

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTEUR EN SCIENCES**

En : Génie Industriel

Spécialité : Productique

Par : Triqui-Sari Lamia

Sujet

**Gestion des stocks dans un réseau de distribution
approvisionnement et échanges**

Soutenue publiquement, le 08/ 12 / 2015 , devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------------------|--|---|---------------|
| M BENAHMED Nasreddine | Professeur | Université de Tlemcen | Président |
| M SARI Zaki | Professeur | Université de Tlemcen | Directeur |
| M HENNET Jean Claude | Professeur /Directeur de Recherche CNRS | Universités, Aix-Marseille | Co- Directeur |
| Mme KERBOUA ZIARI Yasmina | Professeur | Université USTBH, Algérie | Examinatrice |
| Mme DEMONGODIN Isabelle | Professeur | Universités, Aix-Marseille | Examinatrice |
| M YALAOUI Farouk | Professeur | Université Technologique de Troyes (UTT) | Examinateur |

Remerciement

Cette thèse est le résultat d'un travail de recherche de près de quatre ans sur une thématique très passionnante que j'ai eu la possibilité d'approfondir grâce à l'appui de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Un grand merci à mon directeur de thèse M. Zaki SARI en dépit de ses énormes responsabilités et d'un planning démentiel a su trouver le temps de me conseiller et m'encourager tout au long de la thèse.

je veux adresser mes remerciements à mon co-directeur de thèse M. Jean- Claude HENNET pour son aide précieuse, pour tous ses conseils et pour le temps qu'il m'a consacré. Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans son encadrement sa contribution et son soutien inestimable.

Je tiens à exprimer mes remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse. Je remercie Mme. Yasmina KERBOUA ZIARI, Professeur à l'Université USTBH, Algérie, et M. Farouk YALAOUI, Professeur à l'Université Technologique de Troyes (UTT), pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'être les rapporteurs de cette thèse et l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail. Je remercie chaleureusement Mme Djamila HADJ SLIMANE, Professeur à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je tiens aussi à remercier très sincèrement Mme Isabelle DEMONGODIN, Professeur à Aix-Marseille Université, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie l'ensemble des membres du laboratoire MELT de l'Université de Tlemcen et l'ensemble des membres du laboratoire LSIS d' Aix-Marseille Université, pour leur accueil et leur soutien.

Merci à toute ma famille pour son soutien constant et permanent. Je souhaite qu'elle trouve ici l'expression de mon éternelle reconnaissance.

Table des Matière

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 8 |
| Chapitre 1 : Réseau de distribution et gestion des stocks | 12 |
| 1.1 Introduction | 13 |
| 1.2 Présentation des chaines logistique | 13 |
| 1.3 Le processus de distribution | 16 |
| 1.3.1 Les canaux de distribution..... | 16 |
| 1.3.2 Le circuit de distribution | 17 |
| 1.3.3 Réseau de distribution | 18 |
| 1.4 Les échanges interentreprises..... | 19 |
| 1.5 L’approvisionnement des centres de distribution..... | 23 |
| 1.6 Les politiques de gestion de stocks dans un réseau de distribution | 23 |
| 1.6.1 Coût de stockage..... | 24 |
| 1.6.2 Coût de rupture | 24 |
| 1.6.3 Gestion de stocks en environnement aléatoire | 25 |
| 1.6.4 Le problème du vendeur de journaux | 26 |
| 1.6.5 Application du modèle..... | 27 |
| 1.7 Les principales notations des modèles sont répertoriées ci-dessous. | 27 |
| 1.7.1 Calcul des quantités économiques de rechargement | 27 |
| 1.7.2 Quantités de rechargement associées à une qualité de service | 29 |
| 1.8 La coopération dans un réseau de distribution | 29 |
| 1.9 Conclusion..... | 31 |
| Chapitre 2 : Approches d’analyse par la théorie des jeux | 32 |
| 2.1 Introduction | 33 |
| 2.2 Analyse de comportements stratégiques dans un réseau de distribution | 34 |
| 2.2.1 La stratégie d'entreprise..... | 34 |
| 2.2.2 Les choix stratégiques | 34 |
| 2.2.3 La stratégie dans les réseaux de distribution..... | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3 Quelques rappels sur la Théorie des Jeux | 35 |
| 2.3.1 Les jeux non-coopératifs | 36 |
| 2.3.2 Équilibre de Nash | 37 |
| 2.3.2 Les jeux coopératifs | 38 |
| 2.3.3 Jeux biformes | 42 |
| 2.4 Centralisation ou décentralisation des stocks dans les réseaux de distribution..... | 42 |
| 2.4.1 Gestion centralisée des stocks étudiée par la théorie des jeux | 42 |
| 2.4.2 Le problème de gestion des stocks dans un réseau de vendeurs | 43 |
| 2.4.3 L'approche par jeu biforme..... | 43 |
| 2.4.4 L'approche par jeu coopératif | 44 |
| 2.5 Revue de la littérature..... | 45 |
| 2.6 Conclusion..... | 47 |
| Chapitre 3. Modélisation d'un réseau de distribution coopératif et allocation des bénéfiques | 48 |
| 3.1 Introduction | 49 |
| 3.2 Problématique..... | 49 |
| 3.3 Analyse du problème de gestion des stocks dans un réseau de distribution | 51 |
| 3.3.1 Le problème de décision à deux étapes | 51 |
| 3.3.2 Paramètres et variables de décision..... | 52 |
| 3.3.3 Notations des modèles..... | 53 |
| 3.4 La coopération des vendeurs dans un jeu CS | 54 |
| 3.4.1 La structure du problème..... | 54 |
| 3.4.2 Le problème de recours | 56 |
| 3.4.3 Planification de la gestion globale des stocks dans le réseau des vendeurs | 59 |
| 3.4.4 Le problème global en deux étapes résolu par la méthode des scénarios. | 61 |
| 3.5 Résolution du problème de la gestion des stocks en deux étapes indépendantes..... | 63 |
| 3.5.1 Problème de décision dans chaque centre (optimisation locale)..... | 63 |
| 3.5.1.1 Le modèle de vendeur de journaux | 64 |
| 3.5.1.2 Le modèle de vendeur de journaux avec une distribution normale des demandes | 64 |
| 3.5.1.3 Optimisation de la demande avec des distributions discrètes | 65 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.2 Gestion des échanges entre vendeurs en environnement déterministe | 67 |
| 3.6 Construction d'une politique de tarification dans le cœur du jeu CS | 68 |
| 3.7 Conclusion..... | 71 |
| Chapitre 4. Évaluation des gains de coopération dans un réseau de distribution réel | 72 |
| 4.1 Introduction | 73 |
| 4.2 Présentation de l'exemple industriel | 74 |
| 4.2.1 Chaîne de production LIT-MAG..... | 74 |
| 4.2.2 Réseau de distribution LIT-MAG | 75 |
| 4.3 Contexte Scientifique de l'étude | 78 |
| 4.3.1 Détermination de la politique prévisionnelle d'approvisionnement | 79 |
| 4.3.2 Organisation des échanges entre centres de distribution..... | 79 |
| 4.4 Confrontation entre théorie et pratique | 80 |
| 4.5 Résultats numériques..... | 81 |
| 4.5.1 Données du réseau étudié..... | 82 |
| 4.5.1.1 Demande | 82 |
| 4.5.1.2 Influence du coût unitaire de transport | 83 |
| 4.5.1.3 Coût de stockage\ coût de rupture..... | 86 |
| 4.5.2 Comparaison entre un modèle sans échanges, un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif - Application a l'exemple industriel | 94 |
| 4.5.2.1 Étude du modèle sans échanges | 94 |
| 4.5.2.2 Étude du jeu biforme..... | 95 |
| 4.5.2.3 Étude du jeu coopératif | 96 |
| 4.5.2.4 Génération de scénario..... | 97 |
| 4.5.3 Les résultats expérimentaux | 98 |
| 4.5.3.1 Les résultats | 98 |
| 4.5.3.2 Discussion | 102 |
| 4.5.3.3 Comparaison des résultats numériques entre un modèle sans échange, un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif :..... | 103 |
| 4.6 Conclusions | 104 |
| Conclusion et perspectives..... | 106 |
| Références | 109 |

Liste des figures

| | |
|--|-----|
| Figure 1.1. Représentation d'une chaîne logistique | 14 |
| Figure 1.2. Les types de canaux de distribution | 17 |
| Figure 1.3. Schéma illustratif d'un réseau de distribution | 18 |
| Figure 2.1 Les deux problèmes d'un jeu coopératif..... | 39 |
| Figure 2.2 Le modèle du jeu biforme | 42 |
| Figure 4.1 Structure de l'entreprise | 75 |
| Figure 4.2 : différentes étapes pour la réalisation d'un matelas | 75 |
| Figure 4.3: Schéma d'un réseau de distribution..... | 76 |
| Figure 4.4 schémas du sous-réseau d'approvisionnement et d'échanges | 77 |
| Figure 4.5 schéma du réseau de distribution a trois centres..... | 78 |
| Figure 4.6 Graphe du réseau de distribution a trois centres et les coûts associés | 83 |
| Figure 4.7 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de transport..... | 86 |
| Figure 4.8 Profit global pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du cout de stockage..... | 89 |
| Figure 4.9 : Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de stockage | 89 |
| Figure 4.10 : quantité totale pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du cout de stockage..... | 90 |
| Figure 4.11 Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de rupture | 92 |
| Figure 4.11 Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de rupture | 92 |
| Figure 4.13 Quantité total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du cout de rupture..... | 93 |
| Figure.4.12 moyenne des quantités échangées pour 3 scenarios sc3 | 99 |
| Figure.4.13 moyenne des quantités échangées pour 5 scenarios sc5 | 99 |
| Figure 4.14 Les deux domaines réalisables pour les prix de transfert. | 102 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| 4.6 Conclusions 104 | 72 |
| Tableau 4.1: moments des demandes pour chaque centre..... | 83 |
| Tableau 4.2: représente les coûts unitaires de transport " c_i " | 84 |
| Tableau 4.3: Coûts unitaires de transport " d_{ij} " | 84 |
| Tableau 4.4 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de transport..... | 85 |
| Tableau 4.5 : quantités commandées par chaque centre pour un modèle avec échange en fonction du coût de transport..... | 85 |
| Tableau 4.6 quantités commandées par chaque centre pour un modèle sans échange en fonction du coût de transport..... | 85 |
| Tableau 4.7: coûts unitaires vente et d'achat | 87 |
| Tableau 4.8 Profit global pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de stockage..... | 88 |
| Tableau 4.9 : Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de stockage..... | 88 |
| Tableau 4.10 : Quantités totales commandées pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de stockage | 88 |
| Tableau 4.11 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de rupture..... | 91 |
| Tableau 4.12 : Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de rupture | 91 |
| Tableau 4.13 : Quantités totales pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de rupture..... | 91 |
| Tableau 4.12 quantité et profit par centre pour un model sans échange | 95 |
| Tableau 4.13 quantité et profit par centre pour un modèle jeu biforme | 96 |
| Tableau 4.14 : profit des différentes coalitions pour 3scenarios et 5 scenarios | 98 |

Introduction générale

Ces dernières années, le milieu industriel et particulièrement les réseaux de distribution ont été marqués par de fortes évolutions, sous la pression de la globalisation, de la concurrence croissante et des changements technologiques variés et de plus en plus rapides. Pour survivre dans un tel environnement, de nombreuses entreprises tentent de repousser leurs limites et cherchent à explorer de nouvelles sources de compétitivité à travers l'optimisation de leur réseau et le renforcement des relations économiques avec leurs partenaires. Ainsi, elles privilégient aussi la satisfaction du client, en offrant le produit ou le service désiré, le moins cher et le plus performant dans les plus brefs délais.

En suivant cette démarche, les réseaux d'aujourd'hui construisent leur offre de produits ou de services en sollicitant d'autres partenaires dont elles mobilisent les ressources et les compétences pour optimiser leur efficacité.

Un problème auquel sont confrontés de nombreux réseaux de distribution, en particulier dans la vente de détail, est celui du choix entre une installation locale de stockage de produits au niveau de chaque centre de distribution ou une installation commune pour tous les centres du réseau. Le stockage commun permet des économies d'échelle. En revanche, il peut occasionner des coûts de transport importants. Quant au stockage local, il est coûteux du point de vue de l'investissement mais bon marché en utilisation. Pour profiter des avantages des deux techniques tout en limitant leurs inconvénients, on envisage l'installation de stocks locaux pouvant aussi être utilisés par les autres entreprises. Dans le cas monoproduit, le problème qui se pose alors est double. Il s'agit d'une part pour chaque entreprise, de déterminer sa propre quantité à commander, en fonction de la demande estimée à chaque point de vente. Il s'agit d'autre part d'organiser les échanges de produits entre les entreprises en fonction des demandes locales réelles.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire de thèse traitent des problèmes de gestion des stocks dans les réseaux de distribution et proposent des mécanismes de coordination qui agissent d'une façon collective et non plus d'une façon individuelle, pour améliorer à la fois le rendement au niveau de chaque centre de distribution et la satisfaction des clients. Plus précisément, les réseaux étudiés sont soumis à des aléas liés aux demandes clients. Cette incertitude peut se traduire soit par des produits en sur-stockage, qui engendrent

des coûts supplémentaires sur les produits stockés, soit par des produits en rupture de stock qui provoquent une perte de la demande et/ ou une insatisfaction du client.

L'objectif de ce travail est d'élaborer des processus et des outils d'aide à la décision pour la satisfaction de commandes dans les différents centres de distribution tout en minimisant les coûts de stockage pour chaque centre. Nous remarquons bien qu'il y a un compromis à trouver entre d'une part diminuer les niveaux des stocks et d'autre part éviter la rupture et répondre à la totalité ou du moins au plus grand nombre de demandes. Notre principal défi dans cette thèse est de proposer une approche analytique innovante issue de la théorie des jeux pour traiter des problèmes de gestion de stock visant à réduire globalement les stocks dans les réseaux de distribution tout en garantissant un bon niveau de service.

Nous modélisons l'entreprise par un processus qui s'appuie sur deux approches complémentaires pour la résolution de problèmes liés à la satisfaction des commandes clients. Le premier problème apparaît lorsque les centres de distribution s'approvisionnent depuis l'entreprise (entrepôt central). Il réside dans la détermination de la quantité nécessaire prévisionnelle pour le démarrage de la vente sur le marché sachant que les demandes des clients ne sont pas encore connues avec certitude et que le système ne possède pas suffisamment d'information ni de données exactes sur la demande. Le second problème est lié aux échanges de produits entre les différents centres afin de réaliser les buts fixés par l'entreprise. L'analyse de ce genre de problème fait appel à la programmation stochastique en environnement incertain. Dans ce travail, on se focalise plus précisément sur les modèles de recours en deux étapes et chaque demande est représentée par un espace d'incertitude et simulée par un ensemble de scénarios.

Dans un second volet, nous étudions les différentes formes de coopération entre les différents membres du réseau, considérés comme joueurs formant des coalitions, afin de voir l'impact de la coopération sur le niveau de service aux clients et sur l'amélioration des objectifs financiers des entreprises, en prenant en compte les coûts de stockage et de rupture encourus par chacun des partenaires. La coopération dans les réseaux de distribution peut s'avérer avantageuse pour certains acteurs, moins pour d'autres, voire faire apparaître localement des maillons perdants. Pour trouver un compromis acceptable dans ce genre de situation, cette problématique nous a incités à utiliser la théorie des jeux, qui favorise la coopération si un partage efficace et rationnel peut être trouvé entre tous les acteurs de la même coalition.

Un exemple industriel soutient l'approche de modélisation et est utilisé pour évaluer la rentabilité de la pratique d'échange pour des données réelles.

Cette thèse comporte quatre chapitres qui sont structurés de la façon suivante :

Dans le premier chapitre nous avons présenté les définitions et les concepts généraux sur la chaîne logistique et les réseaux de distribution et nous donnons un aperçu des travaux réalisés dans ce domaine. Puis nous effectuons une description des principales politiques d'approvisionnement et de gestion de stock dans les réseaux de distribution, issues de la littérature.

Le deuxième chapitre s'oriente principalement sur la théorie des jeux appliquée aux domaines de conception de chaîne logistiques et de gestion industrielle. Nous commençons par une présentation du comportement stratégique dans les réseaux de distribution. Ensuite, nous introduisons quelques concepts liés à la théorie des jeux non coopératifs, pour évaluer l'optimisation individuelle dans chaque centre. Puis nous présentons un rappel sur la théorie des jeux coopératifs et les jeux biformes en vue d'évaluer la profitabilité des échanges de produits entre différents centres de distribution. Le dernier volet de ce chapitre est dédié à la présentation de problèmes voisins traités dans la littérature, qui permettent de bien préciser notre cadre d'études.

Le troisième chapitre est consacré à la modélisation du problème de gestion des stocks à deux étapes dans un réseau de distribution. Le modèle proposé s'appuie sur la théorie des jeux et sur l'optimisation stochastique. La première étape est celle de l'approvisionnement depuis l'entrepôt central. Elle est modélisée par représentation probabiliste de l'incertitude prévisionnelle sur la demande. La deuxième étape traite de la modélisation des échanges de produits entre les acteurs de la même coalition. Le choix de la meilleure coalition résulte de l'optimisation du profit global. On montre que la grande coalition, formée du réseau de distribution complet, permet l'obtention du profit maximal. La formulation mathématique du problème global est celle d'un modèle de recours à deux étapes. Il est proposé de le résoudre par la méthode des scénarios. La stabilité de la grande coalition repose sur l'existence d'une politique d'allocation des bénéfices efficace et rationnelle, c'est-à-dire appartenant au cœur du jeu. Dans le cadre de la modélisation par scénarios, nous proposons une politique de prix de transfert des produits entre centres qui réalise une allocation des bénéfices appartenant au cœur du jeu.

Dans le quatrième chapitre, nous commençons par décrire le système réel étudié en présentant les caractéristiques des centres considérés, ainsi que le schéma de transport adopté. Dans un second volet, nous présentons les motivations de l'utilisation la théorie des jeux dans notre démarche de prise de décision sous incertitude et l'organisation générale de notre protocole de jeu, puis nous illustrons la démarche sur un exemple numérique. En particulier, nous analysons les résultats obtenus sur la répartition des bénéfices entre les différents joueurs de la coalition formée. En outre, nous comparons le fonctionnement de ce système selon plusieurs

configurations décisionnelles et nous analysons l'impact des différentes décisions stratégiques ou collaboratives sur la performance globale du réseau et des acteurs qui la composent.

Le mémoire se termine par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus, en faisant le bilan global de l'apport de la théorie des jeux dans la gestion des stocks au sein des réseaux de distribution. Puis on présente quelques perspectives ouvertes à la suite de ces travaux.

Chapitre 1 : Réseau de distribution et gestion des stocks

| | | |
|-------|--|----|
| 1.1 | Introduction | 13 |
| 1.2 | Présentation des chaines logistique | 13 |
| 1.3 | Le processus de distribution | 16 |
| 1.3.1 | Les canaux de distribution..... | 16 |
| 1.3.2 | Le circuit de distribution | 17 |
| 1.3.3 | Réseau de distribution | 18 |
| 1.4 | Les échanges interentreprises..... | 19 |
| 1.5 | L’approvisionnement des centres de distribution..... | 23 |
| 1.6 | Les politiques de gestion de stocks dans un réseau de distribution | 23 |
| 1.6.1 | Coût de stockage..... | 24 |
| 1.6.2 | Coût de rupture | 24 |
| 1.6.3 | Gestion de stocks en environnement aléatoire | 25 |
| 1.6.4 | Le problème du vendeur de journaux | 26 |
| 1.6.5 | Application du modèle..... | 27 |
| 1.7 | Les principales notations des modèles sont répertoriées ci-dessous. | 27 |
| 1.7.1 | Calcul des quantités économiques de rechargement | 27 |
| 1.7.2 | Quantités de rechargement associées à une qualité de service | 29 |
| 1.8 | La coopération dans un réseau de distribution | 29 |
| 1.9 | Conclusion..... | 31 |

1.1 Introduction

L'entreprise actuelle vise de plus en plus sa compétitivité à long terme, qui est devenue un enjeu majeur pour la performance globale, tout en satisfaisant un niveau de service vis-à-vis de leurs clients. Pour atteindre cet objectif, les entreprises commencent à améliorer les fonctions traditionnelles sur la chaîne logistique : l'approvisionnement, la production et la distribution. C'est pour cette raison que l'intégration de la coopération dans les réseaux de distribution a reçu depuis ces dernières années une attention particulière. Dans ce contexte les problèmes d'organisation des flux dans les réseaux de distribution sont le plus souvent complexes par leur nature et par leurs enjeux économiques.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le contexte général de notre étude. Le plan de ce chapitre se présente comme suit : dans la première section, nous apportons quelques définitions sur la chaîne logistique et les réseaux de distribution et nous donnons un aperçu des travaux réalisés dans ce domaine. Dans la deuxième section, nous effectuons une description des principales politiques d'approvisionnement et de gestion de stock dans les réseaux de distribution, issues de la littérature.

1.2 Présentation des chaînes logistiques

Les progrès technologiques au sein de l'entreprise industrielle visent à réduire les prix de revient de façon spectaculaire tout en offrant des produits qui répondent aux exigences des clients. Suivant cette démarche, les entreprises d'aujourd'hui ont besoin de s'adapter aux innovations techniques et à la diversité demandée par les consommateurs. Dans ce cadre, les objectifs de stratégie industrielle et de contrôle gestionnaire peuvent être contradictoires. De plus, l'équilibrage « prix-qualité-délais » nécessite des arbitrages pour obtenir une cohérence globale. De ce fait, de nouvelles approches et de nouvelles politiques sont introduites dans les entreprises afin de planifier et d'organiser la réalisation d'un produit depuis l'approvisionnement de la matière première jusqu'à sa livraison au client (Barros, 1997).

Lee et Billington (1993) définissent une chaîne logistique comme une succession d'installations qui assure des fonctions en passant par plusieurs phases, l'approvisionnement en matières premières, la transformation de ces matières premières en composants, l'assemblage des composants en produits finis, et enfin la distribution des produits finis vers le client. Cette définition décrit la chaîne logistique autour d'un produit fini et de ses composants en précisant les fonctions et les ressources nécessaires à sa réalisation avant de parvenir chez le client. La Figure 1.1 schématise une vision globale des différents acteurs dans une chaîne logistique (fournisseur, producteur, assembleur, distributeur ou client).

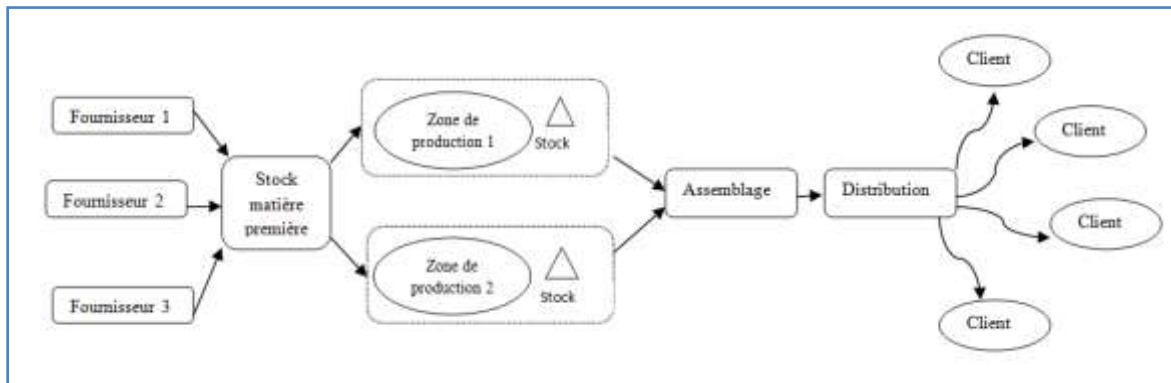


Figure 1.1. Représentation d'une chaîne logistique

De nombreux auteurs définissent une chaîne logistique comme un ensemble de maillons qui échangent des flux physiques, des flux d'informations et des flux financiers. En particulier, Stevens (1989) décrit la chaîne logistique comme suit : « a supply chain is a connected series of activities which is concerned with planning, coordinating and controlling materials, parts, and finished goods from supplier to customer. It is concerned with two distinct flows (material and information) through the organization. ». Christopher (1998) définit une chaîne logistique comme un réseau d'acteurs connectés qui cherchent en permanence à gérer, observer et améliorer les flux physiques et d'information afin d'optimiser les performances du réseau pour mieux satisfaire le consommateur final. Un complément peut être apporté à cette définition comme proposé par Tayur et al. (1999) : « une chaîne logistique est une organisation qui peut être constituée de producteurs, de sous-traitants, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens ».

Dans une chaîne logistique la réalisation des produits se fait selon deux modes : soit par une production à la commande soit par une production pour stock.

Dans le cas de production à la commande, on ne constitue pas de stock de sortie à l'avance. Tout ou une partie de la fabrication (et/ou de l'assemblage) est déclenché afin de satisfaire une commande ferme ou une commande actuelle. Les systèmes de production à la commande sont souvent divisés en deux sous-types : assemblage à la commande (assemble-to-order) où les composants existants sont assemblés pour réaliser un produit en réponse à une commande ferme, et une fabrication à la commande (engineer-to-order) où il faut exécuter un travail de conception pour la création de composants ou de produits.

Dans le cas de la production pour stock, on constitue un stock à partir duquel les clients vont être servis. Ce cas s'applique notamment quand on n'a pas d'information fiable sur les

demandes futures. La production pour stock est déclenchée soit pour renouveler la consommation du stock soit pour satisfaire les demandes anticipées. La production pour stock est un mode de production souvent utilisé pour les produits standardisés.

Beamon (1998) représente la chaîne logistique comme deux processus concaténés : un processus amont qui concerne la partie production et réalisation de produits et qui couvre l'approvisionnement en matières premières, la planification de la production et enfin la gestion des stocks, et un processus aval qui assure le cheminement des produits depuis l'entreprise jusqu'aux détaillants et aux clients finaux. Dans la partie aval, on s'occupe principalement de la distribution ainsi que du transport et de la livraison des produits finis.

Selon Poirel et Bonet (2006), la chaîne logistique comporte un ensemble d'opérations physiques de gestion des approvisionnements, de gestion de la production et de la distribution, réalisées par un certain nombre de services dans une logique de coordination entre l'offre et la demande.

Depuis une vingtaine d'années, la notion de réseau d'entreprises tend à généraliser, ou même à remplacer, la notion de chaîne logistique. Butera (1991) définit leur réseau d'entreprises comme étant « un ensemble d'entreprises en interaction les unes avec les autres pour un objectif commun, ce qui se traduit peut se traduire sous la forme de simples accords ».

Taratynava, (2009) définit un réseau d'entreprises comme un ensemble d'entreprises entrant en communication pour répondre à un besoin précis. Un réseau d'entreprises se différencie d'une chaîne logistique car il ne vise pas nécessairement le processus d'élaboration d'un produit donné. Il peut concerner un ensemble de produits ou se limiter, par exemple, à l'échange de bonnes pratiques. Un réseau d'entreprises virtuel est considéré comme une organisation temporaire dans laquelle un ensemble de partenaires industriels forme un réseau collaboratif pour atteindre un objectif précis auquel ils n'auraient pu répondre seuls. Goranson et al., (1997) définissent l'entreprise virtuelle comme étant « une agrégation temporelle de compétences et de ressources qui collaborent ensemble pour un besoin spécifique tel une opportunité d'affaires ».

Le mouvement des flux physiques (marchandises, matières premières etc.) est déclenché à partir de flux d'informations provenant de l'aval sous forme de commandes-clients. Dans ce contexte, l'organisation industrielle se concentre exclusivement sur le produit à fournir, qui doit répondre aux spécifications des concepteurs et à la satisfaction des demandeurs. Ceci a permis aux activités commerciales de jouer un rôle très important dans les économies de marché. Le commerce a connu de grandes évolutions, et les distributeurs, souvent qualifiés d'intermédiaires, sont devenus des acteurs à part entières du système économique.

Ce mémoire de thèse concerne plus particulièrement l'optimisation de la distribution. En effet, la coordination entre ses différents acteurs, engageant des savoir-faire spécialisés, est devenue un défi crucial pour améliorer la gestion de production des entreprises et pour valoriser au mieux la production des entreprises, des chaînes logistiques et des réseaux d'entreprises.

1.3 Le processus de distribution

La distribution est le processus qui permet de mettre à disposition du consommateur final les biens et les services. Il consiste à utiliser et à gérer avec cohérence des moyens de stockage, de manutention et de transport pour que les biens et services soient disponibles au bon endroit, en quantité suffisante, au bon moment et dans les meilleures conditions pour la vente. Cette définition permet de distinguer l'acte de distribution, que l'on peut découper en opérations et les opérateurs qui sont les acteurs qui les prennent en charge. Les acteurs économiques de la distribution interagissent avec les producteurs et les consommateurs. Les prix de vente peuvent être fixés, selon le cas, par le producteur, le grossiste ou le distributeur. Selon Dioux et Dupuis (2009) la distribution est le chemin suivi par un produit ou un service, depuis la production jusqu'à la consommation, en regroupant l'ensemble des personnes ou des entreprises que l'on appelle les intermédiaires. Ces derniers constituent les éléments de base du canal de distribution de l'entreprise.

Schématiquement, la distribution fait intervenir les notions de canal de distribution, de circuit de distribution, et de réseau de distribution. Ces notions vont maintenant être détaillées.

1.3.1 Les canaux de distribution

Un canal de distribution peut être défini comme une voie ou une conduite d'acheminement de biens et de services entre le producteur et le consommateur, avec ou sans intermédiaires.

Chaque canal de distribution est constitué par des ensembles de magasins ou des méthodes de vente d'un même type. Les canaux de distribution sont au nombre de trois et se caractérisent par leur longueur comme le schématise la Figure 1.2 :

1.3.1.1 Canal ultra court : il n'existe aucun intermédiaire entre le producteur et le consommateur. Nous pouvons citer comme exemple le cas d'un agriculteur qui vend directement sa marchandise au consommateur.

1.3.1.2 Canal court : Il n'y a qu'un seul intermédiaire entre le producteur et le consommateur (Producteur -Détaillant - Consommateur). C'est par exemple le cas de la vente de vêtements dans une boutique.

1.3.1.3 Canal long : le nombre d'intermédiaires est égal ou supérieur à deux (producteur - grossiste - détaillant), comme le cas de la vente de médicaments dans les pharmacies.

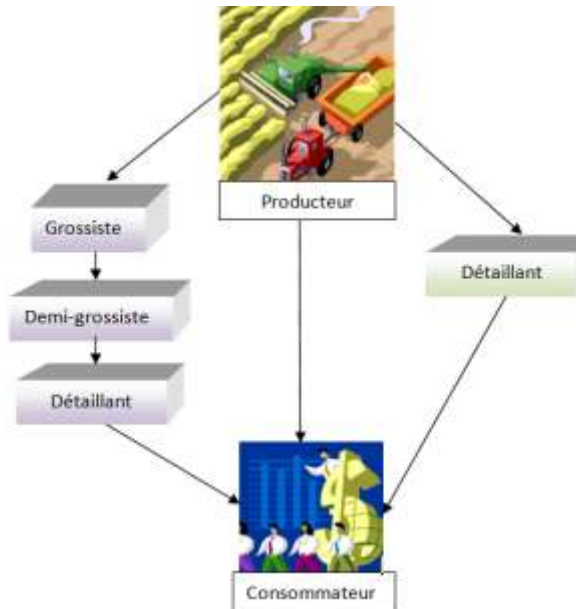


Figure 1.2. Les types de canaux de distribution

Le choix de tel ou tel type de canal est fonction de nombreux critères comme le marché cible (entreprises ou particuliers), l'appareil commercial à mettre en œuvre (magasins ou catalogues) et la réglementation.

Les critères de choix d'un canal de vente sont principalement sa capacité à assurer une couverture maximale du marché, la compétence et le dynamisme des membres du canal, la capacité d'adaptation des agents, la capacité à contrôler les intermédiaires et les coûts de diffusion et de transaction avec les intermédiaires.

1.3.2 Le circuit de distribution

Le circuit de distribution réunit un ensemble de canaux permettant d'écouler une catégorie de biens entre le producteur et le consommateur. Il est notamment caractérisé par sa longueur, et par le nombre des acteurs intermédiaires différents qui y participent.

1.3.3 Réseau de distribution

Le réseau de distribution est composé de l'ensemble des acteurs distributeurs permettant d'acheminer les produits ou services du producteur aux consommateurs (voir Figure 1.3).

Un réseau de distribution comprend généralement les acheteurs, les grossistes et semi-grossistes et les détaillants. Le plus souvent, le réseau de distribution est constitué de points de ventes, mais il peut également être formé par des commerciaux ou des individus ayant différents statuts. Ce réseau joue un rôle majeur pour la pérennité de l'entreprise sur le marché.

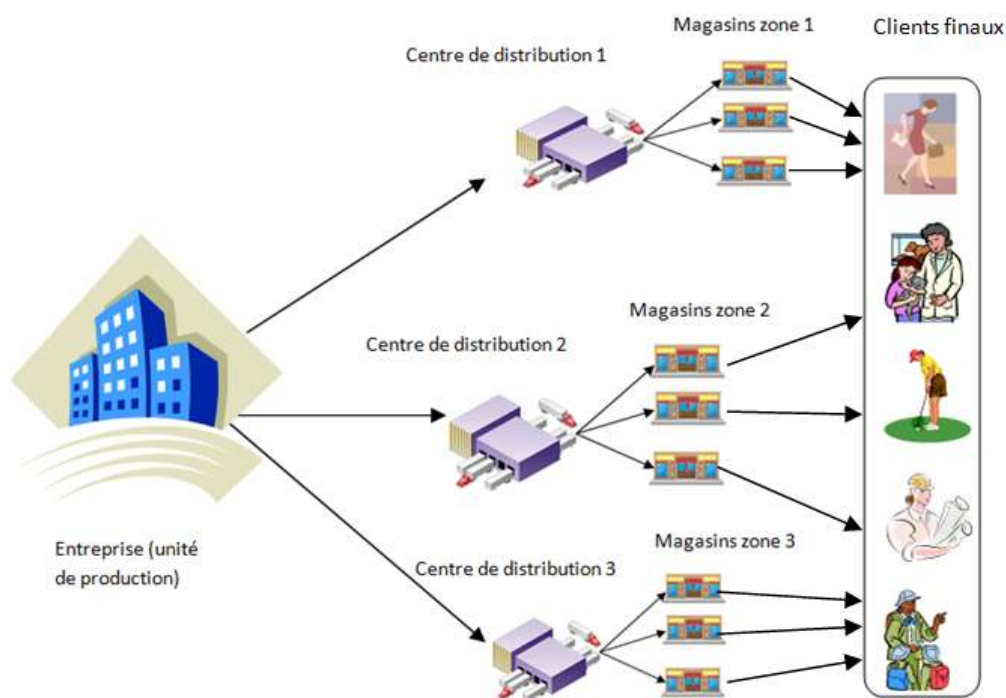


Figure 1.3. Schéma illustratif d'un réseau de distribution

Tout transfert de marchandise nécessite un moyen de transport (routier, ferroviaire, aérien), un délai et un coût d'approvisionnement, celui-ci pouvant être proportionnel à la quantité transportée ou fixe par chargement.

Les centres de distribution peuvent être définis comme des plates-formes, qui reçoivent de la marchandise depuis l'unité de production et des groupes de commandes de la part des clients. On remarque bien que le centre de distribution a un double rôle. D'une part il doit satisfaire les demandes générées par les différentes zones de demande qui lui sont affectées, d'autre part il doit gérer les approvisionnements auprès de l'entreprise. Dans notre étude, nous envisageons aussi la possibilité de distribuer des produits entre différents centres de distribution. En particulier, la pratique de transfert de marchandises entre centres de

distribution s'est beaucoup développée dernièrement avec l'apparition de la technique de transbordement ou « transshipment ».

Au niveau des zones de demandes (grossistes ou détaillants), les demandes sont regroupées par ensembles de personnes et par zones, puis transmises au centre de distribution. De ce fait, la zone de demande assure la communication entre le marché et l'unité de production et un des enjeux importants auxquels elle est confrontée est de garantir un certain niveau de service.

Le processus de distribution fait apparaître une concurrence entre producteurs et distributeurs pour lesquels l'enjeu est de maîtriser les filières d'approvisionnement. Cette concurrence conduit chacun des acteurs à déterminer des techniques pour maîtriser les maillons stratégiques et contrôler les différentes phases intervenant depuis la conception jusqu'à la vente au consommateur final. Ceci a incité certains fabricants à créer leur propre réseau de distribution ou à gérer eux-mêmes les niveaux de stocks des distributeurs par la pratique contractuelle du VMI (Vendor Managed Inventory), (Çetinkaya and Lee, 2000).

Dans notre travail, le fournisseur et les centres de distribution sont supposés être des acteurs indépendants et le problème posé consiste à optimiser les commandes de ces centres au fournisseur et les échanges de produits entre centres. Ce contexte est proche de celui de Génin (2003), qui définit un réseau de distribution comme un réseau d'organisations où les fonctions sont géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la rapidité des processus et des activités entre les fournisseurs et les clients. Cette dispersion entraîne des besoins de coopération entre ces sites pour améliorer, d'une façon globale, le fonctionnement de ce réseau.

1.4 Les échanges interentreprises

Un échange interentreprises est une opération économique par laquelle une entreprise transmet la propriété d'un bien, d'un groupe de biens ou délivre un service à une autre entreprise et perçoit en retour un autre bien ou un service.

Ces échanges peuvent s'organiser librement, entre des entreprises qui se connaissent au sein d'un même secteur, d'une même zone géographique, de la même compagnie, ou qui entretiennent déjà des relations commerciales traditionnelles entre elles.

En pratique, il existe aussi une forme indirecte d'échanges, dans le cas où un vendeur ne trouve pas dans son environnement des partenaires pour échanger ses produits. Il peut alors faire appel à des négociateurs professionnels, qui agissent en tant que courtiers et qui réalisent des ponts entre les acteurs demandeurs et les acteurs fournisseurs. Les échanges peuvent aussi se faire par l'intermédiaire de plates-formes d'échanges dématérialisées.

Dans la littérature, plusieurs chercheurs ont focalisé leurs travaux sur les échanges entre vendeurs. Tagaras et Cohen (1992), Tagaras, (1999) ont étudié le cas où le détaillant accepte de transférer tout son stock disponible en cas de besoin. Evers (2001) analyse le transfert de produit effectué en respectant un niveau de stock visé (par exemple, stock de sécurité, point de commande).

Archibald et al. (2009) ont proposé une étude dans laquelle la décision d'un détaillant dépend non seulement du niveau de stock courant mais aussi du temps alloué avant le prochain approvisionnement. Evers (2001) a étudié si le détaillant doit ou non satisfaire la totalité de la demande. Needham et Evers (1998) ont montré que le coût de rupture a de lourdes conséquences sur les bénéfices d'échange.

Evers (2001) a examiné les hypothèses d'une politique "tout ou rien" et le coût de transfert unitaire pour déterminer si l'échange doit être réalisé ou pas. Pour un système de stockage à n détaillants avec une demande par détaillant, Xu et al. (2003) ont ajouté un troisième paramètre à la politique classique (s, Q) , à savoir un seuil (H) qui contrôle le niveau d'échange sortant, et au dessous duquel le détaillant peut choisir de ne pas partager son stock avec le détaillant en rupture. Hu et al. (2005) ont examiné la politique (R, s, S) dans un système de stock multi détaillants où la décision est centralisée avec des demandes différées. Ils ont considéré des délais d'approvisionnements et des délais d'échanges négligeables, ainsi que les coûts de produit identiques chez tous les détaillants. Les auteurs ont construit un modèle basé sur la programmation dynamique afin de proposer une politique (s, S) approchée pour le système global, sans se préoccuper du stock au niveau de chaque détaillant.

Kurkreja et Schmidt (2005) ont considéré la politique (s, S) à révision permanente dans un système de stock multi détaillants avec demandes différées. Les auteurs ont déterminé, pour chaque détaillant, les paramètres (s, S) qui minimisent le coût total tout en minimisant le taux de service.

Types de réseaux de distribution et complexité

a) Selon la forme de commerce

La forme du commerce dans un réseau de distribution peut être définie par deux architectures différentes : la première architecture est représentée par un acheminement direct, la seconde architecture est utilisée pour le cas multi-étapes.

Dans l'acheminement direct, le commerce au niveau d'un réseau de distribution est représenté par le transfert de produits ou marchandises depuis les usines ou les unités de production vers

les points de vente/clients. Dans ce cas, des produits sont achetés par des grossistes ou des semi-grossistes pour être revendus au consommateur final.

Dans le cas où le réseau de distribution est multi étapes, le produit doit passer par plusieurs intermédiaires pour arriver à la destination finale. L'acheminement du produit est effectué par une succession de transports depuis l'usine, en passant d'abord vers des centres de distributions/entrepôts, puis vers les points de vente avant d'arriver aux clients finaux. Dans ce cas les grossistes achètent les produits en grande quantité aux fabricants pour les revendre en quantités réduites aux détaillants. Dans la grande distribution, les grossistes sont remplacés par les centrales d'achat.

b) Selon le mode de transport

L'organisation du transport et de la distribution consiste à prévoir et à fixer dans le temps les quantités, les dates et les lieux d'acheminement des marchandises. Dans ce contexte, plusieurs problématiques interviennent. Les problèmes de tournées de véhicules (vehicle routing problems) (Maffioli 2003, Laporte et al. 2002), visent à déterminer les meilleures routes possibles pour visiter les différents points de collecte et/ou de distribution, et à déterminer les modes de transport à utiliser et les quantités des produits à transporter aux clients de façon à minimiser le coût global des transports et des stocks. Selon Hugos (2003), les coûts de transport et de distribution constituent le tiers des coûts opérationnels globaux d'une chaîne logistique, ce qui rend leur optimisation un défi majeur pour les entreprises.

Pour transporter de la marchandise d'un point à un autre, il est souvent possible d'utiliser successivement plusieurs modes de transport. Le choix des modes de transport est souvent guidé par les coûts engendrés, le temps alloué et la sécurité mise en œuvre. Quelquefois, des contraintes géographiques, climatiques, l'urgence de la commande ou la nature des produits obligent à utiliser un mode de transport plutôt qu'un autre. Ainsi, le transport au sein d'un réseau de distribution peut être monomodal ou multimodal. Dans le cas où le transport est monomodal, le transfert de marchandises d'un point à un autre peut se faire par plusieurs véhicules de même type.

Pour un transport multimodal, l'expédition de la marchandise d'un point à un autre est effectuée en utilisant plusieurs moyens de transport tels que le mode terrestre et le mode aérien. La planification des transports permet d'effectuer à l'avance les ajustements et les équilibrages nécessaires compte tenu de la capacité réelle de transport disponible et du taux de remplissage des véhicules.

c) Selon la nature du système de demande

Au niveau d'un centre de distribution, les demandes pour un produit peuvent provenir de clients externes, de détaillants ou d'autres centres de distribution. Dans ce dernier cas, on pourra parler de demande interne.

En fonction de l'information disponible, la demande est considérée comme déterministe ou aléatoire. Les demandes au fil du temps peuvent être stationnaires ou non-stationnaires. Dans le cas d'une demande stationnaire, ses caractéristiques sont les mêmes dans le temps. Si elle est déterministe, son niveau reste constant, si elle est aléatoire, la loi suivie est la même et conserve les mêmes valeurs pour ses paramètres caractéristiques. Dans le cas d'une demande non-stationnaire, les caractéristiques de la demande évoluent au cours du temps pour une raison quelconque (saisonnalité de la demande, etc.).

Selon les cas, l'information sur les demandes futures peut être obtenue sous la forme de commandes fermes ou de commandes incertaines.

Les commandes fermes représentent une information fiable sur la demande, tant sur les quantités que sur les dates. Les commandes fermes sont définitives et ne comportent pas d'incertitude, c'est-à-dire qu'elles représentent un engagement de la part des clients. En l'absence des commandes fermes, l'incertitude sur la demande peut porter sur les quantités et/ou sur les dates.

L'information sur les demandes futures peut aussi être obtenue sous formes de prévisions. Les prévisions représentent une information incertaine sur la demande, qui peuvent dépendre de différents facteurs :

Les fluctuations du marché. Le marché est aléatoire par nature. Ses fluctuations sont très sensibles à la saisonnalité, aux phénomènes de modes et aux événements nationaux et internationaux.

L'incertitude sur la demande interne. L'incertitude sur la demande interne peut être entraînée par l'émergence de nouveaux acteurs dans le réseau de distribution, les difficultés de la mise en place de processus fiables de coordination et de collaboration ainsi que l'absence de structures contractuelles rigides liant les partenaires.

La courte durée de vie des produits. La durée de vie d'un produit peut être contrainte par sa nature périssable ou par des sauts technologiques, qui rendent les produits vite obsolètes.

L'information sur les demandes futures (sous forme de commandes fermes ou de prévisions) est moins fiable quand on s'éloigne dans le temps. S'il n'y a pas d'information disponible sur les demandes futures, la demande est souvent modélisée en utilisant des lois probabilistes construites soit à partir d'informations sur le passé soit à partir de probabilités à priori.

1.5 L'approvisionnement des centres de distribution

Les systèmes d'approvisionnement sont souvent confrontés aux aléas qui peuvent être liés au retard de réception des produits, à des problèmes de transport, etc. Les différents aléas dans les systèmes d'approvisionnement sont souvent traduits sous forme d'incertitude sur le délai d'obtention du produit et/ou la quantité approvisionnée. L'incertitude sur la quantité approvisionnée peut aussi permettre de représenter le risque que la proportion de produits défectueux.

Les coûts associés à l'approvisionnement des produits sont constitués des prix de ces produits et des coûts de commandes. Dans le cas d'un approvisionnement externe, le coût de commande comporte des frais d'administration, de transport, de réception, etc. Le coût de commande est souvent indépendant de la quantité commandée. C'est pourquoi les économies d'échelle jouent un rôle important dans le choix de la politique d'approvisionnement. L'évaluation des coûts de commande peut conduire à l'achat de certains produits par lots de plusieurs unités plutôt que par unité. L'achat par lots de grande quantité peut aussi être incité par les rabais sur quantité.

1.6 Les politiques de gestion de stocks dans un réseau de distribution

Un stock peut être défini par un ensemble de marchandises ou d'articles accumulés pour des utilisations ultérieures plus ou moins proches et qui permet d'alimenter les consommateurs au fur et à mesure de leurs besoins. Il correspond à une quantité physique de produits finis ou semi-finis prêts à la vente.

Selon Tersin (1988), la gestion de stocks est un domaine qui s'intéresse principalement à observer et analyser les flux entrant, internes et sortant de l'entreprise dans le but de chercher l'équilibre entre les productions et les consommations dans un environnement incertain.

Les stocks ont un rôle de régulation du processus de production. Ils permettent de découpler la demande d'un produit de sa production, d'absorber le délai d'approvisionnement, de lisser les charges liées à l'approvisionnement face aux saisonnalités de la demande (stocks saisonniers), de faire face aux incertitudes liées au processus d'approvisionnement et aux commandes imprévues, d'utiliser les économies d'échelle liées au système d'approvisionnement (commande par lot), etc. Cependant les stocks présentent certains

inconvenients comme l'occupation d'espace, les risques de dégradation ou de perte, l'immobilisation de moyens financiers importants, etc. Il faut donc trouver un compromis permettant d'obtenir les avantages recherchés pour un coût minimal. Tel est l'un des objectifs permanents de la gestion des stocks.

Les politiques de gestion des stocks sont destinées à déterminer quelles sont les meilleures décisions de réapprovisionnement en dates et en quantités. Dans leurs travaux sur la gestion des stocks, Clark et Scarf (1960) ont défini une fonction de coûts pour chaque entrepôt et pour le transport entre les entrepôts. La minimisation de cette fonction leur a permis de déterminer la politique de stock optimale. Il s'agit de la politique de stock nominal (en anglais « base stock policy »).

Bessler et Veinott (1966) ont élargi le travail de Clark et Scarf (1960) à un système composé d'un dépôt et plusieurs détaillants. Sherbrooke (1968) a étudié la politique de commande optimale pour le modèle à deux étages contenant un entrepôt et un détaillant. Selon le travail bibliographique fait par Gumus et Guneri (2007), différentes méthodes ont été utilisées pour traiter le problème de stockage multi-échelons : la modélisation analytique, la théorie des jeux, la simulation, les réseaux de Petri, les chaînes de Markov.

Le but principal de la gestion de stock est donc de maximiser la rentabilité d'une entreprise en minimisant le coût de stockage tout en satisfaisant les exigences de service client (Lambert et al., 1998). L'excès de stock entraîne des dépenses inutiles liées aux coûts de stockage et d'obsolescence, tandis que trop peu de stock cause des ruptures et perturbe la production.

1.6.1 Coût de stockage

La présence de stocks engendre des coûts de stockage liés à l'immobilisation d'un capital, à l'occupation d'un espace de stockage, aux équipements et aux frais permettant d'assurer le stockage dans de bonnes conditions.

1.6.2 Coût de rupture

L'insuffisance du stock provoque une rupture de stock qui qualifie le fait qu'un stock n'est pas en mesure de satisfaire immédiatement la totalité de la demande qui s'adresse à lui. Les conséquences de cette rupture sont différentes selon la nature de la demande.

Pour un centre de vente, la demande non satisfaite peut être perdue (on parle de ventes manquées) ou reportée (on parle de ventes retardées). Dans le cas de ventes manquées, le coût associé est le manque à gagner de non fourniture d'une unité. Dans le cas de demandes

retardées, le coût de rupture ne supprime pas la marge bénéficiaire car la vente sera réalisée plus tard. Cependant ce coût de rupture influe sur le coût administratif et le coût commercial accordé pour livraisons tardives. Notons qu'il est souvent difficile d'estimer le coût de rupture de manière fiable. Dans ces cas, il est courant de modéliser l'objectif en termes de qualité de service sous forme d'une contrainte sur le niveau de service.

Dans un système de stockage, la quantité en stock peut être contrôlée à tout instant par une politique d'inventaire permanent (continuous review policy) ou de façon périodique par une politique d'inventaire périodique (periodic review policy). Le système d'information à inventaire permanent est, en général, plus coûteux que celui à inventaire périodique mais permet de réagir rapidement à des situations inattendues. L'inventaire périodique permet de détecter les détériorations, les erreurs, ou les vols en particulier dans le cas de produits à rotation très lente. Le système d'information approprié est installé selon les caractéristiques du système de stockage et de la politique de pilotage de flux appliquée.

La mesure de l'état du stock utilisée varie aussi selon les caractéristiques du système de stockage et de la politique de pilotage de flux appliquée. Dans certaines situations, les décisions d'approvisionnement ne peuvent pas être basées uniquement sur le niveau de stock. Il peut être nécessaire de prendre en compte les approvisionnements attendus correspondant aux commandes d'approvisionnement déjà passées. Les variables mises en jeu sont alors les positions de stocks. Dans les systèmes multi-étages, on utilise souvent la notion de stock échelon, introduite par Clark et Scarf (1960), qui intègre le stock de l'étage considéré et des étages situés en aval.

L'objectif du stock est la satisfaction de la demande. Cette demande est généralement aléatoire, c'est à dire que le gestionnaire n'a pas d'information exacte sur les flux de sortie qu'il devra livrer dans le futur. Pour dimensionner un stock, on est donc conduit à effectuer des prévisions pour connaître la demande à court terme.

1.6.3 Gestion de stocks en environnement aléatoire

Pour représenter des demandes aléatoires, on fait souvent appel à des lois de probabilité. Celles les plus couramment utilisées pour modéliser la demande en gestion de stock sont la loi Gaussienne (ou loi normale), la loi de Poisson et des lois de Poisson composées. Afin de contrôler la qualité de service, le gérant préfère alors définir une règle de gestion en termes de probabilité de rupture. Le niveau de service est évoqué lorsque la demande n'est pas connue avec certitude. Il peut être défini comme étant "la probabilité qu'une demande ou un ensemble de demandes soit satisfait", (appelé aussi taux de service ou fill rate). En pratique, plusieurs

mesures de niveau de service sont utilisées (Baglin et al. 2001). Parmi les définitions acceptées nous avons les deux suivantes :

Le niveau de service correspond au pourcentage de cycles des commandes pour lesquels la demande est satisfaite. Il mesure la probabilité de ne pas avoir de rupture de stock entre deux commandes successives. Il s'agit donc du nombre de périodes de réapprovisionnement sans ruptures, divisé par le nombre total de périodes de réapprovisionnement. Dans ce cas, on ne s'intéresse pas au niveau de la rupture, qu'il soit fort ou faible ; la seule préoccupation est de savoir s'il a lieu ou pas, et combien de fois. Le complémentaire à 100 % du niveau de service est appelé risque de rupture de stock.

Le niveau de service est égal au pourcentage indiquant le nombre des produits livrés sans rupture ; dans ce cas, le volume de produits en rupture est pris en considération. Il est calculé en fonction du nombre de produits livrés immédiatement sans rupture et le nombre total de produits à livrer.

Dans notre travail, nous adoptons la dernière définition, en caractérisant pour chaque centre l'excès éventuel de la demande par rapport à l'offre. Ainsi, dans le paragraphe suivant, nous présentons un modèle de base en univers aléatoire, il s'agit du modèle de vendeur de journaux, sur lequel s'appuiera notre étude.

1.6.4 Le problème du vendeur de journaux

Il existe des situations où la période de couverture du stock est imposée par la nature du produit. En pratique, on peut trouver des produits dont la durée de vie est trop courte pour qu'on puisse se réapprovisionner plusieurs fois pendant la période de vente. C'est notamment le cas dans la vente des journaux, les magazines et les produits touristiques. La fréquence de réapprovisionnement est contraignante et fixée, donc son coût l'est aussi.

Le problème du vendeur de journaux (en anglais. Newsboy ou Newsvendor Problem) est un problème classique de gestion des stocks dans une chaîne logistique. Dans ce modèle, la demande est incertaine et modélisée par une variable aléatoire avec une distribution connue (Dupont 1998), (Porteus, 1990). L'exemple couramment présenté est celui d'un kiosque où des journaux sont vendus. Un marchand de journaux achète chaque jour une quantité fixe d'un certain quotidien. Si la demande est supérieure à son stock, il constate un manque à gagner. Réciproquement, tout exemplaire non vendu engendre une perte. L'objectif est d'augmenter le gain total et donc de trouver la quantité optimale à avoir en stock. Face à une demande aléatoire, il s'agit de trouver un compromis entre un approvisionnement important dont la probabilité de satisfaire la demande est grande, mais qui expose l'administrateur à un

risque d'inventus, et un approvisionnement faible qui réduit le coût des inventus mais conduit à un risque de rupture de stock, ce qui engendre un manque à gagner.

1.6.5 Application du modèle

Le problème de base considéré dans ce travail est celui de la gestion des stocks entre deux niveaux d'une chaîne de distribution : un entrepôt central et plusieurs grossistes, ou entre un grossiste et plusieurs détaillants. Dans ce cadre, l'étude traite plus particulièrement du problème de gestion des stocks chez les vendeurs, sur la base d'une période de livraison commune avec une demande incertaine. Les commandes passées par chaque vendeur au fournisseur sont supposées périodiques avec la même périodicité et la même date de commande pour tous. Le système est donc supposé synchronisé, et le problème posé à chaque détaillant sur chaque période de référence est analogue au problème dit de « vendeur de journaux ».

1.7 Les principales notations des modèles sont répertoriées ci-dessous.

y^0 : est la quantité initiale de marchandises stockée dans un centre de distribution.

c_i : est le coût unitaire de transport de depuis l'entrepôt central vers un centre.

y_i : est la quantité de réapprovisionnement du centre à l'entrepôt central,

x_i : est la demande au centre de distribution.

h : est le coût unitaire des stocks excédentaires.

r : est le coût unitaire de rupture stock

w : est le prix unitaire d'achat payé par le centre à l'entrepôt central,

ρ est le prix unitaire de vente d'un produit, avec, $\rho > w$

η est le prix unitaire de la revente du centre de distribution vers l'entrepôt central, avec, $\eta < w$

1.7.1 Calcul des quantités économiques de reapprovisionnement

Le modèle du «vendeur de journaux » repose sur l'hypothèse d'une demande aléatoire "x " sur la période de référence. Les demandes pour chaque vendeur sont supposées indépendantes et réparties suivant des lois de probabilité dont les fonctions de répartition sont notées F(y).

Dans le cas particulier, souvent étudié, où chaque loi de demande est gaussienne, notée N(m, σ^2) et indépendante des autres, alors

$$F(y) = \Phi\left(\frac{y - m}{\sigma}\right) \quad (1.1)$$

Où Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite, qui prend la valeur :

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.2)$$

On suppose que, pour tous les vendeurs, les coûts d'achats, de stockage et de rupture de stocks sont proportionnels aux quantités, avec comme coûts unitaires respectifs c , h , r tels que $h < c < r$.

Pour chaque vendeur, la fonction de coût à minimiser dépend de la quantité de recombêtement, y et de l'état de stock initial y^0 . Elle s'écrit :

$$I = E[\rho \min(y, x)] - (w + c)(y - y^0) + E[(\eta - h) \max(y - x, 0)] - E[r \max(x - y, 0)] \quad (1.3)$$

L'inventaire initial peut être supposé nul pour effacer un terme constant dans la fonction de profit $y^0 = 0$. Ensuite, (1.3) peut être réécrite comme suit :

$$I = \rho E[\min(y, x)] - (w + c)y + E[(\eta - h) \max(y - x, 0)] - E[r \max(x - y, 0)] \quad (1.4)$$

On peut noter que $\min(y, x) = x - \max(x - y, 0)$. La fonction de profit à maximiser prend alors la forme suivante :

$$I = \rho \bar{x} - (w + c)y - (h - \eta)E[\max(y - x, 0)] - (r + \rho)E[\max(x - y, 0)] \quad (1.5)$$

puis, en utilisant $y = E[x - \max(x - y, 0)] + E[\max(y - x, 0)]$, la fonction I prend la forme suivante :

$$I = (\rho - w - c)\bar{x} - (c + h - \eta + w)E[\max(y - x, 0)] - (r + \rho - w - c)E[\max(x - y, 0)] \quad (1.6)$$

la quantité de commande optimale pour le centre i , peut être obtenue par la solution d'un problème de minimisation des coûts:

$$\underset{y \geq 0}{\text{Minimize}} C(y) = \{coE[\max(y - x, 0)] + cuE[\max(x - y, 0)]\} \quad (1.7)$$

avec un coût de stockage $co = h - \eta + w + c$, et un coût de rupture: $cu = r + \rho - w - c$. La quantité de commande optimale est donnée par :

$$y^A = F^{-1}\left(\frac{cu}{co + cu}\right) \quad (1.8)$$

Ceci implique :

$$y^* = F^{-1}\left(\frac{r + \rho - w - c}{r + \rho + h - \eta}\right) \quad (1.9)$$

et

$$I = (\rho - w - c)\bar{x} - cu\bar{x} + (cu + co)\int_0^{y^*} x dF(x) = (r + \rho + h - \eta)\int_0^{y^*} x dF(x) - r\bar{x} \quad (1.10)$$

1.7.2 Quantités de rechargement associées à une qualité de service

Il est à noter que la formule (1.10) peut être généralisée au cas où les paramètres de coût ne sont pas connus avec précision ou sont jugés secondaires vis-à-vis de la fiabilité du système. En effet, si l'on impose la probabilité maximale de rejet d'une demande, notée ε , qui correspond à une qualité de service $1 - \varepsilon$, alors la condition (1.9) peut être remplacée par (1.11) :

$$y^* = F^{-1}(1 - \varepsilon) \quad (1.11)$$

La formule (1.9) peut alors être considérée comme un choix particulier de qualité de service, justifié par le calcul économique.

Pour des demandes gaussiennes indépendantes, la formule (1.11) conduit au niveau de commande du vendeur donné par :

$$y_i^* = m_i + \sigma_i \Phi^{-1}(1 - \varepsilon) \quad (1.12)$$

En supposant que pour chaque vendeurs la qualité de service est $1 - \varepsilon$, le quantité totale de rechargement d'un vendeur sur la période de référence, notée QTRD (pour Quantité Totale de Rechargement Décentralisé) est :

$$QTRD_i = m_i + \sigma_i \Phi^{-1}(1 - \varepsilon). \quad (1.13)$$

Le coût total associé à ce rechargement est noté CTRD. Il vaut :

$$CTRD_i = c_i m_i + c_i \sigma_i \Phi^{-1}(1 - \varepsilon) \quad (1.14)$$

1.8 La coopération dans un réseau de distribution

Dans un réseau de distribution, l'objectif de chaque centre est d'augmenter sa performance par rapport à ses critères locaux. L'optimisation individuelle est souvent effectuée d'une façon compétitive et conduit parfois à une perte d'efficacité pour l'ensemble du réseau.

La coopération dans un réseau est une démarche collective dirigée vers un but commun où le partage des informations et des moyens aide à la prise de décision.

La notion de coopération entre les entreprises peut être analysée suivant plusieurs approches. Par exemple pour les économistes, la coopération est définie comme « une méthode économique par laquelle des personnes ayant des intérêts communs constituent une entreprise où les droits de chacun à la gestion sont égaux et où le profit est réparti entre les différents acteurs au sein d'une activité ». Plusieurs définitions de la coopération sont données dans la littérature. De Terssac et Maggi (1996), Boujut et al. (2002) et Erschler (1996) définissent la coopération comme « une action collective par laquelle des sujets contribuent à un même résultat ».

Dans les relations interentreprises, une démarche coopérative est motivée lorsque les entreprises partagent des objectifs et des intérêts communs, et/ou des ressources (Campagne et Sénéchal, 2002). Plusieurs aspects composent la coopération inter-entreprise. Certains auteurs Camalot (2000), Monteiro (2001) définissent la coopération relativement à trois fonctions : la coordination, la collaboration et la codécision.

La coordination vise à synchroniser les actions dans le temps. Elle cherche à gérer la cohérence des actions individuelles par rapport à l'ensemble des activités. Selon Queré, (2002), la coopération, outre les autres aspects (collaboration et codécision), doit intégrer le besoin de faciliter la coordination d'activités étroitement complémentaires pour la réalisation des processus. La planification des tâches est, par exemple, une action de coordination.

Pour Malone et Crowston (1994), la coordination consiste à gérer une situation de dépendance entre les activités des différentes entreprises au sein de la chaîne logistique. Claveau et Neubert (2005) étudient la nature de la dépendance des ressources afin de définir le type de coordination interentreprise et proposer des dispositifs pour gérer ces dépendances.

La collaboration implique de travailler ensemble à l'exécution d'une action pour produire un résultat final. Selon Boujut et al. (2002), la collaboration suppose le partage d'informations à l'intérieur d'un groupe donné, avec ou sans prise de décision collective.

Si plusieurs acteurs collaborent en vue de prendre des décisions, on parlera de codécision. Par exemple ; un réseau de distribution visent à trouver un compromis acceptable entre les objectifs locaux des différents centres de décisions.

Dans le contexte de coordination entre les membres d'un réseau de distribution nous focalisons notre réflexion sur l'échange d'informations et l'échange de marchandises. Cette politique de coordination consiste à structurer et gérer les différentes formes d'échange entre les différents partenaires du même réseau. En effet, il arrive que certains acteurs dans un

réseau possède plus d'avantage que d'autres par exemple : la situation géographique et la distance depuis le fournisseur principal, ou bien l'importance de la commercialisation de la région, etc .

Cette collaboration est instaurée au sein d'un réseau de distribution dans le but d'augmenter la performance globale (bénéfice sur les ventes, précision de l'information sur la gestion des stocks, résolution de plusieurs problèmes comme les temps d'attente des commandes, la satisfaction des clients, etc). La collaboration augmente le taux de réussite d'une équipe mais peut être moins appréciée par certains maillons dans le réseau de distribution qui seront localement perdants et n'auront en général pas intérêt à faire partie d'une collaboration.

Cette situation peut alors mener à utiliser la théorie des jeux qui vise à trouver un compromis acceptable entre les partenaires d'un réseau de distribution et qui peut être exprimée sous forme d'un partage de gain adéquat, qui maximise le bénéfice chez chaque vendeur.

Dans le prochain chapitre nous présenterons l'état de l'art sur la coordination et la collaboration du réseau de distribution analysée à l'aide de la théorie des jeux.

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques concepts concernant les réseaux de distributions. Plus particulièrement nous avons cité divers travaux classiques réalisés sur l'approvisionnement et la gestion des stocks dans les réseaux de distribution et leur impact sur la performance globale.

Nous nous sommes intéressés à présenter les différentes techniques et outils qui assurent la communication et la collaboration entre les acteurs du même réseau pour améliorer leurs performances par rapport à leurs critères locaux.

D'une façon générale, l'optimisation individuelle est effectuée selon un mode concurrentiel qui conduit parfois à une perte d'efficacité pour le réseau et pour les entreprises qui le composent.

La théorie des jeux permet de prévoir les comportements d'acteurs dans différents contextes d'interaction et d'analyser les situations dans lesquelles la décision d'un acteur a une influence sur la fonction d'utilité des autres acteurs du jeu.

Dans le chapitre suivant, nous allons donner un aperçu sur les applications et les concepts de la théorie des jeux dans le domaine de la gestion des stocks.

Chapitre 2 : Approches d'analyse par la théorie des jeux

| | |
|---|----|
| 2.1 Introduction | 33 |
| 2.2 Analyse de comportements stratégiques dans un réseau de distribution | 34 |
| 2.2.1 La stratégie d'entreprise..... | 34 |
| 2.2.2 Les choix stratégiques | 34 |
| 2.2.3 La stratégie dans les réseaux de distribution | 35 |
| 2.3 Quelques rappels sur la Théorie des Jeux | 35 |
| 2.3.1 Les jeux non-coopératifs | 36 |
| 2.3.2 Équilibre de Nash | 37 |
| 2.3.2 Les jeux coopératifs | 38 |
| 2.3.3 Jeux biformes | 42 |
| 2.4 Centralisation ou décentralisation des stocks dans les réseaux de distribution..... | 42 |
| 2.4.1 Gestion centralisée des stocks étudiée par la théorie des jeux | 42 |
| 2.4.2 Le problème de gestion des stocks dans un réseau de vendeurs | 43 |
| 2.4.3 L'approche par jeu biforme..... | 43 |
| 2.4.4 L'approche par jeu coopératif | 44 |
| 2.5 Revue de la littérature..... | 45 |
| 2.6 Conclusion..... | 47 |

2.1 Introduction

Un problème rencontré par de nombreuses entreprises, en particulier dans les réseaux de distribution est le choix de la politique d'approvisionnement, où chaque acteur cherche principalement à optimiser son bénéfice par rapport à ses critères économiques. Cette vision objective des acteurs peut être traduite par une optimisation individuelle qui est pratiquée d'une façon concurrentielle, ce qui peut conduire à une perte considérable de gains pour le réseau dans son ensemble.

Dans cette perspective nous allons proposer de trouver une solution de coordination entre les différents acteurs du même réseau pour améliorer les performances globales, sans pour autant de réduire la satisfaction de chacun des partenaires. L'outil privilégié pour cette analyse est la théorie des jeux qui permet d'étudier le comportement d'un acteur et son influence sur la fonction d'utilité des autres acteurs du jeu. En effet, la théorie des jeux permet de prédire les comportements d'acteurs rationnels dans différentes situations : de conflit, de dominance ou de coopération.

La théorie des jeux est perçue comme un langage, une technique, une méthode analytique qui sert à modéliser le comportement de joueurs rationnels qui protègent leurs intérêts dans des situations bien déterminées. Myerson (1986) décrit la théorie des jeux comme étant l'étude des situations de conflit et de coopération par des modèles mathématiques entre des preneurs de décisions intelligents et rationnels. Les buts sont de caractériser les acteurs, les tactiques possibles et la décision à prendre face au comportement de leurs concurrents.

Dans ce travail nous avons privilégié la théorie des jeux coopératifs comme l'un des axes susceptibles d'enrichir la recherche en management stratégique.

Dans ce chapitre, nous commençons par une présentation du comportement stratégique dans les réseaux de distribution. Ensuite, nous présentons quelques rappels sur les principaux concepts de la théorie des jeux appliqués aux domaines de conception et de gestion industrielle. La troisième section est consacrée à la présentation certains types de jeux pertinents pour l'étude des réseaux de distribution : les jeux non coopératifs, les jeux coopératifs et les jeux biformes. La quatrième section est dédiée à la présentation des problèmes voisins par rapport à notre cadre d'études.

2.2 Analyse de comportements stratégiques dans un réseau de distribution

2.2.1 La stratégie d'entreprise

L'entreprise se concrétise à travers des objectifs qui assurent sa rentabilité et son développement. Pour ce faire, elle doit choisir des stratégies et des plans d'action en utilisant des moyens et des techniques par lesquels elle cherche à atteindre ses buts.

La réussite ou la pérennité d'une entreprise repose principalement sur le choix des stratégies adoptées par l'organisme, qui dépend de trois facteurs essentiels. Aux ressources et aux compétences est souvent associé un troisième élément qui est l'équilibre entre les ressources.

Dans ce contexte, plusieurs travaux de la littérature ont été consacrés à la stratégie d'entreprise. Parmi eux, on peut citer : Chandler (1962) qui a fourni les premiers travaux sur l'évolution de la « stratégie d'entreprise » et qui précise qu'une stratégie consiste à déterminer les objectifs et les buts fondamentaux à long terme d'une organisation, puis à choisir les modes d'action et d'allocation de ressources qui lui permettront d'atteindre ces buts, ces objectifs. Ansoff, (1965) a étudié les décisions stratégiques et opérationnelles de quelques grandes entreprises. Learned et al., (1965) ont défini le modèle « SWOT » (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) où le décideur prend en compte dans sa décision, l'environnement externe et les forces concurrentielles comme principaux déterminants de la rentabilité des entreprises. Par la suite viennent les travaux de Schelling (1986) dans lesquels il met l'accent sur l'interdépendance des décisions des adversaires dans une stratégie. Chacun des joueurs doit définir son propre comportement en fonction de celui de ses vis-à-vis. L'auteur définit le concept de « stratégie » par référence aux voies et moyens permettant de forcer la décision de l'adversaire en agissant sur sa perception des conséquences de ses propres actions.

Shubik (1964) adopte une définition similaire puisqu'il considère que « la stratégie, en compétition industrielle, peut contenir des actions conditionnelles où les choix dépendent des décisions des entreprises rivales. Les possibilités sont trop nombreuses, en pratique, pour être expliquées, mais théoriquement, une stratégie spécifie l'action que devrait choisir un joueur pour chaque mouvement possible qu'il peut prévoir chez son adversaire ».

2.2.2 Les choix stratégiques

Le choix de stratégie dans un réseau d'entreprises peut se faire selon deux modes : soit d'une façon concurrentielle, soit d'une manière coopérative. Dans le premier mode, chaque maillon fixe des règles pour une stratégie individuelle qui favorise sa situation et son bénéfice local en prenant en considération les stratégies des autres membres et leur impact sur l'ensemble des

participants. En revanche, lorsque la décision est coopérative, le choix de stratégie se fait en groupe en prenant en compte les interactions stratégiques entre individus, car les décisions prises par un individu ont des conséquences sur les autres individus. Dans ce contexte, l'utilisation de la théorie des jeux porte surtout a priori sur les relations qu'entretient une entreprise avec son environnement. Comme le précise Guerrien (1997), « la prise de décision d'une entreprise – qu'elle porte sur des achats, des ventes, l'investissement – doit tenir compte des interactions entre les décisions des joueurs ».

2.2.3 La stratégie dans les réseaux de distribution

D'une façon simplifiée, une stratégie gagnante dans un réseau de distribution consiste souvent à proposer les mêmes offres et les mêmes services que les concurrents, mais à un prix inférieur. Pour cela, le réseau essaye souvent à réduire les coûts de stockage qui reste un paramètre difficile à estimer et délicat à maîtriser. Faut-il centraliser les stocks pour diminuer le coût de stockage, avec le risque d'augmenter les coûts de stockage et les retards de livraison, ou bien opter pour une structure décentralisée qui augmente les risques de stocks en excès et de rupture? Face à ce dilemme, chaque vendeur d'un réseau peut analyser les comportements des autres et choisir sa propre stratégie.

2.3 Quelques rappels sur la Théorie des Jeux

La théorie des jeux traite principalement des problèmes d'optimisation interactive multi-acteur. Elle est appliquée à un ensemble de participants en interaction, appelés joueurs. Le sort de chaque joueur dépend non seulement des décisions qu'il prend, mais également des décisions prises par les autres joueurs. Dans ce contexte, un joueur choisit ses propres plans d'actions, en prenant en considération ce que font les autres. Cette théorie permet d'analyser et de comprendre le comportement des parties prenantes qui interagissent dans le processus de prise de décision. Gambarelli et Owen (2004) ont mentionné que chaque acteur doit prendre des décisions différentes selon les situations : soit coopérer avec d'autres partenaires, soit être en relation de dominance avec d'autres acteurs, soit encore négocier.

Le choix de stratégie dans un jeu peut se faire en deux ou plusieurs étapes dans lesquelles les joueurs choisissent leurs stratégies successivement dans un ordre prédéterminé. Ce type de jeux est connu sous les noms de jeu sous forme extensive ou jeu dynamique. Dans notre étude, nous nous limitons à l'étude de jeux statiques et de jeux en deux étapes. Un jeu est dit statique lorsque les joueurs choisissent simultanément leurs actions, et reçoivent ensuite leurs gains respectifs. Dans un jeu en deux étapes, les joueurs jouent en deux coups successifs, soient individuellement, soit collectivement.

Les principaux fondateurs de la théorie des jeux moderne sont John von Neumann et Oskar Morgenstern (1944). Ces auteurs ont étudié deux concepts de base relatifs aux comportements sociaux : la coopération et le conflit (ou compétition).

D'une façon schématique, on peut considérer que la théorie des jeux se scinde en deux branches distinctes : la théorie des jeux non-coopératifs et la théorie des jeux coopératifs.

Dans les jeux non-coopératifs, le modèle s'intéresse aux ensembles d'actions disponibles pour tous les joueurs. La question-clé est de déterminer à l'avance ce qui se passe quand des agents interagissent Camerer (2003).

En revanche, la théorie des jeux coopératifs va au-delà des stratégies individuelles de chaque joueur en se focalisant sur les différents accords possibles et les revenus associés aux différentes combinaisons des joueurs Brandenburger (2007).

Avant d'analyser les propriétés des jeux directement utiles dans cette thèse, qui concerne principalement les jeux coopératifs et les jeux biformes, il est nécessaire de présenter quelques propriétés des jeux non-coopératifs.

2.3.1 Les jeux non-coopératifs

Dans un jeu non coopératif, « chaque joueur est doté d'un ensemble d'actions, et le résultat du jeu – c'est-à-dire la valeur de la fonction objectif de chacun des joueurs – dépend des actions choisies par tous les joueurs » (Tirole, 1983).

Du point de vue de l'échange d'informations, nous supposons que les joueurs connaissent le nombre de participant, qui ils sont, et que chaque acteur peut se faire une idée précise des stratégies choisies par les autres joueurs, ou susceptibles d'être choisies. Les décisions sont prises en fonction de la situation observée, qui dépend en particulier des choix des autres joueurs. Pour cela, on admet que les agents sont rationnels, c'est-à-dire que chaque acteur cherche à maximiser son bénéfice en même temps qu'il choisit sa stratégie et qu'il doit prendre les meilleures décisions pour lui-même, sachant que les autres joueurs font de même.

Un jeu sous forme stratégique est un jeu statique non-coopératif. Il cherche à prévoir les comportements des acteurs individuels au sein d'un groupe ou d'un ensemble de personnes qui sont entièrement libres de leurs décisions au moment où ils font leurs choix. Chaque acteur doit tenir compte des autres car ils influencent le résultat mais il y a des intérêts conflictuels sur le résultat souhaitable. Autrement dit, un jeu stratégique est un ensemble de stratégies décrivant les actions de chaque joueur qui tentent d'arriver à la meilleure satisfaction pour eux dans toutes les situations possibles du jeu. Ce type de jeu est donc bien adapté à l'analyse des

effets des décisions décentralisées sur les performances des plateformes et des systèmes industriels.

L'application de la théorie des jeux à un problème donné permet de clarifier une situation conflictuelle et de trouver une solution. Pour déterminer cette solution, il est nécessaire d'étudier l'équilibre du jeu.

Un équilibre est une combinaison de stratégies qui maximise localement les gains de chaque joueur. Une fois que l'équilibre est atteint, chaque acteur conserve sa stratégie car, toutes choses égales par ailleurs, il n'a pas intérêt à la changer. Dans le cas d'un équilibre unique, la solution de la situation conflictuelle peut être prévue d'une manière précise. Toutefois, il existe des cas où il y a des équilibres multiples. Parfois, il n'existe même pas d'équilibre. Les différentes notions d'équilibre en théorie des jeux stratégiques ont reçu une attention particulière du mathématicien John Nash qui a donné plusieurs définitions sur l'équilibre d'un jeu.

2.3.2 Équilibre de Nash

L'équilibre de Nash est une situation dans laquelle chaque joueur choisit sa meilleure stratégie compte tenu des stratégies des autres, et les stratégies retenues par chaque joueur sont mutuellement similaires. Par exemple si le joueur 1 a intérêt à jouer A quand le joueur 2 joue B, et que le joueur 2 a intérêt à jouer B lorsque le joueur 1 joue A, alors la situation où A et B sont joués est un équilibre de Nash pour le jeu à 2 joueurs A et B.

John Nash (1951) a proposé un concept de solution stable dans laquelle aucun des joueurs ne peut trouver de meilleure stratégie de jeu, compte tenu des stratégies adoptées par ses adversaires. Dans ce cas, les individus font un choix localement optimal, qui maximise leur utilité compte tenu de la stratégie des autres. Chaque joueur fait le même raisonnement compte tenu de la stratégie des autres joueurs. Cette solution s'appelle « équilibre de Nash ».

D'après la définition de Tirole (1983), « un ensemble d'actions forme un équilibre de Nash si l'action de chaque joueur est la meilleure pour ce joueur, étant données les actions des autres joueurs ».

Lorsqu'un équilibre de Nash est atteint dans un jeu, personne n'a intérêt à en dévier unilatéralement.

soit X_i l'ensemble des stratégies disponible, $\pi_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ est la fonction des paiements, le joueur i cherche une stratégie $x_i^* \in X_i$ qui maximise sa fonction de paiement $\pi_i(x_i, x_{-i})$ compte

tenu de la stratégie des autres joueurs, notée x_{-i} . Une combinaison de stratégies $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ est un équilibre de Nash si :

$$\pi_i(x_i^*, x_{-i}^*) \geq \pi_i(x_i, x_{-i}^*) \quad \forall x_i \in X_i, i = 1, \dots, n \quad (2.1)$$

ou également si x_i^* est la meilleure réponse à x_{-i}^* pour tous les joueurs $i \in N$:

$$x_i^* \in x_i^*(x_{-i}^*) = \operatorname{argmax}_{x_i \in X_i} \pi_i(x_i, x_{-i}^*) \quad (2.2)$$

La recherche de l'équilibre de Nash consiste à trouver un point fixe qui englobe d'intersection entre les fonctions de meilleures réponses de tous les joueurs. Ainsi, l'existence d'un équilibre de Nash découle des théorèmes de point fixe. L'équilibre de Nash est obtenu par résolution d'un système de N conditions de premier ordre relatives aux fonctions de paiement de différents joueurs.

2.3.2 Les jeux coopératifs

La théorie des jeux coopératifs structure la collaboration entre différents joueurs du même ensemble pour la création de valeur et propose des solutions pour le partage de cette valeur entre les joueurs de cet ensemble. Le caractère coopératif au sein d'une coalition de joueurs les conduit à maximiser le gain total à partager. Le gain engendré par la coopération est aussi appelé « utilité transférable » car il est supposé parfaitement transférable et chaque joueur l'évalue de la même manière.

Dans un jeu coopératif, tous les joueurs sont considérés comme des négociateurs actifs dans la formation de coalition et aucun des joueurs ne possède à priori plus de pouvoir que les autres. Dans ce genre de situation, le problème qui se pose est double : le premier problème concerne la formation des coalitions par coopération d'un groupe de joueurs, qui tentent par exemple d'optimiser l'utilisation de leurs moyens et ressources pour déterminer la politique optimale de chaque coalition. Parallèlement, le deuxième problème qui se pose est de savoir comment partager la valeur créée entre les acteurs de la même coalition. Dans ce cadre, chaque acteur n'est généralement intéressé par l'appartenance à une coalition qu'à la condition d'améliorer son gain ou son espérance de gain. Ainsi, tout partage incorrect du gain total engendré par la coalition provoque la rupture de cette coalition. Pour ces raisons, la théorie des jeux coopératifs repose sur des concepts liés aux politiques d'allocation des gains, comme le concept de cœur, qui sera utilisé dans ce travail, l'appartenance au cœur correspondant à un partage acceptable par tous les joueurs.

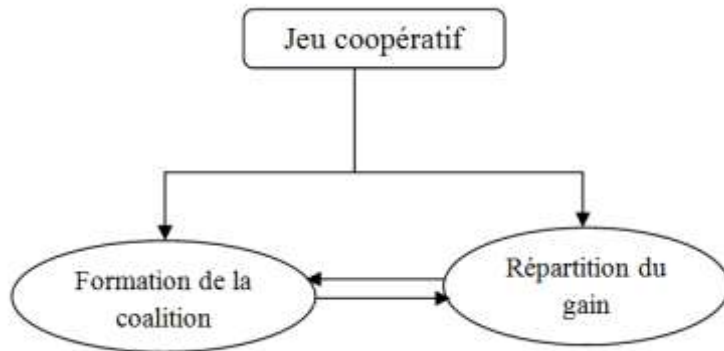


Figure 2.1 Les deux problèmes d'un jeu coopératif

Le problème de formation de coalition et le problème d'allocation du gain (aussi appelé bénéfice ou profit) sont dépendants et étroitement liés. D'une part, l'allocation finale attribuée aux joueurs dépend de la coalition formée, et d'autre part, le choix de la coalition dépend des gains alloués à chaque joueur au sein de cette coalition.

Du point de vue applicatif, l'intérêt principal des jeux coopératifs est dans la création de valeur grâce à la coopération entre les acteurs (joueurs). En particulier dans les réseaux de distribution, la théorie des jeux coopératifs permet de trouver des solutions performantes liées à la répartition de la force de vente, à la gestion de stock, à l'approvisionnement, aux problèmes d'allocation des moyens de transport, etc.

Dans un jeu coopératif, les N joueurs s'associent pour former des coalitions $S \in P(N)$, afin de maximiser leur utilité ou leur bénéfice. Dans ce cadre les joueurs peuvent partager des ressources afin de créer une synergie.

Chaque coalition $S \in P(N)$ est un sous-ensemble non-vide de joueurs avec :

$$P(N) = \{S \mid S \subseteq N \text{ et } S \neq \emptyset\} \quad (2.3)$$

et la grande coalition est formée par tous les joueurs qui appartiennent au réseau, N .

- **La fonction caractéristique**

La fonction caractéristique $v(S)$ spécifie la valeur maximale que les membres de la coalition S peuvent créer en utilisant les ressources et les actions jointes de tous les joueurs dans cette coalition.

La valeur $v(S)$ représente aussi le revenu maximal que les membres de la coalition S peuvent percevoir s'ils coopèrent indépendamment des joueurs extérieurs à S . L'adhésion d'un joueur au sein d'une coalition a pour but de maximiser sa fonction d'utilité qui représente le gain qu'il

peut obtenir. En supposant que l'utilité de tous les joueurs est non négative, la valeur minimale qu'un joueur peut garantir est zéro. Dans ce cas, chaque joueur est confronté à un seul choix : soit appartenir ou non à une coalition. S'il est prêt à appartenir à la coalition S , le joueur i reçoit une dotation $v_i(S) \geq 0$ telle que:

$$\sum_{i \in S} v_i(S) = v(S) \quad (2.4)$$

Une coalition gagnante assure à ses membres le gain maximal v^* tel que :

$$v^* = \max_{S \subset N} v(S) \quad (2.5)$$

Pour un jeu coopératif à utilité transférable, le vecteur de gain des joueurs correspondant à une politique d'allocation est noté :

$$u = (u_1, u_2, \dots, u_n) = (u_i)_{i \in N}$$

La composante (u_i) symbolise le gain alloué au joueur i avec $i = 1, \dots, n$.

Une allocation de gains $(u_i)_{i \in N}$ est dite efficace si et seulement si:

$$\sum_{i=1}^n u_i = v^* \quad (2.6)$$

Sous cette condition, le gain total est optimisé et entièrement alloué à tous les joueurs.

Une allocation d'utilité $(u_i)_{i \in N}$ est rationnelle si et seulement si:

$$\sum_{i \in S} u_i \geq v(S) \quad \forall S \subset N \quad (2.7)$$

La condition de rationalité indique qu'il n'existe pas de coalition telle que tous ses membres puissent obtenir un gain supérieur à la somme des gains alloués.

Tel que défini par Gillies (1959), le cœur (noyau) d'un jeu coopératif contient toutes les allocations d'utilité $(u_i)_{i \in N}$ satisfaisant les conditions d'efficacité et de rationalité. Sous une politique d'allocation appartenant au cœur du jeu, aucun joueur n'a intérêt à quitter unilatéralement une coalition dont la valeur est la valeur maximale v^* .

Le cœur d'un jeu contient toutes les allocations d'utilité satisfaisant les conditions (2.6) et (2.7). Mais dans certains jeux, le cœur est vide et dans d'autres il peut être très large. Dans le cas où le cœur est large, le gain de chaque joueur reste indéterminé et dépend d'un processus

de négociation résiduel. Par ailleurs quand le cœur est vide, aucune coalition n'est stable et il est difficile de déterminer les coalitions qui seront formées et les allocations d'utilités qui seront adoptées par les joueurs. Ainsi, la détermination du cœur d'un jeu permet de mesurer la stabilité des coalitions, les degrés de liberté pour la négociation et informe sur la fragilité d'un accord éventuel.

Parmi les autres notions de base de la théorie des jeux coopératifs qui sont utiles à notre étude, on peut mentionner la sur-additivité et la convexité, notions définies comme suit.

- **Sur-additivité :**

Un jeu coopératif $\{\mathcal{N}, v\}$ est super-additif si $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$ pour toutes les coalitions S et T, avec $S \cap T = \emptyset$.

On peut noter que si le jeu coopératif $\{\mathcal{N}, v\}$ est super-additif, donc la grande coalition réalise la fonction de valeur maximale :

$$v(\mathcal{N}) = v^* = \max_{S \subseteq \mathcal{N}} v(S) \quad (2.8)$$

- **Convexité**

Un jeu UT (N, v) est convexe si la fonction caractéristique v satisfait la condition suivante :

$$v(S \cup T) \geq v(S) + v(T) - v(S \cap T) \quad (2.9)$$

Comme alternative à (2.8), Shapley(1971) propose une formulation équivalente de la convexité :

$$v(S \cup \{i\}) - v(S) \leq v(T \cup \{i\}) - v(T) \quad (2.10)$$

Pour chaque $i \in N$ et chaque S et T telle que $S \subseteq T \subseteq N \setminus \{i\}$

Dans la théorie des jeux coopératifs, les actions spécifiques des acteurs individuels ne sont pas spécifiées. Réciproquement, la théorie des jeux non-coopératifs se focalise sur les actions spécifiques des acteurs individuels. Plus récemment, une forme hybride de jeu qui mélange les aspects des jeux non-coopératifs et des jeux coopératifs a été proposée sous le nom de jeu biforme (Brandenburger et Stuart, 2007).

2.3.3 Jeux biformes

Brandenburger et Stuart (2007) définissent un jeu biforme comme un jeu hybride qui combine les aspects non-coopératifs et coopératifs dans le même modèle qui se déroule en deux étapes. La première étape analyse l'approche non-coopérative afin de décrire les mouvements et les réflexions stratégiques des différents joueurs impliqués dans le jeu. Les résultats des choix stratégiques de la première étape du jeu facilitent la prise de décision à la deuxième étape du jeu, que l'on étudie dans le cadre d'un jeu coopératif. Cette étape du jeu permet de mieux valoriser les choix stratégiques qui sont l'objet de la première étape du jeu biforme.

Dans ce contexte, le modèle biforme permet de décrire des situations dans lesquelles les partenaires d'un réseau doivent prendre des décisions stratégiques dans un environnement compétitif et de déterminer le profit espéré de chaque joueur. Le modèle du jeu biforme peut être schématisé par la figure 2.2 suivante :

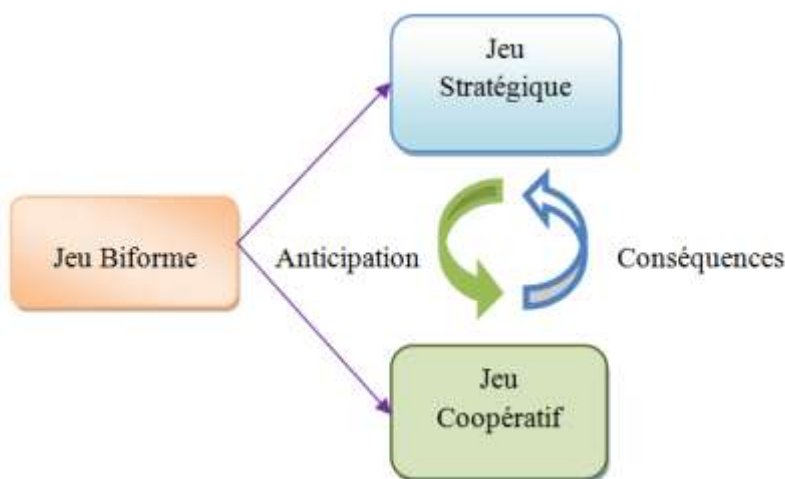


Figure 2.2 Le modèle du jeu biforme

2.4 Centralisation ou décentralisation des stocks dans les réseaux de distribution

2.4.1 Gestion centralisée des stocks étudiée par la théorie des jeux

Depuis quelques années, de nombreux chercheurs (Eppen, 1979; Chen et Lin, 1989; Chakravarty, 1985; Bastian, 1986; Jackson et al., 1985; Roundy, 1985) ont utilisé la théorie des jeux coopératifs pour analyser des problèmes de gestion des stocks dans les réseaux de distribution. Plus spécifiquement, leurs travaux portent sur les avantages des groupements physiques et/ou de la centralisation des décisions concernant la gestion des stocks. Les auteurs ont montré que l'utilisation de systèmes totalement centralisés est plus efficace que celle des

systemes décentralisés, tant pour la minimisation des coûts totaux du système que pour la maximisation des bénéfices.

Les travaux développés dans ce mémoire s'appuient sur les résultats précédents, tout en gardant les avantages de flexibilité et de réactivité des structures décentralisées. La particularité qui consiste à utiliser la théorie des jeux coopératifs réside principalement dans le respect de la situation d'autonomie décisionnelle des centres de vente, tout en adoptant des stratégies décisionnelles communes.

2.4.2 Le problème de gestion des stocks dans un réseau de vendeurs

Le problème de base considéré dans ce travail est celui de la gestion des stocks entre deux niveaux d'un réseau de distribution : un entrepôt central et plusieurs grossistes, ou entre un grossiste et plusieurs détaillants. Comme le modèle étudié peut s'appliquer aussi bien à un réseau de détaillants face à un grossiste qu'à un réseau de grossistes face à un entrepôt central, nous parlerons par la suite d'un fournisseur et d'un réseau de vendeurs, de façon à couvrir les deux cas. Dans ce cadre, l'étude traite plus particulièrement le problème de gestion des stocks chez les vendeurs, sur la base d'une période de livraison commune. Cette période constitue un horizon décisionnel sur lequel la demande est incertaine au départ, mais devient connue avec certitude au cours de l'horizon.

2.4.3 L'approche par jeu biforme

Le problème décisionnel à deux étapes peut être analysé comme un jeu biforme, tel qu'introduit par Brandenburger et Stuart (2007). Dans le cas étudié, le jeu biforme consiste en l'enchaînement d'un jeu stratégique entre chaque vendeur et le fournisseur, et d'un jeu coopératif pour lequel les produits peuvent être échangés entre les vendeurs de façon à satisfaire au mieux les demandes locales.

Le modèle de jeu biforme a été adopté dans plusieurs travaux de recherche. En particulier, Anupindi et al. (2001) analysent un système constitué de n détaillants. Les détaillants possèdent des installations de stock locales ainsi que des entrepôts centralisés. Dans la première étape du jeu (étape non-coopérative), chaque détaillant détermine son niveau de stock local et réserve un niveau de stock dans chaque entrepôt centralisé. Dans la deuxième étape du jeu (étape coopérative), après les réalisations des demandes, les détaillants peuvent former des coalitions et livrer les produits entre les différentes installations de stock appartenant à cette coalition, dans le but de compenser la demande non-satisfaite d'un détaillant grâce au stock résiduel d'un autre. Les auteurs montrent qu'en général, le cœur de ce jeu biforme n'est pas vide et déterminent une allocation d'utilité qui est dans le cœur.

Comme le montrent Mahjoub et Hennet (2014) dans le cas d'un réseau de fabricants relié à un détaillant, le problème majeur avec des modèles de jeux biforme est qu'ils ne réalisent généralement pas profit global optimal pour l'ensemble du système.

Plambeck et Taylor (2005) analysent un modèle constitué de deux entreprises de fabrication. Dans la première étape, chaque entreprise détermine sa capacité de production et son investissement sur l'innovation, qui influence sa productivité future. Dans la deuxième étape, les entreprises s'associent pour mettre en commun leurs capacités de production résiduelles. Les auteurs ont montré que cette politique est plus profitable que des politiques indépendantes, tout en assurant les investissements sur l'innovation.

Chatain et Zemsky (2007) étudient les relations entre des entreprises de fabrication qui veulent externaliser la gestion de certaines de leurs fonctions et les fournisseurs qui sont leurs prestataires potentiels. Dans la première étape du jeu, les fournisseurs décident de rentrer ou non dans le marché. La deuxième étape est constituée des négociations entre les fournisseurs et les entreprises dans le marché.

Wong et al. (2007) utilisent un jeu biforme dans le contexte de la mise en commun des pièces de rechange. Les entreprises possèdent des stocks des pièces de rechange utilisées dans le cas d'une panne dans le système de production. Dans la première étape du jeu, chaque entreprise décide de son niveau de stock nominal pour le stock local des pièces de rechange. Dans la deuxième étape, les entreprises ont l'option de livrer les pièces de rechange entre elles et négocient donc sur l'allocation des coûts résultants.

2.4.4 L'approche par jeu coopératif

Dans l'approche de jeu coopératif développée dans cette étude, les quantités commandées au fournisseur par chaque vendeur sont conjointement déterminées de façon à maximiser le profit attendu total du système, en tenant compte des échanges de produits qui auront lieu dans la deuxième étape. Comme il est classiquement supposé dans les systèmes client-fournisseur (Arda et Hennet 2006), les décisions de commande de la première étape doivent être prises lorsque la demande est incertaine. C'est la raison pour laquelle le problème d'optimisation globale est un problème d'optimisation stochastique en deux étapes avec recours, comme étudié notamment par Wetz (1983), Rockafellar et Wetz (1991), Birge et Louveaux (1997), Kolomvos (2007).

2.5 Revue de la littérature

Un tour d'horizon des travaux réalisés sur des problèmes voisins du problème posé va nous permettre d'en affiner la représentation.

Il existe plusieurs travaux qui analysent la gestion des stocks dans les réseaux d'entreprises et entre différents niveaux des chaînes logistiques. Cachon et Zipkin (1999) étudient une structure à deux niveaux, constituée d'un détaillant et son fournisseur. La demande finale chez le détaillant est aléatoire et stationnaire. Les deux entreprises ont des délais d'approvisionnement fixes. Les acteurs possèdent des coûts de stockage locaux et ils partagent les coûts de rupture de stock du détaillant. Les auteurs montrent que, même quand le fournisseur partage les coûts de rupture de stock du détaillant, l'équilibre de Nash ne correspond pas à la solution optimale du système centralisé. Ils proposent un contrat de coordination définissant un paiement de transfert linéaire. L'application du contrat proposé ramène le système à ses performances optimales. Cachon (1999a) fournit une analyse détaillée des différents mécanismes de coordination proposés dans ce cadre. Cachon (2001b) analyse la gestion compétitive des stocks dans un système de distribution constitué d'un fournisseur et de n détaillants identiques. La demande arrive chez les détaillants suivant un processus de Poisson. Les délais d'approvisionnement des entreprises sont fixes. La gestion des stocks chez les détaillants est accomplie suivant la politique (R_r, Q_r) et chez le fournisseur suivant la politique (R_w, Q_w) . Chaque acteur détermine son point de commande dans le but de minimiser ses coûts moyens par unité de temps. Dans ce jeu entre les détaillants et le fournisseur, il existe des équilibres multiples qui ne correspondent pas, en général, à la solution optimale du système centralisé. Hartman et al. (2000) étudient un ensemble de n détaillants où chaque détaillant est confronté à une demande aléatoire. Le problème d'optimisation de chaque détaillant a la même forme qu'un modèle de vendeur de journaux. Les auteurs étudient un jeu de centralisation de stocks dans lequel les détaillants ont l'option de centraliser leurs stocks et peuvent partager les bénéfices résultant de cette mise en commun de stocks.

Muller et al. (2002) ont démontré que le cœur du jeu de centralisation de stocks est non vide indépendamment de la fonction de distribution de probabilité des demandes. Hartman et Dror (2003) analysent un problème dans le but de déterminer les relations entre les demandes des détaillants qui maximisent les bénéfices obtenus par la centralisation des stocks. Hartman et Dror (2005) généralisent le modèle de centralisation des stocks en considérant n détaillants avec des coûts de stockage et de rupture différents d'un détaillant à un autre. Caldentey et Wein (2003) étudient les interactions entre un producteur fabriquant des produits finis et son détaillant. Le producteur fonctionne en mode de production à la commande et le détaillant dispose d'un stock de produits finis. Le système de fabrication du producteur est modélisé

comme une file d'attente M/M/1. Les auteurs montrent qu'un équilibre de Nash unique existe quand le producteur contrôle sa capacité de production (son taux moyen de production) et le détaillant son niveau de stock nominal. L'équilibre de Nash ne correspond pas à la solution optimale du système centralisé. Ils proposent un mécanisme de coordination basé sur un paiement de transfert linéaire et montrent que le mécanisme proposé ramène l'équilibre du système décentralisé vers la solution optimale du système centralisé. Kemhhoglu Ziya (2004) a abordé le problème de centralisation des stocks dans un réseau constitué d'un fournisseur et plusieurs détaillants où les demandes chez les détaillants sont stochastiques et indépendantes. Cet auteur a proposé deux possibilités pour le fournisseur : soit il garde des stocks en réserve pour tous les détaillants, soit il centralise les stocks en formant une coalition avec les détaillants. Dans un premier temps, l'auteur a montré que la valeur de Shapley coordonne la chaîne logistique étudiée. Ensuite, il a prouvé que la valeur de Shapley vérifie la propriété de rationalité individuelle. Jemai et Karaesmen (2007) analysent une chaîne logistique à deux niveaux constituée d'un producteur et de son détaillant. La demande finale arrive chez le détaillant selon un processus de Poisson. Le producteur possède un système de fabrication à capacité limitée dans lequel les temps de fabrication successifs des produits sont indépendants et suivent tous une loi exponentielle. Les entreprises disposent de stocks locaux et contrôlent leurs niveaux de stocks nominaux. Le temps de transport entre les installations de stock des entreprises est supposé négligeable. Les auteurs montrent l'existence d'un équilibre de Nash. À l'équilibre, le niveau de stock nominal total du système décentralisé est toujours inférieur à la valeur optimale du niveau de stock nominal total du système centralisé. Un contrat de coordination qui définit un paiement de transfert linéaire entre les acteurs et qui coordonne la chaîne logistique décentralisée est proposé. Cachon (1999b) analyse un système similaire en supposant qu'une demande est perdue si elle n'est pas satisfaite immédiatement. En profitant des concepts de la théorie des jeux coopératifs, Guardiola et al (2007) ont étudié le problème de formation d'une coalition englobant le fournisseur et tous les détaillants qui vendent le même produit sur différents marchés. Une telle alliance permet aux détaillants de bénéficier de réductions de prix de gros accordées par le fournisseur. En contrepartie, le fournisseur reçoit des paiements de transfert égaux de la part de tous les détaillants. Le recours à la théorie des jeux coopératifs a permis de calculer le profit de chaque partenaire dans le réseau.

Lippman et McCardle (1997) analysent un système de distribution avec deux détaillants ainsi qu'un modèle avec n détaillants. Chaque détaillant est confronté à un problème de « vendeur de journaux » et décide de son niveau de stock initial, qui peut aussi être interprété comme sa capacité de production. Les produits en stock sont ensuite utilisés pour satisfaire la demande qui survient sur une seule période. Les prix unitaires de vente sont exogènes et identiques. Par conséquent, la compétition n'est pas sur le prix de vente mais sur la disponibilité du produit.

La demande agrégée du marché, qui est une variable aléatoire continue, est initialement attribuée aux détaillants selon une règle connue par tous les acteurs. Cette première allocation est indépendante des niveaux de stock initiaux des entreprises. Après la première allocation, si la quantité en stock chez un détaillant est inférieure à sa demande, alors une proportion de la demande qui n'est pas satisfaite est distribuée aux autres détaillants.

2.6 Conclusion

La gestion des stocks dans le milieu industriel est un problème auquel sont confrontées de nombreuses entreprises. Dans les réseaux d'entreprises, il faut souvent faire un choix entre la centralisation des stocks par la proposition d'une plateforme commune à tous les partenaires du même réseau ou la décentralisation des stocks où chaque maillon du réseau gère son propre stock local. Pour profiter des avantages des deux techniques tout en limitant leurs inconvénients nous avons eu un recours à la théorie des jeux comme outil d'aide à la décision au niveau des entreprises.

L'objectif principal de ce chapitre était de présenter les principaux concepts de la théorie des Jeux utilisés par la suite. Ainsi, nous avons présenté en particulier certains concepts de la théorie des jeux coopératifs, qui permettent de modéliser le problème de gestion de stock dans un réseau de distribution et fournit des solutions de partage du revenu global entre les partenaires en garantissant la stabilité du réseau.

Plusieurs solutions ont été proposées dans la littérature. Leur but était souvent de proposer des algorithmes efficaces pour élaborer des contrats commerciaux entre les partenaires pour atteindre une solution optimale lors d'une négociation. Notre approche consiste plutôt à mettre en place un processus collaboratif qui permette d'atteindre directement le fonctionnement optimal.

Dans le chapitre 3, nous décrivons l'approche proposée pour un réseau de distribution composé d'un fournisseur et plusieurs détaillants. Nous analysons le modèle avec échange de produits entre détaillants à l'aide des outils de la théorie des jeux coopératifs introduits dans ce chapitre. Nous montrons ensuite que cette approche coopérative permet d'atteindre l'optimum global du système.

Chapitre 3. Modélisation d'un réseau de distribution coopératif et allocation des bénéfices

| | |
|--|----|
| 3.1 Introduction | 49 |
| 3.2 Problématique..... | 49 |
| 3.3 Analyse du problème de gestion des stocks dans un réseau de distribution | 51 |
| 3.3.1 Le problème de décision à deux étapes | 51 |
| 3.3.2 Paramètres et variables de décision..... | 52 |
| 3.3.3 Notations des modèles..... | 53 |
| 3.4 La coopération des vendeurs dans un jeu CS | 54 |
| 3.4.1 La structure du problème..... | 54 |
| 3.4.2 Le problème de recours | 56 |
| 3.4.3 Planification de la gestion globale des stocks dans le réseau des vendeurs | 59 |
| 3.4.4 Le problème global en deux étapes résolu par la méthode des scénarios. | 61 |
| 3.5 Résolution du problème de la gestion des stocks en deux étapes indépendantes..... | 63 |
| 3.5.1 Problème de décision dans chaque centre (optimisation locale)..... | 63 |
| 3.5.1.1 Le modèle de vendeur de journaux | 64 |
| 3.5.1.2 Le modèle de vendeur de journaux avec une distribution normale des demandes | 64 |
| 3.5.1.3 Optimisation de la demande avec des distributions discrètes | 65 |
| 3.5.2 Gestion des échanges entre vendeurs en environnement déterministe | 67 |
| 3.6 Construction d'une politique de tarification dans le cœur du jeu CS | 68 |
| 3.7 Conclusion..... | 71 |

3.1 Introduction

Dans le chapitre 2, nous avons présenté quelques concepts spécifiques et quelques résultats relatifs à la théorie des jeux. L'objectif de ce chapitre est d'appliquer cette théorie au problème de gestion des stocks dans un réseau de distribution et d'obtenir des résultats utilisables en management stratégique dans la gestion des interactions entre les acteurs sur un marché.

3.2 Problématique

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 développer des approches analytiques innovantes pour traiter des problèmes liés aux demandes clients, aux délais d'approvisionnement et à la fiabilité des centres de distribution et des fournisseurs. Dans ce contexte, un problème auquel sont confrontées de nombreuses entreprises, en particulier dans la vente de détail, est celui du choix entre une installation locale de stockage de produits ou la prise de décision est centralisée (un décideur central cherche l'optimum global pour l'ensemble du système), et une installation commune à plusieurs entreprises où chaque acteur de la chaîne cherche chacun à maximiser son optimum local. Le stockage commun permet des économies d'échelle mais il peut occasionner des coûts de transport importants. Quant au stockage local, il est coûteux du point de vue de l'investissement mais bon marché en utilisation. Dans ce contexte nous allons étudier et proposer des installations de stocks locales pouvant aussi être utilisées par les autres entreprises afin de profiter des avantages des deux approches tout en limitant leurs inconvénients. Nous nous situons dans le cadre mono produit, où les marchandises stockées par les distributeurs sont de même type et parfaitement échangeables. Le problème qui se pose alors est double. Il s'agit d'une part pour chaque entreprise, de déterminer sa propre quantité à commander, en fonction de la demande estimée à chaque point de vente. Il s'agit d'autre part d'organiser les échanges de produits entre les entreprises en fonction des demandes locales réelles.

Après avoir décrit à la fois l'usage privé et collective des stocks locaux, nous nous appuyons sur les travaux existants, tels que (Anupindi et al., 2001), (Özen, et al., 2004), (Meca et al., 2005), (Krichen et al., 2011), (Elomri et al., 2012), pour modéliser le problème et le résoudre en développant une méthodologie appropriée, principalement inspirée par la théorie des jeux coopératifs. Le système considérée est constituée d'un entrepôt central qui alimente plusieurs centres de distribution (grossistes) identifiés par leur zones de localisation, où chaque centre est connecté à un ensemble de détaillants. Il couvre le cas d'un réseau de détaillants face à un grossiste ainsi que d'un réseau de grossistes face à un entrepôt central. Chaque vendeur veut maximiser sa fonction de profit par la satisfaction de la demande locale, avec des produits

commandés directement de l'entrepôt et des produits échangés avec d'autres vendeurs. Le problème est formulé comme un problème en deux étapes. La demande est supposée incertaine dans la première étape, lorsque les produits sont commandés auprès du fournisseur, et elle devient connue avec certitude dans la deuxième étape, où les échanges de produits peuvent transiter entre les vendeurs. La collaboration entre les vendeurs peut être une approche très bénéfique pour le réseau global. Cependant, Durugbo et Riedel (2013), ont montré l'intérêt d'évaluer et qualifier l'impact de la collaboration dans les systèmes de distribution.

L'optimisation stochastique avec recours est un cadre de modélisation qui permet de représenter de nombreuses situations réelles dans lesquelles plusieurs décisions doivent être prises sous incertitude, tandis que les quantités d'ajustement peuvent être prises après réalisation des phénomènes aléatoires. Dans certains exemples, le caractère aléatoire provient de l'apparition de perturbations récurrentes, comme dans Ivanov et al. (2014) ou de la variabilité de la durée des tâches en lignes d'assemblage, comme dans Bentaha et al. (2014)

Dans notre modèle, la demande de produits sont d'abord estimée à partir des statistiques. Ensuite, chaque centre reçoit les commandes des clients et le problème le recours est basé sur les états déterministes (niveaux de stocks) et les demandes prévisionnelles. Le problème de décision de la deuxième phase détermine les quantités de produits échangés, après la réalisation de demande. Les deux étapes décisionnelles sont intégrées dans le problème global d'optimisation stochastique où l'espérance de profit global du réseau de vendeurs est la fonction objectif à maximiser. L'interdépendance entre les vendeurs à travers leurs commandes et leurs décisions d'échange de produits génère un problème global qui peut être analysé par un problème de vendeurs de journaux avec recours, comme étudié dans (Gallego et Moon, 1993). En termes de théorie des jeux coopératifs, les joueurs qui appartiennent à la même coalition sont prêts à échanger des produits au stade de recours et anticiper les futurs échanges possibles dans la détermination de la quantité qu'ils ordonnent d'abord auprès du fournisseur. Dans ce jeu, la fonction d'utilité des vendeurs est dite "efficace" si elle atteint le maximum de profit global prévu pour les vendeurs de réseau. La répartition est "collectivement rationnelle" si aucune coalition ne peut fournir de meilleurs résultats à tous ses membres. Une politique de répartition qui est à la fois efficace et rationnelle est dite appartenir au «cœur» du jeu (voir par exemple Osborne et Rubinstein, 1994).

La technique de calcul proposée consiste à résoudre le problème global d'optimisation stochastique en deux étapes par la méthode des scénarios, ce qui permet d'approcher la solution d'un problème stochastique par celle d'un problème déterministe. Nous montrons en particulier que, malgré la possibilité de stocks locaux résiduels et de rupture de stock après le stade des échanges, le problème peut être formulé comme un problème avec recours total, ce

qui garantit l'existence d'une solution optimale. Deux options émergent pour résoudre le problème par la méthode des scénarios : soit la résolution directe du grand programme linéaire, soit sa décomposition et la mise en œuvre d'un algorithme itératif, comme dans la technique dite en forme de L (L-shaped) de Wetz (1983), basée sur la méthode de décomposition de Benders.

Une fois la solution optimale globale obtenue, la question importante est de savoir comment la faire mettre en œuvre par les acteurs du système. En effet, notre cadre de travail diffère d'une approche totalement centralisée, dans lequel le système de distribution serait supposé être une société unique. Il diffère aussi de systèmes de transshipment (Rudi et al., 2001, Paterson et al., 2011) dont l'objectif est de maximiser le profit du fournisseur. Ici, les détaillants sont censés être autonomes et leur objectif commun est de générer une situation "gagnant-gagnant" qui peut être sélectionnée à l'issue d'un processus de négociation entre eux. Selon la théorie des jeux coopératifs, la stabilité d'une coalition de vendeurs ne peut être atteinte que si les bénéfices résultant de la pratique collaborative sont distribués aux acteurs du réseau selon une politique d'allocation qui est à la fois efficace et rationnelle.

Ce chapitre propose de construire une coalition et une politique de prix pour lesquelles la répartition des bénéfices attendus satisfait les propriétés d'efficacité et de rationalité. Par construction, cette approche est globalement plus efficace que l'approche stratégique, dans laquelle les problèmes de maximisation des bénéfices sont résolus par chaque acteur de manière indépendante.

3.3 Analyse du problème de gestion des stocks dans un réseau de distribution

3.3.1 Le problème de décision à deux étapes

Cette étude décrit un problème d'optimisation stochastique dans un réseau distribution composé d'un entrepôt central et plusieurs détaillants. Le problème est formulé comme un problème décisionnel en deux étapes. L'étude traite plus particulièrement le problème de gestion des stocks chez les vendeurs, sur la base d'une période de livraison commune. Cette période constitue un horizon décisionnel sur lequel la demande est incertaine au départ, mais devient connue avec certitude au cours de l'horizon. Les produits peuvent être échangés entre les détaillants s'ils trouvent ces échanges rentables. La question de l'échange de produits entre détaillants est représentée comme un jeu coopératif, appelé jeu de vendeurs coopérants et noté « jeu CS ». On associe à ce jeu coopératif les problèmes de formation de la coalition gagnante, la maximisation du bénéfice global et la politique d'allocation.

Afin de simplifier la modélisation, plusieurs hypothèses sont considérées :

- les quantités de produit initial de tous les centres sont nulles.
- l'entrepôt central est à capacité infinie (peut satisfaire tous les ordres des centres de distribution).
- Tous les produits sont du même type et période de livraison sont les mêmes pour tous les centres de distribution.
- Les commandes des centres de distribution sont satisfaites par l'entrepôt central. Ensuite, lorsque les demandes des clients se réalisent, la demande excédentaire d'un centre peut éventuellement être satisfaite par les autres centres de distribution voisins.
- Plusieurs connexions de transport existent entre les différentes zones de distribution et le coût de transport dépend de la distance parcourue, nous supposons que le coût de transport ne dépend que de la distance parcourue, et qu'il est proportionnel aux quantités transportées.

3.3.2 Paramètres et variables de décision

Les deux étapes du problème d'optimisation peuvent être identifiées par leur configuration d'information et leurs variables de décision.

Les variables de décision de la première étape sont les quantités de réapprovisionnement commandées par les centres de distribution i à l'entrepôt central. Elles sont notées (y_i) , $i \in \mathcal{N}$. Le coût de transport unitaire du centre i est notée c_i .

Si le centre de distribution i décide de ne pas échanger de produits avec un autre centre, la quantité y_i livrée est utilisée pour satisfaire la demande locale x_i . Dans ce cas, plusieurs possibilités peuvent avoir lieu : soit la quantité commandée est égale à la quantité d'approvisionnement, et le centre est en parfaite équilibre. soit la quantité commandée est inférieure à la quantité d'approvisionnement, dans ce cas le centre possède un stock excédentaire de coût de stockage unitaire h_i , soit la quantité commandée est supérieure à la quantité d'approvisionnement et le centre se retrouve en rupture de stock, avec un coût de rupture unitaire r_i .

Chaque article est doté d'un prix d'achat à l'entrepôt noté w , d'un prix de vente (prix du marché) noté ρ , et si le produit n'est pas vendu, il est racheté par l'entrepôt à un prix η , supposé identique pour tous les centres. Pour des raisons de rentabilité économique, ces paramètres doivent vérifier la condition suivante :

$$\rho > w + c_i \quad \forall i \in \mathcal{N} \quad \text{et} \quad w > \eta \quad (3.1)$$

L'objectif de la deuxième étape est d'organiser des échanges de produits entre les centres de distribution, afin de satisfaire les commandes dans les autres centres selon la disponibilité et le besoin. En d'autres termes, la deuxième phase sert à compenser les écarts entre les demandes réelles x_i et les demandes prévisionnelles y_i prévues chez les différents détaillants.

Dans le cas d'une politique à deux étapes, la première phase est prévisionnelle et la deuxième phase vise à compenser les écarts entre les demandes réelles et les demandes prévues chez les différents détaillants. Mais les deux phases ne sont pas indépendantes. On note y_i , les quantités de recombplètement avec $i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N}, j \neq i$ et (π_{ij}, q_{ij}) , les quantités de produits livrées du détaillant i vers le détaillant j . Les coûts de transport entre centres sont supposés symétriques et proportionnels aux quantités transportées, avec des coûts d'échange unitaires notés d_{ij} . Les coûts de transport sont payés par les acheteurs de marchandises, en plus des prix de transfert de ces biens. Ainsi, pour chaque produit transféré du vendeur i au vendeur j où $j \neq i$, le centre récepteur j doit payer le coût $\pi_{ij} + d_{ij}$. Le centre livreur i va recevoir le montant π_{ij} par unité et le montant d_{ij} par unité transportée est donné comme paiement au transporteur.

Les deux étapes ne sont pas indépendantes et elles sont conjointement liées. La variable de décision de la première étape d'un centre doit anticiper la demande locale dans ce centre, mais aussi les échanges futurs entre les centres, qui peuvent avoir lieu au cours de la deuxième étape.

3.3.3 Notations des modèles

Nous résumons les principales notations des modèles comme suit:

$\mathcal{N} = \{1, \dots, n\}$ est l'ensemble des centres, à l'exclusion de l'entrepôt central,

y_i^0 est la quantité initiale de marchandises appartenant à centre i , $i \in \mathcal{N}$

c_i est le coût de transport de depuis l'entrepôt central vers un centrer i .

y_i est la quantité de réapprovisionnement du centre i , à l'entrepôt central,

x_i est la demande au centre de distribution de i , $i \in \mathcal{N}$

h_i est le coût unitaire des stocks excédentaires au centre i ,

r_i est le coût unitaire de rupture stock au centre i ,

w est le prix unitaire d'achat payé par chaque centre a l'entrepôt central,

ρ est le prix unitaire de vente d'un produit, avec, $\rho > w$

η est le prix unitaire de la revente centre i a l'entrepôt central, avec, $\eta < w$

d_{ij} est le coût de transport du centre i vers le centre j ,

q_{ij} est la quantité de marchandises envoyé par le centre i au centre j

π_{ij} est le coût unitaire payé par le centre j pour centrer i , pour un article transférer.

$S \subset \mathcal{N}$ est une coalition des centres,

$v(S)$ est la fonction caractéristique d'une coalition S .

$u(i)$ est le gain du centre i .

3.4 La coopération des vendeurs dans un jeu CS

Considérons le jeu coopératif $\{\mathcal{N}, v\}$ en deux étapes dans le réseau de vendeurs, noté jeu CS.

3.4.1 La structure du problème

Dans la première étape, les vendeurs de la même coalition $S \subset \mathcal{N}$ décident collectivement de leurs quantités de commande $y_i, i \in S$. A ce stade, les demandes sont incertaines. La deuxième étape est déclenchée une fois que les demandes des clients ont été exprimées dans tous les centres. La demande dans un centre $i \in S$ peut être satisfaite par les stocks excédentaires des autres centres de distribution $j \in S, j \neq i$, pour lesquels la demande ne dépasse pas de stock. La quantité q_{ji} est ensuite envoyée par le centre j au centre i , avec un coût de transport unitaire d_{ji} et un prix de transfert unitaire π_{ij} , versés par le centre j .

Dans le jeu CS, les vendeurs collaborent dans la deuxième étape et intègrent les futurs échanges dans leur commande de la première étape. Nous allons étudier ce jeu et nous essayons de déterminer le cœur du jeu et le bénéfice généré par la gestion coopérative des stocks.

Le jeu CS est un jeu coopératif stochastique pour lequel la valeur caractéristique $v(S)$ d'une coalition $S \subset \mathcal{N}$, peut être définie comme le bénéfice optimal attendu pour la coalition S au cours des deux étapes:

$$v(S) = \max_{(y_i \geq 0), ((q_{ij} \geq 0)), ((\pi_{ij}))} I(S) \quad (3.2)$$

avec

$$I(S) = \rho E \left[\sum_{i \in S} \min(y_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}), x_i) \right] + (\eta - h_i) E \left[\sum_{i \in S} \max(y_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) - x_i, 0) \right] \\ - \sum_{i \in S} (w + c_i) y_i - E \left[\sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} [(\pi_{ji} + d_{ji}) q_{ji} - \pi_{ij} q_{ij}] \right] - r_i E \left[\sum_{i \in S} \max(x_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) - y_i, 0) \right] \quad (3.3)$$

Le premier terme de cette expression représente les bénéfices attendus de la vente des produits aux clients, le second terme est la valeur de revente prévue moins les coûts de stockage de produits invendus, le troisième est le coût d'achat des produits de l'entrepôt, la quatrième est le coût prévu des produits échangés entre les vendeurs et le cinquième représente les coûts de rupture lorsque la demande excède la quantité de produits disponibles. Constatant que pour deux nombres a, b , $\min(a, b) = a - \max(a - b, 0)$, l'expression (3.3) peut être réécrite comme suit.

$$\begin{aligned}
I(S) = & \sum_{i \in S} (\rho - w - c_i) y_i - E \left[\sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} [(\pi_{ji} + d_{ji}) q_{ji} - \pi_{ij} q_{ij}] \right] \\
& - E \left[\sum_{i \in S} (h_i + \rho - \eta) \max(y_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) - x_i, 0) \right] - E \left[\sum_{i \in S} r_i \max(x_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) - y_i, 0) \right]
\end{aligned} \tag{3.4}$$

On peut noter que, dans la deuxième partie de $I(S)$, chaque terme $\pi_{ij} q_{ij}$ apparaît deux fois avec des signes opposés. Comme la somme de ces termes s'annule pour les échanges au sein de la coalition S , l'expression $I(S)$ peut être simplifiée comme dans (3.5). On peut noter ainsi que les variables de décision $((\pi_{ij}))$ n'ont aucune influence sur $I(S)$ et sur $v(S)$.

$$\begin{aligned}
I(S) = & \sum_{i \in S} (\rho - w - c_i) y_i - E \left[\sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} \right] \\
& - E \left[\sum_{i \in S} (h_i + \rho - \eta) \max(y_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) - x_i, 0) \right] - E \left[\sum_{i \in S} r_i \max(x_i + \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) - y_i, 0) \right]
\end{aligned} \tag{3.5}$$

La valeur caractéristique de la coalition S est alors obtenue en résolvant le problème notée (P_S) Ce problème consiste à maximiser le bénéfice de la coalition S par choix des variables de décision :

$$v(S) = \max_{\substack{y_i \geq 0, i \in S \\ q_{ij} \geq 0, i \in S, j \in S, j \neq i}} I(S) \tag{P_S}$$

Une méthode efficace pour résoudre ces problèmes consiste à décomposer les variables de décision du problème en deux ensembles : un ensemble concernant les décisions de la première étape et un ensemble de variables de décision, appelé les variables de recours, déterminées dans la deuxième étape, sur la base des demandes révélées.

Les modèles de recours sont des modèles décisionnels à plusieurs étapes, pour lesquels des décisions sont prises séquentiellement, en fonction d'informations qui deviennent plus

précises d'une étape à la suivante. Dans le cas de deux étapes, le problème de la deuxième d'étape est appelée le problème de recours, tel que défini par Birge et Louveaux (1997).

Pour traiter le problème (P_s), il est évident de choisir comme variables de la première étape les quantités de réapprovisionnement (y_i), $i \in \{1, \dots, n\}$. Les variables de la deuxième étape sont les quantités de produits échangées (q_{ij}) ($i \in \{1, \dots, n\}$, $j \in \{1, \dots, n\}$) lorsque les détaillants connaissent leurs demande exactes, \tilde{x}_i et peuvent les comparer avec leurs variables de décision de première étape, (y_i), $i \in \{1, \dots, n\}$.

Le problème (P_s) est un problème d'optimisation stochastique en deux étapes. Lorsque les décisions sur les quantités de réapprovisionnement sont prises, les données de la deuxième étape, x_i , qui sont les demandes réelles des clients, sont encore inconnues. Les décisions de la première étape sont donc prises sur la base de prévisions, prenant souvent la forme de distributions de probabilité. Dans la deuxième étape, les variables du problème deviennent déterministes et sont connues des décideurs. Ainsi, au début de la deuxième étape, les variables x_i sont supposées connues et possèdent des valeurs finies, notées \tilde{x}_i , de telle sorte que le problème de la deuxième étape est complètement déterministe.

Ce type de problème nous impose de déterminer au moment initial les valeurs des variables de décision y_i , qui restent inchangées par la suite. Les variables de la première étape sont considérées comme des variables stratégiques, structurantes. Les décisions de la première étape doivent être prises en respectant des contraintes propres à cette étape. La seconde étape comprend des actions qui peuvent faire intervenir les variables de la première étape afin de satisfaire des contraintes.

Ainsi, les décisions de la première étape ne peuvent pas être remises en question, mais elles sont complétées par les décisions de la seconde étape.

3.4.2 Le problème de recours

La programmation stochastique s'intéresse essentiellement à des problèmes où on doit prendre une décision immédiate et rapide sous présence d'incertitude, sans attendre la réalisation des certaines variables aléatoires. À l'instant initial, on dispose d'informations prévisionnelles sur les événements à venir, par exemple la distribution de probabilité, la moyenne, la variance etc.

Le problème essentiel de la programmation stochastique en deux étapes avec recours, est le choix des décisions de la première étape qui doivent anticiper non seulement les informations incertaines qui arriveront à la deuxième étape, mais aussi les décisions de recours qui seront prises quand les données deviendront connues.

Une étape-clé dans la résolution d'un problème d'optimisation stochastique en deux étapes est de définir et de résoudre le problème de recours, afin d'intégrer une prédiction de sa solution dans la première phase du problème. Dans le cas de problème (P_s), Le problème de recours peut être déduit des hypothèses que la demande dans chaque centre i prend une valeur déterministe noté \tilde{x}_i et que les quantités de réapprovisionnement optimales, notées $(y_i^*), i \in \{1, \dots, n\}$, ont été précédemment implémentées. Le problème de la deuxième étape est d'organiser les échanges entre les vendeurs dans le but d'assurer au mieux la satisfaction des demandes réelles $\tilde{x}_i, \forall i \in \{1, \dots, n\}$.

En supprimant le premier terme de l'expression (3.4) qui ne dépend des variables de décision de la première étape, le problème de recours peut être formulé comme suit :

$$\begin{aligned} \text{Maximiser } RP(S) = & - \sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} - \\ & \sum_{i \in S} (h_i + \rho - \eta) \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) + y_i^* - \tilde{x}_i, 0 \right] - \sum_{i \in S} r_i \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) + \tilde{x}_i - y_i^*, 0 \right]. \end{aligned} \quad (3.6)$$

En changeant tous les signes de $RP(S)$, le problème de recours (3.9) est reformulé comme un problème de minimisation des coûts, notée (R_s):

$$\begin{aligned} \text{Minimiser } R(S) = & \sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} + \\ & \sum_{i \in S} (h_i + \rho - \eta) \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) + y_i^* - \tilde{x}_i, 0 \right] + \sum_{i \in S} r_i \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) + \tilde{x}_i - y_i^*, 0 \right]. \end{aligned} \quad (R_s)$$

Le but principal des échanges entre centres est de réduire les risques de surstock et de rupture pour chaque centre. Toutefois, ces risques ne peuvent pas être annulés. Pour les prendre en compte d'une manière simple et systématique, il est proposé d'ajouter un centre fictif, numéroté $n + 1$, et de faire jouer à ce centre le rôle d'un fournisseur externe fictif pour les centres en rupture de stock et le rôle d'un centre vers lequel les produits excédentaires seront envoyés par les centres ayant des stocks excédentaires.

L'introduction du centre fictif est accompagné par la définition des coûts unitaires de transport qui donnée par l'expression $R(S)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{i,n+1} = h_i + \rho - \eta \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ \text{puisqu'il s'agit d'un stock excédentaire} \\ \\ d_{n+1,i} = r_i \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \\ \text{puisqu'il s'agit d'une demande non satisfaite.} \end{array} \right. \quad (3.7)$$

Il est à noter que les coûts unitaires $d_{i,n+1}$ et $d_{n+1,i}$ doivent tous deux être payés par le centre i .

Les variables qui représentent les quantités transférées vers le centre fictif et les quantités livrées par le centre fictif sont définies pour tout $i \in S$ par;

$$\left\{ \begin{array}{l} q_{i,n+1} = \max\left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) + y_i^* - \tilde{x}_i, 0\right] \\ \\ q_{n+1,i} = \max\left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) + \tilde{x}_i - y_i^*, 0\right] \end{array} \right. \quad (3.8)$$

Par conséquent, elles satisfont l'égalité :

$$q_{i,n+1} - q_{n+1,i} = \sum (q_{ji} - q_{ij}) + y_i^* - \tilde{x}_i \quad (3.9)$$

En ajoutant ces variables, le problème du recours (R_S) prend la forme d'un problème de transport :

$$\begin{array}{l} \text{Minimiser } R(S) = \sum_{i \in S'} \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} \\ \text{sous } \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) = \tilde{x}_i - y_i^* \text{ for } i \in S \text{ avec } q_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in S', j \neq i, \\ \text{avec par définition, } S' = S \cup \{n+1\}. \end{array} \quad (3.10)$$

Les avantages de la formulation (3.10) sont à la fois pratiques et théorique. Du point de vue théorique, cette formulation montre que, lorsque les vecteurs de la demande sont bornés, le problème du recours admet toujours une solution finie et donc que le problème global (P_S) peut être vu comme un recours complet, comme indiqué dans la propriété 1.

Propriété 1: Pour toute coalition S , le problème de recours admet toujours une solution optimale finie, obtenue par résolution du problème (R_S).

Preuve: Pour toute coalition $S \subset \mathcal{N}$, le problème (R_S) admet une solution admissible donnée par (3.13), qui correspond au cas de où il n'y a pas d'échange :

$$\begin{cases} q_{ij} = 0 \quad \forall i, j \in S, j \neq i \\ q_{i,n+1} = \max(y_i - \tilde{x}_i, 0) \quad \forall i \in S \\ q_{n+1,i} = \max(\tilde{x}_i - y_i, 0) \quad \forall i \in S \end{cases} \quad (3.11)$$

En supposant que, tous les coefficients de coûts d_{ji} sont strictement positifs pour $i \in S', j \in S', j \neq i$, la forme linéaire de la fonction objective implique que les contraintes de (3.10) peuvent être remplacées par :

$$\begin{cases} \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} q_{ij} = \max(y_i^* - \tilde{x}_i, 0) \quad \forall i \in S \\ \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} q_{ji} = \max(\tilde{x}_i - y_i^*, 0) \quad \forall i \in S \end{cases} \quad (3.12)$$

Par définition, les quantités $\tilde{x}_i, i \in \{1, \dots, n\}$, $y_i^*, i \in \{1, \dots, n\}$ et $q_{ij} \geq 0$ sont bornées $\forall i, j \in S', j \neq i$. Par conséquent, le problème (R_S) admet des solutions finies pour toute coalition. Il admet donc une solution optimale finie pour toute coalition.

La question est maintenant d'intégrer la solution de deuxième étape dans la première phase du problème, en tenant compte du fait que, à ce stade, les demandes x_i sont inconnues et les quantités optimales y_i^* à commander sont encore à déterminer.

3.4.3 Planification de la gestion globale des stocks dans le réseau des vendeurs

Afin de résoudre le problème de la planification de gestion globale de stocks, il est utile d'établir d'abord la propriété suivante.

Propriété 2 Le jeu CS est super-additif

Preuve : Considérons l'ensemble des coalitions $S \subset \mathcal{N}$ et $T \subset \mathcal{N}$ avec $S \cap T = \emptyset$. Les valeurs caractéristiques $v(S)$ et $v(T)$ sont obtenues par résolution de problèmes (P_S) et (P_T) à travers le choix des variables optimales pour, respectivement, S et T en respectant la condition $S \cap T = \emptyset$.

$$\begin{cases} y_i, i \in S \\ q_{ij} \geq 0, i \in S \cup \{n+1\}, j \in S \cup \{n+1\}, j \neq i \end{cases}$$

et

$$\begin{cases} y_i, i \in T \\ q_{ij} \geq 0, i \in T \cup \{n+1\}, j \in T \cup \{n+1\}, j \neq i \end{cases} \quad (3.13)$$

Les ensembles de variables des deux problèmes (P_S) Et (P_T) sont distinctes et leur union définit une solution réalisable du problème ($P_{S \cup T}$) dont les contraintes sont l'union des contraintes $R(S)$ et les contraintes $R(T)$. Par conséquent, le bénéfice attendu de cette solution est $v(S) + v(T)$ et cette valeur est sous-optimale pour le problème ($P_{S \cup T}$). Donc, $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$.

Comme indiqué à la section 2.3.4, la sur-additivité du jeu CS implique que la grande coalition réalise la fonction de valeur maximale: $v(\mathcal{N}) = v^*$. C'est pourquoi, afin de résoudre le problème de planification de la gestion globale des stocks dans le réseau de vendeurs, il suffit de résoudre le problème ($P_{\mathcal{N}}$). Ce résultat ne signifie pas que tous les vendeurs devraient échanger leurs produits avec tous les autres, mais simplement qu'ils devraient être en mesure de le faire si leur participation contribue à la solution optimale globale.

3.4.3 Formulation du problème stochastique en deux étapes

La solution globale optimale du problème de gestion des stocks peut être obtenue par la valeur de la fonction $v(\mathcal{N})$ qui correspond à la grande coalition \mathcal{N} . Pour formuler le problème ($P_{\mathcal{N}}$), le centre fictif ($n+1$) est introduit pour représenter les coûts des stocks excédentaires et les coûts de rupture tels qu'ils sont donnés dans l'expression (3.7). L'ensemble \mathcal{N}' est alors défini par : $\mathcal{N}' = \mathcal{N} \cup \{n+1\} = \{1, \dots, n+1\}$

Le problème ($P_{\mathcal{N}'}$) est ensuite formulé de la manière suivante :

$$\begin{aligned} & \text{Maximiser} && I(\mathcal{N}) = \sum_{i=1}^n (\rho - w - c_i) y_i - E \left[\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji} q_{ji} \right] \\ & \text{sous} && \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} (q_{ji} - q_{ij}) = x_i - y_i \text{ pour } i \in \mathcal{N} \text{ avec } q_{ij} \geq 0 \forall i, j \in \mathcal{N}', j \neq i \end{aligned} \quad (3.14)$$

Dans ce problème, les variables de décision de la première phase sont déterministes (y_i), $i=1, \dots, n$, mais les demandes sont aléatoires (x_i), $i=1, \dots, n$ et, par conséquent, les

variables de décision de la deuxième étape $q_{ij} \geq 0, i \in \mathcal{N}', j \in \mathcal{N}', j \neq i$, sont également aléatoires et supposées positives comme il a été présenté en (3.12), avec :

$$\begin{cases} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} q_{ij} = \max(y_i - x_i, 0) \quad \forall i \in \mathcal{N}' \\ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} q_{ji} = \max(x_i - y_i, 0) \quad \forall i \in \mathcal{N}' \end{cases} \quad (3.15)$$

La résolution exacte des problèmes de programmation stochastique en deux étapes avec recours étant généralement très difficile, voire impossible, les chercheurs du domaine ont plutôt exploré les méthodes approximatives. Parmi celles-ci, la méthode dite de « scénarios », telle que proposée par Rockafellar et Wets en 1991 a constitué une avancée déterminante.

3.4.4 Le problème global en deux étapes résolu par la méthode des scénarios.

Les données du problème d'optimisation abordé dans cette thèse sont connues de manière imprécise et présentent des incertitudes au niveau de certains paramètres, qui évoluent dynamiquement au cours du temps. Dans ce cadre, nous faisons appel aux concepts mathématiques qui permettent de modéliser des problèmes d'optimisation stochastique ou chaque donnée incertaine est modélisée par une variable aléatoire.

Pour ce faire, nous introduisons l'approche par scénarios, qui est appliquée pour gérer l'incertitude dans de nombreux cas. Cette méthodologie a un certain nombre d'avantages, parmi lesquels la simplicité de sa mise en œuvre. La complexité de la résolution de problèmes stochastiques deux étapes conduit à utiliser des méthodes approximatives telles que la méthode des "scénarios", telle que proposée par Rockafellar et Wets (1991). Plutôt que de représenter chaque demande comme une variable aléatoire x_i , avec des distributions de probabilité données, nous construisons des scénarios qui respectent ces lois ou seulement quelques propriétés de ces lois, en particulier leurs premiers moments.

L'approche par scénarios repose sur une méthodologie du type "discrétisation - optimisation" : c'est à dire on commence d'abord par discrétiser la structure aléatoire du problème à l'aide de scénarios. Autrement dit, chacune des réalisations possibles joue le rôle d'un scénario. Puis, on écrit la fonction objectif et les contraintes du problème original sur la structure discrétisée et par la suite on résout ce problème

Selon la méthode des scénarios, le problème stochastique en deux étapes est généralement approché par un grand problème déterministe. Une question importante est alors de trouver un

bon compromis entre la précision des approximations et la taille du problème déterministe à résoudre. Plusieurs méthodes, telles que la méthode de L-shaped donnée par Van Slyke et wets, (1969), permettent de résoudre les grands problèmes déterministes à deux étapes. Cependant, il est généralement nécessaire de maintenir le nombre de scénarios assez faible lorsque le nombre de variables impliquées dans chaque scénario est important. Et ceci est précisément le cas dans cette étude, où un scénario combine les valeurs de la demande de tous les vendeurs.

Selon cette méthode, le problème global d'optimisation à deux étapes est représenté sous une forme déterministe, obtenue en remplaçant les espérances mathématiques des variables du problème par des moyennes entre échantillons, ces échantillons provenant de scénarios respectant les principaux moments (moyenne, variance) des lois de probabilité des variables.

Selon Kaut et Wallace (2007), la littérature distingue cinq types de méthodes de génération de scénarios: l'échantillonnage conditionnelle, l'échantillonnage marginal et des corrélations précises, instant correspondants, les méthodes basées sur le chemin et de discrétisation "optimale". Dans cette étude, les demandes sont supposées indépendantes et connues par leurs principaux moments : la moyenne, l'écart type, le coefficient de dissymétrie et le kurtosis. En conséquence, nous proposons d'utiliser plusieurs méthodes de génération de scénarios. Les données historiques peuvent être directement utilisées comme échantillons pour construire plusieurs arbres de scénarios. Par exemple, nous pouvons sélectionner P valeurs possibles pour chaque demande à chaque centre, décrivant une distribution de probabilité discrète et imposer la même moyenne et la variance et le kurtosis de cette distribution à la demande réelle. Si la dissymétrie de la demande réelle est négligeable, alors la distribution de probabilité discrète est choisie symétrique par rapport à la valeur moyenne. Plusieurs points et différentes valeurs de p peuvent être testés pour évaluer la sensibilité des résultats à la distribution discrète sélectionnée

Un scénario, noté s_k , est caractérisé par la réalisation de n variables de demandes. Donc, dans le cas des n centres de distribution et de P valeurs discrètes possibles de la demande dans chaque centre, le nombre total de scénarios est p^n . Une probabilité p_k est attachée à chaque scénario k défini par $(\tilde{x}_1^k, \dots, \tilde{x}_n^k)$. Elle est donnée par :

$$p_k = \prod_{i=1}^n \text{Prob}(\tilde{x}_i^k) \quad (3.16)$$

Le problème global ($P_{\mathcal{N}}$) Peut alors être approché par le problème linéaire déterministe suivante, notée ($LP_{\mathcal{N}}$):

$$\text{Maximise } J(\mathcal{N}) = \sum_{i=1}^n (\rho - w - c_i) y_i - \sum_{k=1}^K p_k \left[\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji} q_{ji}^k \right] \quad (LP_{\mathcal{N}})$$

$$\text{avec } y_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} (q_{ji}^k - q_{ij}^k) = \tilde{x}_i^k, \forall i \in \{1, \dots, n\}, k \in \{1, \dots, K\}$$

$$q_{ij}^k \geq 0 \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n+1\}, j \neq i, k \in \{1, \dots, K\}$$

Les variables du problème ($LP_{\mathcal{N}}$), sont les variables de réapprovisionnement $(y_i), i \in \{1, \dots, n\}$, commun à tous les scénarios. Les autres variables de décision diffèrent selon le scénario. Elles sont désignées par q_{ij}^k et correspondent aux quantités de produits envoyés par le vendeur i à j (y compris le centre fictif $n + 1$) dans le scénario k . On peut noter que les seules variables dont la valeur optimale est significative pour la première étapes du problème sont les n variables d'approvisionnement $(y_i), i \in \{1, \dots, n\}$. Les variables de décision q_{ij}^k peuvent être utilisées pour calculer la moyenne des quantités échangées entre centres, $\bar{q}_{ij} = \sum_{k=1}^K p_k q_{ij}^k$.

Le problème de programmation stochastique avec recours peut donc être résolu de façon approximative par la méthode des scénarios. Le problème d'optimisation déterministe prend la forme d'un programme linéaire ($LP_{\mathcal{N}}$) ayant $n + Kn(n + 1)$ variables et Kn contraintes égalité. Ce problème peut être résolu par les logiciels de LP standard, pour les réseaux de distribution de taille moyenne.

Nous allons maintenant analyser le problème en deux étapes traité comme un jeu biforme, afin de comparer ses performances à celles obtenues par résolution du jeu CS.

3.5 Résolution du problème de la gestion des stocks en deux étapes indépendantes

3.5.1 Problème de décision dans chaque centre (optimisation locale)

Les commandes passées par chaque vendeur au fournisseur sont supposées périodiques avec la même périodicité et la même date de commande pour tous. Le système est donc supposé synchronisé.

Considérons tout d'abord le cas à une seule étape, sans collaboration entre les centres de distributions. Le problème d'approvisionnement sur la période de référence de chaque détaillant est alors analogue au problème dit de « vendeur de journaux ». En d'autres termes, chaque centre de distribution est confronté à une demande aléatoire x_i sur la période de

référence et doit équilibrer le coût de la probabilité de stock excédentaire avec celui de la probabilité de rupture de stock.

3.5.1.1 Le modèle de vendeur de journaux

Si le centre i préfère s'approvisionner directement depuis l'entrepôt indépendamment des autres centres, il accepte les risques de surstock et de rupture. Après la réalisation de la demande, sa fonction de profit à maximiser prend la forme suivante :

$$\pi_i(y_i) = \rho E[\min(y_i, x_i)] - (w + c_i)y_i + (\eta - h)E[\max(y_i - x_i, 0)] - rE[\max(x_i - y_i, 0)] \quad (3.17)$$

La résolution du problème d'optimisation de ce critère a été présentée à la section 1.6.2.

La solution optimale est obtenue par :

$$y_i^D = F_i^{-1}\left(\frac{cu_i}{co_i + cu_i}\right) = F_i^{-1}\left(\frac{r + \rho - w - c_i}{r + \rho + h - \eta}\right) \quad (3.18)$$

Pour cette valeur de la commande, le bénéfice espéré du centre i prend la valeur :

$$\begin{aligned} \pi_i(y_i^D) &= (\rho - w - c_i)\bar{x}_i - cu_i\bar{x}_i + (cu_i + co_i) \int_0^{y_i^D} x_i dF_i(x_i) \\ &= (r + \rho + h - \eta) \int_0^{y_i^D} x_i dF_i(x_i) - r\bar{x}_i \end{aligned} \quad (3.19)$$

Sous l'hypothèse que les demandes aux différents centres de distribution sont indépendantes, le bénéfice globale attendu du réseau de centres de distribution peut être écrit à partir (3.19):

$$\Pi_D(y^D) = \sum_{i=1}^N \left[(\rho - w - c_i)y_i^D - (h + \rho - \eta)E[\max(y_i^D - x_i, 0)] - rE[\max(x_i - y_i^D, 0)] \right] \quad (3.20)$$

avec $y^D = (y_i^D)$ et chaque y_i^D calculée par (3.18).

3.5.1.2 Le modèle de vendeur de journaux avec une distribution normale des demandes

Dans le cas d'une distribution normale $N(\bar{x}_i, \sigma_i)$, selon Silver et Peterson (1985), nous obtenons

$$C_i(y_i^D) = \sigma_i (r + \rho + h - \eta) \cdot \varphi_i \left[\Phi_i^{-1}\left(\frac{r + \rho - w - c_i}{r + \rho + h - \eta}\right) \right] \quad (3.21)$$

où $\varphi_i(\cdot)$ et $\Phi_i(\cdot)$ sont respectivement les fonctions de densité et de distribution standard de la loi normale $N(0,1)$.

La quantité optimale commandée a l'entrepôt est donnée par:

$$y_i^D = \Phi_i^{-1}\left(\frac{r + \rho - w - c_i}{r + \rho + h - \eta}\right) \quad (3.22)$$

et la fonction de profit attendu de chaque centre de distribution i dans le cas de demandes indépendantes, pour $i = 1, \dots, N$ sont:

$$\pi_i(y_i^D) = (\rho - w - c_i)\bar{x}_i - \sigma_i(r + \rho + h - \eta) \cdot \varphi_i\left[\Phi_i^{-1}\left(\frac{r + \rho - w - c_i}{r + \rho + h - \eta}\right)\right] \quad (3.23)$$

3.5.1.3 Optimisation de la demande avec des distributions discrètes

Dans plusieurs cas réels, la distribution de probabilité de la demande est difficile à construire avec précision. Gallego et Moon (1993) ont décrit une technique pratique pour résoudre le problème de distribution aléatoire du modèle vendeur de journaux. Ils ont construit une borne inférieure du bénéfice maximal pour des demandes qui sont représentées par leur moyenne \bar{x}_i et leur variance σ_i^2 . La quantité qui maximise cette borne inférieure est donnée par la formule de Scarf, (1958) adaptée à notre modèle de coûts :

$$y_i^S = \bar{x}_i + \frac{\sigma_i}{2} \left(\sqrt{\frac{\rho + r - w - c_i}{w + h - \eta + c_i}} - \sqrt{\frac{w + h - \eta + c_i}{\rho + r - w - c_i}} \right) \quad (3.24)$$

Gallego et Moon (1993) ont montré l'existence d'une distribution de probabilité discrète pour laquelle le bénéfice optimal attendu est obtenu pour la quantité commandée est donnée par la relation (3.20). Cette distribution de probabilité de la demande à tout centre i ne prend que deux valeurs possibles (Gallego et Moon, 1993):

$$\begin{aligned} \hat{x}_{i,1} &= \bar{x}_i - \sigma_i \sqrt{\frac{w + h - \eta + c_i}{\rho + r - w - c_i}} \text{ avec une probabilité de } p_i^1 = \frac{\rho + r - w - c_i}{\rho + r + h - \eta} \\ \hat{x}_{i,2} &= \bar{x}_i + \sigma_i \sqrt{\frac{\rho + r - w - c_i}{w + h - \eta + c_i}} \text{ avec une probabilité de } p_i^2 = \frac{w + h - \eta + c_i}{\rho + r + h - \eta} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Si nous supposons maintenant que les distributions de probabilité des demandes dans les centres i sont effectivement données par (3.26), alors la fonction de distributions associée est définie par :

$$\begin{cases} F(y) = 0 & \text{Si } y < \hat{x}_{i,1} \\ F(y) = p_i^1 & \text{Si } \hat{x}_{i,1} \leq y < \hat{x}_{i,2} \\ F(y) = 1 & \text{Si } y \geq \hat{x}_{i,2} \end{cases} \quad (3.26)$$

L'application de la formule du vendeur de journaux (3.18) à cette répartition confirme que la quantité optimale satisfait de valeur suivante :

$$F_i(y_i^S) = \frac{r + \rho - w - c_i}{r + \rho + h - \eta} = p_i^1 \quad (3.27)$$

Cependant, à partir de la formule (3.26), n'importe quelle quantité y qui appartient à l'intervalle $[\hat{x}_{i,1} \ \hat{x}_{i,2}]$ satisfait condition de vendeurs de journaux (3.27). La quantité de commande donnée par Scarf (3.26) est une solution particulière de (3.27). De plus, elle est au centre de l'intervalle $[\hat{x}_{i,1} \ \hat{x}_{i,2}]$ car elle vérifie évidemment:

$$y_i^S = \frac{\hat{x}_{i,1} + \hat{x}_{i,2}}{2} \quad (2.28)$$

Il est alors clair que la formule de vendeurs de journaux (3.18) ne suffit pas à déterminer la valeur optimale y_i dans le cas d'une demande x_i discrète. Il est également clair que la formule de Scarf garantit la satisfaction de la condition (3.18), mais ne génère généralement pas la valeur de profit maximal prévu (3.19), qui dépend des valeurs de coûts et des prix.

Le but est maintenant de trouver la valeur de l'approvisionnement optimal pour chaque centre dans le cas où les distributions des demandes sont discrètes. On peut observer qu'une distribution discrète de la demande dans chaque centre i définit des scénarios K_i avec probabilités p_i^k associées pour $k = 1, \dots, K_i$. Le problème d'optimisation stochastique peut alors être reformulé comme le problème déterministe

$$\underset{y_i \geq 0}{\text{maximiser}} \pi_i(y_i) = (\rho - w - c_i)y_i - \sum_{k=1}^{K_i} p_i^k \left\{ (h + \rho - \eta) \max(y_i - x_{i,k}, 0) - r \max(x_{i,k} - y_i, 0) \right\} \quad (3.29)$$

Sous l'hypothèse de distributions des demandes indépendantes dans tous les centres, tous les scénarios locaux peuvent être combinés en K scénarios global, avec $K = \prod_{i=1}^N K_i$. A chaque scénario k ($k=1, \dots, K$) est associé à un vecteur de demande (\tilde{x}_i^k) avec des probabilités associées p_k . Le bénéfice total du réseau de distribution est obtenu à partir du problème d'optimisation déterministe donnée par la formule qui suit :

$$\underset{(y_i \geq 0), i=1, \dots, N}{\text{maximiser}} \Pi_D(y) = \sum_{k=1}^K P_k \left[\sum_{i=1}^N \left\{ (\rho - w - c_i) y_i - (h + \rho - \eta) \max(y_i - \tilde{x}_i^k, 0) - r \max(\tilde{x}_i^k - y_i, 0) \right\} \right] \quad (3.30)$$

3.5.2 Gestion des échanges entre vendeurs en environnement déterministe

Les commandes d'approvisionnement des centres de distribution sont satisfaites par l'entrepôt central. Ensuite, lorsque les demandes des clients se réalisent, la demande excédentaire d'un centre peut éventuellement être satisfaite par les autres centres de distribution voisins. Dans cette section, la stratégie de gestion utilisée consiste à déterminer la quantité à commander dans chaque centre en fonction de la demande locale estimée puis à organiser les échanges de produits entre les détaillants en fonction des demandes locales réelles. Les deux étapes du problème décisionnel peuvent alors être optimisées séparément et le jeu global interprété comme un jeu biforme : un problème de décision stratégique en environnement incertain, basé sur la demande prévisionnelle, puis un problème de décision coopératif au sein du réseau de vendeurs afin de compenser les écarts de demande dans les centres.

L'objectif de la deuxième étape du jeu biforme est d'organiser des échanges de produits entre les centres de distribution, afin de satisfaire au mieux les demandes dans tous les centres selon la disponibilité et le besoin. En d'autres termes, l'étape de recours compense les écarts entre les demandes réelles, " x_i " et les quantités " y_i " commandées par les différents détaillants, calculés selon la formule

Dans le contexte du jeu biforme, les problèmes d'optimisation des deux étapes sont indépendants. Comme la deuxième étape est la solution d'un sous-jeu coopératif, elle correspond à l'optimisation du critère global de coût qui minimise la somme des coûts d'échange de produits, des coûts de stockage et de rupture de stock. En notant \tilde{x}_i la valeur réalisée de la demande au centre i , le problème déterministe de minimisation du coût total de la deuxième étape peut s'écrire ainsi :

$$\begin{aligned} \underset{q_{ij} \geq 0, i \in N, j \in N, j \neq i}{\text{Minimiser}} \quad CT = & \sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} + \sum_{i \in S} (h_i + \rho - \eta) \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) + y_i - \tilde{x}_i, 0 \right] \\ & + \sum_{i \in S} r_i \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) + \tilde{x}_i - y_i, 0 \right] \end{aligned} \quad (3.31)$$

Comme pour le problème de recours du jeu CS, on peut noter que les prix de transfert des produits entre centres n'apparaissent pas dans le critère d'optimisation global CT, puisqu'ils sont payés par un centre et reçus par un autre. Leur somme algébrique est donc nulle.

3.6 Construction d'une politique de tarification dans le cœur du jeu CS

Considérons le jeu CS présenté dans la section 3.4. C'est un jeu coopératif pour lequel la valeur d'une coalition, notée $v(S)$, est obtenue par la résolution de problèmes (P_S) . Le problème de maximisation du bénéfice global du réseau peut être résolu de façon approchée par le problème $(LP_{\mathcal{N}})$. La question est maintenant de déterminer comment un vendeur peut rationnellement décider ou non de collaborer et comment définir une fonction d'allocation des bénéfices, $(u(i))$ qui soit dans le cœur du jeu CS.

Une coalition est considérée comme stable si la politique d'allocation des gains associée $u(\cdot)$ appartient au cœur du jeu CS., c'est-à-dire qu'elle vérifie les conditions d'efficacité

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} u(i) = v^* \quad (3.32)$$

$$\text{et de rationalité : } \sum_{i \in S} u(i) \geq v(S) \quad \forall S \subset \mathcal{N}. \quad (3.33)$$

S'il est possible de trouver une politique d'allocation dans le cœur du jeu, elle peut être mise en œuvre de façon automatique par l'intermédiaire des prix de transfert (π_{ij}) qui apparaissent naturellement dans l'expression suivante (3.34) du gain du centre i :

$$u(i) = \rho(y_i^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ij}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ji}^*) - (w + c_i)y_i^* - d_{i,n+1}\bar{q}_{i,n+1}^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji}\bar{q}_{ji}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\pi_{ij}\bar{q}_{ij}^* - \pi_{ji}\bar{q}_{ji}^*) \quad (3.34)$$

Dans l'expression ci-dessus, les décisions optimales de la première étape sont désignées par $(y_i^*), i \in \{1, \dots, n\}$, et les valeurs optimales attendues des quantités échangées sont notées (\bar{q}_{ij}^*) . Le problème est maintenant de déterminer un ensemble de prix unitaires pour les différents transferts du centre i vers le centre j pour lesquelles les revenus de tous les centres définissent des allocations des paiements dans le cœur du jeu.

Pour que la politique de gains vérifie la propriété de rationalité, il suffit que les prix unitaires de transfert (π_{ij}) satisfassent l'ensemble les inégalités linéaires suivantes :

$$\sum_{\substack{i \in S \\ \forall S \subset \mathcal{N}}} \left[\rho(y_i^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ij}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ji}^*) - (w + c_i)y_i^* - d_{i,n+1}\bar{q}_{i,n+1}^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji}\bar{q}_{ji}^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\pi_{ji}\bar{q}_{ji}^* - \pi_{ij}\bar{q}_{ij}^*) \right] \geq v(S) \quad (3.35)$$

où $v(S)$ est obtenu sous forme d'une solution de problème (P_S) , sous la forme suivante (3.36):

$$v(S) = \underset{\substack{y_i \geq 0, q_{ij} \geq 0, \\ i \in S, j \in S', j \neq i}}{\text{Max}} \quad I(S) = \sum_{i \in S} (\rho - w - c_i) y_i - E \left[\sum_{i \in S'} \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} \right] \quad (3.36)$$

$$\text{sous } \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) = x_i - y_i \quad \text{pour } i \in S \text{ avec } q_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in S', j \neq i$$

Nous pouvons alors déduire le résultat suivant.

Propriété 3 : Un ensemble de prix de transfert (π_{ij}) qui satisfait aux conditions (3.35) définit une allocation de gains $u(i)$ exprimée par (3.34), située dans le cœur du jeu.

Preuve : La condition de rationalité pour la politique $u(i)$ définie par (3.34) correspond précisément aux conditions (3.35). Elle est donc vérifiée si les conditions (3.35) le sont.

Pour montrer la condition d'efficacité, il suffit de sommer les expressions (3.34) pour tous les centres $i \in \{1, \dots, n\}$. La somme des paiements de transfert entre les différents centres disparaît dans cette sommation et nous obtenons :

$$\sum_{i \in \mathcal{N}} u(i) = \sum_{i=1}^n (\rho - w - c_i) y_i^* - E \left[\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji} q_{ji}^* \right] = v^* \quad (3.37)$$

Pour chaque sous-ensemble $S \subset \mathcal{N}$, la valeur caractéristique $v(S)$ obtenue comme solution de problème (P_S) peut être calculée de manière approximative en appliquant la méthode des scénarios décrite dans la section 3.4.4, en limitant les échanges aux centres de S . Les termes qui représentent les coûts de sur-stockage et les ruptures de stock de la condition (3.17) sont remplacés par les termes de flux vers et depuis le centre fictif numérotée $n + 1$. Ayant défini les ensembles $S' = S \cup \{n + 1\}$, le problème à résoudre par la méthode des scénarios peut alors être écrit comme suit (LPS):

$$v(S) = \underset{\substack{y_i \geq 0, i \in S \\ q_{ij}^k \geq 0, i \in S', j \in S', j \neq i, k \in \{1, \dots, K\}}}{\text{max}} \quad J(S) = \sum_{i \in S} c_i y_i + \sum_{k=1, \dots, K} p_k \left[\sum_{i \in S'} \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji}^k \right] \quad (LPS)$$

$$\text{sous } y_i + \sum_{\substack{j \in S' \\ j \neq i}} (q_{ji}^k - q_{ij}^k) = \tilde{x}_i^k, \quad \forall i \in S, k \in \{1, \dots, K\} \\ q_{ij}^k \geq 0 \quad \forall i, j \in S', j \neq i, k \in \{1, \dots, K\}.$$

Les valeurs approximatives de (y_i^*) sont ensuite directement obtenues à partir de la solution du programme linéaire ($LP_{\mathcal{N}}$), et les quantités moyennes échangées ((\bar{q}_{ij}^*)) sont remplacées par leur valeurs pondérées par les probabilités des scénarios :

$$\bar{q}_{ij} \approx \sum_{k=1}^K p_k q_{ij}^k \quad (3.38)$$

Le critère optimal $J^*(\mathcal{N})$ peut être décomposé par centres sous la forme (3.39):

$$J^*(\mathcal{N}) = \sum_{i=1}^n s(i) \text{ avec } s(i) = \rho(y_i^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ij}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ji}^*) - (w + c_i)y_i^* - d_{i,n+1}\bar{q}_{i,n+1}^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji}\bar{q}_{ji}^* \quad (3.39)$$

Donc, le revenu du centre i peut être écrit sous la forme (3.40) ci-dessous :

$$u(i) = s(i) - \delta(i) \text{ avec } \delta(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\pi_{ji}\bar{q}_{ji}^* - \pi_{ij}\bar{q}_{ij}^*) \quad (3.40)$$

Les conditions de rationalité (3.35) prennent alors la forme:

$$\sum_{i \in S} \delta(i) \leq \sum_{i \in S} s(i) - v(S) \quad \forall S \subset \mathcal{N} \quad \text{avec } v(S) \text{ calculée par (LPS)} \quad (3.41)$$

Pour toute politique d'allocation qui appartient au cœur du jeu, les prix de transfert doivent satisfaire les conditions (3.41). Pour trouver une solution particulière à cet ensemble d'inégalités linéaires, la programmation linéaire peut être utilisée par l'ajout d'un critère linéaire à optimiser. En outre, nous proposons d'introduire une contrainte de borne inférieure sur les prix, de façon à ce que la solution ne donne pas de prix trop faibles ou même négatifs. Le problème à résoudre prend alors la forme du programme linéaire suivant (LPP):

$$\begin{aligned} & \text{Maximiser } \psi \\ & \pi_{ij}, i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N} - \{i\} \\ & \text{sous } \sum_{i \in S} \sum_{j \in S - \{i\}} (\pi_{ji}\bar{q}_{ji}^* - \pi_{ij}\bar{q}_{ij}^*) + \psi \leq \sum_{i \in S} s(i) - v(S) \quad \forall S \subset \mathcal{N} \\ & \text{et } \pi_{ij} \geq \pi_0 \quad \forall i \in \mathcal{N}, j \in \mathcal{N} - \{i\} \end{aligned} \quad (\text{LPP})$$

Le fait de maximiser la distance minimale à la frontière de rationalité, notée ψ , correspond à l'objectif de maximiser le rayon de la stabilité de la coalition. Le problème n'admet de

solution stable que si la valeur optimale de ψ est positive ou, à la rigueur, nulle. Si cette condition est respectée, les joueurs du réseau peuvent échanger leurs produits selon les quantités optimales, avec la garantie de la meilleure espérance de revenu possible sous l'approximation retenue pour les lois de demandes.

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté plusieurs modèles mathématiques pour la résolution de problèmes de gestion des stocks dans un réseau d'entreprises constitué d'un fournisseur externe (entrepôt central) et de n centres de distribution. Nous avons supposé que des échanges de produits peuvent être effectués entre les centres de distribution, dès que les demandes se sont exprimées. Ces échanges confèrent à chaque centre une double fonctionnalité : selon la configuration des demandes, chacun peut être demandeur d'un centre ou fournisseur pour un autre centre, dans le but de réduire les coûts de stockage et de rupture. Dans le modèle individuel, les détaillants suivent une stratégie totalement décentralisée, ce qui signifie que chacun d'eux cherche uniquement à optimiser la gestion de son propre stock en fonction de ses propres paramètres de coûts et de son objectif économique, par approvisionnement direct à partir de l'entrepôt central.

Dans le modèle biforme, les détaillants commandent à l'entrepôt central les mêmes quantités que s'ils fonctionnaient de façon individuelle. Mais ensuite, ils peuvent échanger des produits pour améliorer l'efficacité de leurs stocks.

La troisième possibilité est que les détaillants suivent une stratégie coopérative où ils décident ensemble des quantités de produits à commander à l'entrepôt puis gèrent leurs stocks collectivement en formant des coalitions et en partageant le gain engendré par la collaboration. En appliquant la méthode des scénarios, le modèle d'optimisation du profit global a été mis sous la forme d'un programme linéaire où les contraintes de satisfaction des demandes sont présentées de façon intégrée. La solution optimale de ce programme permet d'obtenir les partenaires de la coalition optimale et le revenu global optimal. Des exemples numériques seront présentés dans le chapitre 4.

Chapitre 4. Évaluation des gains de coopération dans un réseau de distribution réel

| | |
|---|-----|
| 4.1 Introduction | 73 |
| 4.2 Présentation de l'exemple industriel | 74 |
| 4.2.1 Chaîne de production LIT-MAG | 74 |
| 4.2.2 Réseau de distribution LIT-MAG | 75 |
| 4.3 Contexte Scientifique de l'étude | 78 |
| 4.3.1 Détermination de la politique prévisionnelle d'approvisionnement | 79 |
| 4.3.2 Organisation des échanges entre centres de distribution | 79 |
| 4.4 Confrontation entre théorie et pratique | 80 |
| 4.5 Résultats numériques | 81 |
| 4.5.1 Données du réseau étudié | 82 |
| 4.5.1.1 Demande | 82 |
| 4.5.1.2 Influence du coût unitaire de transport | 83 |
| 4.5.1.3 Coût de stockage\ coût de rupture | 86 |
| 4.5.2 Comparaison entre un modèle sans échanges, un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif - Application a l'exemple industriel | 94 |
| 4.5.2.1 Étude du modèle sans échanges | 94 |
| 4.5.2.2 Étude du jeu biforme | 95 |
| 4.5.2.3 Étude du jeu coopératif | 96 |
| 4.5.2.4 Génération de scénario | 97 |
| 4.5.3 Les résultats expérimentaux | 98 |
| 4.5.3.1 Les résultats | 98 |
| 4.5.3.2 Discussion | 102 |
| 4.5.3.3 Comparaison des résultats numériques entre un modèle sans échange, un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif : | 103 |
| 4.6 Conclusions | 104 |

4.1 Introduction

Notre objectif dans le présent chapitre est d'analyser un réseau de distribution pour améliorer ses performances. L'application proposée consiste en une étude de la gestion des stocks dans un réseau de distribution réel. La première partie de ce chapitre est dédiée à une étape de modélisation dans laquelle nous commençons par définir le système étudié en présentant les caractéristiques des centres considérés, ainsi que le schéma de transport adopté. Dans un second volet, nous présentons les motivations de l'utilisation de la théorie des jeux dans notre démarche de prise de décision sous incertitude et l'organisation générale de notre protocole de jeu. La dernière partie de ce travail est consacrée à la résolution du problème posé. En particulier, nous analysons les résultats obtenus par le logiciel de Programmation Linéaire GLPK. Ces résultats montrent les gains réalisés, et comment répartir le bénéfice entre les différents joueurs au sein du réseau. Dans une autre phase de présentation des résultats, nous comparons le fonctionnement de ce système selon plusieurs configurations et nous analysons l'impact des différentes décisions stratégiques et collaboratives sur la performance globale du réseau et des acteurs qui le composent.

Afin d'étudier la performance du réseau de distribution, nous avons modélisé et formulé les paramètres économiques et technologiques en s'appuyant sur certaines fonctions-clés de l'entreprise : achat de matières premières, vente et distribution des produits, délais de livraison, les moyens de transport adoptés y compris l'historique de la consommation de chaque centre. Dans cette perspective, l'objectif de ce chapitre est d'analyser le comportement de chaque acteur dans le réseau de distribution, afin d'évaluer son impact potentiel sur sa performance individuelle et celle des autres acteurs, ainsi que sur la performance du réseau global.

L'autre objectif de ce chapitre consiste à comparer deux approches scientifiques : l'approche stratégique et l'approche coopérative. La première méthode offre la possibilité d'étudier le comportement stratégique des décideurs, en utilisant une modélisation mathématique basée sur la théorie des jeux stratégiques où chaque joueur cherche à maximiser son bénéfice compte tenu des comportements et des réflexions des autres joueurs. Tandis que dans l'approche coopérative, tous les joueurs collaborent au sein du même réseau dans le but de maximiser le gain total qui sera partagé d'une façon équitable de façon à ce que chaque acteur soit gagnant. Les modèles analysés reposent sur des hypothèses de fonctionnement du processus de distribution qui dépendent des comportements des acteurs. Les paramètres utilisés ont été généralement fournis par l'entreprise, ce qui permet de confronter les résultats théoriques avec le comportement réel.

4.2 Présentation de l'exemple industriel

La société Literie Maghrébine connue sous l'appellation LIT-MAG est une société de produits de literie, située dans la région de Tlemcen en Algérie. Sa superficie totale est de 6500 m² avec 4000 m² de surface couverte et une capacité de stockage de 1000 m².

Elle possède un potentiel humain de 110 employés dans l'unité de production et 10 agents administratifs. Sa capacité de production est de 400 matelas/jour. Elle est dotée de plusieurs moyens de transport, en majorité des camions de différentes tailles pour le transport de grande distance et des fourgons pour le transport effectué aux alentours.

L'entreprise LIT MAG possède une chaîne de production pour la transformation et réalisation des différents produits de literie et un réseau de distribution constitué de plusieurs centres de distribution localisés géographiquement sur le territoire Algérien. Dans un premier temps, nous allons présenter la chaîne de production amont de l'entreprise, et dans une seconde partie nous présentons la chaîne aval et le réseau de distribution qui la compose.

4.2.1 Chaîne de production LIT-MAG

Les produits réalisés par l'entreprise sont classés en trois catégories : une famille de matelas, une seconde famille qui contient : couette, draps et couvre lit et enfin la famille des oreillers et traversins. Dans la famille des matelas, on trouve une large variété de produits (matelas en mousse souple, matelas en mousse avec une grande résistance ou matelas injectés mousse et ressort) et une diversification de dimension. Ça peut aller d'un simple matelas pour bébé, au matelas une place avec plusieurs dimensions, par exemple : 190*80*18; 190*90*18, 199*120*180...etc. ou au matelas deux places avec plusieurs dimensions : 190*140*20, 200*200*20, 190*160*20, etc.

La famille des couettes, draps et couvre lit est une spécialité très récente de l'entreprise. Elle consiste en la fabrication de couettes d'une et deux places, dans des formats multiples ainsi que de voiles de rideaux et couvre-lits haut de gamme à dimensions multiples. Et enfin la production comprend la famille des oreillers et traversins de différentes dimensions.

La réalisation de tels produits nécessite un certain nombre de matières premières comme : fils d'acier, colle, fil à coudre, tissu, ouate, ruban, fibre, grise, plastique d'emballage, produits chimiques...plus un savoir-faire des employés.

Voici un aperçu de la structure de l'entreprise.

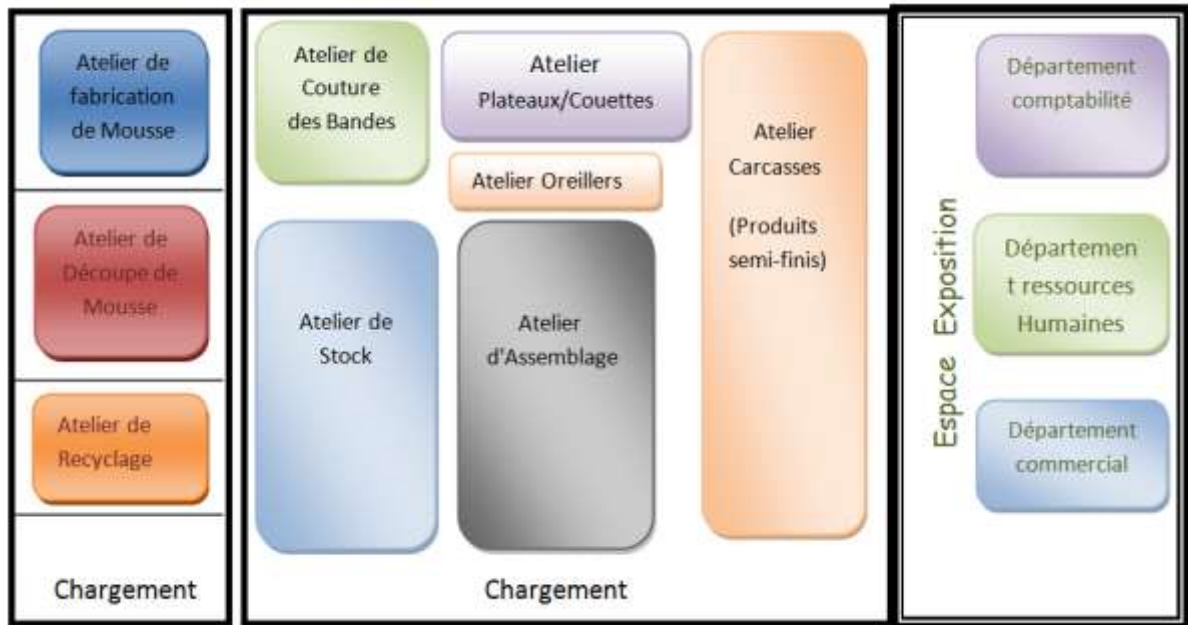


Figure 4.1 Structure de l'entreprise

Le matelas peut être composé des matériaux suivants : mousse et ressorts. On peut distinguer trois types de matelas : matelas en mousse entièrement, plaques de mousse et ressorts et le dernier type mousse injectée et ressorts. Le matelas est fabriqué selon la séquence de procédés suivante : découpe des plaques et tissus, collage, gansage (Picage), emballage.

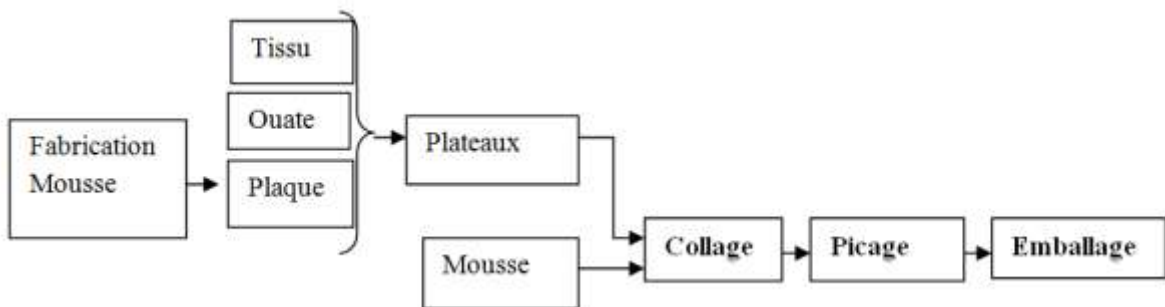


Figure 4.2 : différentes étapes pour la réalisation d'un matelas

4.2.2 Réseau de distribution LIT-MAG

L'entreprise LIT MAG est dotée d'un réseau de distribution constitué d'un entrepôt central situé à Tlemcen, mitoyen avec l'unité de production, et qui alimente plusieurs centres de distribution, identifiés par leurs zones de localisation sur le territoire algérien. A leur tour, les centres alimentent des grossistes dans la région où chaque grossiste est connecté à un

ensemble de détaillants et chaque détaillant est connecté à un ensemble de clients finaux c'est à dire qu'un produit passe par plusieurs étages avant d'arriver au client final. La chaîne étudiée est illustrée par la figure 4.3

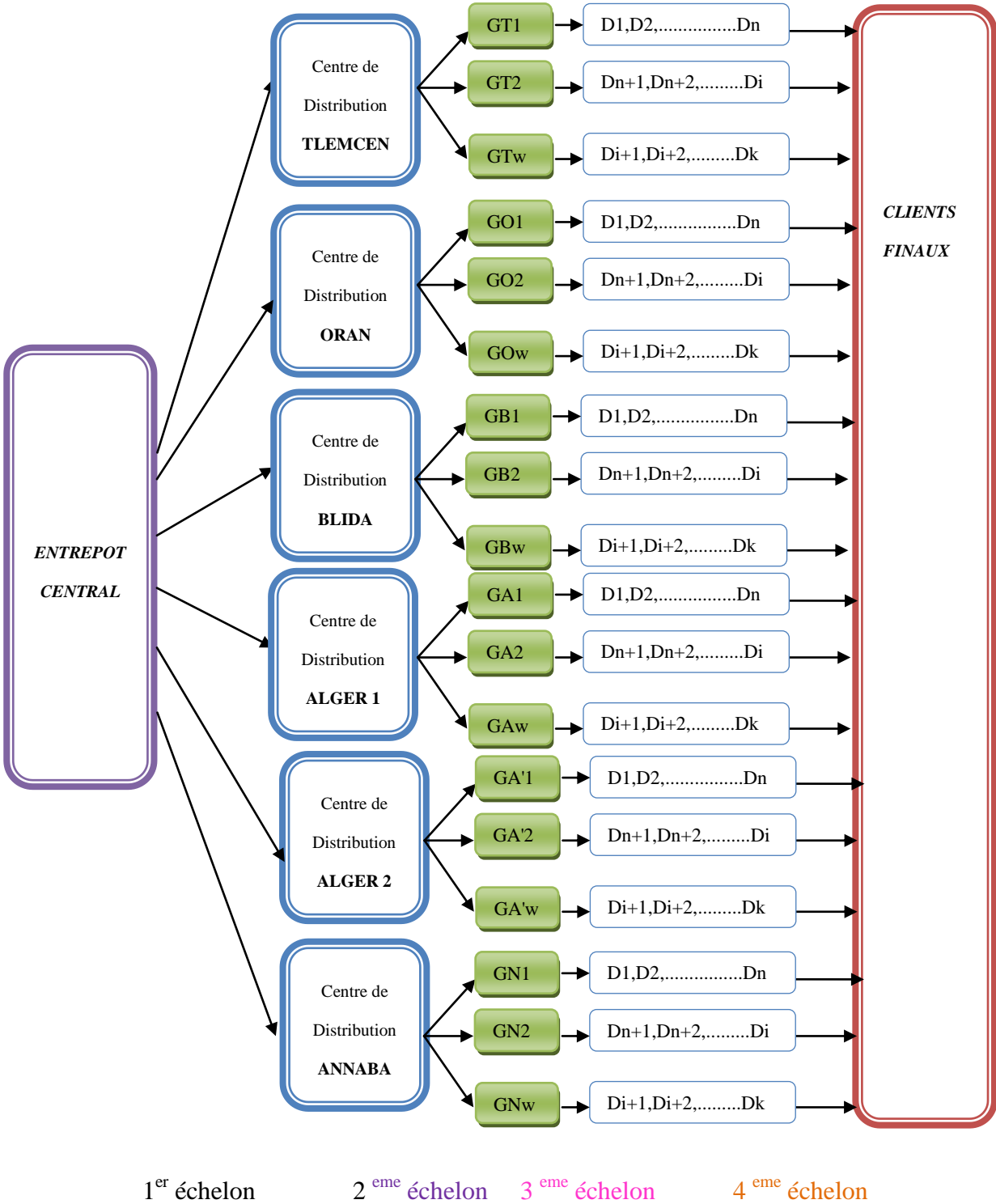


Figure 4.3: Schéma d'un réseau de distribution

avec :

GT : Grossiste Tlemcen
 GO : Grossiste Oran
 GB : Grossiste Blida
 GA : Grossiste Alger1
 GA' : Grossiste Alger2
 GN : Grossiste Annaba

D1,D2,.....Dn,Dn+1,Dn+2,.....Di,.....Dk représentent les différents détaillants.

Dans la liste précédente, les centres de distribution sont classés par ordre croissant de la distance par rapport à l'entrepôt central. Les demandes des centres de distribution sont satisfaites par l'entrepôt central. Ensuite, lorsque les demandes des clients se réalisent, la demande excédentaire d'un centre peut éventuellement être satisfaite par les autres centres de distribution voisins. Ce sous-réseau d'approvisionnement et d'échanges est représenté sur la figure 4.4.

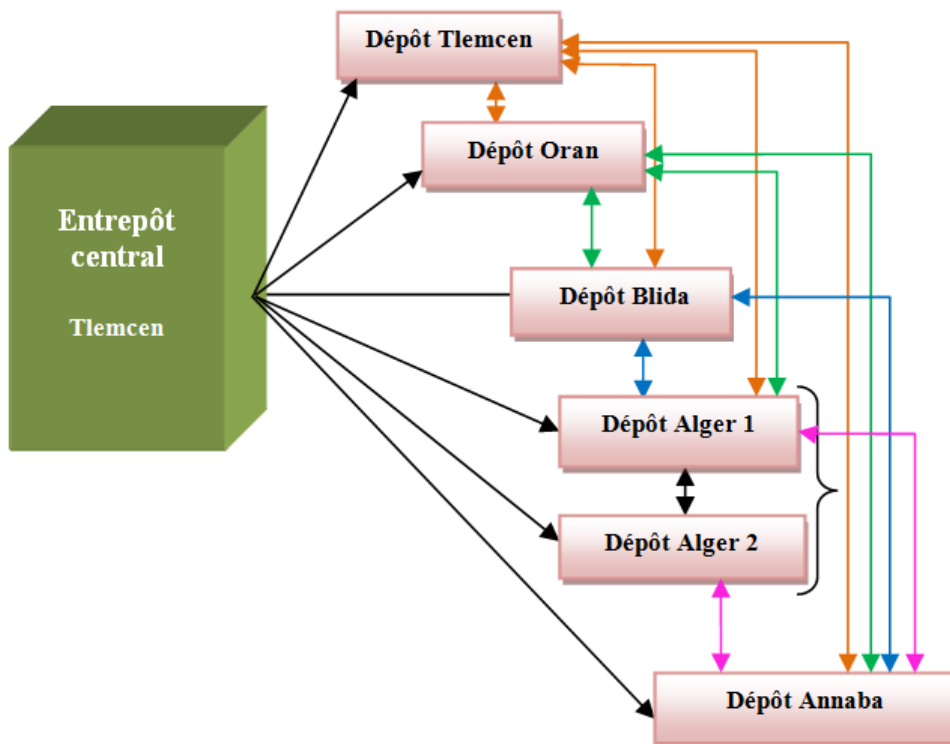


Figure 4.4 schémas du sous-réseau d'approvisionnement et d'échanges

Plusieurs connexions de transport existent entre les différentes zones de distribution. La livraison s'effectue avec plusieurs véhicules ou chaque livraison exige un chargement complet. L'entreprise possède trois types de véhicules de différente tailles : grand(G),

moyen(M), petit(P) et lorsque la demande est à grande rotation et que les moyens de transport internes n'arrivent pas à satisfaire toute les demandes, l'entreprise utilise la location de camions selon le besoin.

Le coût de transport dépend principalement de la distance parcourue, sachant que la localisation des centres de distribution se trouve dans des villes distinctes qui sont séparées par des distances géographiques relativement importantes. Dans le modèle, on suppose que le coût de transport ne dépend que de la distance parcourue, et il est supposé proportionnel aux quantités transportées.

Les travaux développés dans ce chapitre concernent son réseau de distribution et particulièrement les échanges effectués entre les différents acteurs du réseau. Pour ne pas trop augmenter le nombre de variables de notre système, nous avons choisi de modéliser le réseau de distribution avec trois centres de distribution comme décrit par la figure 4.5

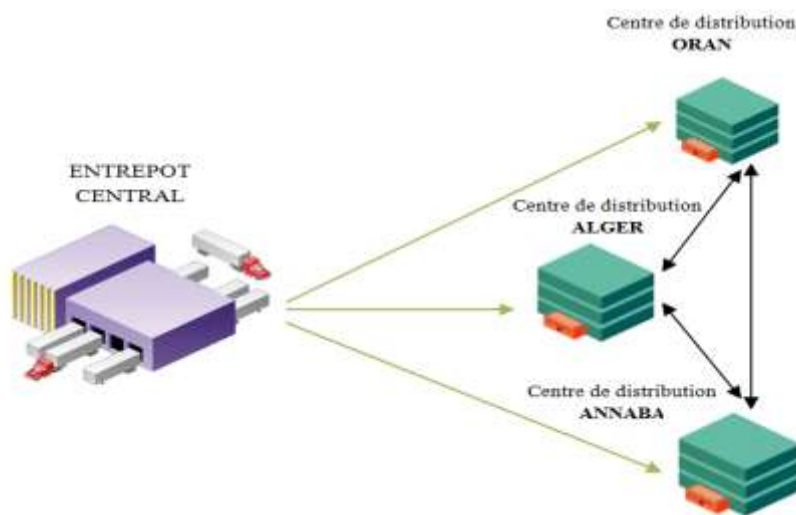


Figure 4.5 schéma du réseau de distribution a trois centres

4.3 Contexte Scientifique de l'étude

Le contexte général du système faisant l'objet de notre étude dans ce chapitre est défini comme suit : un réseau de vendeurs face à un fournisseur. L'ensemble des vendeurs veut maximiser le profit global par la satisfaction de la demande locale et par l'échange de produits avec les autres centres. Le problème est formulé en tant que problème en deux étapes. La demande est incertaine dans la première étape, lorsque les produits sont commandés au fournisseur. Ensuite, dans la deuxième étape, elle est formulée par les clients et devient donc connue avec certitude. Les échanges de produits peuvent alors avoir lieu entre les vendeurs s'ils sont globalement profitables.

4.3.1 Détermination de la politique prévisionnelle d'approvisionnement

L'horizon d'approvisionnement est supposé commun à tous les grossistes. Au début de cet horizon, chaque grossiste passe une commande à l'entrepôt. On suppose que cette commande sera la seule passée sur tout l'horizon. Elle doit donc anticiper d'une part la demande locale à laquelle sera confronté le grossiste, et d'autre part les échanges futurs entre grossistes, qui permettront d'ajuster les stocks aux demandes réelles.

La répartition de la quantité de commande coopérative sur les trois grossistes suit une logique prévisionnelle. Le facteur prédominant reste la demande locale moyenne prévue. Mais les coûts de transport interviennent aussi dans cette répartition, à travers les paramètres d_{ij} . Comme nous l'avons vu précédemment, ces paramètres permettent aussi de représenter les coûts de stockage résiduel et les coûts de rupture de stock chez chaque grossiste, par introduction d'un grossiste virtuel, numéroté 4. La résolution par la méthode des scénarios du problème présenté dans le chapitre 2 fournit alors les quantités optimales de recombêtement, $(y_i^*, i \in \{1, \dots, 3\})$.

$$\text{Maximiser } J = \sum_{i=1}^n (\rho - w + c_i) y_i - \sum_{k=1}^K p_k \left[\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji} q_{ji}^k \right] \quad (PLG)$$

$$\text{sous } y_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} (q_{ji}^k - q_{ij}^k) = \tilde{x}_i^k, \forall i \in \{1, \dots, n\}, k \in \{1, \dots, K\}$$

$$\text{avec } q_{ij}^k \geq 0 \forall i, j \in \{1, \dots, n+1\}, j \neq i, k \in \{1, \dots, K\}. \quad (4.1)$$

4.3.2 Organisation des échanges entre centres de distribution

Dans la deuxième phase de l'approvisionnement, les demandes en chaque centre de distribution sont supposées connues. Le problème à résoudre est alors le problème de transport à coût minimum (PLD). Tel qu'il a été formulé dans le chapitre 2:

$$\text{Minimiser } Q = \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji} q_{ji} \quad (PLD)$$

$$\text{sous } \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} (q_{ji} - q_{ij}) = \hat{x}_i - y_i^* \text{ pour } i \in \{1, \dots, 4\}.$$

$$\text{avec } q_{ij} \geq 0 \forall i, j \in \{1, \dots, 4\}, j \neq i \quad (4.2)$$

Ce problème est très simple à résoudre dans les réels. De plus, comme sa matrice de contraintes est unimodulaire, sa solution est naturellement entière si les données sont elles-mêmes entières.

Cependant, l'introduction d'un parc de véhicules de différentes tailles conduit à compliquer le problème, en introduisant en particulier des variables binaires, tout en détruisant l'unimodularité de la matrice des contraintes.

A partir de cette description, le modèle d'approvisionnement avec recours fournit une décomposition en deux étapes de la politique de commande des différents vendeurs, la première étape étant basée sur des données prévisionnelles de demande et la seconde sur des données réelles.

4.4 Confrontation entre théorie et pratique

Le modèle de recours proposé traduit bien la réalité industrielle courante qui nécessite une planification dans un univers essentiellement incertain, suivie d'ajustements visant à adapter le plan aux événements qui surviennent dans la réalité. La solution proposée permet d'en déduire les quantités de commande des différents centres de distribution dans un premier temps et les quantités d'ajustement des demandes qui transitent entre les différents centres afin de satisfaire au mieux la demande chez chaque vendeur.

Les données recueillies dans l'entreprise nous permettent de proposer un paramétrage réaliste de ce problème. Dans ce contexte nous présentons la détermination des coûts de transfert unitaires, les coûts de rupture et les coûts de stockage excédentaires définissant la matrice " d_{ij} ".

Cependant, en pratique, la répartition des gains attendus nécessite une négociation entre vendeurs et l'établissement d'un protocole d'échanges. Plusieurs protocoles sont actuellement à l'étude, avec l'objectif de rendre opérationnelles les propriétés d'efficacité et de rationalité du partage. En outre, la viabilité de la méthode dépend de la politique de répartition des économies attendues de la collaboration entre vendeurs.

L'exemple industriel présenté sert donc actuellement de cadre applicatif à notre étude et les résultats quantitatifs permettront d'évaluer les différentes politiques envisagées aux différents maillons du réseau de distribution.

Une fois obtenue la solution optimale globale d'approvisionnement et d'échanges, la question importante est de savoir comment inciter les acteurs du système à la mettre en œuvre.

Dans le cadre d'hypothèses de la théorie des jeux coopératifs, les joueurs qui appartiennent à la même coalition sont prêts à échanger des produits au stade de recours et à anticiper les futurs échanges possibles dans la quantité qu'ils commandent d'abord au fournisseur.

Pour résoudre ce problème, la théorie des jeux coopératifs indique que cette politique de répartition des gains doit être efficace et rationnelle, de façon à assurer la stabilité de la coalition de vendeurs.

Nous proposons de construire un contrôle par les prix d'échange des produits entre centres assurant une politique de profit espéré appartenant au cœur du jeu.

Un modèle d'optimisation a aussi été proposé pour gérer la phase d'ajustement des stocks aux demandes. Pour ce faire, des expériences numériques sont effectuées et analysées en utilisant le logiciel de Programmation Linéaire GLPK.

4.5 Résultats numériques

Pour donner un échantillon des résultats pouvant être obtenus grâce à l'utilisation de notre modèle, nous allons définir dans un premier temps les paramètres utilisées. Bien entendu, ce paramétrage dépend du cas étudié. Dans ces exemples, nous nous restreignons volontairement au cas mono produit dans un réseaux de transport plus particulièrement une entreprise et un ensemble de trois centres de distributions (zones de demande) .

Comme il a été présenté dans le chapitre 3 l'entrepôt central est à capacité infinie, les produits livrés sont supposés identiques pour tous les centres.

Pour déterminer l'efficacité de notre algorithme, nous avons implémenté de manière similaire deux procédures. Dans la première procédure, l'échange entre centres de distribution n'est pas autorisé tandis que dans la seconde procédure, nous autorisons l'échange entre différents centres selon les besoins.

Cette section contient deux parties : la première est dédiée à la collecte des données et des informations nécessaires à l'implémentation de notre algorithme, en précisant la demande de chaque centre, les différents coûts de transport, le coût de stockage et le coût de rupture. Dans ce cadre nous allons effectuer une analyse de sensibilité sur la variation du coût de stockage et celle du coût de rupture et leurs impacts sur le système global.

Dans la deuxième partie, nous allons comparer un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif, en autorisant les échanges de produits entre centres de distribution après que les demandes des clients aient été exprimées.

Le but principal de cette étude est d'aider le réseau de vendeurs à décider s'ils doivent prendre en considération d'éventuels échanges de produits entre eux, afin de mieux répondre aux besoins locaux, ou s'ils doivent compter uniquement sur leur approvisionnement auprès du fournisseur, en acceptant les risques de rupture et du surstockage.

4.5.1 Données du réseau étudié

4.5.1.1 Demande

À partir des données expérimentales de l'entreprise et de l'historique de consommation dans les différents centres du réseau de distribution, nous avons remarqué que la demande de chaque centre est aléatoire. C'est pourquoi, dans notre étude, nous nous sommes positionnés dans le cadre d'une demande probabiliste pour représenter cette demande aléatoire. De plus, nous avons supposé que les demandes x_i aux différents centres de distribution sont indépendantes.

Pour assurer une bonne adéquation des distributions des variables aléatoires avec la réalité, nous avons cherché à évaluer les principaux moments des lois de demande où " m_i " représente la moyenne de demande dans le centre i :

$$m_i = E[x_i] \tag{4.3}$$

et σ_i est l'écart type du centre i .

$$\sigma_i = \sqrt{E[(x_i - m_i)^2]} \tag{4.4}$$

Le coefficient de dissymétrie est défini par :

$$\frac{E[(x_i - m_i)^3]}{\sigma_i^3} \tag{4.5}$$

et le kurtosis est le moment centré d'ordre 4 :

$$\frac{E[(x_i - m_i)^4]}{\sigma_i^4} \quad (4.6)$$

| Paramètres | Centre1 | Centre2 | Centre 3 |
|------------------------------------|---------|---------|----------|
| valeur moyenne de la demande m_i | 1470 | 1350 | 780 |
| écart type σ_i | 490 | 450 | 260 |
| Coefficient de dissymétrie | 0 | 0 | 0 |
| kurtosis | 4 | 4 | 4 |

Tableau 4.1: moments des demandes pour chaque centre

4.5.1.2 Influence du coût unitaire de transport

Plusieurs moyens de transport existent entre les différentes zones de distribution. Les coûts de transport sont supposés proportionnels aux quantités transportées. Les coûts de commande de chaque unité dépendent principalement de la distance, mais comprennent aussi la préparation et la livraison des commandes. Ils peuvent être calculés à partir de la localisation des centres de distribution situés dans des villes différentes. Ces villes sont séparées par des distances géographiques relativement grandes. Dans la figure 2, w représente l'entrepôt central à Tlemcen, 1 représente le gros centre à Oran, 2 le centre de gros à Alger et 3 du centre de gros de Annaba.

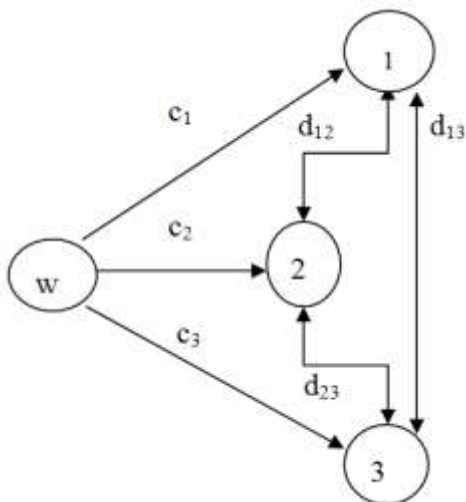


Figure 4.6 Graphe du réseau de distribution a trois centres et les coûts associés

Les données sur les coûts de ce réseau sont résumées dans les tableaux 4.2 et 4.3. Ces données peuvent être considérées comme des approximations possibles des prix réels et des coûts mesurés en dinars algériens.

Le tableau 4.2 représente les coûts unitaires de transport "ci" associés au déplacement depuis l'unité de production vers le centre (i).

| | Centre 1 (c1) | Centre 2 (c2) | Centre 3 (c3) |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| Unité de production | 30 | 100 | 200 |

Tableau 4.2: représente les coûts unitaires de transport "ci "

et le tableau 4.3 représente les coûts unitaires de transport "d_{ij}" associés au déplacement d'un centre(i) vers le centre (j).

| Centres | Centre 1 | Centre2 | Centre 3 |
|----------|----------|---------|----------|
| Centre 1 | 0 | 80 | 190 |
| Centre 2 | 80 | 0 | 110 |
| Centre 3 | 190 | 110 | 0 |

Tableau 4.3: Coûts unitaires de transport "d_{ij} "

Pour évaluer l'impact du coût de transport sur la performance globale du système, nous avons effectué des expérimentations sur le réseau étudié, où nous faisons varier le coût de transport par rapport au kilométrage parcouru. Comme il a été précisé dans le chapitre 3 (section 3.3.3) le problème d'optimisation du critère global est défini par la formulation suivante :

$$\text{Maximiser } J = \sum_{i=1}^n (\rho - w + c_i) y_i - \sum_{k=1}^K p_k \left[\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji} q_{ji}^k \right] \quad (PLG)$$

$$\text{sous } y_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} (q_{ji}^k - q_{ij}^k) = \tilde{x}_i^k, \forall i \in \{1, \dots, n\}, k \in \{1, \dots, K\}$$

$$\text{avec } q_{ij}^k \geq 0 \forall i, j \in \{1, \dots, n+1\}, j \neq i, k \in \{1, \dots, K\}. \quad (4.7)$$

Dans ce contexte, nous comparons le profit total du système et les quantités commandées pour chaque centre, dans le modèle avec échanges et dans le modèle sans échanges.

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux (4.4, 4.5 et 4.6) et représentés dans la figure 4.7.

| | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Coût de transport /Km | 1 | 5 | 10 | 20 | 40 |
| Profit total pour un modèle avec échange | 6323150,83 | 6282207,79 | 6232773,77 | 6131705,61 | 5931897,3 |
| Profit total pour un modèle sans échange | 6165431 | 6120371 | 6064901 | 5952821 | 5730581 |
| Coût de transport /Km | 50 | 60 | 70 | 150 | 300 |
| Profit total pour un modèle avec échange | 5831551,67 | 5730613,65 | 5630250,62 | 4827346,42 | 3321901,03 |
| Profit total pour un modèle sans échange | 5619071 | 5506793 | 5395190 | 4502366 | 0 |

Tableau 4.4 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de transport

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Coût de transport /Km | 1 | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 60 | 70 | 150 | 300 |
| Qte Centre 1 (y1) | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 |
| Qte Centre 2 (y2) | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Qte Centre 3 (y3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Qte totale | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 0 |

Tableau 4.5 : quantités commandées par chaque centre pour un modèle avec échange en fonction du coût de transport

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Coût de transport /Km | 1 | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 60 | 70 | 150 | 300 |
| Qte Centre 1 (y1) | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 0 |
| Qte Centre 2 (y2) | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 0 |
| Qte Centre 3 (y3) | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 0 |
| Qte totale | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 0 |

Tableau 4.6 quantités commandées par chaque centre pour un modèle sans échange en fonction du coût de transport

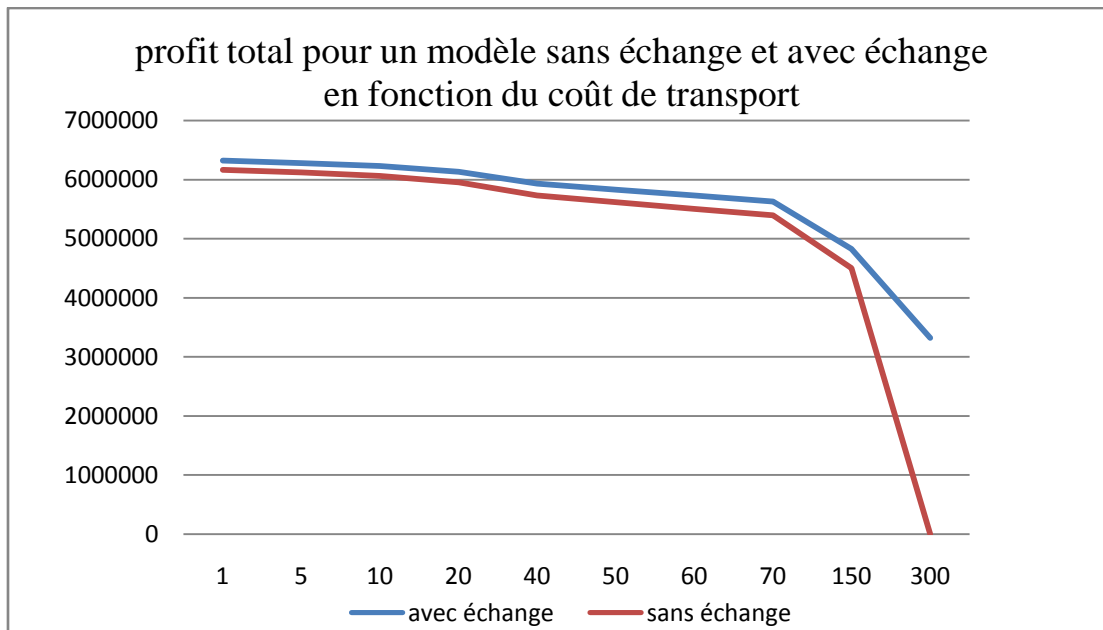


Figure 4.7 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de transport

Nous remarquons qu'une variation croissante du coût de transport ne fait que diminuer le profit total optimal du réseau de distribution, et que le profit total du réseau de distribution pour un modèle sans échange est inférieur à celui du modèle avec échange. Nous constatons aussi que les deux courbes évoluent d'une manière parallèle jusqu'à arriver aux alentours de 100 DA /Km ; au-delà de cette valeur, l'écart entre les deux courbes augmente. Pour un modèle sans échange, le profit total chute brusquement au-delà de 300 DA/Km, ce qui peut être expliqué par le fait que les centres n'ont pas intérêt à commander de produits puisque le coût de transport unitaire par article vendu rapproche ou dépasse le bénéfice engendré par l'article en question. Dans ce cas, un centre préfère être en rupture de stock que d'avoir des produits en stock ou il doit assumer les frais de transport plus le coût de stockage. Par ailleurs pour un modèle avec échange, le profit total chute également mais moins rapidement, puisqu'il y a des échanges qui peuvent absorber ou au moins diminuer les coûts de transport. Nous remarquons aussi que la même quantité totale a été commandée à l'entrepôt central dans les deux cas. Mais elle est répartie différemment dans les deux cas.

4.5.1.3 Coût de stockage\ coût de rupture

Chaque centre est doté d'un coût de stockage "h" et d'un coût de rupture "r" qui jouent un rôle important lors de la conception des réseaux de distribution, fin d'assurer la rentabilité du système. Une analyse numérique d'estimation effectuée par l'entreprise a déterminé un coût

de stockage unitaire $h=50$ Dinars Algérien pour un produit stocké et dans le cas où la demande n'est pas satisfaite, ceci engendre une perte pour le vendeur estimée par un coût de rupture unitaire $r = 500$ Dinars Algérien.

L'étude numérique est basée principalement sur les données réelles du système :

w : est le prix de gros unitaire du produit vendu par l'unité de production ou l'entrepôt central.

ρ : est le prix de vente sur le marché, prix identique encaissé par chaque centre .

η est le prix de la revente d'un produit d'un centre de distribution vers l'entrepôt central

h_i : est le coût unitaire des stocks excédentaires au centre i ,

r_i : est le coût unitaire de rupture stock au centre i ,

Les valeurs numériques pour les paramètres de l'exemple sont résumées dans le tableau 4.7.

| | Prix en Dinars Algérien |
|--------|-------------------------|
| w | 3000 |
| ρ | 5000 |
| η | 2000 |
| h_i | 50 |
| r_i | 500 |

Tableau 4.7: coûts unitaires vente et d'achat

Afin de vérifier l'impact du coût de stockage et le coût de rupture sur la performance globale du système, deux analyses de sensibilité ont été réalisées pour montrer les impacts des différents paramètres sur la structure du réseau étudié.

Nous avons effectué une première phase d'expériences en faisant varier le coût de stockage "h" pour les différentes valeurs de 50 jusqu'à 17000 pour les deux structures proposées : modèle avec échange et modèle sans échange. Nous évaluons d'une part l'impact sur le profit global du réseau, et d'autre part l'impact des quantités totales de demande.

Nous résumons l'ensemble des résultats dans le tableau (4.8 , 4.9 et 4.10) et représenté sur la figure (4.8 , 4.9 et 4.10)

| | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| h coût de stockage | 50 | 100 | 300 | 500 | 800 | 1000 |
| Profit global avec échange | 6019209,7 | 6018624,7 | 5970352,9 | 5921496,1 | 5848210,9 | 5799354,1 |
| Profit global sans échange | 5803308 | 5788356 | 5728548 | 5668740 | 5579028 | 5519220 |
| h coût de stockage | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 17000 |
| Profit global avec échange | 5677212,1 | 5555070,1 | 5310786,1 | 4828289,5 | 4593596,6 | 4067899,4 |
| Profit global sans échange | 5369700 | 5220180 | 4921140 | 4323060 | 3724980 | 1093100 |

Tableau 4.8 Profit global pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de stockage

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| h coût de stockage | 50 | 100 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 17000 |
| Qte y1 avec échange | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 |
| Qte y2 avec échange | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1070 | 630 | 250 |
| Qte y3 avec échange | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| h coût de stockage | 50 | 100 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 17000 |
| Qte y1 sans échange | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 490 |
| Qte y2 sans échange | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 450 |
| Qte y3 sans échange | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 260 |

Tableau 4.9 : Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de stockage

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| h coût de stockage | 50 | 100 | 300 | 500 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 17000 |
| Quantités totales avec échange | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3520 | 3080 | 2700 |
| Quantités totales sans échange | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 1200 |

Tableau 4.10 : Quantités totales commandées pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de stockage

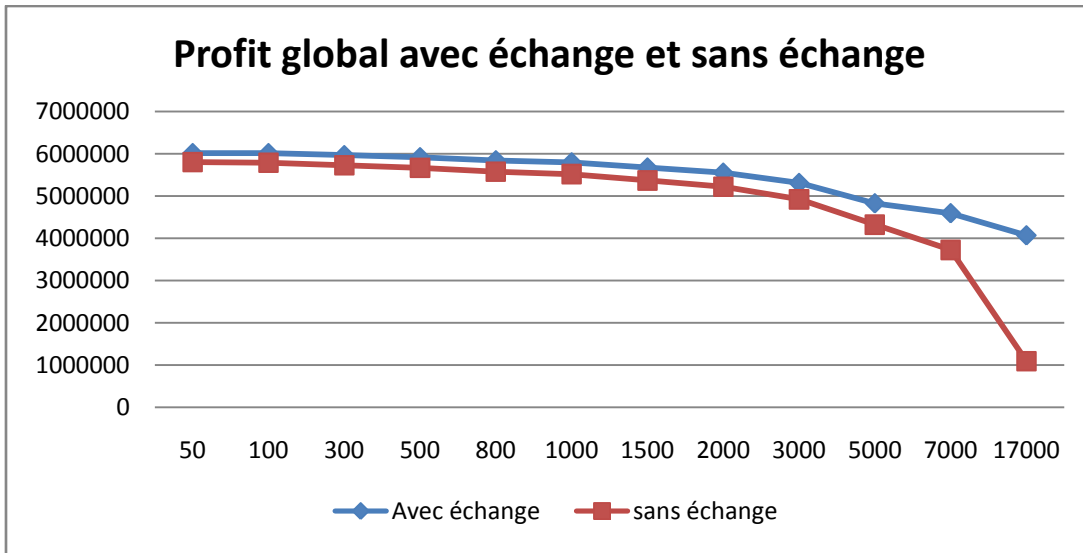


Figure 4.8 Profit global pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du cout de stockage.

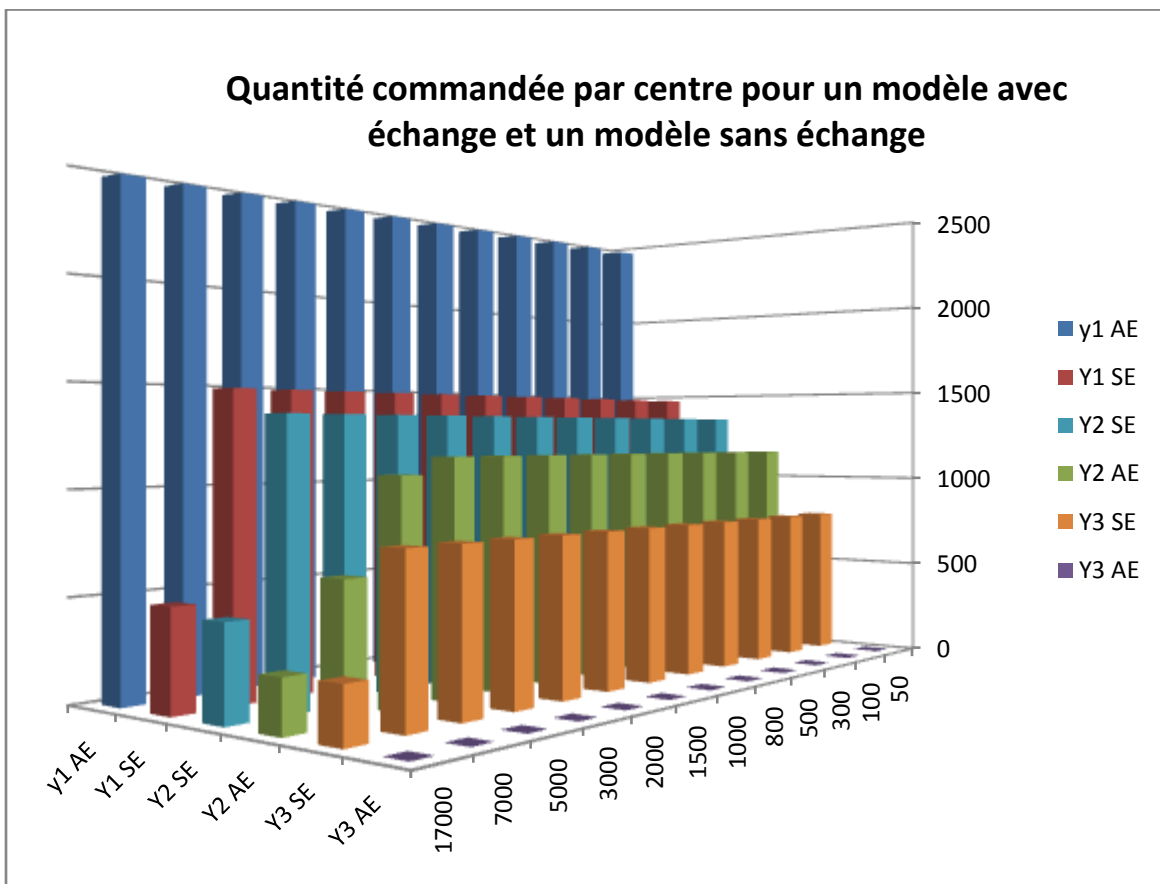


Figure 4.9 : Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de stockage

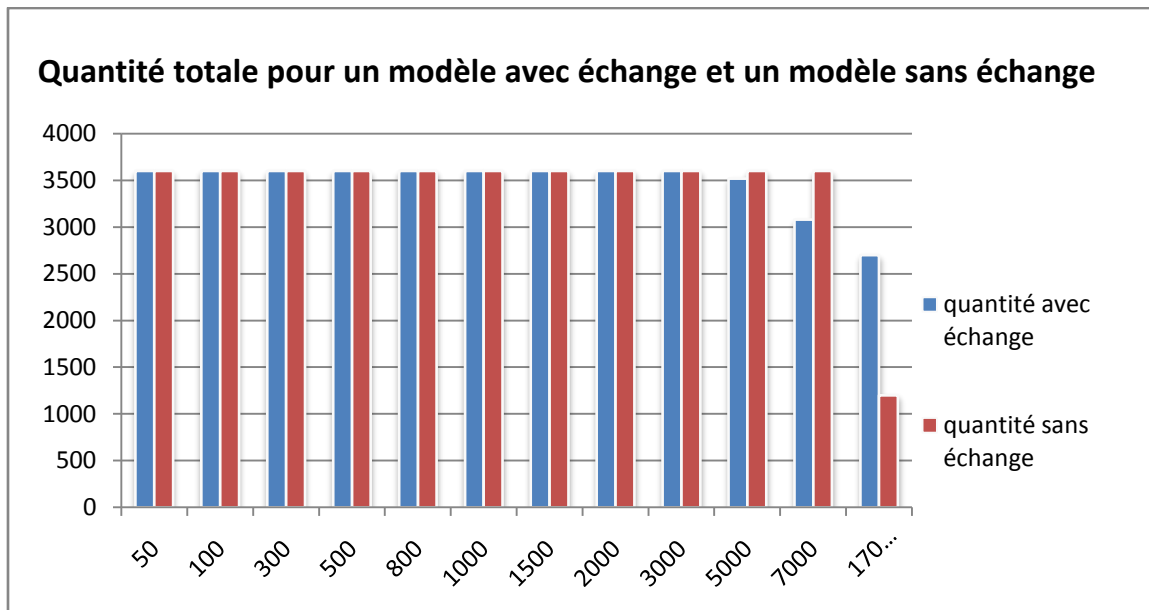


Figure 4.10 : quantité totale pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de stockage.

Nous observons qu'une variation croissante du coût de stockage allant de 50 à 17000 DA entraîne une diminution du profit total optimal du réseau de distribution, et que le profit total du réseau de distribution pour un modèle avec échange est supérieur à celui du modèle sans échange. Nous remarquons aussi que l'écart entre les deux procédures est plus au moins stable autour d'une certaine valeur, pour un coût de stockage allant de 50 à 8000DA ce qui explique le parallélisme des deux courbes de la figure 4.8. Au delà d'un coût de stockage à 8000 DA le profit global pour un modèle sans échange diminue rapidement puisque la quantité commandée à l'entrepôt est très réduite et les centres préfèrent être en rupture de stock que de payer des sommes colossales pour des produits invendus. Par ailleurs, pour un modèle où l'échange est autorisé, Nous remarquons que la quantité totale pour le modèle avec échange baisse moins rapidement que la quantité totale du modèle sans échange pour la même valeur du coût de stockage cela est dû au fait que certains produits en stock pour un centre sont livrés et vendus par un autre centre.

nous constatons aussi que, la quantité totale qui circule dans le réseau des deux modèles avec échange et sans échange sont superposées comme donné par la figure 4.10 pour un coût de stockage allant de 50 à 8000 DA par contre la répartition des quantités par centre évolue différemment dans les deux configurations proposées : modèle avec échange et modèle sans échange comme donné par la figure 4.9.

Nous avons effectué une deuxième phase d'expériences en faisant varier cette fois ci le coût de rupture "r" pour les différentes valeurs : 50 jusqu'à 10000 pour les deux structures proposées : modèle avec échange et modèle sans échange. Pour une seconde fois, nous évaluons d'une part l'impact du le profit total du réseau de transport, et d'autre part l'impact des quantités totales de demande. Nous résumons l'ensemble des résultats dans le tableau 4.11, tableau 4.12 et tableau 4.13. et on les représente dans les figures figure 4.11, figure 4.11 et figure 4.12.

| | | | | | | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| r coût de rupture | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 800 |
| Profit global avec échange | 6141351,72 | 6129137,52 | 6080280,72 | 6019209,72 | 5982567,12 | 5959459,36 |
| Profit global sans échange | 5937876 | 5922924 | 5863116 | 5803308 | 5743500 | 5713596 |
| r coût de rupture | 1000 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| Profit global avec échange | 5918327,68 | 5807265,92 | 5705097,92 | 5632758,32 | 5565616,24 | 5489800,24 |
| Profit global sans échange | 5653788 | 5354748 | 5055708 | 4457628 | 4150780 | 4150780 |

Tableau 4.11 : Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de rupture

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| r coût de rupture | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 800 | 1000 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| Qte y1 avec échange | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2450 | 2630 | 2770 | 2770 | 3150 | 3230 | 3230 |
| Qte y2 avec échange | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1230 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 |
| Qte y3 avec échange | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| r coût de rupture | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 800 | 1000 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| Qte y1 sans échange | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 1470 | 2450 | 2450 |
| Qte y2 sans échange | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 1350 | 2250 | 2250 |
| Qte y3 sans échange | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 780 | 1300 | 1300 |

Tableau 4.12 : Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de rupture

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| r coût de rupture | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 800 | 1000 | 2000 | 3000 | 5000 | 7000 | 10000 |
| Quantités totales avec échange | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3680 | 3980 | 4120 | 4120 | 4500 | 4580 | 4580 |
| Quantités totales sans échange | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 | 6000 | 6000 |

Tableau 4.13 : Quantités totales pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de rupture

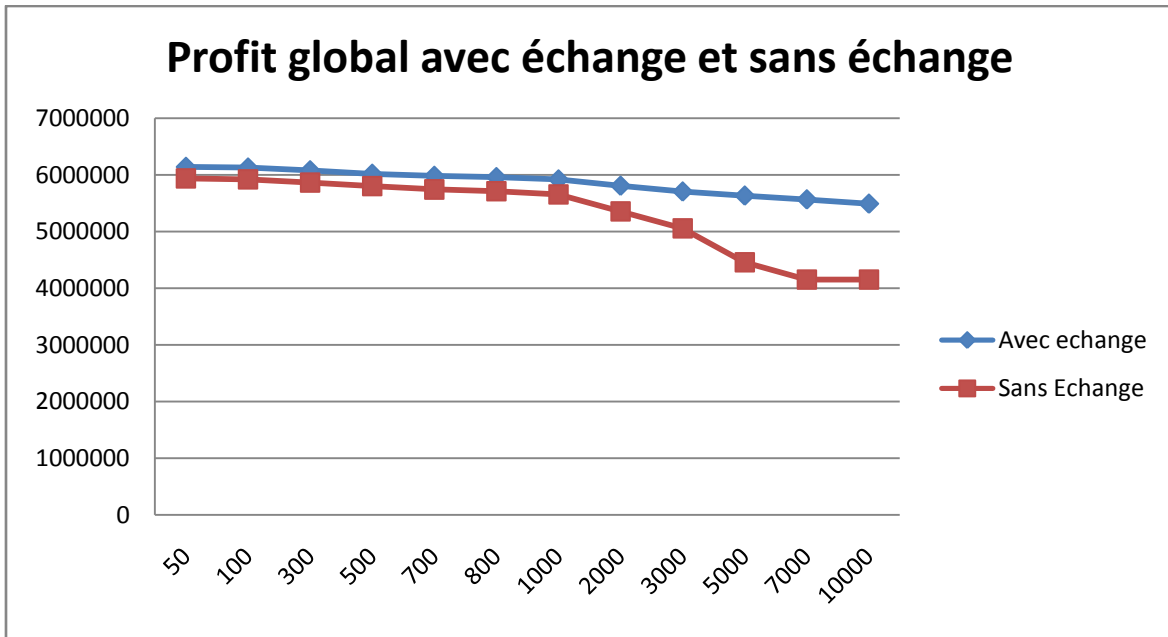


Figure 4.11 Profit total pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du coût de rupture

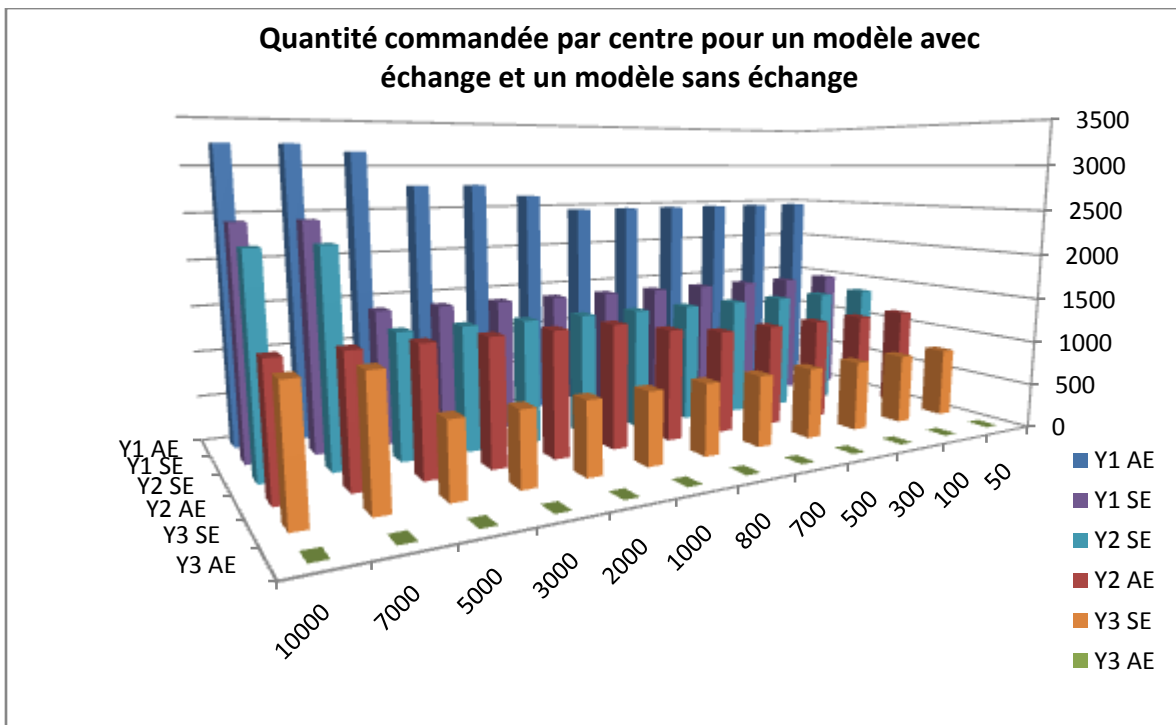


Figure 4.11 Quantité commandée par centre i pour un modèle sans échange et un modèle avec échange en fonction du coût de rupture

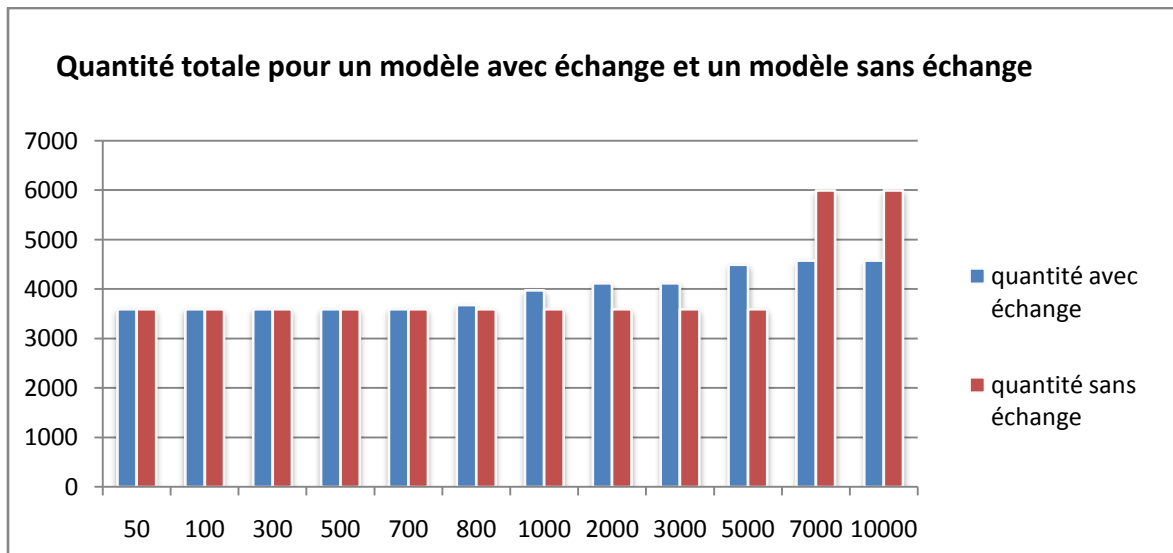


Figure 4.13 Quantité totale pour un modèle sans échange et avec échange en fonction du cout de rupture.

D'après, le graphique ci-dessus, nous constatons que le profit total du réseau de distribution est une fonction qui décroît proportionnellement à l'augmentation du coût de rupture pour les deux configurations proposées : modèles avec échange et modèle sans échange. Nous remarquons aussi que pour un coût de rupture allant de 50 a 1000, le profit total du réseau pour un modèle avec échange est supérieur à celui du modèle sans échange ce qui explique la stabilisation de l'écart entre les deux courbes, et pour un coût de rupture supérieure a 1000, on observe que valeur de l'écart pour les deux modèles proposés a tendance de se creuser davantage et les deux courbes ne cessent de diminuer avec l'augmentation du coût de rupture. En contrepartie, les quantités livrées varient différemment pour les deux structures proposées. On remarque que pour un modèle avec échange la quantité livrée par chaque centre diffère avec l'augmentation du coût de rupture (de 50 a 1000 DA) mais la quantité globale qui circule dans le système reste fixe .cela peut être expliqué par le phénomène de transbordement (transshipment) car la décision est prise globalement et un centre pourra être desservi par un autre dans le but d'améliorer la fonction de rentabilité globale.

Par ailleurs, pour un modèle sans échange, on remarque que la quantité augmente avec l'augmentation du coût de rupture, et cela est dû au fait que chaque centre décide par lui-même de la quantité livrée indépendamment des autres centres et chaque centre préfère avoir des stocks qu'être en rupture.

La mise en place du processus de coordination implique la nécessité de connaitre son impact, qu'il soit positif ou négatif, sur la performance globale. Des coûts de stockage ou des coûts de

rupture très élevés influencent négativement la performance globale du système et donc peuvent être éliminés.

4.5.2 Comparaison entre un modèle sans échanges, un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif - Application a l'exemple industriel

Pour comparer l'approche sans échange, l'approche biforme et l'approche coopérative, nous avons implémenté de manière similaire les trois procédures. Les lois de demande ont été supposées connues seulement par leur moyenne et leur variance. Nous allons d'abord commencer par un descriptif de chaque approche appliquée à notre modèle, puis nous présenterons les résultats obtenus par chaque technique et enfin nous allons faire une comparaison entre les différentes procédures proposées.

4.5.2.1 Étude du modèle sans échanges

Le problème posé à chaque détaillant $F(\cdot)$ sur chaque période de référence est analogue au problème dit de « vendeur de journaux ». Chaque centre de distribution est confronté à une demande aléatoire x_i sur la période de référence. Les variables aléatoires x_i sont supposées indépendantes et réparties suivant des lois de probabilité caractérisées par leur moyenne, notée \bar{x}_i , et leur fonction de répartition. La fonction de profit à maximiser prend alors la forme suivante :

$$I(\{i\}) = E[\rho \min(y_i, x_i)] - (w + c_i)(y_i - y_i^0) + E[(\eta - h_i) \max(y_i - x_i, 0)] - E[r_i \max(x_i - y_i, 0)] \quad (4.8)$$

Le stock initial peut être supposé nul, $y_i^0 = 0$, pour annuler un terme constant dans la fonction de profit. Ensuite, l'expression (4.8) peut être réécrite comme suit:

$$I(\{i\}) = (\rho - w - c_i)y_i - (h_i + \rho - \eta)E[\max(y_i - x_i, 0)] - r_i E[\max(x_i - y_i, 0)] \quad (4.9)$$

En se basant sur les travaux antérieurs sur le problème vendeur de journaux (H.S. Lau, 1997.) la quantité optimale à commander est donnée par l'expression suivante :

$$y_i = F_i^{-1} \left(\frac{r_i + \rho - w - c_i}{r_i + \rho + h_i - \eta} \right) \quad (4.10)$$

Nous résumons l'ensemble des résultats dans le tableau suivant :

| Quantité -profit | Modèle sans échange |
|----------------------------------|---------------------|
| y_1 | 1470 |
| $v(\{1\})$ | 2287279 |
| y_2 | 1350 |
| $v(\{2\})$ | 1990805 |
| y_3 | 780 |
| $v(\{3\})$ | 1127265 |
| $y_1 + y_2 + y_3$ | 3600 |
| $v(\{1\}) + v(\{2\}) + v(\{3\})$ | 5803308 |

Tableau 4.12 quantité et profit par centre pour un model sans échange

4.5.2.2 Étude du jeu biforme

Comme il a été précisé auparavant un jeu biforme peut être défini par un processus décisionnel constitué de deux problèmes d'optimisation en séquence : un problème de décision stratégique en environnement incertain, puis un problème de décision coopérative au sein du réseau de grossiste. Le problème est constitué de deux parties successives. Dans la première partie, chaque centre ne dispose que d'une prévision locale de la demande. Le problème posé à chaque détaillant est analogue au problème dit de « vendeur de journaux », et la quantité d'approvisionnement est donnée par (4.10).

Dès la réalisation de la demande, la deuxième partie du jeu biforme démarre, où l'objectif est d'organiser des échanges de produits entre les centres de distribution, afin de satisfaire au mieux les demandes dans tous les centres selon la disponibilité et le besoin. En d'autres termes, l'étape de recours vise à compenser les écarts entre les demandes réelles, x_i et les quantités y_i commandées par les différents détaillants.

Les variables de décision de la seconde étape représentent les prix de transfert et les quantités de produit entre couples de centres (π_{ij}, q_{ij}) du centre i vers le centre j et (π_{ji}, q_{ji}) du centre j vers le centre i avec $i \in N, j \in N, j \neq i$.

Les coûts de transport dans la deuxième étape sont supposés proportionnels aux quantités transportées. La matrice $((d_{ij}))$ représente les coûts unitaires de transport entre couples de centre (i, j) . Ces coûts de transport sont censés être payés par les acheteurs des marchandises, au-delà des prix d'échange négociés entre centres. Pour chaque produit transféré du vendeur i

au vendeur j ou $j \neq i$, le centre récepteur j doit payer $\pi_{ij} + d_{ij}$ et le centre livreur i reçoit un prix de π_{ij} par unité et le coût d_{ij} est versé au transporteur par unité transportée.

Dans le contexte du jeu biforme, les problèmes d'optimisation des deux étapes sont indépendants. Comme la deuxième étape est la solution d'un sous-jeu coopératif, elle correspond à l'optimisation du critère global de coût qui équilibre les coûts d'échange de produits avec les coûts de stockage et de rupture de stock. En notant \tilde{x}_i la valeur réalisée de la demande au centre i , le problème déterministe de minimisation du profit total de la deuxième étape peut s'écrire ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Minimiser } CT = & \sum_{i \in S} \sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} d_{ji} q_{ji} + \sum_{i \in S} (h_i + \rho - \eta) \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ji} - q_{ij}) + y_i - \tilde{x}_i, 0 \right] \\ & + \sum_{i \in S} r_i \max \left[\sum_{\substack{j \in S \\ j \neq i}} (q_{ij} - q_{ji}) + \tilde{x}_i - y_i, 0 \right] \end{aligned} \quad (4.11)$$

On peut noter que les prix de transfert des produits entre centres n'apparaissent pas dans le critère d'optimisation global PT, puisqu'ils sont payés par un centre et reçus par un autre. Leur somme algébrique est donc nulle.

Nous résumons l'ensemble des résultats dans le tableau suivant :

| Quantité -profit | Modèle de jeu biforme |
|-------------------|-----------------------|
| y_1 | 1470 |
| y_2 | 1350 |
| y_3 | 780 |
| $y_1 + y_2 + y_3$ | 3600 |
| Profit total | 6021100 DA |

Tableau 4.13 quantité et profit par centre pour un modèle jeu biforme

4.5.2.3 Étude du jeu coopératif

Dans une approche entièrement coopérative, les centres de décision s'associent pour les deux étapes du jeu dans une coalition $S \subset \mathcal{N}$. Au sein de cette coalition, ils optimisent globalement leur profit espéré grâce au choix des valeurs de leurs variables de décision. Pour maximiser le profit global du réseau de vendeurs et calculer les variables de décision de tous les centres, il suffit donc de résoudre le problème suivant :

$$\begin{aligned}
\hat{v}(S) = & \max_{\substack{y_i \geq 0, i \in S \\ q_{ij}^k \geq 0, i \in SS, j \in SS, j \neq i, k \in \{1, \dots, K\}}} J(S) = \sum_{i \in S} c_i y_i + \sum_{k=1, \dots, K} p_k \left[\sum_{i \in SS} \sum_{j \in SS, j \neq i} d_{ji} q_{ji}^k \right] \\
\text{sous } & y_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (q_{ji}^k - q_{ij}^k) = \tilde{x}_i^k, \forall i \in \{1, \dots, n\}, k \in \{1, \dots, K\} \\
\text{avec } & q_{ij}^k \geq 0 \forall i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, n\} - \{i\}, k \in \{1, \dots, K\}
\end{aligned} \tag{4.12}$$

4.5.2.4 Génération de scénario

Dans cette étude, la plus grande importance est accordée à la valeur moyenne et à la variance, les autres valeurs de la loi discrète étant choisies d'une façon symétrique dans la zone de définition des données réelles.

Dans ce cadre nous avons effectué deux séries de test. Dans la première série nous avons prévu trois scénarios par centre, dans la deuxième série d'expérience nous proposons cinq scénarios par centre.

Pour chaque série de test nous avons choisi des distributions de probabilité qui satisfont les exigences de l'exemple. En particulier, nous avons choisi l'écart type pour le centre i avec coefficient de dissymétrie égale 0 et kurtosis égale 4.

Première série (Arbre a Trois scénarios notées sc3)

Pour chaque centre de la demande, trois valeurs possibles sont proposées :

$$\begin{aligned}
\tilde{x}_i &= m_i - 2\sigma_i \text{ avec probabilité } (\tilde{x}_i) = 1/8, \\
\tilde{x}_i &= m_i \text{ avec probabilité } (\tilde{x}_i) = 3/4, \\
\tilde{x}_i &= m_i + 2\sigma_i \text{ avec probabilité } (\tilde{x}_i) = 1/8,
\end{aligned} \tag{4.13}$$

Comme il y a 3 centres et 3 scénarios par centre, ces scénarios étant supposés indépendants entre eux, le nombre total de scénarios est : $k=3^3=27$.

Deuxième série (arbre a cinq valeurs de scénarios notées sc5)

pour chaque centre de la demande, cinq valeurs possibles sont sélectionnées:

$$\begin{aligned}
\tilde{x}_i &= m_i - 3\sigma_i \text{ avec une probabilité de } 1/48, \\
\tilde{x}_i &= m_i - \sigma_i \text{ avec une probabilité de } 15/48, \\
\tilde{x}_i &= m_i \text{ avec une probabilité de } 1/3, \\
\tilde{x}_i &= m_i + \sigma_i \text{ avec une probabilité de } 15/48, \\
\tilde{x}_i &= m_i + 3\sigma_i \text{ avec une probabilité de } 1/48.
\end{aligned} \tag{4.14}$$

Le nombre de scénarios générés est , $k = 5^3 = 125$, et la probabilité discrète générée a les mêmes 4 moments que les lois de la demande de probabilité.

4.5.3 Les résultats expérimentaux

4.5.3.1 Les résultats

L'optimisation est effectuée avec le logiciel de Programmation Linéaire GLPK. Le tableau 4.15 montre les valeurs caractéristiques de toutes les coalitions S qui ont été calculées selon les techniques de scénarios en résolvant les problèmes d'optimisation associés (4.12) avec échange de produits entre les centres en S . Les valeurs moyennes des quantités échangées entre les centres de la phase de recours sont obtenues par sommation des quantités échangées dans les scénarios k , q_{ij}^k pondérées par la probabilité associée à chaque scénario k , P_k .

La résolution du problème (LPS) pour tout $S \subset \mathcal{N}$ donne les résultats rapportés dans le tableau 4.14:

| v | sc3 | sc5 |
|---------|---------|---------|
| {1} | 2462420 | 2294220 |
| {2} | 2166900 | 1980940 |
| {3} | 1211990 | 1057880 |
| {1,2} | 4736011 | 4650861 |
| {1,3} | 3749921 | 3654564 |
| {2,3} | 3438329 | 3331220 |
| {1,2,3} | 6058833 | 6009931 |

Tableau 4.14 : profit des différentes coalitions pour 3scenarios et 5 scenarios

Selon la propriété de la grande coalition présentée précédemment dans le chapitre trois et donné par la formule (3.42), la résolution de problème (4.12) donne les quantités optimales y_i^* ainsi que la moyenne des quantités échangées optimal \bar{q}_{ij}^* tel que représenté sur la figure 4.12, pour le scénario sc3 et figure 4.13 pour le scénario sc5.

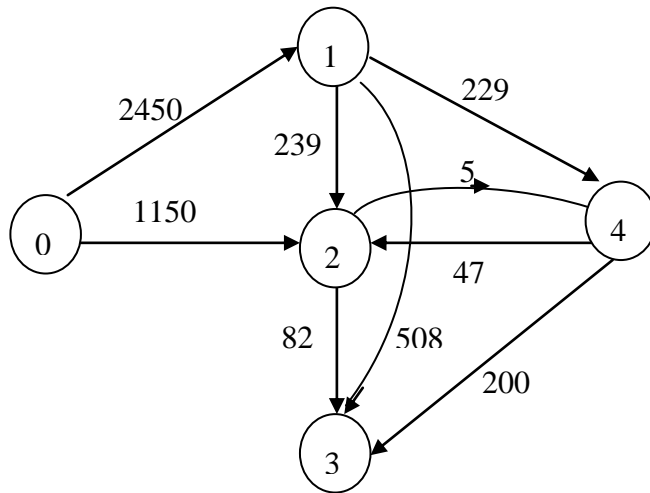


Figure.4.12 moyenne des quantités échangées pour 3 scenarios sc3

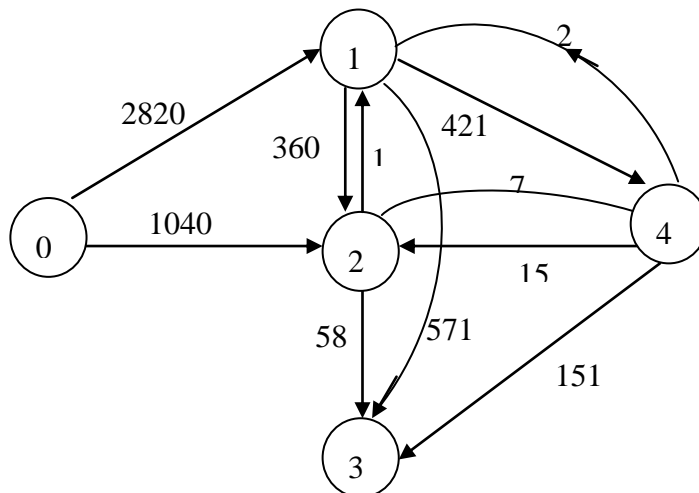


Figure.4.13 moyenne des quantités échangées pour 5 scenarios sc5

Nous avons supposé que les coûts de transport d'un centre i vers un centre j ou du centre j vers le centre i pour la même distance parcourue sont égaux, et ceci est valable pour toute paire de centres (i, j) excepté le centre fictif. Nous supposons aussi, pour la commodité des échanges entre centres, $\pi_{ij} = \pi_{ji}$. Ensuite, il suffit de remplacer les deux quantités \bar{q}_{ij} et \bar{q}_{ji} par $\bar{q}_{ij} - \bar{q}_{ji}$ si $\bar{q}_{ij} \geq \bar{q}_{ji}$. Ceci est illustré sur la figure 4.13 par le remplacement des deux arcs 1-2 et 2-1 par un seul arc 1-2 avec la quantité de $\bar{q}_{12} = 359$.

Pour maximiser le gain global du réseau, il faut minimiser dans la phase de recours la fonction de coût de la formule (4.11). Au problème ci-dessous, nous avons ajouté une contrainte supplémentaire pour limiter les prix de transfert à 5000DA.

En posant :

$$s(i) = \rho(y_i^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ij}^* + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \bar{q}_{ji}^*) - (w + c_i)y_i^* - d_{i,n+1}\bar{q}_{i,n+1}^* - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{n+1} d_{ji}\bar{q}_{ji}^* \quad (4.15)$$

$$\delta(i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (\pi_{ij}\bar{q}_{ij}^* - \pi_{ji}\bar{q}_{ji}^*) \quad (4.16)$$

On décompose le gain espéré du centre i sous la forme :

$$u(i) = s(i) + \delta(i) \quad (4.17)$$

et les contraintes de rationalité individuelle s'écrivent :

$$u(i) = s(i) + \delta(i) \geq v(i) \quad (4.18)$$

$$\text{soit } \delta(i) \geq v(i) - s(i) \quad (4.19)$$

avec

$$s(i) = \begin{bmatrix} 419432 \\ 2514587 \\ 3059263 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad v(i) = \begin{bmatrix} 2316070 \\ 2032500 \\ 1096330 \end{bmatrix} \quad \text{soit} \quad \begin{bmatrix} \delta(1) \\ \delta(2) \\ \delta(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1896638 \\ -482087 \\ -1962933 \end{bmatrix}$$

Ce qui donne :

$$\begin{bmatrix} \delta(1) \\ \delta(2) \\ \delta(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\pi_{21}\bar{q}_{21}^* + \pi_{12}\bar{q}_{12}^* - \pi_{31}\bar{q}_{31}^* + \pi_{13}\bar{q}_{13}^* \\ -\pi_{12}\bar{q}_{12}^* + \pi_{21}\bar{q}_{21}^* - \pi_{32}\bar{q}_{32}^* + \pi_{23}\bar{q}_{23}^* \\ -\pi_{13}\bar{q}_{13}^* + \pi_{31}\bar{q}_{31}^* - \pi_{23}\bar{q}_{23}^* + \pi_{32}\bar{q}_{32}^* \end{bmatrix}$$

Avec les valeurs des \bar{q}_{ij}^* données dans le tableau de résultats, on a :

$$\begin{bmatrix} \delta(1) \\ \delta(2) \\ \delta(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 136,67 & 513,01 & 0 \\ -136,67 & 0 & 132,64 \\ 0 & -513,01 & -132,64 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_{12} \\ \pi_{13} \\ \pi_{23} \end{bmatrix}$$

D'où les 3 inégalités de prix :

$$\begin{bmatrix} 136,67 & 513,01 & 0 \\ -136,67 & 0 & 132,64 \\ 0 & -513,01 & -132,64 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_{12} \\ \pi_{13} \\ \pi_{23} \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 1896638 \\ -482087 \\ -1962933 \end{bmatrix}$$

on doit aussi respecter les inégalités suivantes, relatives aux coalitions de deux centres :

$$\delta(1) + \delta(2) \geq v(\{1,2\}) - s(1) - s(2)$$

$$\delta(1) + \delta(3) \geq v(\{1,3\}) - s(1) - s(3)$$

$$\delta(2) + \delta(3) \geq v(\{2,3\}) - s(2) - s(3)$$

ce qui donne :

$$\begin{bmatrix} 0 & 513,01 & 132,64 \\ 136,67 & 0 & -132,64 \\ -136,67 & -513,01 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_{12} \\ \pi_{13} \\ \pi_{23} \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 1701777 \\ 154991 \\ -2262273 \end{bmatrix}$$

avec :

$$v(1,2) = 4635797$$

$$v(1,3) = 3633686$$

$$v(2,3) = 3311578$$

Au total, les contraintes de rationalité sont les suivantes :

$$\begin{bmatrix} 136,67 & 513,01 & 0 \\ -136,67 & 0 & 132,64 \\ 0 & -513,01 & -132,64 \\ 0 & 513,01 & 132,64 \\ 136,67 & 0 & -132,64 \\ -136,67 & -513,01 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_{12} \\ \pi_{13} \\ \pi_{23} \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 1896638 \\ -482087 \\ -1962933 \\ 1701777 \\ 154991 \\ -2262273 \end{bmatrix}$$

Les solutions de base particulières sont :

pour le scénario sc3: $\pi_{12} = 3619$

$$\pi_{13} = 2519$$

$$\pi_{12} = 2519$$

pour le scénario sc5: $\pi_{12} = 3793$

$$\pi_{13} = 2758$$

$$\pi_{12} = 2758$$

Pour augmenter la robustesse de l'ensemble des prix qui respecte la condition de rationalité, nous avons proposé de combiner les conditions du cœur du jeu dans les deux techniques de génération de scénario. La solution la plus robuste qui appartient aux deux noyaux est:

$$\pi_{12} = 3307$$

$$\pi_{13} = 2753$$

$$\pi_{12} = 1275$$

Le critère optimal qui satisfait les conditions du cœur du jeu sur les deux ensembles est $\psi = 39300$. Ceci représente la marge de profit stable qui vérifie les conditions dans la politique d'échange avec les prix proposés. Dans cet exemple, il est possible de tracer les domaines de solutions réalisables représentés par leurs prix de transfert correspondantes dans les expérimentations effectuées (configuration avec 3 scénario sc3 et configuration avec 3 scénario). La figure. 4.14 montre ce domaine, avec les points de solution proposées :

A pour 3 scénario sc3 par centre,

B pour 5 scénario sc5 par centre

et C, la solution privilégiée qui combine les conditions de rationalité obtenus dans les deux techniques de génération de scénario.

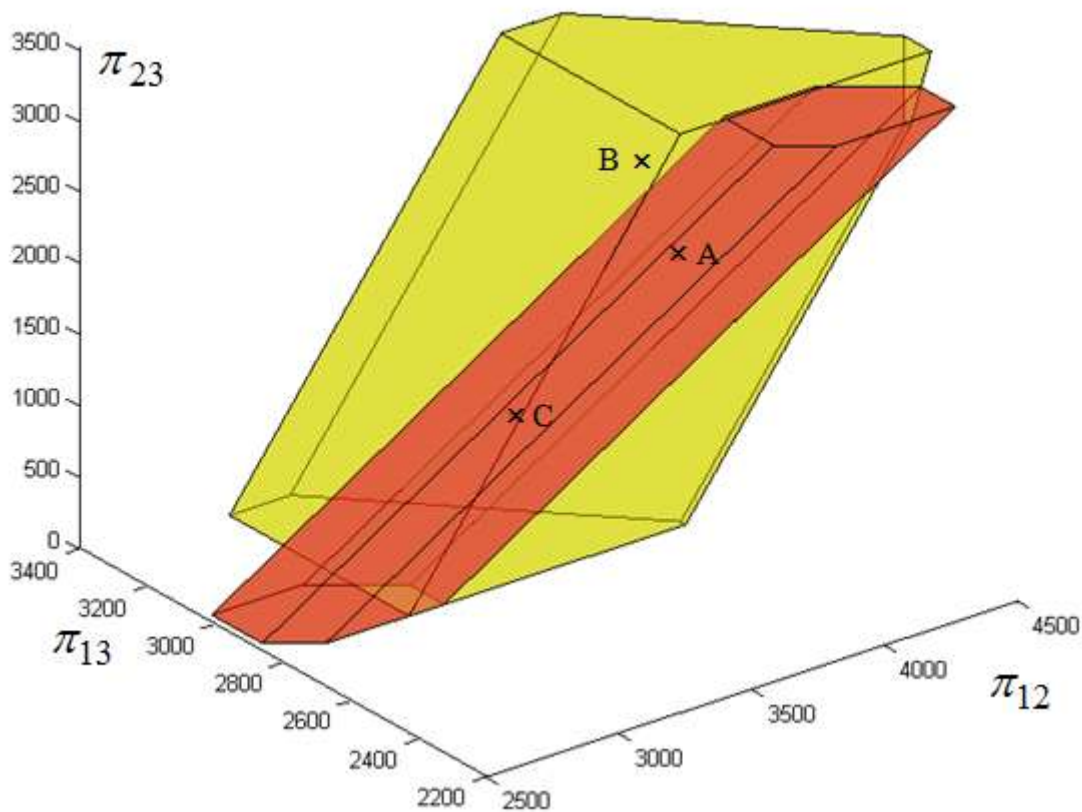


Figure 4.14 Les deux domaines réalisables pour les prix de transfert.

4.5.3.2 Discussion

La détermination des prix de transfert génère des paiements entre les différents centres qui sont adaptés automatiquement aux demandes réelles. Cependant, la première phase est une phase de négociation nécessaire pour avoir les quantités initialement commandées, suivie par la deuxième phase où des produits sont échangés entre vendeurs et un ensemble de prix de

transfert rationnels acceptés par les partenaires. La rationalité de l'ensemble des prix d'échange est la condition théorique clé pour l'acceptation du prix, mais des conditions supplémentaires devraient être ajoutées au programme de détermination du prix afin de garder l'ensemble des prix d'échange dans une région intuitivement acceptable autour du prix de gros (3000 dans l'exemple). Le fait que le système coopératif est en mesure de réaliser le bénéfice maximal prévu est le meilleur argument rationnel pour la mise en œuvre du régime coopératif. Cependant, il faut garder à l'esprit que, dans certaines réalisations de la demande, le bénéfice d'un ou de plusieurs détaillants peut être plus petit que dans un schéma non-coopératif ou dans une situation en partie coopérative. C'est seulement en moyenne et à long terme que la situation gagnant-gagnant peut être garantie en raison de l'incertitude sur les demandes.

4.5.3.3 Comparaison des résultats numériques entre un modèle sans échange, un modèle de jeu biforme et un modèle de jeu coopératif :

Pour comparer l'approche sans échange, l'approche biforme et l'approche coopérative, nous avons implémenté de manière similaire les trois procédures. en utilisant les mêmes paramètres pour caractériser le réseau de distribution : les lois de demande, coût de transport,....

La méthode des scénarios a été utilisée dans les trois cas, avec les mêmes scénarios pour faciliter la comparaison. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 4.16 suivant :

| | modèle sans échange | modèle de jeu biforme | modèle de jeu coopératif |
|---------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| profit global | 5803308 | 6021100 | 6058900 |
| y1 | 1470 | 1470 | 2450 |
| y2 | 1350 | 1350 | 1150 |
| y3 | 780 | 780 | 0 |
| y1+ y2 + y3 | 3600 pièces | 3600 pièces | 3600 pièces |

Tableau 4.15 : quantités et profit global des différentes configurations : modèle sans échange, modèle de jeu biforme, modèle de jeu coopératif

A partir des résultats obtenus, nous remarquons que la même quantité totale a été commandée à l'entrepôt central dans les trois cas. Mais elle est répartie différemment dans le modèle de jeu biforme et le modèle de jeu coopératif. Nous constatons aussi que le modèle coopératif, où les échanges futurs sont anticipés dès la première phase, aboutit à un profit plus élevé. Le gain absolu espéré est de l'ordre de 37800 DA, ce qui correspond à une augmentation du profit d'environ 6%.

Pour un modèle sans échange et un modèle coopératif, nous constatons un gain absolu de l'ordre de 255592 DA, ce qui correspond à une augmentation du profit d'environ 4%.

Cette augmentation est significative et s'accompagne d'une amélioration du service global puisque pour une même quantité de produits commandés, le pourcentage de clients dont la demande a été satisfaite a augmenté

4.6 Conclusions

Dans ce chapitre, nous avons présenté le système étudié qui est un réseau de distribution monoproduit, composé d'un entrepôt central et de trois centres de distributions. Dans ce contexte, nous avons comparé plusieurs configurations différentes : une structure sans échange, une structure avec échanges non anticipés et une structure coopérative. Pour étudier ce problème, nous avons utilisé des modèles de programmation stochastique multi-étapes avec recours, plus précisément nous avons décomposé le problème en deux étapes : dans la première étape, des variables prévisionnelles sont fixées pour effectuer le calcul d'approvisionnement des stocks locaux, dans l'étape ultérieure des variables d'ajustement sont déterminées pour organiser globalement les échanges entre les centres de distribution en fonction des demandes réelles reçues en intégrant la méthode des scénarios.

L'objectif principal de ce chapitre a été d'aider un réseau de vendeurs à décider s'ils doivent échanger leurs produits entre eux, afin de mieux satisfaire les demandes locales, ou s'ils doivent compter uniquement sur leur prestation de saison auprès du fournisseur. Ce problème a été représenté comme un problème de théorie des jeux coopératifs pour lesquels le problème de maximisation du profit attendu a été formulé comme un modèle d'optimisation stochastique avec recours. Le modèle de recours proposé reflète une pratique industrielle actuelle qui nécessite une planification dans l'incertitude, suivie par des ajustements pour adapter le plan aux événements qui se produisent dans la réalité.

Les résultats numériques indiquent que dans le cas où les échanges sont rentables, alors il est nécessaire de répartir les bénéfices supplémentaires attendus d'une manière efficace et rationnelle, pour atteindre la stabilité de coalition. Dans ce contexte nous avons proposées une politique de prix, directement mis en œuvre entre les vendeurs. Les prix d'échange sont choisis pour maximiser la stabilité de la coalition.

Les résultats numériques que nous avons obtenus ont permis d'évaluer l'efficacité de l'algorithme proposé pour chaque configuration. De plus, ils nous indiquent que la

centralisation de la décision entraînée par la collaboration entre centres est nettement plus avantageuse pour le réseau global qu'une organisation décentralisée sans échanges.

Les résultats obtenus montrent que dans la plupart des configurations de coûts réalistes, tous les vendeurs du réseau de distribution se trouvent dans une situation « gagnant-gagnant » dans laquelle ils ont intérêt à coopérer.

Conclusion et perspectives

Les travaux de recherche qui ont été présentés dans cette thèse concernent principalement les problèmes de centralisation ou décentralisation des stocks dans les réseaux de distribution, ce qui demeure une problématique de recherche très riche.

Dans la configuration décentralisée, chaque acteur prend les décisions qui maximisent son profit selon ses propres objectifs, ce qui peut avoir des effets néfastes sur la performance globale du réseau. Comme alternative à cette démarche individualiste, de nombreuses entreprises tentent de changer fondamentalement leur pratique en cherchant à coopérer de plus en plus, par l'échange de données, par le partage de ressources ou de produits, afin d'assurer une meilleure réactivité et une maximisation du profit global. Bien évidemment, la coopération dans un réseau peut s'avérer très avantageuse pour certains acteurs et moins pour d'autres. Dans ce contexte, comment motiver des acteurs les plus défavorables à coopérer ?

L'objectif de cette thèse était de proposer un outil d'aide à la coopération entre différents acteurs du même réseau de distribution pour diminuer les problèmes liés à la gestion de stock dans ce réseau. La technique retenue consiste en la possibilité d'utilisation des stocks locaux d'un centre par un autre centre dans le but de réduire les coûts de stockage en coordonnant les différents opérateurs, afin de renforcer l'efficacité du réseau global et d'améliorer le niveau de service offert. Dans ce contexte nous avons développé un cadre de modélisation et un support théorique à travers les approches coopératives et stratégiques issues de la théorie des jeux. En particulier, le problème avec échanges de produits a été représenté comme un problème de théorie des jeux coopératifs pour lequel le problème de maximisation du profit global attendu a été formulé comme un modèle d'optimisation stochastique avec recours.

Dans ce travail, nous avons étudié plus particulièrement un réseau de distribution monoproduit, composé d'un entrepôt central et de plusieurs centres de distributions pour deux configurations différentes : une structure centralisée une configuration décentralisée. Pour évaluer ces configurations, nous avons modélisé le système d'approvisionnement entre l'entrepôt central et les centres de distribution puis analysé les différentes formes de coopération par la formation de coalitions entre les centres de distribution. Le problème de calcul des performances d'un réseau coopératif a été formulé comme un problème d'optimisation stochastique en deux étapes : une première étape de commande de produits à l'entrepôt, alors que les demandes sont incertaines, puis une seconde étape avec demandes connues. Ainsi, l'application de modèles de recours multi-étapes a mis en évidence les couplages entre les variables prévisionnelles fixées à la première étape, qui permettent le

calcul d'approvisionnement des stocks locaux, et les variables d'ajustement affectées à l'étape suivante, qui permettent d'organiser globalement les échanges entre les centres de distribution en fonction des demandes réelles reçues. En intégrant ensuite la méthode des scénarios, nous avons formulé le problème sous la forme d'un programme linéaire permettant d'obtenir le profit global optimal et la coalition optimale qui génère ce profit.

Nos principales contributions peuvent être résumées ainsi :

Détermination de la coalition d'échanges optimale, des quantités à commander par chaque centre et organisation des échanges de produits entre les entreprises en fonction des demandes locales réelles, par résolution d'un problème de recours admettant toujours une solution finie. Proposition d'une politique de partage du profit espéré entre les partenaires de la coalition vérifiant les propriétés d'efficacité et de rationalité, ce qui permet de garantir la stabilité de la coalition. La mise en œuvre de cette politique d'allocation sous la forme de prix d'échange des produits permet son adaptation automatique aux demandes réelles.

Application de la méthodologie proposée à une application réelle. Il s'agit du réseau de distribution LIT-MAG. Nous avons fourni les résultats obtenus suite à l'optimisation des approvisionnements et des échanges par le logiciel GLPK, afin d'évaluer l'impact de la coopération entre différents acteurs. Nous avons aussi calculé des prix d'échange qui permettent d'assurer la satisfaction des propriétés de rationalité et d'efficacité pour la grande coalition composée de tous les joueurs. Les prix d'échange calculés maximisent le rayon de la politique d'allocation des bénéfices, ce qui autorise la déviation maximale entre les bénéfices attendus et ceux obtenus dans la réalité.

Une retombée de cette étude est de fournir une aide à la décision pour un réseau de vendeurs, pour décider s'ils doivent échanger leurs produits entre eux, afin de mieux satisfaire les demandes locales, ou s'ils doivent compter uniquement sur leur approvisionnement saisonnier auprès du fournisseur. Le modèle proposé avec recours reflète une pratique industrielle actuelle qui exige une planification sous incertitude, suivie par des ajustements pour adapter le plan aux événements qui se produisent vraiment. Lorsque les résultats numériques indiquent que les échanges devraient être rentables, alors il est nécessaire de répartir les bénéfices supplémentaires attendus d'une manière efficace et rationnelle, pour garantir la stabilité de coalition. Cette thèse se propose d'atteindre cette exigence de stabilité par une politique de prix, qui peut être directement mise en œuvre entre les vendeurs.

Les résultats numériques que nous avons obtenus ont permis d'évaluer l'efficacité de l'algorithme proposé pour chaque configuration. De plus, ils nous indiquent que la

centralisation de la décision associée à la collaboration entre centres est nettement plus avantageuse pour le réseau global qu'une organisation décentralisée.

Cette thèse ouvre aussi quelques perspectives de recherche qui portent en particulier sur les sujets suivants :

- (1) amélioration des modèles d'évaluation des coûts de transport, en prenant en compte le choix des camions, les problèmes de tournées, etc.
- (2) étude de la coopération dans les systèmes de stocks multi-échelons,
- (3) passage au cas de plusieurs types de produit pour l'entrepôt central et pour les centres de vente.

Cette liste est loin d'être exhaustive car les sujets de recherche intéressants sont nombreux et nous espérons voir apparaître à l'avenir beaucoup de travaux de recherche dans ce domaine.

Références

Ansoff, I., 1965, Corporate Strategy, McGraw-Hill

Anupindi et al 2001 Anupindi, R., Bassok, Y., Zemel, E., A general framework for the study of decentralized distribution systems. *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 3, no. 4, pp. 349-368, 2001.

Arda, Y., Hennet, J.C. 2006, Inventory control in a multi-supplier system. *International Journal of Production Economics* ,Vol 104/2 pp 249-259, 2006.

Baglin, G., Bruel, O., Garreau, A., Greif, M. and VanDelft, C. *Management logistique et industriel*, Economica, Paris, 2001.

Barros L., 1997. A global view of logistics. *Production Management*, 14.

Bastian, M. 1986. Joint replenishment in multi-item inventory systems. *Operational Research Society*, 37:1113_1120.

Beamon B.M., 1998. Supply chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics*, 553, pp. 281-94.

Bentaha, M.L., Battaïa O., Dolgui A., 2015. An exact solution approach for disassembly line balancing problem under uncertainty of the task processing times. *International Journal of Production Research* 536, 1807-1818

Bessler S.A., Veinott A.J., 1996. Optimal policy for a multi-echelon inventory model. *Naval Research Logistics Quarterly*, 134, pp. 355-389.

Birge J. R. et Louveau F.V., 1997, Introduction to Stochastic Programming, Springer Verlag, New-York.

Boujut J., Cavaillé J., Jeantet A., 2002. Instrumentation de la coopération. Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J.Perrin, Lavoisier, Hermes Science, p. 91-109.

Brandenburger, A. , Stuart, H., 2007 Biform games.*Management Science*, vol. 55, no. 4, pp. 537-549, 2007.

Brandenburger, A. 2007 Cooperative game theory : Characteristic functions, allocations, marginal contribution. *Stern School of Business, New York University*: Teaching material available at: <http://pages.stern.nyu.edu/~abranden/teaching.html>, 2007.

Butera F., 1991. La métaphore de l'organisation : du château au réseau. Les Éditions d'Organisation, Paris.

Cachon, G.P., 2001. Stock wars: inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers. *Operations Research*, vol. 49, no. 5, pp. 658-674, 2001.

Cachon, G. and Netessine, S. 2004. Game theory in supply chain analysis. Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the eBusiness Era, Kluwer. David Simchi-Levi, and S. David Wu and Zuo-Jun Shen editors, 2004.

Cachon, G., Zipkin, P., 1999. Competitive and cooperative inventory policies in a two stage supply chain. *Management Science*, 45 pp:936-953, 1999.

Caldentey, R., L. Wein 2003. Analysis of a Decentralized Production-Inventory System. *M&SOM* vol. 5, 1-17

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

Camerer, C. 2003. Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction. *Princeton University Press*. 2003.

Campagne J., Sénéchal O., 2002. Les nouvelles exigences de la coopération. Dans : *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels* sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, Lavoisier, Hermes Science, p. 51-67

Cetinkaya, S. and C. Y. Lee. Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor-Managed Inventory Systems. *Management Science*, 2000, 462: 217-232

Chakravarty, A. 1985. An optimal heuristic for coordinated multi-item inventory replenishment. *Operational Research Society*, 36:1027_1039.

Chandler, Jr., Alfred D., *Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise* 1962

Chatain, O., Zemskyn, P., 2007. The horizontal scope of the firm: organizational tradeoffs vs. buyer supplier relationships. *Management Science*, vol. 53, no. 4, pp. 550-565, 2007.

Chen, M. and Lin, C. 1989. Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. *Journal of the Operational Research Society*, 40:597_602.

Christopher M. 1998, *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for reducing cost and improving services. Second edition, Financial Times/prentice Hall*, London. 1998.

Clark A.J., Scarf H., 1960. Optimal policies for a multi-echelon inventory problem. *Management Science*, 64, pp. 475-490

Dioux J., Dupuis M., 2009, *La distribution, Stratégies des réseaux et management des enseignes*, 2e édition, Pearson.

Dupont L., 1998. *La gestion industrielle*, Hermès, Paris

Durugbo C and Riedel J.C.K.H. , 2013. Readiness assessment of collaborative networked organisations for integrated product and service delivery. *International Journal of Production Research*, 51 2, 598-613.

Elomri, A. Ghaffari A., Jemai Z. and Dallery Y. , 2012. Coalition Formation and Cost Allocation for Joint Replenishment Systems. *Production and Operations Management*, 21 6, 1015-1027

Eppen, G. 1979. Effect of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. *Management Science*, 25:498_501.

Evers P., 2001. Heuristics for assessing emergency transshipment. *European Journal of Operational Research*, 129, p. 311-316.

Gallego G, Moon I., 1993, The distribution free newsboy problem: review and extensions. *Journal of Operational Research Society*, 44: 825-834.

Gambarelli, G., Owen, G. 2004. The coming of game theory. *Theory and Decision*, 56, pp:1-18, 2004

Génin, P., 2003. Planification tactique robuste avec usage d'un APS. Proposition d'un mode de gestion par plan de référence. *Thèse de Doctorat*, École des Mines de Paris.

Gillies, D., 1959. Solutions to General Non-zero Sum Games, in Contributions to the Theory of Games IV. *Princeton U. Press, Princeton*. A.W. Tucker and R.D. Luce editors, 1959.

Goranson T., Jonson M., Presley A., Rogers, H.J., 1997. Metric for the agile virtual enterprise Case Study. *Proceedings of the 6th Annual national Agility Conference*.

Guardiola, L., Meca, A., Timmer, J., 2007. Cooperation and profit allocation in distribution chains. *Decisions Support Systems*, 44, pp: 17-27, 2007.

Gümüs A.T., Güneri A.F., 2007. Multi-echelon inventory management in supply chains with uncertain demand and lead times: literature review from an operational research perspective. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 22110, pp. 1553-1570.

Hartman, B. C., Dror, M., 2005. Allocations of gains from inventory centralization in newsvendor environments. *IIE Transactions*, 37, pp:93-107, 2005.

Hartman, B.C., et M. Dror, 2003. Optimizing centralized inventory operations in a cooperative game theory setting. *IIE Transactions*, vol. 35, pp. 243-257.

Hartman, B.C., Dror, M., Shaked, M., 2000. Cores of inventory centralization games. *Games and Economic Behavior*, 31, pp:26-49, 2000.

Hennet, J.-C., and Mahjoub, S., 2010. Toward the fair sharing of profit in a supply network formation, *International Journal of Production Economics*, 1271, 112-120.

Hu, J., E. Watson, and H. Schneider, 2005. Approximate solutions for multi-location inventory systems with transshipments. *Int. J. Production Economics*, 97, p. 31-43.

Ivanov, D., Sokolov, B., Dolgui, A. 2014. The Ripple effect in supply chains: trade-off 'efficiency-flexibility-resilience' in disruption management. *International Journal of Production Research*, 527, 2154-2172.

Jackson, P., Maxwell, W., and Muckstadt.J 1985. The joint replenishment problem with a powers-of-two restriction. *IIE Transactions*, 17:25_32.

Jemai, Z., Karaesmen, F., 2007Decentralized inventory control in a two-stage capacitated supply chain.*IIE Transactions*, vol. 39, pp. 501-512, 2007.

Kaut, M. and Wallace S.W. 2007 Evaluation of scenario-generation methods for stochastic programming. *Pacific Journal of Optimization*, 3 2. pp. 257-271.

Kolomvos G., 2007. Résolution de grands problèmes stochastiques multi-étapes : Application à un problème de dimensionnement de capacités et de gestion de flux et de stocks, Doctoral Thesis from Ecole Centrale Paris, France.

Krichen S., Laabidi A. and Ben Abdelaziz F., 2011. Single supplier multiple cooperative retailers inventory model with quantity discount and permissible delay in payments, *Computers & Industrial Engineering*, 60, 1, 164-172.

Kukreja A., C. Schmidt 2005. A model for lumpy demand parts in a multi-location inventory system with transshipments. *Computers & Operations Research*, 32, p. 2059-2075.

Lambert D.M., Stock J.R., Ellpam L.M., 1998. Fundamentals of Logistics Management. Irwin/McGraw-Hill, Burr Ridge, Illinois

Laporte G. 1992. The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research* 59: 345-358.

Learned, E.P., Christensen, C.R., Andrews, K.E., Guth, W.D., 1965. Business Policy: Text and Cases. Irwin, Homewood, IL

Lee H.L., Billington C., 1993Material Management in Decentralized Supply Chains. *Operations Research*, 41 5, pp. 835-847,1993.

Lippman, S.A. et K.F. McCardle 1997. The competitive newsboy. *Operations Research*, vol. 45, no. 1,pp. 54-65.

Maffioli F. 2003. The vehicle routing problem: A book review. *4OR* 1: 149–153.

- Mahjoub S. and Hennes J.C. 2014. Manufacturers' coalition under a price elastic market - a quadratic production game approach, *International Journal of Production Research*, 52 12, 3568-3582.
- Malone T.W., Crowston K., 1994. The interdisciplinary Study of Coordination. *ACM Computing Surveys*, 261, pp. 87-119.
- Manzini R., Accorsi R., Bortolini M. 2014. Operational planning models for distribution networks, *International Journal of Production Research*, 52 1, 89-116.
- Meca A., J. Timmer, I. García-Jurado, P. Borm, 2005 Inventory games, *European Journal of Operational Research*, 156, pp. 127–139.
- Muller, A., Scarsini, M., et M. Shaked, 2002. The newsvendor game has a nonempty core. *Games and Economic Behavior*, no. 38, pp. 118-126.
- Myerson 1986 Myerson, R. B., "An Introduction to Game Theory," in *Studies in Mathematical Economics*. Edited by S.Reiter, *Mathematical Association of America*. pp:1-61, 1986.
- Needham P.M., P.T. Evers, 1998. The influence of individual cost factors on the use of emergency transshipments. *Transpn Res.-E Logistics and transp Rev.*, 342, p. 149-160.
- Neubert, D. 2003. Are promises kept?: Towards a framework for the evaluation of participatory research. In Neef, A. ed. *Participatory technology development and local knowledge for sustainable land use in Southeast Asia*. Proceedings of an International Workshop, 6-7 June 2001, Chiang Mai on CD-Rom.
- Osborne, M.J. and Rubinstein, A. 1994. *A course in game theory*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A, London, England.
- Özen U, Fransoo J., Norde H. and Slikker M., 2008. Cooperation between Multiple Newsvendors with Warehouses, *Manufacturing & Service Operations Management*, 102, 311-324.
- Paterson, C., Kiesmüller G., Teunter R. and Glazebrook K., 2011. Inventory models with lateral transshipments: a review. *European Journal of operational Research*, 210 2, 125-136

Plambeck, E. et T.A. Taylor, 2005. Sell the plant ? The impact of contract manufacturing on innovation, capacity, and profitability. *Management Science*, vol. 51, no. 1, pp. 133-150, 2005

Poirel C., Bonet D., 2006. La chaîne logistique, un cadre conceptuel alternatif au canal de distribution pour analyser les rapports de pouvoir et de dépendance entre acteurs. Dans : Les chaînes logistiques multi-acteurs, ouvrage coordonné par G. Paché et A. Spalanzani, P.U.G.

Porteus, E. L. Numerical Comparisons of Inventory Policies for Periodic Review Systems, *Operations Research*, vol. 33, pp. 134-152, 1985

Queré M., 2002. Coopération ou co-opérations : quels enjeux économiques ? Dans : Coopération et connaissance dans les systèmes industriels sous la direction de R. Soënen et J. Perrin, Lavoisier, Hermes Science, p. 33-50.

Rockafellar R.T., and Wets, R.J.B., 1991. Scenarios and policy aggregation in optimization under uncertainty. *Mathematics of Operations Research*, 16(1), 119–147.

Rudi, N., Kapur, S., and Pyke, D.F., 2001. A two-location inventory model with transshipment and local decision making. *Management Science*, 47(12), 1668-1680.

Scarf, H., 1958. A min-max solution of an inventory problem, in *Studies in The Mathematical Theory of Inventory and Production*, K.J. Arrow, S. Karlin and H.E. Scarf. eds., Stanford University Press, pp 201-209.

Schelling Thomas C., 1986, Stratégie du conflit, trad. R. Manicacci, Paris, PUF. Verdoodt Albert, 1964, Naissance et signification de la Déclaration des droits de l'homme, Louvain, Paris, Nauwelaert

Shapley L.S., 1971 Cores of Convex Games, *International Journal of Game Theory*, 1, pp:11-26, 1971.

Stevens G.C., 1989. Integrating the Supply Chain. *International Journal of Physical Distribution & Materials Management*, 19, pp. 3-8.

Tagaras G., 1999. Pooling in multi-location periodic inventory distribution system. *International Journal of Management Science*, 27, p. 39-59.

Tagaras G., M.A. Cohen, 1992. Pooling in two-location inventory systems with non-negligible replenishment lead times. *Management Science*, 388, p. 1067-1083

Taratynava N., Burlat P., Boucher X., 2009. Partage des prévisions dans une chaîne logistique à deux niveaux de stockage. *8ème Congrès International de Génie Industriel CIGI'09*, Tarbes, France, Juin.

Tayur et al., 1999 Tayur S., Ganeshan R., Magazine M., 1999. Quantitative models for supply chain management, Kluwer Academic Publishers.

Tersin, 1988 Tersin R., 1998. Principles of Inventory and Material Management, North-Holland, New York.

Terssac G.D., Maggi B., 1996. Autonomie et conception. Dans : *Coopération et Conception sous la direction de G. de Terssac et E. Friedberg*, Octares Editions, pp. 243-266.

Tirole J., 1983. Jeux dynamiques : un guide de l'utilisateur. *Revue d'Economie politique*, 4, pp. 551-575.

Triqui, L., et Hennes, J.-C., 2012 « Gestion coopérative de stocks de produits finis dans un réseau de distribution », *Preprints 9ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation MOSIM'12, Bordeaux France, Juin 2012*.

Triqui-Sari, L., and. Hennes, J.C., 2013 « Optimisation Des Approvisionnements Et Des Echanges De Produits Dans Un Réseau De Distribution », Conférence Internationale de Conception et Production Intégrée, CPI2013, Tlemcen Algérie, Octobre 2013

Triqui-Sari, L., and. Hennes, J.C., 2014. Ordering and collaborative inventory management in a retailers' network, *Preprints 18th International Working Seminar on Production Economics*, Innsbruck, Vol. 2, 457-469.

Triqui-Sari, L., and. Hennes, J.C., 2014 « Comparaison entre un Modèle de Jeu Biforme et un Modèle de Jeu Coopératif pour un Réseau de Distribution de Produits », colloque international sur le monitoring des systèmes industriels 2014 (cimsi'2014), Marrakech, Maroc, Décembre 2014.

Triqui-Sari, L., and. Hennes, J.C., 2015 « Impact d'échange de produits entre vendeurs dans un réseau de distribution »,16èmeconférence ROADEF Société Française de Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision, Marseille , France Février 2015

Van Slyke R. et Wets, R.J.B., 1969, L-shaped linear programs with applications to optimal control and stochastic programming. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 17, 638-663.

Von Neumann, J., 1945 Über ein Ökonomisches Gleichungssystem und eine Verallgemeinerung des Brouwerschen Fixpunktsatzes. *Ergebnisse eines Mathematischen Seminars*. Vienna,1937. Translated by G.Morton as A model of general economic equilibrium, *Review of Economic Studies* 13 1, 1-9,1945.

Von Stackelberg, H. 1934. Marktform und Gleichgewicht. *Berlin: Springer- Verlag*, 1934

Wets, R.J.B., 1983. Solving stochastic programs with simple recourse. *Stochastics*, 103-4, 219–242.

Wong, H., van Oudheusden, D. et D. Cattrysse, 2007. Cost allocation in spare parts inventory pooling. *Transportation Research Part E*, vol. 43, 370-386.

Xu K., P.T. Evers, and M.C. Fu, 2003. Estimating customer service in a two-location continuous review inventory model with emergency transshipments. *European Journal of Operational Research*, 145, p. 569-584