats des simulations.

Les résultats sont présentés dans le Tableau suivant :

Production	Nombre de niveaux	Stratégie d'approvisionnement	Nombre de scénarios	Temps de réponses moyen
Mono produit	2	C-1/F-1/F2-1	1	3.66
	3	C-1/F-1/F2-1	2	3.33
	4	C-1/F-1/F2-1/F3-1	3	2
	4	C-1/F-1/F2-1/F3-1/F4-1	4	1.33
Multi produit	2	C-1/F-2/F2-1	2	2.83
	3	C-1/F-3/F2-1/F3-1	3	2.66
	4	C-1/F-3/F2-2/F3-1/F4-1	4	1.5

Tableau 4.5 : Résultats des simulations

Où par exemple C-1/F-1/F2-1/F3-1/F4-1 correspond à la figure 6.5 ci-dessous.

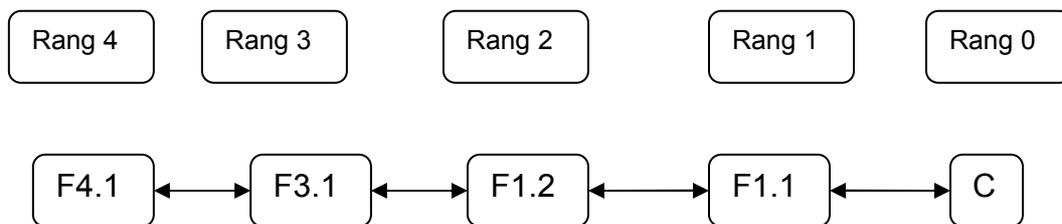


Figure 4.23 : Composition de la chaîne logistique (C-1/F-1/F2-1/F3-1/F4-1)

4.4 Discussions

Les résultats obtenus par ces simulations démontrent l'impact du nombre de scénarios sur les temps moyens des réponses à une demande. Ce temps est calculé à partir du volume des négociations engendré dans une entreprise cible par cette demande. On voit dans le tableau 4.2 que le temps moyen décroît lorsque le nombre des scénarios augmente. Cela peut s'expliquer par le fait qu'une entreprise qui reçoit plusieurs scénarios a une plus grande marge de manœuvre pour y répondre favorablement quelque soit la configuration de la chaîne logistique ainsi que le type de fabrication (mono ou multi produit) d'une entreprise.

4.5 Synthèse de l'évaluation des performances

L'évaluation des performances des négociations dans une chaîne logistique prend une importance de plus en plus croissante. Les leviers d'action pour réaliser l'évaluation des performances résident, d'une part, dans les temps de réalisation des négociations et, d'autre part, dans le nombre de scénarios adéquats pour assurer la convergence des négociations. Le

but de cette évaluation des performances est d'assurer un diagnostic, d'analyser et d'aider les entreprises à mieux collaborer en fournissant un canevas des négociations interentreprises.

Les résultats obtenus démontrent clairement l'impact de l'utilisation des scénarios dans la convergence et les temps des négociations. Plus le nombre de scénarios est élevé plus le temps ou le nombre de négociations nécessaire à l'obtention d'un résultat est minimal. Cela permet de dimensionner le volume des négociations dans une configuration de chaîne logistique distribuée donnée.

5 Conclusions

Nous abordons, dans ce chapitre, l'usage des systèmes multi agents dans la modélisation des chaînes logistiques distribuées. Notre approche consiste en la décomposition d'une entreprise en trois types de sous structure de décision. Chaque sous structure est formalisé par un agent (ANV, ANP et le ANA) à simple réflexe qui reprend les rôles et les spécificités de chaque sous structure. Cette démarche est motivée par la nature même de la chaîne logistique étudiée qui est distribuée. L'ensemble connecté des agents d'un NEV forme l'architecture de l'entreprise modélisée. L'ensemble des entreprises modélisées et connectées forme l'architecture globale de la chaîne logistique. Nous présentons aussi un agent de facilitation de négociation qui permet la mise en relation des partenaires non connectés dans une même chaîne logistique.

L'approche multi agent apporte une structure d'échange d'information, mais aussi une plate-forme qui permet l'implantation d'outils qui n'existent pas dans l'entreprise tels que l'outil de sélection de fournisseurs que nous présentons dans ce chapitre. Cette plate-forme peut être aussi utilisée pour l'évaluation des performances des mécanismes de décision par simulation. C'est ce qui est présenté dans le chapitre suivant.

Nous utilisons dans ce chapitre l'architecture multi agents élaborée préalablement afin de réaliser un simulateur de chaîne logistique distribuée. Le but de ce simulateur est de permettre une évaluation des performances de la négociation induite par l'arrivée d'une nouvelle demande dans la chaîne logistique.

Le simulateur nous permet la réalisation de deux séries de tests, le premier concerne les modes de traitement des demandes, ils sont soit séquentiels, c'est-à-dire qu'une entreprise traite qu'une seule demande à la fois ou parallèle, c'est-à-dire qu'une entreprise a la capacité de traiter plusieurs demandes à la fois. Les résultats de ce premier test montrent que lorsque le nombre de demandes traitées en parallèle augmente, le nombre de demandes perdues augmente de manière considérable.

La seconde série de tests concerne le dimensionnement du nombre de scénarios nécessaires pour répondre favorablement à un maximum de demandes. Dans cette partie, nous avons conclu que plus le nombre de scénarios est grand plus le nombre de négociations moyen pour répondre à une demande est petit, cela peut s'expliquer par le fait qu'un nombre conséquent de scénarios offre des possibilités plus grandes aux entreprises pour y répondre favorablement sans nécessairement passer par des négociations.

Conclusions générales et Perspectives

Le travail abordé dans ce mémoire de thèse est relatif à la prise de commande imprévue dans une chaîne logistique distribuée. Les enjeux principaux de ces travaux sont d'une part la description de mécanismes de prises de codécisions coopératifs en vue de la confirmation ou non de la prise d'une commande imprévue. Le second objectif de ce mémoire est de classer et de mettre en lumière les différents problèmes liés à ce genre de décision. Du point de vue d'un acteur de décision, ces problèmes sont considérés soit comme internes, soit comme externes.

La chaîne logistique considérée dans ce travail est dite distribuée. Cela signifie que chaque entreprise qui la compose est libre de prendre ses propres décisions. Nous avons pris l'hypothèse que chaque partenaire de la chaîne logistique joue le jeu gagnant-gagnant. C'est-à-dire que lorsqu'une entreprise est sollicitée par un partenaire de la chaîne logistique elle fait de son mieux pour y répondre. Cette philosophie demeure la plus bénéfique sur un horizon à long terme.

Nous structurons la chaîne logistique en rangs qui correspondent à la propagation des flux de demandes circulant dans le réseau. Ainsi, une entreprise se trouve dans un rang inférieur à celui de son client. Nous faisons l'hypothèse qu'il n'existe pas de cycle dans ce flux de demande.

Le contexte de la prise de décision pour la prise de commande imprévue est opérationnel. Nous sommes au niveau opérationnel au sens où nous réservons des ressources pour assurer la prise des commandes imprévues que nous souhaitons accepter.

La problématique que nous abordons dans ce mémoire réside dans la satisfaction des demandes des clients par une entreprise. Ces demandes sont particulièrement celles qui divergent fortement des prévisions préalablement établies. Dans cette situation, le processus décisionnel peut être complexe. Il est étroitement lié aux flexibilités dont disposent l'entreprise et ses partenaires pour faire face à ces variations importantes non prévues. Ces flexibilités sont relatives aux disponibilités des ressources nécessaires à l'acceptation des demandes. Elles sont de nature à influencer directement la bonne marche de la prise de décision. Ces ressources sont liées aux quantités de stock des produits finis, aux capacités de production, aux quantités de stock de composants nécessaire à l'achèvement d'une production ainsi qu'aux capacités de transport dont dispose l'entreprise pour acheminer les quantités demandées.

Si une ou plusieurs de ces flexibilités sont insuffisantes pour répondre à une demande considérée, l'achèvement de celle-ci est compromis.

Les conséquences d'un tel cas peuvent n'être que locales. C'est le cas par exemple pour une perte d'une commande de l'entreprise pour laquelle la non-satisfaction du client correspondant n'influe pas sur le fonctionnement interne de ce dernier. Dans ce cas précis, les effets sont limités. Dans le cas où l'effet sur le client se propage vers ses propres clients, l'effet est par conséquent aggravé et ces propagations peuvent contribuer à l'émergence d'instabilités dans toute la chaîne logistique (l'effet *bullwhip*).

La prise de décision dans le contexte opérationnel se complique lorsque les délais pour répondre à une commande imprévue sont réduits. Cela est essentiellement dû au manque de temps dont dispose l'entreprise pour acquérir les flexibilités manquantes pour satisfaire la commande imprévue.

La question qui se pose alors réside dans le fait de proposer un processus apte à satisfaire une commande imprévue dans une structure de décision distribuée et pour lequel le temps alloué pour le choix est restreint.

Pour répondre à cette question, nous avons entrepris, tout d'abord, une analyse approfondie des mécanismes mis en œuvre pour la prise en charge de telles commandes. De cette analyse, nous proposons un processus de prise de décision qui prend en compte les aspects internes (par exemple planning de production) ainsi que les aspects externes de l'entreprise.

Ce processus nous permet de mettre en lumière deux problèmes majeurs qui influent directement sur la prise de décision.

Le premier réside dans la nécessité d'avoir des disponibilités de composants suffisantes pour permettre la mise en production des éléments nécessaires à la satisfaction de la commande.

Le second aborde le problème de faisabilité de l'acheminement de la commande vers le client.

Dans ces deux cas, nous proposons une approche de résolution analogue de recherche de prestation. Cette recherche s'appuie sur des outils mathématiques d'aide à la décision aptes à trouver les ressources manquantes. Ces ressources peuvent être des ressources matérielles. C'est le cas pour des matières premières ou des composants manquants. Elles peuvent être aussi des prestations de services comme le transport ou la sous-traitance.

Pour la résolution de problèmes de ressources matérielles, nous proposons un outil dont le but est de proposer une sélection optimale de propositions de fournisseurs aptes à répondre à un problème d'insuffisance de composants.

Pour la recherche de prestation de transport, un modèle mathématique de recherche et de sélection de propositions de transporteurs est proposé.

La résolution de ces deux problèmes est un facteur important dans la démarche de prise de décision pour la satisfaction d'une commande imprévue.

Nous nous intéressons aussi à l'architecture industrielle et au moyen de modéliser cette chaîne logistique distribuée. Nous présentons un modèle générique pour toutes les

entreprises qui composent la chaîne logistique. Ce modèle utilise les systèmes multi agents.

Une entreprise est structurée en trois types d'agents : l'agent de négociations des ventes, de négociation des plannings et de négociation des achats. Ce modèle, structuré en réseau, sert d'ossature à l'implantation des différents outils proposés.

Nous utilisons enfin cette architecture pour la réalisation d'un outil d'évaluation de performance basé sur la simulation de chaîne logistique. Cela nous permet d'évaluer, notamment, les performances des négociations induites par les prises de décisions.

En conclusion de ces travaux, nous pouvons dire que le problème de prise de commande imprévue, dans le contexte de chaîne logistique distribuée, est très complexe. Nous avons fait le choix du traitement de ce problème par la formalisation d'un mécanisme de prise de décision et la réalisation de deux outils d'aide à la décision. L'architecture multi agents que nous avons proposée est générique. Elle permet l'implantation de ces outils ainsi que de simuler le fonctionnement de la chaîne logistique en vue d'évaluer les performances des mécanismes de négociations.

Différents prolongements de ces travaux peuvent être envisagés afin de prendre en compte plus de paramètres dans la prise de décision pour la satisfaction de commandes imprévues.

Pour pouvoir prendre en compte l'ensemble des facteurs qui entre en jeu dans la prise de décision, il nous semble intéressant d'étudier plus avant le problème de la re-planification que nous abordons dans le chapitre 2 de ce mémoire. Le développement d'un outil d'aide à la re-planification serait une solution qui pourrait être adaptée et implantée dans l'architecture multi agents que nous proposons. On pourrait envisager deux niveaux de re-planification, un premier niveau qui limiterait les zones sur lesquelles on cherche à travailler de manière à ne pas trop perturber la solution existante et un niveau où tout est permis lorsque l'on veut à tout prix insérer une nouvelle demande.

Dans l'approche de sélection des propositions des transporteurs que nous proposons, nous prenons des hypothèses simplificatrices qui restreignent le choix des moyens de transport. En effet, dans notre approche les moyens de transport sont identiques. Afin d'être plus réaliste, il semble pertinent de prendre en compte dans le modèle différents moyens de transport.

Une autre hypothèse importante dans cette partie réside dans la translation temporelle que nous utilisons pour définir les temps de trajet entre un fournisseur et son client. Dans la mesure où dans le cas réel, ces temps sont étroitement liés à l'itinéraire choisi par les moyens de transport ainsi qu'à la nature même du transport. Il nous semble également que cette hypothèse peut être améliorée avec une extension du modèle proposé.

Dans les deux approches de sélection que nous présentons, nous posons l'hypothèse que si une proposition d'un fournisseur est choisie, elle est prise en entier sans remise en question. Cette hypothèse pose problème lorsque les propositions sélectionnées dépassent les quantités demandées. Dans cette situation, il nous semble judicieux d'étudier la possibilité de remise en cause des propositions sélectionnées avec la possibilité de fragmenter celles-ci.

Pour aller plus loin dans l'évaluation des performances de la chaîne logistique distribuée, il nous semble intéressant de développer un outil qui permette, grâce à cette évaluation, de trouver un ordre de grandeur raisonnable pour le nombre nécessaire de scénarios à utiliser pendant la phase de négociation.

Nous pouvons également donner d'autres perspectives d'application de notre démarche.

D'autres domaines d'application peuvent être envisagés par exemple dans le management des services hospitaliers : un hôpital est généralement composé de plusieurs services autonomes dans leur prise de décision. Si on considère un patient comme étant un produit qui circule d'un service à l'autre, alors nous pensons qu'il est possible d'adapter la structure multi agents que nous présentons dans ce mémoire afin de modéliser le fonctionnement d'un service. Le but est de proposer un outil d'aide au pilotage distribué des services en question.

Une autre application pourrait être la réalisation d'emploi du temps dans un système de formation : dans ce cas nous pouvons considérer toutes les ressources (enseignants, filières, salles de cours, élèves) comme étant modélisable par le méta-agent que nous proposons. Dans ce cas il n'existe plus de niveau dans le réseau et les processus de codécision doivent être adaptés. Le but de l'utilisation de notre démarche serait la réalisation d'un planning globale par collaboration entre tous les Meta-agents. Cela permettrait d'avoir non pas un outil centralisé pour la gestion des emplois du temps, mais un ensemble d'outils distribué où chaque filière gère ses propres activités.

Bibliographie

- [Aerts et al. 02] A.T.M. Aerts, N.B Szirbik and J.B.M. Goossenaerts. A flexible, agent-based ICT architecture for virtual enterprises, *Computers in Industry*, 49, 311–327, 2002.
- [Anthony 65] R. N. Anthony, *Planning and control systems : a framework for analysis*. Cambodge, Massachussets, Harvard University Press 1965.
- [Ashutosh et al. 06] S. Ashutosh and Pratap K.J. Mohapatra, Evaluation of supplier capability and performance: A method for supply base reduction. *Journal of Purchasing & Supply Management* 12 148–163, 2006.
- [ASLOG 06] ASLOG : ASsociation française pour la LOGistique. Available online <http://www.aslog.org>; 2006.
- [Asselin et Chaib-draa 02] F. Asselin and B. Chaib-draa, Towards a protocol for the formation of coalition of buyers. *Proceeding Fifth International Conference on Electronic Commerce Reseach (ICECR-5)*, 2002.
- [Boer et al., 98] de Boer, L., van der Wegen, L., Telgen, J., 1998. Outranking methods in support of supplier selection. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 4, 109–118.
- [Bouchriha, 02] Bouchriha Hanen, *Système d'aide à la décision dans l'établissement d'un réseau. d'entreprises*, 2002 INP grenoble
- [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.
- [Boulding 56] K. Boulding, *General system theory : the skeleton of sciences*, Management Science, 1956.
- [British Télécom 04] British Telecommunications plc. *The ZEUS agent building toolkit*, 2004
- [Chan et Qi 03] Chan F., Qi H., «Feasability of performance measurement system for processbased approach and measures», *Integrated Manufacturing Systems*, 2003, 14(3), pp.179-190.
- [Chopra et al, 07] Chopra S. et Meindil P., 2007. *Supply chain management: Strategy, planning and operations*. 3^{ème} Edition, Pearson Education, Inc. New Jersey
- [Christopher 00] CHRISTOPHER M., TOWILL D.R., « Supply chain migration from lean and functional to agile and customised », *Int. J. of Supply Chain Management*, vol. 5, n° 4, p. 206-213, 2000.
- [Claver 97] J. F. CLAVER, J. GELINIER, D. PITT, "Gestion de flux en entreprise : modélisation et simulation", Edition Hermès, (1997).

- [Cooper et al. 97] Cooper M., Lambert D., Pagh J., «Supply chain management: more than a new name for logistics», *International Journal of Logistics Management*, 1997, 8(1), pp. 1-14.
- [Cplex] <http://www.ILOG.com>
- [Current et al, 94] Current J, Weber C. Application of Facility Location Modeling Constructs to Vendor Selection Problems. *European journal of operational research*, Vol 76, p. 387-392, 1994.
- [Despontin-Monsarrat 04] Aide à la décision pour une coopération inter-entreprise dans le cadre de la production à la commande. Thèse de doctorat, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, 2004.
- [Dudek et al 04] G. Dudek, and H. Stadtler. Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners, *European Journal of Operational Research*, 163, 668–687, 2005.
- [EVALOG, 06] EVALOG : GLOBAL EVALOG frame of reference. Available online <http://www.galia.com>, 2006.
- [Ferber 95] J. Ferber. les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective. InterEditions, (1995)
- [Forrester 58] J.W. Forrester, *Industrial Dynamics-A major breakthrough for decision makers*. *Harvard business review*, 36 (4): 37-66, 1958.
- [Gaillard 94] La modélisation des connaissances et l'utilisation de bases de données objet en productique. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 1994.
- [Ganeshan et al., 95] Ganeshan R., Harrison T.P., «An introduction to supply chain management», Department of Management Sciences and Information Systems, Penn State University, 1995.
- [Giard 03] V. Giard. *Gestion de la production et des flux*. Economica, 3 éditions, 2003.
- [Gilmour 99] Gilmour P., «A strategic audit framework to improve supply chain performance», *Journal of Business & Industrial Marketing*, 1999, 5(4), pp. 283-290.
- [Grand et al 98] Grand S. et Cliff, D, 1998. *Creatures: Entertainment software agents with artificial life*, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 1(1).
- [Gruat la Forme-Chretien et al. 07] France-Anne Gruat La Forme, Valerie Botta Genoulaz, Jean-Pierre Campagne. A framework to analyse collaborative performance, *Computers in Industry* 58 (2007) 687–697
- [Gruvers et al. 03] W.A. Gruver, D.B. Kotak, E.H. van Leeuwen and D.H. Norrie, *Holonic manufacturing systems : Phase 2. Holonic and Multi Agent systems for Manufacturing – 1st International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi –Agent Systems*, *HoloMAS*, Prague, 2003.
- [Harmon, 92] *Reinventing the factory*. The free press.
- [Hayes-Roth et al. 89] B. Hayes-Roth, M. Hewitt, R. Washington and A. Seiver, *Distributing intelligence with and individual*. *Distributed Artificial Intelligence*, Vol. II, 385-412, 1989.

- [Hugos, 03] Hugos M., 2003. Essentials of supply chain management . John Wiley and sons, Inc, New Jersey USA
- [Ittner et al., 99] Ittner, C.D., Lareker, D.F., Nagar, V., Rajan, M.V., 1999. Supplier selection, monitoring practices, and firm performance. *Journal of Accounting and Public Policy* 18, 253–281.
- [Jennings et al. 98] N. Jennings, K. Sycara, M. Wooldbridge, A roadmap of agent research and development. *International Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1 (1): 7-38, 1998.
- [Khouider et al. 05a] Khouider S., Monteiro T., Portmann M.-C . Suppliers searching tool in cooperative supply-chain management. 47ème congrès annuel de la Société canadienne de recherche opérationnelle - CORS 2005, Halifax, Canada.
- [Khouider et al. 05b] Khouider S., Monteiro T., Portmann M.-C. Outil d'aide à la recherche de nouveaux fournisseurs. *Journées d'Optimisation - JOPT 2005*, Montréal, Canada.
- [Khouider et al. 06a] Khouider S., Monteiro T., Portmann M.-C. Collaborative model for customer request ordering: Research and selection of palliative suppliers. *The International conference on Information systems, Logistics and Supply chain*, Lyon, France 2006.
- [Khouider et al. 06b] Khouider S., Monteiro T., Portmann M.-C. Gestion collaborative et distribuée des approvisionnements intégrant le transport. *Conférence Internationale Francophone d'Automatique*, Bordeaux, France 2006 (IEEE)
- [Khouider et al. 07] Khouider S., Monteiro T., Portmann M.-C. Outil de simulation pour l'évaluation des performances de coordination dans un réseau d'entreprises distribué. *Conférence International en Génie Industriel (CIGI 07)*.
- [Khouider et al. 08] Khouider S., Monteiro T. et Portmann M.-C. CADRE DE MODÉLISATION POUR ÉVALUATION PAR SIMULATION DES MÉCANISMES DE NÉGOCIATION DANS LES ENTREPRISES EN RÉSEAU. *MOSIM 08*, Paris, 2008.
- [Kiesmüller et al 05] G.P. Kiesmüller, A.G. de Kok and J.C. Fransoo, Transportation mode selection with positive manufacturing lead time, *Transportation Research Part E* 41, 511–530, 2005
- [Labarthe 05] LABARTHE O., ESPINASSE B., FERRARINI A., MONTREUIL B., « A Methodological Approach for Agent Based Simulation of Mass Customizing Supply Chains », *Journal of Decision Systems*, vol. 14, n° 4, p. 397-425, 2005.
- [Laport et al. 02] Laporte, G. Semet, F., « Classical Heuristics for the Capacitated VRP », *The Vehicle Routing Problem*, P. Toth and D. Vigo, eds., *SIAM Monograph on Discrete Mathematics and Applications*, pp. 109-128, 2002.
- [Lee et al 97] H.L. Lee, V. Padmanabhan and S. Whang, The bullwhip effect in supply chain. *Sloan Management review*, 38 (3): 93-102, 1997.
- [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., 01] Lee, E.K., Ha, S., Kim, S.K., Delgado, M., 2001. Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management. *IEEE Transactions on Engineering Management* 48 (3), 307–318.
- [Logistique 03] Pimor, Yves, *Logistique : production, distribution, soutien*, Dunod : L'Usine Nouvelle, DL 2003
- [LP solve] <http://lpsolve.sourceforge.net/5.5/>
- [Luck et al. 04] M. Luck, P. McBurney and C. Preist, A Manifesto for Agent Technology: Towards Next Generation Computing, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 9, 203–252, 2004.
- [Maffioli 03] Francesco Maffioli: The vehicle routing problem: A book review. *4OR* 1(2): 149-153 (2003)
- [Mahmoudi 06] Mahmoudi J., *simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaînes logistiques : application au secteur de l'électronique et des télécommunications*, Thèse de doctorat, Supaéro, Toulouse, France, 2006.
- [Monczka et al., 98] Monczka, R., Trent, R., Handfield, R., 1998. *Purchasing and Supply Chain Management*. South-Western College Publishing, New York.
- [Monteiro 01] Monteiro T., *Conduite distribuée d'une coopération entre entreprises -le cas de la relation donneurs d'ordres – fournisseurs*. Thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, 2001
- [Moyaux 04] Design, simulation and analysis of collaborative strategies in multi-agent systems : the case of supply chain management. Thèse de doctorat, Université Laval, 2004
- [Moyaux] www.damas.ift.ulaval.ca/%7Emoyaux/travail.html
- [New et al, 1995] New S.J., «The scope of supply chain management research», *Supply chain Management*, 1997, 2(1), pp. 15-22.
- [Nydick et al. 92] Nydick R.I, Hill R.P. Using the Analytic Hierarchy Process to Structure the Supplier Selection Procedure. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, p31-36, Spring 1992.
- [Ounnar et al. 08] F. OUNNAR, P. PUJO, L. MEKAOUCHE, N. GIAMBIASI, MODELISATION D'UN SYSTEME DE PILOTAGE ISOARCHIQUE ET SIMULATION VIA UN ENVIRONNEMENT DISTRIBUE HLA, *MOSIM 08*, Paris, 2008.
- [Ounnar et Pujo 05] F. Ounnar, P. Pujo, “Supplier evaluation process within a self-organized logistical network”, in: *International Journal of Logistics Management*, vol. 16, n° 1, pp. 159-172, 2005
- [Ouzizi 05] L. Ouzizi. *Planification de la production par co-décision et négociation de l'entreprise virtuelle*, Thèse de doctorat, Université de Metz, January 2005
- [Ouzizi et al. 2003] L. Ouzizi,, D. Anciaux, , M.C. Portmann, and F.Vernadat A model for co-operative planning using a virtual enterprise. *Proceedings of the 6th international conference on Industrial Engineering and Production Management*, Porto, Portugal, 2003.

- [Perrin et al. 04] O. Perrin and C. Godart. A model to support collaborative work in virtual enterprises, *Data & Knowledge Engineering*, 50, 63-86, 2004.
- [Pierreval 90] H. Pierreval, *Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production*, Hermes, Paris, 1990.
- [Poirier et 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 98] K. ROTA, "Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources – Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique", Thèse soutenue à Toulouse, Université Paul Sabatier et ONERA, (1998).
- [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.
- [Russell et Norving, 03] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence – A modern approach*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2 édition, 2003.
- [SCC, 06] SCC Supply chain operations reference model: overview of SCOR version 7.0; Supply chain council Inc. available on <http://www.supplychain.org>; 2006.
- [Schmitz et al. 02] J. Schmitz and K.W. Platts, *Supplier logistics performance measurement: Indications from a study in the automotive industry*. *Int. J. Production Economics* 89 231–243, 2004.
- [Shin et al., 00] Shin, H., Collier, D.A., Wilson, D.D., 2000. *Supply management orientation and supplier/buyer performance*. *Journal of Operations Management* 18, 317–333.
- [Simchi-Levy 00] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky & E. Simchi-Levi. *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies*. Irwin McGraw-Hill, 1999.
- [Sterman 89] J.D. Sterman, *Modeling managerial behavior : Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment*. *Management science*, 35 (3): 321-339, 1989.
- [Taylor 03] Taylor D.A., 2003, *Supply chain : A manager's Guide*. Addison Wesley, USA
- [Tayur et al. 99] R. Ganeshan & M. Magazine. *Quantitative model for supply chain*. Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [Teti et al. 06] R. Teti and D. D'Addona, *Emergent synthesis in supply network tool management*. *Advanced Engineering Informatics* 20 233–246, 2006.
- [Van Norden et al 05] L. van Norden and S. van de Velde, *Multi-product lot-sizing with a transportation, capacity reservation contract*, *European Journal of Operational Research* 165, 127–138, 2005.
- [Verwijmeren 04] M. Verwijmeren, *Software component architecture in supply chain management*. *Computers in Industry* 53 165–178, 2004.

- [Weber et al, 91] Weber C.A, Current J.R, Benton W.C. Vendor Selection Criteria and Methods. European Journal of Operational Research, August, 2- 18. 1991.
- [Weber et al, 93] Weber C.A, Current J.R. A Multiobjective Approach to Vendor Selection. European Journal of Operational Research 68, pp 173-184. 1993.
- [Wellman et al. 02] M. P. Wellman, A. R. Greenwald, P. Stone, and P. R. Wurman, The 2001 Trading Agent Competition. Electron. Markets, vol. 13, no. 1, 2002
- [Wu et al. 05] N. Wu, and P. Su. Selection of partners in virtual enterprise paradigm, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 21, 119–131 2005.
- [Youngui et al. 04] F. Yonghui and P. Rajesh, Supply-side collaboration and its value in supply chains. European Journal of Operational Research 152 281–288, 2004.

Annexe 1

Liste des figures

Figures	Page
Figure 1.1 : Représentation du système fragmenté	7
Figure 1.2 : Représentation du système centralisé	7
Figure 1.3 : Représentation du système hiérarchisé	7
Figure 1.4 : organisation centralisée / hiérarchisée	8
Figure 1.5 : Représentation du système intégré	9
Figure 1.6 : Représentation du système hiérarchisé	9
Figure 1.7 : réseau d'entreprises distribuée.	9
Figure 1.8 : Représentation du système hiérarchisé	10
Figure 1.9 : les différents flux interentreprises	11
Figure 1.10 : Architecture de gestion d'une chaîne logistique [Chan et Qi 03] d'après [Cooper et al., 97]	14
Figure 1.11 : modèle de diagnostic de Gilmour (1999)	15
Figure 1.12 : le modèle SCOR	16
Figure 1.13: exemple de l'effet <i>bullwhip</i>	18
Figure 1.14 : Outils logiciels classiques de gestion des chaînes logistiques	20
Figure 1.15 : modules d'un ERP (Taylor, 2003)	21
Figure 1.16 modules d'un APS ([Taylor 03])	22
Figure 1.17 : Représentation par un graphe orienté sans circuit d'un réseau d'entreprises	24
Figure 1.18 : Exemple de chaîne logistique	25
Figure 1.19 : Exemple d'architecture logistique	26
Figure 2.1 : Représentation systémique (niveau 7 de [Boulding 56])	30
Figure 2.2 : Structure décisionnelle multi niveaux classique	32
Figure 2.3 : Structure GRAI. [Gaillard 94]	34
Figure 2.4 : propagation externe de la prise de décision	37
Figure 2.5 : Exemple de cheminement interne des décisions	37
Figure 2.6 : Graphe d'état d'une ressource	41
Figure 2.7: Structure de données	41
Figure 2.8: exemple de courbe cumulée	43
Figure 2.9: Prise en compte de la demande dans le planning de stock de produit fini.	45
Figure 2.10 : Diagramme de l'approche pour la résolution du problème τ	46
Figure 2.11 : Exemple de réservation de capacités de production.	48
Figure 2.12 : Exemple de re-planification	49
Figure 2.13 : Diagramme de l'approche pour la résolution du problème p	50
Figure 2.14 : Synthèse de l'approche globale	51
Figure 3.1 : Exemple de scénario d'approvisionnement en matières premières.	58
Figure 3.2 : Exemple de faisabilité d'un scénario	60
Figure 3.3 : Algorithme de choix des propositions des fournisseurs.	65

Figure 3.4 : Démarche de résolution	67
Figure 3.5 : démarche globale de traitement du problème τ	72
Figure 3.6 : composition de la chaîne logistique.	73
Figure 3.7 : Nomenclature du produit P .	74
Figure 3.8 : Charge de travail induite par la demande client	75
Figure 3.9 : Quantités manquantes du produit P .	76
Figure 3.10 : Courbes cumulée des composants C1 et C2 manquants pour la production.	76
Figure 3.11 : Courbes cumulées des scénarios d'approvisionnement possibles pour C1 et C2.	78
Figure 3.12 : Courbes cumulées de la demande d'approvisionnement en composants.	79
Figure 3.13 : Comparaison entre la courbe cumulée de la demande et la courbe cumulée des propositions des fournisseurs pour chaque scénario.	81
Figure 3.14 : Résultat de la sélection de fournisseurs pour le composant C1 et le scénario 1.	82
Figure 3.15 : Résultat de la sélection de fournisseurs pour le composant C1 et le scénario 1.	82
Figure 3.16 : Données du problème de transport.	84
Figure 3.17 : Comparaisons entre la courbe cumulée de la demande de transport et les propositions sélectionnées.	85
Figure 4.1 : Composition d'un agent simple reflex	91
Figure 4.2 : composition d'un Agent à modèle basé sur le réflexe	91
Figure 4.3 : Composition d'un agent basé sur le but	92
Figure 4.4 : Composition d'un agent basé sur le service.	92
Figure 4.5 : Composition d'un agent basé sur la connaissance.	93
Figure 4.6 : Structure multi agents d'un NEV	97
Figure 4.7 : Échange d'informations dans la chaîne logistique	102
Figure 4.8 : Architecture de la chaîne logistique.	103
Figure 4.9 : Démarche de recherche de fournisseurs	104
Figure 4.10: Mécanisme de résolution du cas 1	106
Figure 4.11: Mécanisme de résolution du cas 2	107
Figure 4.12: Mécanisme de résolution du cas 3	108
Figure 4.13: architecture d'un NEV	109
Figure 4.14: Scénario 1	110
Figure 4.15: Scénario 2	110
Figure 4.16 : Résultat de la sélection pour le scénario 1.	111
Figure 4.17 : Scénario de transport	111
Figure 4.18 : Résultat de la sélection des propositions de transport.	112
Figure 4.19 : Structure du simulateur	116
Figure 4.20 : Composition de la chaîne logistique (C-1/F-3/F2-2/F3-1/F4-1)	117
Figure 4.21 : évolution du délai de réponse	118
Figure 4.22 : Commandes refusées sur analyse erronée	119
Figure 4.23 : Composition de la chaîne logistique (C-1/F-1/F2-1/F3-1/F4-1)	120

Annexe 2

Liste des tableaux

Tableaux	page
Tableau 2.1 : Résumé du champ d'action des décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles.	33
Tableau 2.2 : Contexte de prise de commandes	42
Tableau 3.1 : Demande initiale du client pour le produit P	73
Tableau 3.2 : Demande prévisionnelle du client pour le produit P	73
Tableau 3.3 : Demande imprévue du client pour le produit P.	73
Tableau 3.4 : planning de disponibilité du stock de produit fini P libre	74
Tableau 3.5 : Quantité à produire au plus tard pour satisfaire la demande	74
Tableau 3.6 : Planning du stock libre pour C1 et C2.	75
Tableau 3.7 : Quantité potentielle de production avec les stocks libres disponibles.	75
Tableau 3.8 : scénarios d'approvisionnement des composants C1 et C2.	77
Tableau 3.9 : réponses des fournisseurs pour la demande 1.	79
Tableau 3.10 : réponses des fournisseurs pour la demande 1.	80
Tableau 3.11 : Résultats de la sélection de fournisseurs pour le scénario 1 et 2.	83
Tableau 3.12 : Résultat du dimensionnement des moyens de transport.	84
Tableau 3.13 : Propositions des transporteurs.	85
Tableau 4.1 : Architectures d'intégrations des agents	94
Tableau 4.2 : Application des systèmes multi agents.	96
Tableau 4.3 : récapitulatif des travaux réalisés	114
Tableau 4.4 : Paramètres des agents.	116
Tableau 4.5 : Résultats des simulations	120

Annexe 3

Glossaire des notations utilisées pour le problème ρ de sélection de fournisseurs

- ΔQR_t : capacité fixe additionnelle de réception à la période t
- ΔQS_t : capacité fixe additionnelle de stockage à la période t
- CD_j : coût unitaire d'approvisionnement demandé pour le scénario j
- $c_{i,j}$: coût unitaire de la matière première proposé par le fournisseur i pour le scénario j
- CR_t : coût d'acquisition de ΔQR_t
- CS_t : coût d'acquisition de ΔQS_t
- $Cumq_{i,j,t}$: quantité cumulée proposée par le fournisseur i pour le scénario j à la période t
- $CumQ_{j,t}$: quantité cumulée demandée pour le scénario j à la période t
- i : indice du fournisseur
- j : indice du scénario
- QD_j : la quantité totale demandée pour le scénario j
- $q_{i,j,t}$: quantité de matière première proposée à la période t pour le scénario j
- QR_t : capacité de réception potentielle de l'entreprise à la période t
- QS_t : capacité de stockage de la matière première potentielle à la période t
- $Q_{t,j}$: quantité de matière première demandée à la période t pour le scénario j .
- $x_{i,j}$ $\left\{ \begin{array}{l} = 1 \text{ si la proposition relative au scénario } j \text{ est sélectionnée} \\ = 0 \text{ sinon} \end{array} \right.$
- y_t : nombre des ΔQR_t
- z_t : nombre des ΔQS_t

Annexe 4

Glossaire des notations utilisées pour le problème τ de sélection de transport

- ΔCC_t : capacité unitaire de chargement additionnel pour la période t
- b_t : capacité de transport perdue à la période t
- CAM_t : somme des quantités disponibles jusqu'à la période t
- CAV_t : somme des quantités à livrer jusqu'à la période t
- CC_t : capacités potentiel de chargement à la période t
- c_i : coût unitaire d'un transport proposer par i
- CR_t : coût de ΔCC_t
- CS_{max} : maximum des capacités supplémentaires
- CSS : coût unitaire du stockage supplémentaire des produits par le fournisseur
- CS_t : capacité de stockage des produits du fournisseur à la période t
- $CumNTP_{i,t}$: nombre cumulé de transports proposés par i jusqu'à la période t
- $CumNT_t$: nombre cumulé des transports demandés jusqu'à la période t
- CX_t : somme des capacités de transport nécessaire jusqu'à la période t
- i : indice des transporteurs
- n_t : nombre des transports nécessaires à la période t
- $NTP_{i,t}$: nombre de transport proposé par le transporteur i à la période t
- NT_t : nombre de transport demandé à la période t
- r_t : capacité non utilisée du dernier transport à la période t
- T : durée totale de la demande
- T_i : variable de décision, qui vaut 1 si le transporteur i est sélectionné et 0 sinon
- v_c : capacité d'un transport
- X_t : capacité de transport nécessaire à la période t
- y_t : variable qui indique le nombre de ΔCC_t
- γ_t : quantité des stocks supplémentaires utilisés à la période t