

THESE

présentée en vue de
l'obtention du titre de

DOCTEUR
de
**L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE**

SPECIALITE : LOGISTIQUE

par

JAOUHER MAHMOUDI

**SIMULATION ET GESTION DES RISQUES EN PLANIFICATION DISTRIBUEE DE CHAINES
LOGISTIQUES : APPLICATION AU SECTEUR DE L'ELECTRONIQUE ET DES
TELECOMMUNICATIONS**

Soutenue le 24 novembre 2006 devant la Commission d'Examen

MM.	Y. Frein Rapporteur
Mme	S. D'amours Rapporteur
M.M.	D. Dejean
MM.	H. Pierreval Président
MM.	J. Lamothe Co-Directeur de thèse
Mme	C. Thierry Co-Directrice de thèse
MM.	G. Bel Membre invité
MM.	L. Dupont Membre invité

Remerciements

En premier lieu, je voudrais manifester toute ma reconnaissance à mes directeurs de thèse, Madame Caroline Thierry et Monsieur Jacques Lamothe, ainsi qu'à notre partenaire industriel Monsieur Daniel Dejean, pour leur disponibilité et pour toute la confiance qu'ils m'ont accordée au cours de ces trois années de thèse. Leurs compétences, leurs conseils et leurs encouragements amicaux ont été une aide précieuse pour réaliser ce travail. Ceci sans oublier Messieurs Gérard Bel et Lionel Dupont qui ont contribué, à travers leur participation au comité de pilotage de la thèse, à la bonne orientation de nos recherches.

Je souhaite remercier tout particulièrement Madame Sophie D'Amours, Professeur à l'université Laval (Québec-Canada), et Messieurs Yannick Frein, Professeur à l'institut National Polytechnique de Grenoble et Henri Pierreval, Professeur à Institut Français de Mécanique Avancée de Clermont-Ferrand pour avoir accepté de participer au jury de cette thèse, pour avoir évalué ce travail et pour leurs conseils et leurs remarques pertinentes en vue d'améliorer la qualité de ce travail.

Je tiens également à témoigner ma reconnaissance à tous les membres et anciens membres de l'ONERA et du Centre Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi que j'ai côtoyés durant ma thèse. Je les remercie pour leur accueil, leur soutien, leurs encouragements et pour avoir contribué à créer un cadre de travail aussi agréable.

Je n'oublie pas non plus mes parents et mes sœurs qui m'ont soutenu tout le long de la réalisation de cette thèse.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	5
PARTIE 1 : CONTEXTE ET POSITION DU PROBLEME	9
CHAPITRE 1. GESTION DES CHAINES LOGISTIQUES DANS LE SECTEUR ELECTRONIQUE : LE CAS DES TELECOMS	11
1.1 INTRODUCTION	13
1.2 LE RISQUE DANS LA GESTION DES CHAINES LOGISTIQUES	13
1.2.1 <i>Chaîne logistique et gestion des chaînes logistiques</i>	13
1.2.2 <i>Le problème de la gestion des chaînes logistiques dans un contexte à forte perturbation</i>	14
1.2.3 <i>Le risque et la gestion du risque dans la chaîne logistique</i>	14
1.2.4 <i>La coopération comme stratégie de mitigation des risques</i>	15
1.3 FREESCALE SEMI-CONDUCTORS ET LA CHAINE LOGISTIQUE DES TELECOMS	15
1.3.1 <i>Présentation du partenaire industriel Freescale Semi-Conductors</i>	15
1.3.2 <i>Chaîne logistique des télécommunications</i>	23
1.3.2.1 La chaîne logistique des télécommunications : descriptions des acteurs et des produits.....	24
1.3.2.2 Evolution de la structure	25
1.3.2.3 Nature de la demande	26
1.3.2.4 Les logiques hétérogènes des acteurs	27
1.3.2.5 Un échange d'information complexe et mal maîtrisé.....	28
1.3.2.6 Problèmes spécifiques à la gestion de la chaîne logistique des télécoms : une synthèse.....	29
1.3.2.7 La coopération en tant que solution industrielle dans la chaîne logistique des télécoms : un retour d'expériences	29
1.4 CONCLUSION	32
CHAPITRE 2. PROPOSITION DE RECHERCHE	35
2.1 INTRODUCTION	37
2.2 PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE	37
2.3 VERS UNE PROPOSITION DE RECHERCHE	40
2.4 CONCLUSION	43
PARTIE 1 : CONCLUSION	45
PARTIE 2: ETAT DE L'ART	47
CHAPITRE 3. CHAINE LOGISTIQUE ET GESTION DES CHAINES LOGISTIQUES	49
3.1 INTRODUCTION	51
3.2 DEFINITION DE LA CHAINE LOGISTIQUE ET DE LA GESTION DE LA CHAINE LOGISTIQUE.....	51
3.2.1 <i>Définition de la chaîne logistique</i>	52
3.2.2 <i>Définition de la gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)</i>	54
3.3 CLASSIFICATION PROPOSEE	55
3.3.1 <i>Définition du cadre de l'étude</i>	56
3.3.1.1 Structure de la chaîne considérée	56
3.3.1.2 Niveaux de décision	57
3.3.1.3 Processus.....	58
3.3.1.4 Points de vue.....	60
3.3.2 <i>Définition du modèle et de son utilisation</i>	63

3.3.2.1	Nature de l'approche.....	63
3.3.2.2	Nature du modèle d'une chaîne logistique.....	63
3.3.2.3	Caractéristiques du modèle.....	64
3.3.2.4	Méthodes utilisées.....	65
3.3.2.5	Outils utilisés.....	67
3.4	NOTRE POSITIONNEMENT.....	68
3.5	CONCLUSION.....	69
CHAPITRE 4.	LA GESTION DES RISQUES DANS LES CHAINES LOGISTIQUES.....	71
4.1	INTRODUCTION.....	73
4.2	LE RISQUE ET LA GESTION DU RISQUE DANS LA CHAINE LOGISTIQUE.....	74
4.2.1	<i>Le risque</i>	74
4.2.2	<i>La gestion du risque dans la chaîne logistique</i>	75
4.3	GRILLE DE CLASSIFICATION PROPOSEE.....	76
4.4	LA CARACTERISATION DU RISQUE ET DE SON PROCESSUS DE GESTION.....	78
4.4.1	<i>Les types de risques</i>	78
4.4.1.1	Risques de demande ou Risques clients.....	78
4.4.1.2	Risques d'approvisionnement ou Risques fournisseurs.....	78
4.4.1.3	Risques des processus.....	79
4.4.1.4	Risques de planification et de contrôle.....	79
4.4.1.5	Risques « Réseau ».....	79
4.4.1.6	Risques « Information ».....	79
4.4.1.7	Les risques externes ou environnementaux.....	79
4.4.2	<i>Les sources de risques</i>	80
4.4.3	<i>Processus de gestion des risques dans une chaîne logistique</i>	81
4.4.3.1	Identification des risques.....	82
4.4.3.2	Evaluation des risques.....	82
4.4.3.3	Le choix et l'implémentation des actions de gestion des risques.....	84
4.4.3.4	Pilotage des risques.....	84
4.4.4	<i>Stratégies pour la gestion des risques</i>	84
4.4.5	<i>Les moyens</i>	85
4.5	METHODES UTILISEES.....	86
4.5.1	<i>APR</i>	86
4.5.2	<i>AMDEC</i>	86
4.5.3	<i>Arbre de défaillance (arbre de faute)</i>	86
4.5.4	<i>HAZOP</i>	87
4.5.5	<i>Delphi</i>	87
4.5.6	<i>Brainstorming</i>	87
4.5.7	<i>Check list</i>	88
4.5.8	<i>BPR</i>	88
4.5.9	<i>Le diagramme de cause à effet (Diagramme Ishikawa)</i>	88
4.5.10	<i>Enquête</i>	88
4.6	NOTRE POSITIONNEMENT.....	88
4.7	CONCLUSION.....	89
CHAPITRE 5.	LA COOPERATION DANS LA CHAINE LOGISTIQUE.....	91
5.1	INTRODUCTION.....	93
5.2	LA COOPERATION DANS LA CHAINE LOGISTIQUE : DEFINITION(S).....	93
5.3	LA COOPERATION DANS LA CHAINE LOGISTIQUE : UN ETAT DE L'ART.....	95
5.3.1	<i>Partage d'informations sur les demandes et les stocks</i>	95
5.3.1.1	Approches analytiques.....	95
5.3.1.2	Approches par simulation.....	97
5.3.1.3	Approches empiriques.....	97
5.3.1.4	Synthèse et bilan.....	98
5.3.2	<i>Partage des prévisions</i>	98
5.3.2.1	Approches analytiques.....	98
5.3.2.2	Approches par simulation.....	99
5.3.2.3	Approches empiriques.....	99
5.3.2.4	Synthèse et bilan.....	100
5.3.3	<i>Planification collaborative</i>	100
5.3.3.1	Approches analytiques.....	100
5.3.3.2	Approches par simulation.....	101
5.3.3.3	Approches empiriques.....	101
5.3.3.4	Synthèse et bilan.....	102
5.4	CONCLUSION.....	102

PARTIE 2: CONCLUSION	107
PARTIE 3 APPROCHE PROPOSEE.....	109
CHAPITRE 6. UN OUTIL DE SIMULATION POUR L'EVALUATION DES RISQUES DE LA COOPERATION	111
6.1 INTRODUCTION	113
6.2 CHOIX DE LA SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS	113
6.3 MODELE DE SIMULATION CHOISI	113
6.3.1 <i>Eléments clés dans un modèle de simulation à événements discrets.....</i>	<i>113</i>
6.3.2 <i>Notre choix.....</i>	<i>114</i>
6.4 PRINCIPES DE MODELISATION	117
6.4.1 <i>Principes généraux.....</i>	<i>117</i>
6.4.2 <i>Stratégies de gestion des flux : flux poussé (Push) et flux tiré (Pull).....</i>	<i>119</i>
6.5 MODELES DES PROCESSUS DE PLANIFICATION	121
6.5.1 <i>Les notations utilisées</i>	<i>122</i>
6.5.2 <i>Modèle du processus S&OP.....</i>	<i>123</i>
6.5.3 <i>Modèle du processus MTP.....</i>	<i>126</i>
6.5.4 <i>Modèle du processus STP</i>	<i>127</i>
6.5.5 <i>Modèle du processus L&IM.....</i>	<i>128</i>
6.6 MODELES DE COMPORTEMENTS DES DECIDEURS	129
6.6.1 <i>Modèles d'interprétation du comportement du client</i>	<i>129</i>
6.6.2 <i>Modèle de transmission des informations au fournisseur.....</i>	<i>130</i>
6.6.3 <i>Modèle du comportement de décision de capacité.....</i>	<i>131</i>
6.7 MODELES DES PROCESSUS DE PLANIFICATION ET MODELES DE COMPORTEMENTS : UN RECAPITULATIF	132
6.8 MODELES DU MARCHE.....	133
6.8.1 <i>Modèle du marché global.....</i>	<i>133</i>
6.8.2 <i>Modèle de l'introduction de nouvelles générations de produits</i>	<i>135</i>
6.9 MODELES D'INTERACTIONS DES ACTEURS	137
6.9.1 <i>Modèle de communication au niveau des prévisions</i>	<i>137</i>
6.9.2 <i>Dynamique d'exécution des différents protocoles.....</i>	<i>139</i>
6.10 CONCLUSION	141
CHAPITRE 7. DEMARCHE D'AIDE A LA COOPERATION : UNE APPROCHE PAR LES RISQUES.....	143
7.1 INTRODUCTION	145
7.2 RAPPELS SUR LA THEORIE DE LA DECISION ET LA THEORIE DES JEUX.....	145
7.2.1 <i>Modèle général de décision.....</i>	<i>145</i>
7.2.2 <i>Décideur unique, équipes et jeux</i>	<i>146</i>
7.2.3 <i>Formalisation du problème d'analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé.....</i>	<i>146</i>
7.2.4 <i>Analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé : une perspective globale</i>	<i>147</i>
7.2.4.1 <i>Décision sous incertitude</i>	<i>148</i>
7.2.4.2 <i>Décision sous risque.....</i>	<i>152</i>
7.2.4.3 <i>Les critères de choix en avenir indéterminé : un récapitulatif</i>	<i>153</i>
7.2.5 <i>Analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé : une perspective locale</i>	<i>154</i>
7.2.5.1 <i>Qu'est-ce que la théorie des jeux</i>	<i>154</i>
7.2.5.2 <i>Hypothèses.....</i>	<i>154</i>
7.2.5.3 <i>Jeu sous forme stratégique</i>	<i>154</i>
7.2.5.4 <i>Définition des relations de dominances.....</i>	<i>154</i>
7.2.5.5 <i>Définition des concepts de solution.....</i>	<i>156</i>
7.2.5.6 <i>La limite de la rationalité</i>	<i>159</i>
7.2.5.7 <i>Adaptation de concepts de la théorie des jeux à nos simulations.....</i>	<i>159</i>
7.3 DEMARCHE D'AIDE A LA COOPERATION.....	161
7.3.1 <i>Rappel des six étapes de la démarche d'aide à la coopération.....</i>	<i>161</i>
7.3.2 <i>Définition du plan d'expériences des simulations.....</i>	<i>162</i>
7.3.3 <i>Analyse des risques et définition d'une politique de coopération.....</i>	<i>162</i>
7.3.3.1 <i>Méthodologie d'analyse des risques des politiques de coopération selon une perspective globale.....</i>	<i>163</i>
7.3.3.2 <i>Méthodologie d'analyse des risques des politiques de coopération selon une perspective locale</i>	<i>167</i>
7.4 CONCLUSION	170
PARTIE 3 : CONCLUSION.....	171
PARTIE 4 MISE EN ŒUVRE DE LA DEMACHE D'AIDE A LA COOPERATION.....	173

CHAPITRE 8. EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE.....	175
8.1 INTRODUCTION	177
8.2 ANALYSE DES POLITIQUES DE COOPERATION EN AVENIR INDETERMINE : UNE PERSPECTIVE GLOBALE (CAS D'ETUDE 1)	177
8.2.1 Définition du modèle du système étudié.....	177
8.2.2 Définition du plan d'expériences des simulations.....	178
8.2.3 Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation.....	180
8.2.4 Lancement des simulations	180
8.2.5 L'analyse du risque.....	181
8.2.5.1 Bilan.....	188
8.3 ANALYSE DES POLITIQUES DE COOPERATION EN AVENIR INDETERMINE : UNE PERSPECTIVE LOCALE (CAS D'ETUDE 2)	189
8.3.1 Définition du modèle du système étudié.....	189
8.3.2 Définitions du plan d'expériences des simulations	189
8.3.3 Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation.....	190
8.3.4 Lancement des simulations	190
8.3.5 L'analyse du risque.....	190
8.3.6 Bilan.....	196
8.4 CONCLUSION	197
CHAPITRE 9. APPLICATION INDUSTRIELLE	199
9.1 INTRODUCTION	201
9.2 DEFINITION DU MODELE DU SYSTEME ETUDIE	201
9.2.1 Présentation de la chaîne logistique : structure, processus et coûts.....	201
9.2.2 Caractéristiques des produits de la chaîne logistique	206
9.2.3 Caractéristiques du marché global.....	207
9.3 DEFINITION DU PLAN D'EXPERIENCES DES SIMULATIONS.....	208
9.4 INSTANCIATION DES PARAMETRES DANS L'OUTIL DE SIMULATION	212
9.5 LANCEMENT DES SIMULATIONS	212
9.6 L'ANALYSE DES RISQUES	212
9.6.1 Prévisions collaboratives dans une perspective globale.....	212
9.6.2 Prévisions non collaboratives dans une perspective globale.....	221
9.6.3 Définition du mode de prévision et du coefficient de validation des variations de capacités dans une perspective locale.....	225
9.7 CONCLUSION GENERALE.....	228
PARTIE 4: CONCLUSION	233
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	235
CONCLUSION	235
PERSPECTIVES	237
BIBLIOGRAPHIE	239
ANNEXE	249

Introduction générale

Quelle que soit la façon dont nous considérons une chaîne logistique, il n'est jamais aisé d'anticiper son évolution, ni celle du contexte dans lequel se fait cette évolution. Les formes de changement subies sont variées et de plus en plus rapides. Par conséquent, intégrer l'incertitude comme un paramètre dans le raisonnement des managers est un problème qui prend une dimension nouvelle et qui peut permettre de limiter la vulnérabilité de la chaîne logistique. Mais travailler dans un milieu où l'incertitude est une donnée constante incite à se doter de règles de fonctionnement, de méthodes et d'outils adaptés, et de mécanismes de coordination garantissant d'agir d'une façon collective et non plus d'une façon isolée pour améliorer à la fois la gestion des ressources de la chaîne et la satisfaction des clients tout en mitigeant les risques. Ainsi, de nos jours, il devient primordial pour les acteurs de la chaîne logistique de placer la gestion du risque au cœur de la problématique générale de gestion de la chaîne logistique et d'envisager des stratégies de mitigation¹ des risques. Pour cela ils doivent connaître les enjeux majeurs relatifs aux comportements locaux plus ou moins coopératifs et donc à l'amélioration de leurs relations et donc à l'établissement de relations de coopération.

La coopération dans la chaîne logistique est donc à l'intersection des problématiques de la :

- gestion de la chaîne logistique
- gestion des risques
- gestion des relations entre acteurs au sein de la chaîne

Ces problématiques sont intimement liées car les comportements des acteurs ont des impacts directs sur les risques encourus par les acteurs individuellement et par la chaîne logistique dans sa globalité.

Dans le cadre, l'objectif de cette thèse est :

- de développer un outil de simulation,
- d'apporter une démarche d'aide à la coopération se basant sur une approche par les risques.

Cette démarche, à partir de l'évaluation par les acteurs en terme de risques des comportements de planification des activités (ventes, capacités, approvisionnements, et productions) propose, en s'appuyant sur une méthodologie d'analyse des risques dédiée, une aide aux acteurs pour choisir, en fonction de la nature de l'indétermination de l'avenir

¹ En matière de risques la mitigation signifie « réduction » ou « atténuation ». cette action peut porter sur l'occurrence de l'événement déclencheur du risque et/ou sur son l'impact.

caractérisant différents scénarios d'évolution du marché, la (les) politique(s) de coopération² à déployer.

Le cadre applicatif de l'étude concerne le cas d'une chaîne logistique dans le secteur des télécommunications :

- qui est soumise à un marché très perturbé,
- et dans laquelle il y a une introduction régulière de nouvelles générations de produits.

Nous nous intéressons en particulier aux comportements des acteurs qui interviennent dans planification des capacités. Ceci en considérant différentes logiques de gestion du flux informationnel.

Le manuscrit est composé de quatre parties :

La première permet de préciser le contexte de l'analyse et la position du problème au sein du milieu industriel. Elle regroupe deux chapitres qui ont pour objectifs :

- de positionner le risque et la gestion du risque dans la gestion des chaînes logistiques (chapitre 1),
- de positionner la coopération en tant que stratégie de mitigation des risques au sein de la chaîne logistique (chapitre 1),
- d'analyser les problèmes relatifs à la gestion de la chaîne logistique des télécoms et de montrer l'importance de la coopération dans une telle chaîne logistique à travers l'étude d'expériences industrielles (chapitre 1).
- de détailler la problématique abordée dans le cadre de nos travaux (chapitre 2)
- de décrire notre proposition de recherche (chapitre 2).

La deuxième partie traite de l'étude bibliographique concernant la notion de chaîne logistique et de gestion des chaînes logistiques, du risque et de la gestion des risques dans la chaîne logistique, des approches coopératives pour la gestion des risques dans la chaîne logistique. Dans cette partie nous proposons

- une grille de classification des travaux en gestion des chaînes logistiques construite à partir d'états de l'art du domaine (articles, ouvrages, ...) (chapitre 3),
- une grille de classification des travaux scientifiques s'intéressant plus spécifiquement à la gestion des risques dans les chaînes logistiques (chapitre 4)
- un état de l'art des travaux se focalisant sur les approches coopératives de la gestion des risques dans la chaîne logistique et qui seront classés dans la grille proposée au chapitre 4 (chapitre 5).

La troisième partie concerne notre proposition de recherche avec la présentation de l'outil de simulation à événements discrets que nous avons développé et l'approche d'aide à la coopération associée. Dans cette partie nous décrivons :

- l'outil avec les modèles de comportements des acteurs de la chaîne logistique ainsi que les protocoles régissant l'exécution de la simulation (chapitre 6),
- les différentes étapes de la démarche d'aide à la coopération que nous apportons en se basant sur une « approche par les risques » (chapitre 7),

² Les politiques de coopération sur les quelles nous focalisons s'inscrivent au niveau de l'échange d'information et au niveau des processus de planification des acteurs appartenant à une même chaîne logistique

La quatrième permet de montrer comment la démarche proposée a été mise en œuvre à travers :

- deux exemples cas d'école inspirés du terrain industriel étudié (chapitre 8),
- un cas réel, celui d'une chaîne logistique de Freescale notre partenaire industriel (chapitre 9).

Partie 1 : Contexte et position du problème

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes plus spécifiquement intéressés à l'étude de la planification de la chaîne logistique du secteur des télécommunications et notamment à la planification de la capacité des acteurs de cette chaîne. Le but étant de définir une approche basée sur l'évaluation des risques pour l'analyse des politiques de coopération que les acteurs peuvent mettre en place en se plaçant dans un contexte incertain.

Dans le premier chapitre, nous présentons dans un premier temps les différentes problématiques abordées. Nous définissons tout d'abord les notions de chaîne logistique et de gestion des chaînes logistiques, et nous situons ensuite la notion de la gestion des risques dans les chaînes logistiques. Dans un deuxième temps, nous présentons le partenaire industriel avec qui nous avons mené nos travaux. Ensuite, nous allons nous intéresser aux spécificités des chaînes logistiques de télécommunications.

Ceci va nous permettre, dans le chapitre 2, de situer le besoin industriel et de formuler la proposition de recherche que nous apportons pour couvrir ce besoin.

Chapitre 1. Gestion des chaînes logistiques dans le secteur électronique : le cas des télécoms

RESUME

Dans ce chapitre, nous présentons brièvement les différentes problématiques auxquelles nous nous sommes intéressés dans le cadre de nos travaux, à savoir la gestion de la chaîne logistique et la gestion des risques dans la chaîne logistique. D'autre part, en s'appuyant sur l'analyse de l'évolution de la structure, sur la nature des produits et du marché, sur le flux informationnel et sur les pratiques managériales dans la chaîne logistique des télécoms, nous allons identifier les problèmes qui se posent dans le contexte de cette chaîne. En effet, c'est une des chaînes auxquelles est associé notre partenaire industriel. Nous présenterons aussi les solutions industrielles mises en œuvre pour répondre à ces problèmes, notamment avec la mise en place de méthodes coopératives, ainsi que leurs limites.

1.1 Introduction

Nous commençons ce chapitre par la présentation de la chaîne logistique et de la gestion des chaînes logistiques. Une fois cette présentation faite, nous focalisons sur une problématique émergente dans le contexte de la gestion de la chaîne logistique : la gestion du risque. Dans ce contexte, nous proposons la coopération comme l'un des moyens potentiels d'action sur les risques ou encore comme stratégie de mitigation³ des risques menaçant d'une façon permanente la chaîne logistique.

Dans une deuxième étape, nous présentons le partenaire industriel de l'étude, ainsi que l'une des chaînes logistiques auxquelles il appartient : la chaîne logistique des télécommunications (télécoms). Ceci va nous conduire à définir d'un côté les problèmes spécifiques à cette chaîne, et d'un autre les solutions industrielles à caractère coopératif retenues pour faire face à ces problèmes.

1.2 Le risque dans la gestion des chaînes logistiques

1.2.1 Chaîne logistique et gestion des chaînes logistiques

Selon le point de vue adopté, la chaîne logistique (Supply Chain) peut avoir des définitions différentes. Si nous adoptons un point de vue « produit », la définition que nous retenons pour la chaîne logistique serait la suivante : « l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime » [Rota *et al.*, 99]. Nous nous intéressons à l'ensemble des chaînes logistiques produits dans un secteur d'activités particulier, à savoir celui des télécommunications. Nous parlerons donc d'une chaîne logistique d'un secteur que nous définissons comme suit : « La chaîne logistique d'un secteur d'activité donné (aéronautique, automobile, télécommunications...) est l'ensemble des chaînes logistiques des produits de ce secteur » (voir Figure 1 pour un exemple).

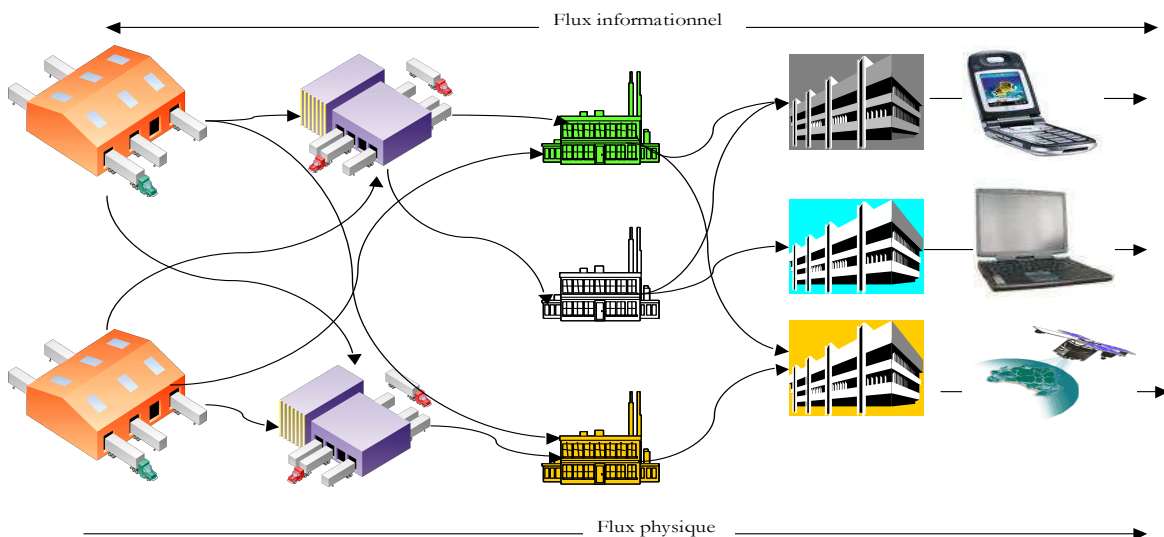


Figure 1 : Représentation simplifiée de la chaîne logistique des télécommunications.

³ Rappelons qu'en matière de risques la mitigation signifie « réduction » ou « atténuation ». cette action peut porter sur l'occurrence de l'événement déclencheur du risque et/ou sur son l'impact.

L'ensemble des efforts, des approches mis en place par les acteurs pour améliorer le processus de la création de la valeur et pour mettre à disposition du client le bon produit, au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité tout en assurant le respect des exigences de ce dernier définissent la gestion de la chaîne logistique et la rendent distincte de la notion de la chaîne logistique elle-même.

1.2.2 Le problème de la gestion des chaînes logistiques dans un contexte à forte perturbation

La prise en compte de la nature du contexte dans lequel évolue la chaîne logistique détermine dans une large mesure les logiques et les pratiques managériales à intégrer dans les processus de gestion de la chaîne logistique (planification, production, distribution et ventes). Lorsque cette chaîne logistique est soumise à des perturbations (cycles économiques incertains, grèves, marché imprévisible, etc.), les décideurs de la chaîne logistique doivent trouver les moyens nécessaires pour prendre en compte ces perturbations que ce soit dans la planification ou dans l'exécution de leurs activités, et pour les maîtriser. L'un des moyens envisagé consiste à établir des relations bilatérales entre les différents acteurs de la chaîne logistique, c'est-à-dire instaurer des coopérations qui sortent du cadre de l'entreprise pour s'étendre aux autres partenaires de la chaîne.

Par ailleurs, dans un contexte à forte perturbation il est nécessaire d'étudier :

- les dangers qui accompagnent intrinsèquement l'évolution de la chaîne logistique dans son environnement, qu'il soit interne ou externe, ou encore le risque dans la chaîne logistique,
- et les différentes pratiques managériales des décideurs de la chaîne logistique au niveau de la planification stratégique.

Afin de mieux illustrer ces aspects, nous consacrons les deux sections suivantes respectivement à l'introduction de la notion de risque et plus généralement à la notion de gestion du risque dans la chaîne logistique qui sera défini avec plus de précision au chapitre 4, et à la présentation de la notion de la coopération en tant que moyen de mitigation des risques dans la chaîne logistique.

1.2.3 Le risque et la gestion du risque dans la chaîne logistique

Le risque (qui sera défini plus précisément au chapitre 4) possède une double facette : un danger à éviter et un facteur d'opportunité (oser pour gagner). Dans nos travaux, c'est dans cette deuxième perspective que nous nous situons, c'est-à-dire celle qui perçoit le risque d'une façon plutôt positive. Le décideur examine les risques associés à l'ensemble des stratégies possibles à déployer et opère un choix dans cet ensemble pour retenir une stratégie en étant conscient du risque qu'elle véhicule. Sa seule motivation, c'est que sa propre lecture de l'avenir et que ses mécanismes de choix soient bons pour qu'il puisse bénéficier des avantages escomptés.

La gestion du risque dans la supply chain ou Supply Chain Risk Management (SCRM) est une discipline émergente ([Norrman, 03], [Zeigenbein, 04]) (voir chapitre 4. pour plus de détails). Selon [Artebrant *et al.*, 03] le SCRM est « l'identification et la gestion des risques provenant de l'intérieur ou de l'extérieur de la chaîne logistique, à travers une approche

coordonnée, impliquant les membres de la chaîne, et cherchant à réduire la vulnérabilité de cette dernière, c'est-à-dire de la chaîne logistique, dans sa globalité »⁴.

Ce qui ressort de cette définition, qui est celle que nous adoptons pour notre étude, est le double regard qu'on pourrait avoir sur les risques de la chaîne logistique : un regard à la fois interne – c'est ce qui caractérise les risques constatés au sein de la chaîne- et externe -c'est ce qui caractérise les risques provenant de l'environnement dans lequel évolue la chaîne logistique, notamment les risques liés à l'incertitude de la demande sur lequel nous focalisons dans nos travaux-. Par ailleurs, cette définition précise un aspect fondamental du SCRM : la réduction de la vulnérabilité de la chaîne, et souligne le fait que le SCRM est une action collective des différents acteurs de la chaîne et non une action isolée conduite par un acteur de la chaîne : il ne s'agit pas de chercher à faire prendre le risque par d'autres, stratégie connue de mitigation des risques, mais bien d'en supporter ensemble les effets potentiellement négatifs comme de bénéficier ensemble des effets potentiellement positifs. Ceci fait émerger la nécessité d'établir des relations de coopération entre les acteurs pour pouvoir conduire une démarche réussie de gestion des risques.

1.2.4 La coopération comme stratégie de mitigation des risques

Comme nous l'avons souligné précédemment la mise en place d'une démarche réussie de gestion des risques dans la chaîne logistique nécessite le déploiement de politiques de coopération le long de la chaîne. L'intérêt de telles politiques réside dans :

- le supplément de visibilité que procure l'interaction entre les différents niveaux de la chaîne,
- l'anticipation qu'implique le fait de disposer de nouvelles informations fiables,
- l'enrichissement des méthodes et des outils de travaux résultant de l'amélioration des connaissances dont dispose l'entreprise.

Dans notre approche, les politiques de coopération sur les quelles nous focalisons s'inscrivent au niveau de l'échange d'information et au niveau des processus de planification des acteurs appartenant à une même chaîne logistique.

Après avoir parcouru brièvement dans les sections précédentes le périmètre scientifique dans lequel se situent nos travaux, nous présentons dans la section suivante le partenaire industriel de l'étude. Ensuite, nous procéderons à la caractérisation de l'une des chaînes logistiques auxquelles appartient ce partenaire à savoir la chaîne logistique des télécommunications. Ceci nous conduira à une synthèse d'une liste de problèmes spécifiques à cette chaîne, et enfin à la description des solutions potentielles à caractère coopératif identifiées par les décideurs pour faire face à ces problèmes.

1.3 Freescale Semi-Conductors et la chaîne logistique des télécoms

1.3.1 Présentation du partenaire industriel Freescale Semi-Conductors

Freescale Semi-Conductors (précédemment Motorola Semi-Conductors) est un leader mondial dans la conception et la production de semi-conducteurs embarqués pour les marchés de l'automobile, de l'électronique grand public, de l'industrie, des réseaux et des

⁴ La définition originale du SCRM donnée par [Artebrant *et al.*, 03] est la suivante "the identification and management of risks within the supply chain and risks external to it through a co-ordinated approach amongst supply chain members in order to reduce supply chain vulnerability as a whole".

technologies sans fil. Plus de 16 milliards de semi-conducteurs Freescale sont actuellement utilisés dans le monde. Ses 2075 employés en France sont répartis sur trois sites :

-Crolles (125 employés) : centre de R&D avancée pour le développement de technologies de production de puces de 90 à 32 nanomètres sur plaque de silicium de 300 mm de diamètre en partenariat avec STMicroelectronics et Philips.

-Paris-Saclay (50 employés) : direction des ventes France.

-Toulouse (1900 employés dont 700 ingénieurs et cadres) est un site clé de R&D et de production de semi-conducteurs dédié aux marchés de l'automobile et des télécommunications.

C'est avec ce dernier site que nous avons travaillé pour mener cette étude.

✓ Description du processus de production de Freescale

○ Moyens de production

L'expertise de Freescale est centrée sur trois types d'activités : la fabrication des matrices, l'emballage et les tests. Pour cette première activité, elle est spécialisée en une large gamme de technologies : CMOS⁵, SO⁶I ... (voir la carte de répartition des sites de manufacturing par technologie et par zone géographique Figure 2). Quant à l'emballage et aux tests, l'expertise de l'entreprise inclut les : flip chip⁷, wire bond⁸, ball grid arrays⁹, emballage de type RF¹⁰ et le développement des tests avancées.



Figure 2 : Répartition des sites de production par zone géographique et par technologie.

○ Produits fabriqués

Freescale est une société leader dans les domaines suivants [Freescale, 06] :

⁵ Complementary Metal Oxide Semi-conductor : type de composant électronique à faible consommation électrique.

⁶ Silicon On Insulator : technologie permettant de réduire d'environ 30 % les fuites d'électricité entre les transistors dans les circuits intégrés en cuivre.

⁷ La technique Flip Chip consiste à assembler le processeur sur et non sous sa cartouche, ce qui lui garantit un meilleur refroidissement.

⁸ La technique du Wire Bond se résume comme suit : chaque point de contact du die (puce) sera relié aux pattes (pins) externes du package final par des fils d'or ou d'aluminium d'approximativement 0,001 pouces (ce qui correspond à 25,4 microns). On implante ces fils par le biais d'un système qui va placer l'extrémité du fil sur la zone et ensuite on applique une vibration ultrasonique qui a pour effet de le souder au die. Le dos du package sera ultérieurement soudé sur l'armature, le tout étant scellé par un composé plastique. Il est à noter que ces connexions se font généralement sur la périphérie de la puce, mais aussi parfois sur toute la surface ce qui rend la tâche encore plus complexe.

⁹ Une matrice de billes (ball grid array ou BGA) désigne un type de boîtier permettant le soudage directement de celui-ci sur le circuit imprimé (trad. printed circuit board ou PCB). Un boîtier BGA est composé d'une ou plusieurs couches d'interconnexions entre la puce et la matrice de billes. Un boîtier BGA est généralement réalisé spécifiquement pour une puce.

¹⁰ Emballage sous Film Rétractable.

- **Circuits intégrés pour l'automobile** : les semi-conducteurs Freescale sont présents dans 41 % des nouveaux véhicules.
- **Circuits intégrés pour les communications sans fil** : Freescale a livré 45 millions de ses processeurs DragonBall™, véritable cerveau du téléphone mobile.
- **Processeurs pour les réseaux de communication** : environ 70 % du trafic Internet mondial est opéré par des processeurs réseaux Freescale.
- **Microcontrôleurs embarqués** : Freescale est leader mondial depuis 10 années consécutives dans les microcontrôleurs embarqués, que l'on trouve dans des produits tels que télécommandes, produits blancs, etc.
- **MRAM (Magnetoresistive Random Access Memory)** : mémoires magnétiques universelles qui pourront remplacer les autres types de mémoires, y compris les disques durs d'ordinateurs, que l'on pourrait emporter avec soi, et permettront par exemple à l'ordinateur ou à un téléphone de démarrer sans aucun délai d'attente.
- **SmartMOS (« Smart » Metal Oxyde Semi-conducteur)** : les procédés SmartMOS consistent essentiellement à intégrer de la puissance intelligente au cœur de la puce afin d'activer des mécanismes. Ainsi, une puce de quelques millimètres carrés actionne intelligemment les fenêtres ou sièges dans une automobile en fonction de l'environnement. Le site de Toulouse est centre d'excellence mondial pour les technologies SmartMOS.
- **GaAs (Galium Arsenide, arseniure de Galium)** : les technologies GaAs sont destinées aux amplificateurs de puissance pour terminaux sans fil. Ces technologies permettent de gérer très précisément l'énergie lors de l'émission de signaux RF, et ainsi, pour les téléphones mobiles par exemple, de maximiser leur autonomie et la durée de vie de leur batterie.
- **Sige : C (Silicium-Germanium : Carbone)** : les technologies Sige : C sont destinées à améliorer la sensibilité en réception des terminaux sans fil. Concrètement, cela améliorera les capacités de réception des terminaux, tout en augmentant leur autonomie.
- **Plate-formes CMOS avancées (Complementary Metal Oxyde Semi-conductor)** : ces activités consistent à introduire des innovations dans la technologie de base afin de permettre la miniaturisation continue des composants, en utilisant de nouveaux matériaux et technologies pour réduire la dissipation d'énergie et pour améliorer l'autonomie. La R&D pour les technologies CMOS avancées est réalisée en France sur le site de Crolles.

○ **Processus de production**

Le processus de production peut être scindé en deux sous-processus (voir Figure 3) :

- le Front-end : de la plaquette à la puce,
- le Back-end : de la puce au produit fini.

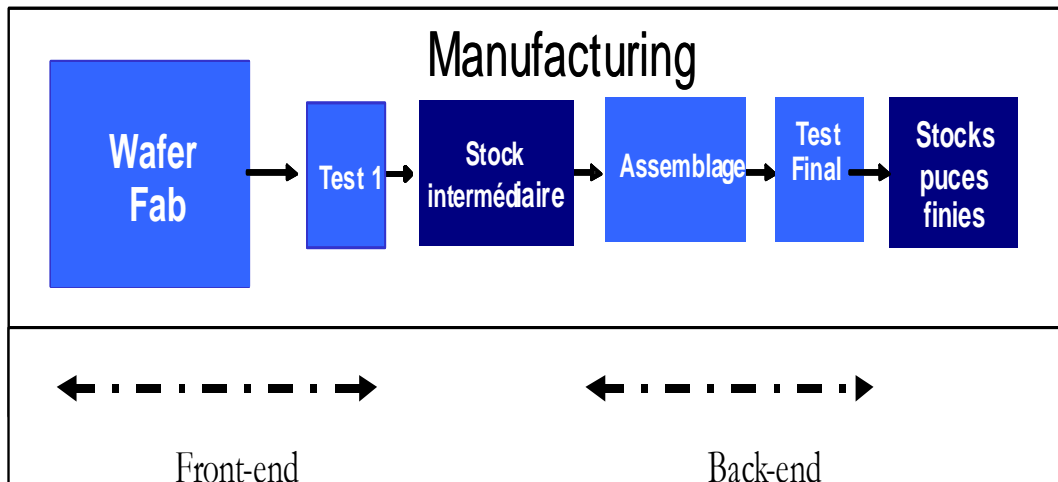


Figure 3 : Le Front-end et le Back-end.

•Le Front-end : de la plaquette à la puce

Le processus de production Front-end est divisé en deux sous-processus : le processus Wafer-fab et le processus Test 1.

Le premier processus peut varier en fonction du type de technologie et de circuit. Il existe cependant quelques étapes élémentaires dans ce processus qui sont communes à la plupart des technologies :

- oxydation : la plaquette est oxydée sur toute la surface. Pour cette opération on utilise des fours spécifiques.
- dépôt résine : sur la couche d'oxyde, on dépose de façon uniforme une couche de résine photo sensible qui se transforme sous l'action de la lumière.
- photolithographie : à ce stade entrent en jeu les masques, c'est-à-dire le résultat des phases de conception. Un masque est aligné sur la plaquette et le tout est exposé à une source de lumière. La résine « s'impressionne », comme une pellicule photographique normale, dans les zones laissées libres par le masque.
- développement : après avoir « photographié » le masque sur la résine, on procède au développement de façon analogue à ce qui se produit dans un processus photographique habituel : la résine qui a pris la lumière est enlevée.
- gravure : en appliquant des acides ou des gaz déterminés, on enlève l'oxyde laissé libre par la résine, sans attaquer le silicium de départ.
- dopage : il s'agit d'introduire, dans les zones exposées, des éléments chimiques pour modifier les caractéristiques du silicium, et de le rendre capable de conduire les signaux électriques. Ces éléments (dopants) sont introduits dans la structure cristalline du silicium par diffusion ou implantation ionique.

Le cycle décrit ci-dessus se répète plusieurs fois : autant de fois qu'il y a de masques. Les technologies les plus complexes demandent plus de vingt masques. Le résultat final est une plaquette sur laquelle sont dessinées beaucoup de puces, normalement identiques.

Pour vérifier si ces puces fonctionnent correctement, la plaquette est soumise à la fin du processus Wafer-fab à un test électrique (Test 1), dit EWS (Electrical Wafer Sort), durant

lequel on contrôle les paramètres fonctionnels de chaque puce et on identifie les rebuts. Le processus Front-end est terminé. La plaquette est prête pour être envoyée à la phase suivante, le Back-end.

•Le Back-end : de la puce au produit fini

L'objectif du processus de Back-end est d'encapsuler les puces qui ont passé le test sous pointe de la plaquette (EWS) dans un boîtier approprié (Assemblage), d'effectuer le contrôle final (Test Final) et de produire un circuit près à la vente. Le boîtier a beaucoup d'importance. Il doit protéger le silicium, fournir un support mécanique et la connexion avec le monde extérieur, favoriser la dispersion de chaleur générée pendant le fonctionnement. Comme le processus Wafer-fab du Front-end, le processus d'assemblage du Back-end fait appel à de multiples opérations élémentaires :

- découpe : la plaquette contrôlée est placée sur un support adhésif flexible. Les puces sont séparées les unes des autres au cours d'une opération mécanique de sciage, effectuée avec un appareil de haute précision.
- collage : les bonnes puces sont prélevées et soudées sur une structure métallique : la grille. Cette grille permettra de conduire à l'extérieur les signaux électriques, en donnant la possibilité au dispositif de réagir avec le reste du système dans lequel il sera introduit.
- câblage : la connexion entre les points d'« entrée » et de « sortie » des signaux électriques de puce et de la grille (frame) se fait par l'intermédiaire de fils très fins, normalement en or, ancrés sur des zones précises de la puce et reliés aux extrémités de la grille.
- encapsulage, découpe et mise en forme : l'ensemble est prêt pour être introduit dans une enveloppe protectrice de résine, céramique ou autre matière, d'où sortent les extrémités de la grille qui deviennent les pieds du circuit.

A l'issue de ces opérations qui constituent le Processus d'assemblage, le circuit subit une opération de Test Final, et sur son corps on estampille un sigle qui, outre le logo du producteur, identifie aussi ses fonctions et ses prestations, ainsi que d'autres indications éventuelles.

○ Pilotage de la production

La première partie du processus de production (Front-end) suit un modèle de fabrication se basant sur les prévisions moyen terme issues des clients, alors que la deuxième partie (Back-end) suit un modèle de fabrication se basant sur les commandes (voir Figure 4).

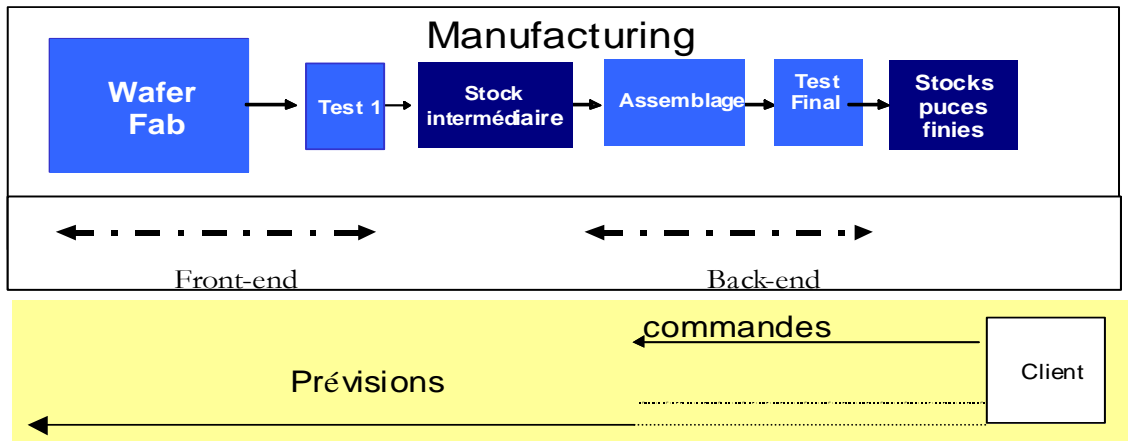


Figure 4 : Le Front-end et le Back-end.

✓ **Processus de planification chez Freescale Semi-Conductors**

Les processus de planification chez Freescale sont scindés en sept catégories (voir Figure 5).

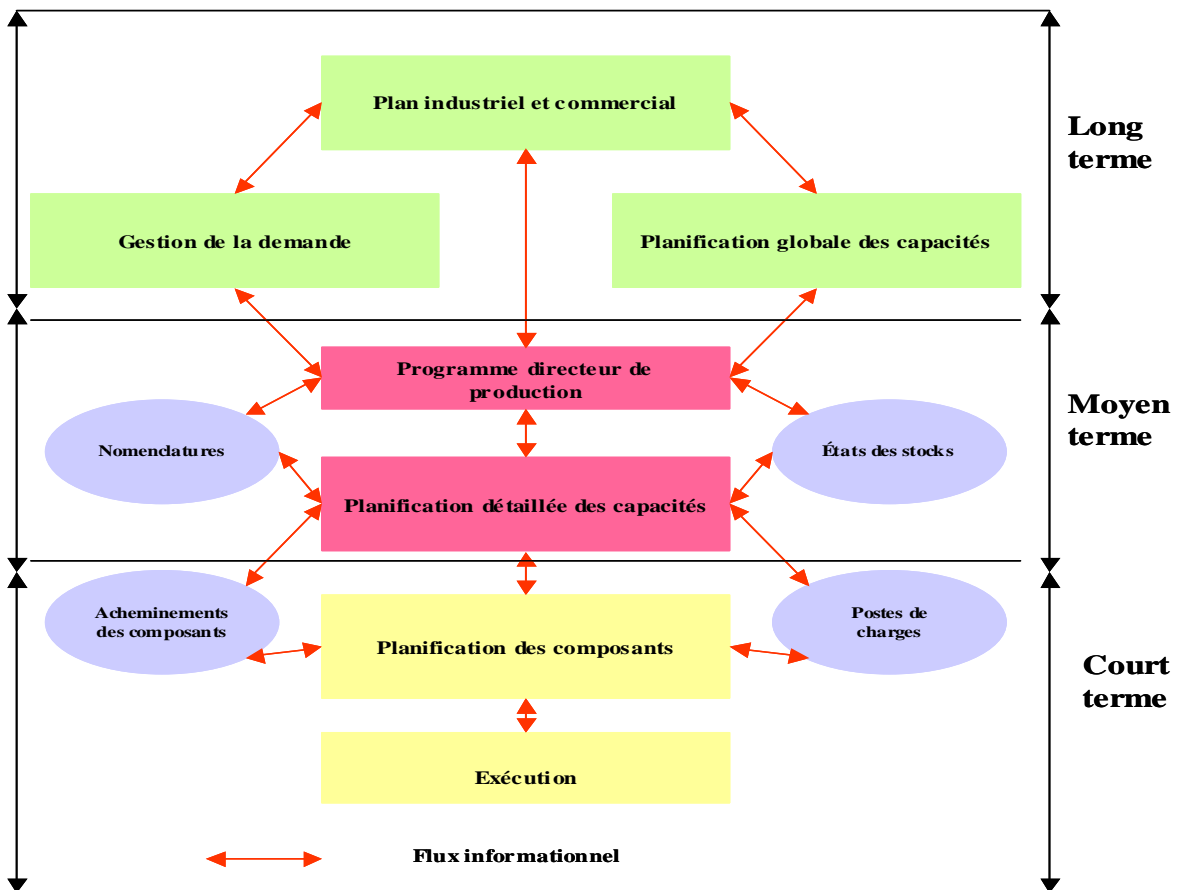


Figure 5 : Processus de planification chez Freescale.

- Plan Industriel et Commercial : le Plan Industriel et Commercial (PIC) est conjointement établi par la direction générale, la direction de la production et la direction commerciale à partir du carnet de commandes et des prévisions commerciales. Le PIC a pour objectif

d'adapter les ressources (capacités et niveaux de stocks) aux besoins de production pour satisfaire la demande en termes de quantité.

- Gestion de la demande : ce processus, en se basant sur les prévisions et le carnet de commandes des clients (fermes ou prévisionnelles), ainsi que sur les prévisions relatives à l'introduction des nouveaux produits dans le cadre des opportunités gagnées¹¹, définit les quantités de demandes à satisfaire.
- Planification globale des capacités : ce processus détermine d'une façon agrégée les capacités à mettre en place (l'agrégation est faite sur les produits, sur les clients et sur les régions géographiques)
- Plan Directeur de Production : en prenant en compte le PIC, le portefeuille des commandes, les disponibilités des matières et ressources, les objectifs du management, le Plan Directeur de Production (PDP) a pour objectif de fixer les quantités à produire sur une période donnée.
- Planification détaillée des capacités : en prenant en compte le PDP, les nomenclatures, la disponibilité des composants, les états de stocks ainsi que les priorités définies sur les demandes à satisfaire, les capacités globales sont désagrégées et réparties sur les différents produits et clients.
- Planification des composants : en respectant les capacités et les stocks définis pour les différents produits, les composants sont ensuite planifiés.
- Exécution : ce processus intègre l'ordonnancement, le lancement et le suivi de la production dans le Back-end et le Front-end.

Après avoir présenté Freescale, décrit son système de production ainsi que ses différents processus de planification, nous présentons dans le paragraphe suivant un projet de coopération auquel Freescale a participé dans le but d'améliorer ses performances et de mieux gérer avec ses partenaires les informations nécessaires à la planification de ses activités : l'e-Hub de l'information.

✓ **La coopération en tant que solution industrielle chez Freescale : l'e-Hub de l'information**

L'idée de l'e-Hub (voir Figure 6), apportée par Cisco¹² en 2003, est de passer d'une logique orientée « acteurs » à une logique orientée « information » (voir Figure 7). Cela amène à la mise en place d'un Hub centralisant les informations. Ce dernier rassemble les informations de la demande issues du client, les informations sur les niveaux de stocks et les stocks cibles dans chaque maillon de la chaîne logistique, les commandes émises et les livraisons faites par chaque maillon. Il génère ainsi des rapports et des alertes qu'il envoie aux différents acteurs, afin qu'ils puissent mettre en place des actions correctives et prendre des décisions en ayant plus de visibilité sur ce qui se passe le long de la chaîne.

¹¹ Une opportunité est dite gagnée lorsque Freescale est sélectionné par un équipementier (OEM) pour la fabrication et l'approvisionnement d'un nouveau produit.

¹² L'un des leaders du secteur des télécoms.

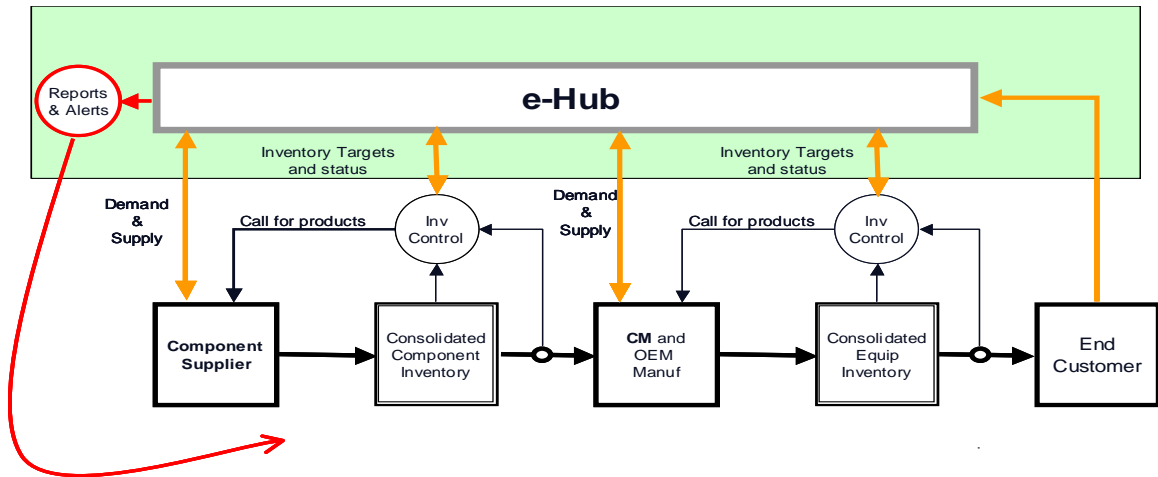


Figure 6 : L'e-Hub d'information (source : [Dejean, 03]).

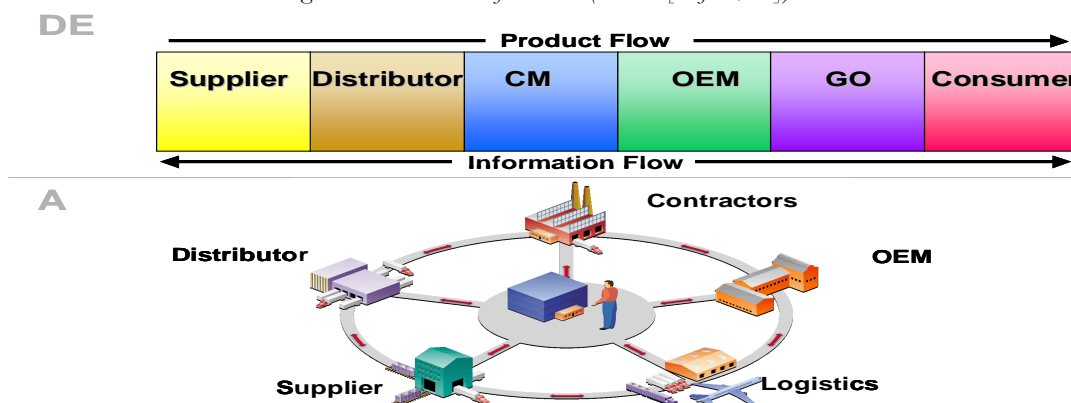


Figure 7 : D'une logique orientée « acteurs » vers une logique orientée « information » (source : [Poirier, 99])

Cisco propose un déploiement du projet en trois phases résumées dans le Tableau 1. Chaque phase, une fois réussie, devrait engager de nouvelles vagues de partenaires qui viennent s'ajouter à l'environnement de l'e-Hub.

Evolution de l'e-Hub		
Phase 1	Phase 2	Phase 3
<ul style="list-style-type: none"> • Infrastructure du workflow • Signal commun de la demande • Engagements sur les approvisionnements • Statut des approvisionnements 	<ul style="list-style-type: none"> • Planification à base de contraintes • Optimisation • Planification conjointe de la capacité • Gestion des achats en ligne 	<ul style="list-style-type: none"> • Co-conception • Gestion des ordres de modifications techniques • Gestion des cycles de vie • Gestion des données produit

Tableau 1 : Etapes de déploiement de l'e-Hub (source : [Grosvenor et Austin, 01])

- Phase 1 : inclut les infrastructures fondamentales des workflow, des alertes, et de la gestion des performances de la chaîne.
- Phase 2 : concerne la planification à base de contraintes, l'optimisation, la planification commune de la capacité et la gestion des achats et des approvisionnements par le biais d'Internet.

- Phase 3 : extension des capacités de l'e-Hub pour concevoir des collaborations, pour faire de la gestion de changement des documents relatifs aux processus et aux consignes de travail, pour gérer les cycles de vies et les données produits.

Les inconvénients d'une telle vision sont l'investissement élevé qu'elle implique chez chaque membre de la chaîne et sa complexité ; chose qui a amené certains membres à se désengager dès le début du projet ou même en cours de route. Par ailleurs, sans un vrai engagement impliquant les moyens humains et matériels, l'expérimentation d'un tel pilote ne pourrait déboucher que sur un échec. En outre, les temps de retour sur investissement et l'efficacité de tels projets restent mal connus. Tous ces inconvénients ont contribué de façon plus au moins forte à un freinage du projet, et son implantation est restée très partielle contrairement aux objectifs qui étaient annoncés initialement [ICMR, 03].

Après avoir introduit Freescale, notre partenaire industriel, signalons que cette entreprise est impliquée en tant que fabricant de semi-conducteurs (SCS : Semi-Conductor Supplier) dans deux chaînes logistiques (de secteur) :

la chaîne logistique des télécoms,

la chaîne logistique de l'automobile.

Cette dernière chaîne n'est pas sujette à d'aussi fortes perturbations que celle des télécoms et le marché de l'automobile est plus prédictible que celui des télécommunications. Les prévisions de la demande sont de loin plus fiables. Les risques liés à l'incertitude de la demande dans le cas de l'automobile sont moins importants au niveau des décisions stratégiques et donc en ce qui concerne la gestion des capacités. De ce fait, nous avons concentré notre attention sur la chaîne logistique des télécoms. La section suivante a pour but de décrire cette chaîne, ainsi que les différentes évolutions auxquelles elle est sujette.

1.3.2 Chaîne logistique des télécommunications

Au sein de la chaîne logistique des télécommunications, la demande a subi des changements majeurs pendant la dernière décennie ([Mahmoudi *et al.*, 06 a], [Agrell *et al.*, 04]) . En effet, on a assisté :

à l'émergence de nouveaux acteurs dans le secteur,

à l'introduction de nouveaux systèmes et technologies,

ainsi qu'à l'arrivée de nouveaux consommateurs situés dans de nouvelles zones géographiques (pays), concernés par de nouveaux marchés (par exemple, transmission des données) et appartenant à de nouvelles classes d'âge (par exemple, adolescents, enfants et personnes âgées).

Il en résulte une chaîne logistique caractérisée par une forte turbulence, une instabilité grandissante et une grande imprévisibilité. Aujourd'hui, les acteurs sont conscients des risques qu'implique cet environnement opérationnel. Ces risques peuvent avoir des conséquences néfastes s'il ne sont pas partagés¹³ entre les différents acteurs ou si la chaîne n'est pas assez réactive pour les mitiger : ruptures de stocks, non satisfaction des clients, saturation des stocks, investissements chers en des technologies qui peuvent devenir rapidement obsolètes...

¹³ Il ne s'agit pas de faire prendre le risque par l'autre, mais bien d'en supporter ensemble les effets potentiellement négatifs.

Dans cette section, notre objectif est de caractériser la chaîne logistique des produits électroniques des télécoms. Nous décrirons tout d'abord la structure de cette chaîne, et nous mettrons en évidence le type d'activités associées à chaque catégorie d'acteurs impliqués dans la chaîne. Nous montrerons ensuite, les différentes évolutions qui ont débouché sur la structure déjà décrite précédemment. Ceci, nous conduira, à la caractérisation de la demande à laquelle devrait faire face la chaîne, et à la caractérisation du flux informationnel qui transitent entre les différents maillons. Enfin, nous présenterons une analyse des différentes logiques d'acteurs de la chaîne qui nous permettra de proposer une caractérisation des comportements et des stratégies de ces derniers.

1.3.2.1 La chaîne logistique des télécommunications : descriptions des acteurs et des produits

Les chaînes logistiques des télécommunications sont caractérisées, à quelques variantes près, par les mêmes types d'acteurs et les mêmes modes de circulation des flux physiques et informationnels. Une chaîne logistique des télécoms est composée de quatre types d'acteurs [Agrell *et al.*, 04] (voir Figure 8) :

- les opérateurs téléphoniques (Global Operators - GO -) (par exemple, France Telecom, Vodafone, Telefonica, ...) qui sont responsables du déploiement de la couverture réseau supportant les services fournis aux clients, ainsi que toute l'infrastructure nécessaire.
- les fabricants d'équipement (Original Equipment Manufacturer- OEM -) (par exemple, Nokia, Ericsson, Lucent,...) comme les téléphones portables
- les Assembleurs (Electronics Manufacturing Services Provider - EMS¹⁴ -) (par exemple, Solectron, Flextronics ...) qui revendent les produits qu'ils assemblent à des partenaires qui les incorporent dans leurs propres configurations et les mettent sur le marché sous leur propre marque.
- les fournisseurs de semi-conducteurs (2nd tier Suppliers ou Semi-Conductor Suppliers – SCS -) (par exemple, Freescale, Philips, Texas Instrument ...) qui fabriquent les composants électroniques de base (les puces) utilisés par les assembleurs.
- les fournisseurs des matières premières (3rd tier Suppliers) fournissent les matières premières intervenant dans la fabrication des puces chez les fournisseurs de semi-conducteurs (silicium, produits chimiques ...)

En ce qui concerne les produits impliqués dans la chaîne logistique des télécoms (infrastructure de télécommunication, terminal téléphonique, téléphonie mobile...), ils ont des cycles de vie très courts. Cela nécessite une forte réactivité des différents intervenants de la chaîne pour être capable de livrer les produits aux clients dans la bonne « fenêtre » de temps. Si le produit n'est disponible qu'en dehors de cette « fenêtre » plusieurs phénomènes sont observés : érosion importante des prix, chute des volumes de ventes, obsolescence des stocks ...

¹⁴ Les EMS sont souvent appelés Contract Manufacturer (CM). Les termes CM et EMS seront utilisés d'une façon équivalente.

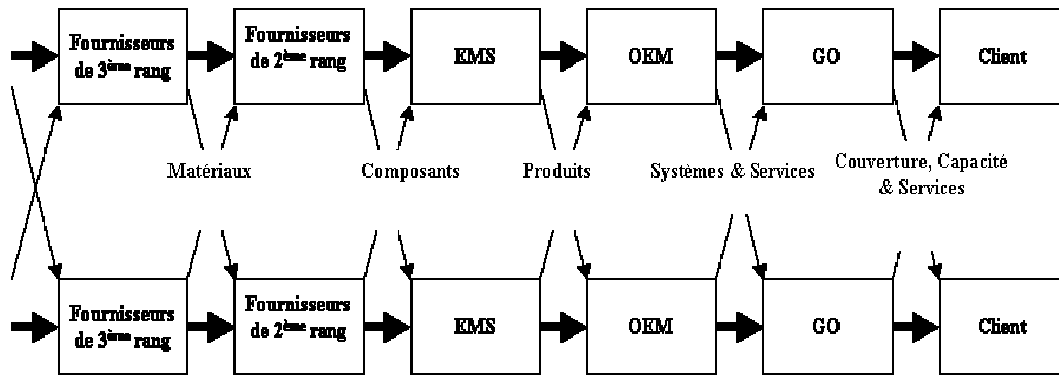


Figure 8 : Chaîne logistique simplifiée des télécommunications (source : [Agrell et al., 04]).

Un premier constat que nous invitons le lecteur à faire est le nombre important d'acteurs intervenant dans la chaîne, ainsi qu'un processus « naissance-mort » des produits très dynamique très impacté par les courtes durées de vie, ce qui renvoie à un environnement opérationnel assez particulier.

Après cette brève description de la structure et de la nature des produits de la chaîne logistique des télécommunications, nous retournons avec plus de détails dans les sections qui suivent sur :

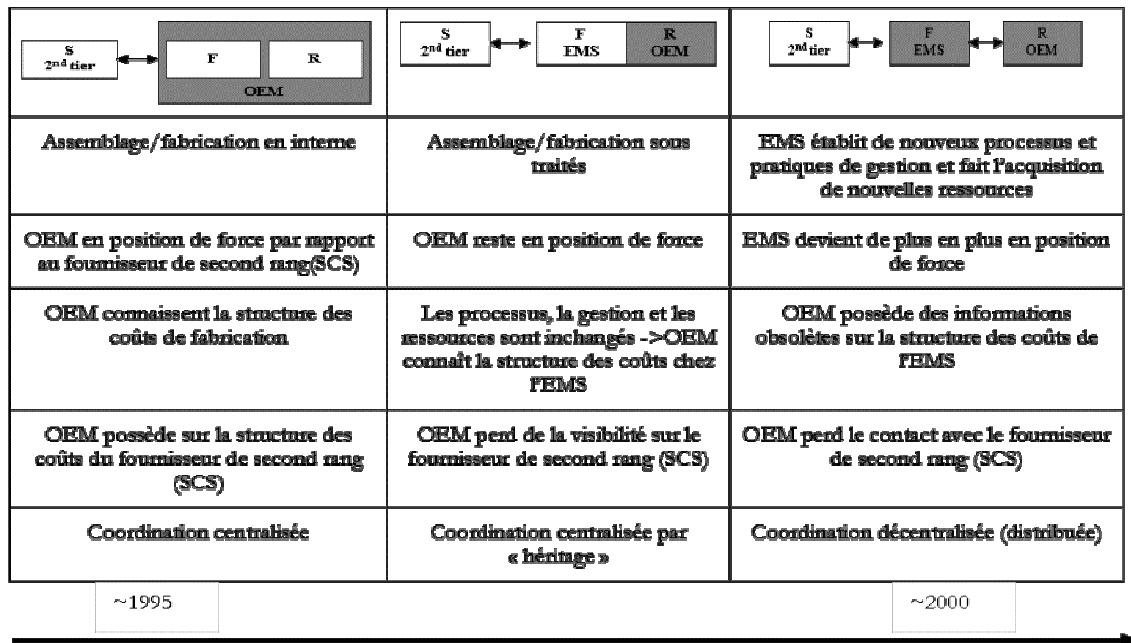
- l'évolution de la structure de la chaîne,
- les caractéristiques du marché des télécommunications,
- les logiques managériales hétérogènes des acteurs de la chaîne logistique,
- la nature des flux informationnels qui traversent la chaîne logistique.

1.3.2.2 Evolution de la structure

[Agrell *et al.*, 04] distinguent trois phases de développement de la structure de la chaîne logistique : « une phase centralisée », « une phase transitoire » et « une phase décentralisée » (Figure 9).

- Phase centralisée : avant l'entrée des EMS, les OEM produisent et font l'assemblage eux-mêmes. Et de ce fait, ils jouissent d'une position de pouvoir vis-à-vis des fournisseurs de premier rang, en vertu de la taille et de la détention d'informations privilégiées se rapportant à la structure des coûts de ces derniers : la prise de décision est centralisée.
- Phase transitoire : lorsque les OEM ont décidé de sous-traiter le processus d'assemblage auprès des EMS, ils ont commencé à perdre la visibilité sur les fournisseurs de premier rang tout en restant informés de la structure des coûts des EMS. Ceci ne les a pas empêché de rester encore en position de force. Par ailleurs les processus, les pratiques de management et les ressources sont restés inchangés.
- Phase décentralisée : les informations sur les structures de coûts des EMS que détenait l'OEM se sont appauvries, ce qui a conduit à une perte d'une partie de son pouvoir à coordonner et à répartir les rentes (profits) de la chaîne. Ce qui a permis progressivement à chaque membre de revoir et de redéfinir les initiatives de coordination : la prise de décision est devenue distribuée.

Ces évolutions organisationnelles et informationnelles n'ont pas été accompagnées par un développement des mécanismes de coordination contractuels. C'est ce qui a donné naissance à des unités organisationnelles à grande autonomie.



S : Supplier (fournisseur de second rang ou SCS), F : First tier supplier (fournisseur de premier rang ou EMS), R : retailer (équipementier ou OEM)

Figure 9 : Résumé des évolutions organisationnelles et informationnelles dans l'industrie des télécoms entre 1995 et 2000 (source : [Agrell et al., 04])

1.3.2.3 Nature de la demande

Les principales caractéristiques du marché des télécommunications sont :

- l'incertitude de la demande : l'émergence de nouveaux acteurs dans la chaîne logistique (par exemple des nouveaux opérateurs téléphoniques qui rentrent dans le marché et qui modifient par conséquent la répartition des parts de marché), l'échange non maîtrisé des informations, les difficultés de la mise en place de processus fiables de coordination et de collaboration dans la chaîne et l'absence de structures contractuelles rigides liant les acteurs de la chaîne font que de la demande est très incertaine,
- l'instabilité : le marché est très sensible à la saisonnalité, aux phénomènes de modes et aux événements nationaux et internationaux (voir Figure 10),
- la courte durée de vie des produits : les sauts technologiques importants (passage de la technologie « deuxième génération » par exemple, GSM¹⁵ ou TDMA¹⁶ à la technologie

¹⁵ GSM : Groupe Spécial Mobile ou Groupe Système Mobile. Norme de communications radio répandue en Europe définissant un réseau cellulaire qui utilise un multiplexage temporel. Bref, c'est le téléphone portable.

¹⁶ TDMA : Time Division Multiple Access. Méthode d'accès aux satellites, où les utilisateurs émettent sur le même canal chacun à son tour, les uns après les autres. Cela s'appelle aussi du multiplexage temporel.

« troisième génération » par exemple WCDMA¹⁷.) réduisent fortement les durées de vie des produits.

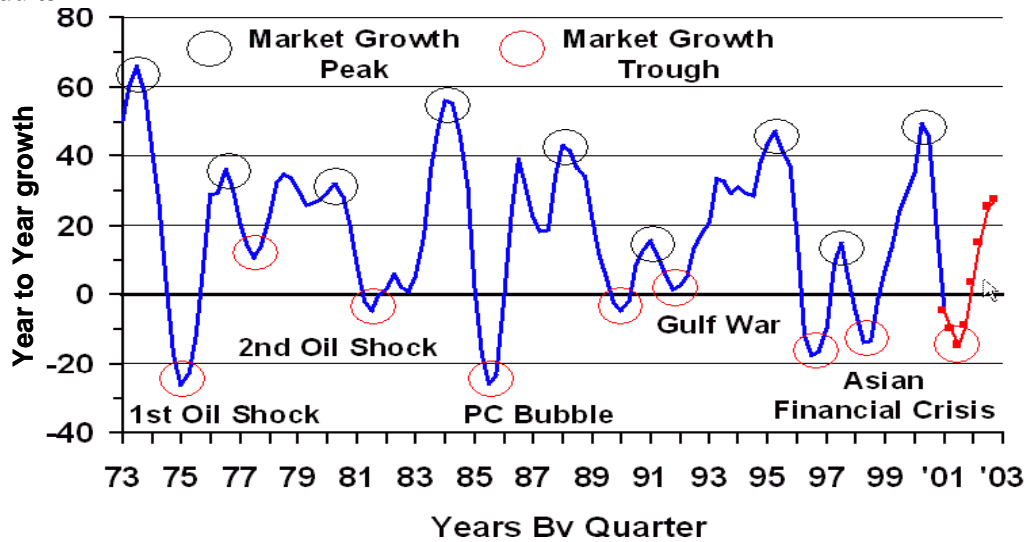


Figure 10 : Evolution du marché des télécommunications (1973-2003) (source : [Dejean 03])

Tous ces éléments génèrent des pics de la demande non prévisibles très importants, empêchant ainsi l'élaboration des prévisions fiables pouvant anticiper la forte évolution du marché. Ils expliquent notamment les difficultés éprouvées pour les activités de planification (calcul des capacités nécessaires, lancement de la production...).

1.3.2.4 Les logiques hétérogènes des acteurs

Selon [Agrell *et al.* 04], les logiques d'acteurs, *i.e.* les pratiques managériales, tout comme la structure de la chaîne logistique des télécommunications, sont sujettes à une évolution continue.

Les fournisseurs de deuxième rang (SCS) investissent dans l'acquisition de nouvelles capacités de production, ce qui implique la construction de nouvelles lignes ou sites de productions. Les décisions qui accompagnent de tels investissements doivent être faites quelques années avant le lancement du nouveau produit sur le marché. Cependant, ces investissements restent non rentables sans l'atteinte d'un certain volume de vente (Figure 11 (a)). Et le risque majeur encouru par les fournisseurs de premier rang est la faible utilisation des capacités de production, ou encore les changements de technologies ou de marché qui peuvent rendre leurs produits obsolètes.

¹⁷ WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access. Standard de téléphonie de 3ème génération.

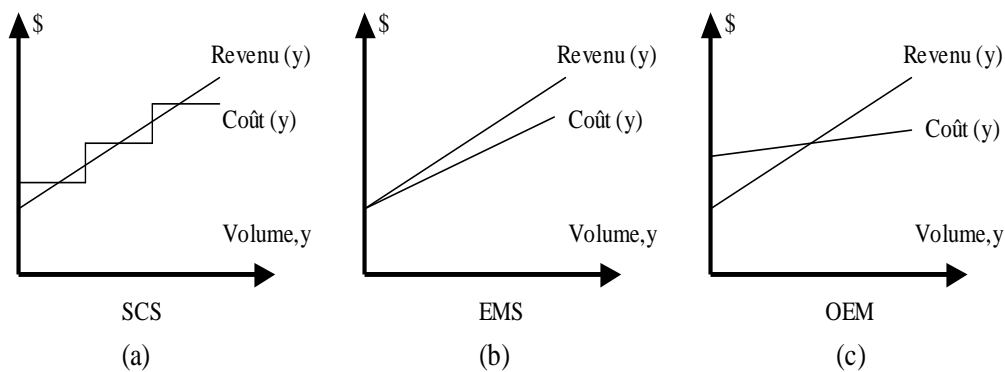


Figure 11 : Fonctions schématiques des coûts et des profits dans la chaîne logistique des télécoms (source : [Agrell et al., 04]).

Les EMS ne risquent pas gros en termes de quantités produites ou d'investissements spécifiques (Figure 11 (b)). Leur activité principale est centrée autour d'une activité d'assemblage des produits qui reste peu coûteuse.

Les OEM font quant à eux des investissements importants dans les nouvelles technologies et dans le développement des produits. Et pour atteindre des volumes de vente rentables, ils doivent cibler au bon moment les « fenêtres » du marché. Des fenêtres qui sont généralement très étroites, ce qui implique un temps de retour sur investissements – R.O.I¹⁸ – généralement court. Ils encourent le risque de l'adéquation des capacités de production de leurs fournisseurs (OEM et EMS). Au début de l'année 2000, c'était le cas pour plusieurs composants électroniques dans cette industrie, ce qui a conduit à une allocation des capacités privilégiant certains produits par rapport à d'autres. Et depuis l'année 2001, la situation est complètement inversée : les sur-capacités ont noyé tout le marché et les stocks circulant dans la chaîne se sont retrouvés obsolètes. Cisco, l'un des leaders de la vente de semi-conducteurs annonçait une perte de \$2.5B de produits invendus [Reed, 04].

Les pratiques managériales des OEM suggèrent de chercher à satisfaire n'importe quelle demande indépendamment des quantités et des délais requis. Ce qui leur impose d'être capables de livrer le maximum de produits (surtout les produits stratégiques) dès qu'une demande apparaît pour rentabiliser les investissements engagés (Figure 11 (c)). Cependant, les acteurs en amont (SCS) sont confrontés à un problème de limitation des capacités, et les volumes de ventes n'ont pas les mêmes implications sur la rentabilisation de leurs coûts. En se plaçant dans leur perspective, conserver les mêmes capacités sur un long horizon pourrait réduire les risques et accroître les profits dans le cas d'une faible demande.

1.3.2.5 Un échange d'information complexe et mal maîtrisé

La gestion du flux informationnel dans la chaîne logistique des télécoms est caractéristique. En effet, chaque maillon peut recevoir des informations (informations techniques, informations sur les livraisons, informations sur les approvisionnements, informations sur les produits) qui peuvent provenir de différents niveaux de la chaîne logistique (voir Figure 12). Des informations qui sont souvent entachées d'erreurs assez importantes s'accumulant en circulant dans la chaîne, et dans certains cas contradictoires. C'est ce qui pousse, les acteurs à aller chercher leurs propres informations directement chez le client afin de bâtir leurs propres images sur l'évolution de la chaîne et aussi sur l'évolution

¹⁸ Return On Investments

de la demande. La chaîne logistique perd ainsi tout espoir d'avoir une réponse synchronisée face à un marché dont l'instabilité et l'incertitude sont assez élevées.

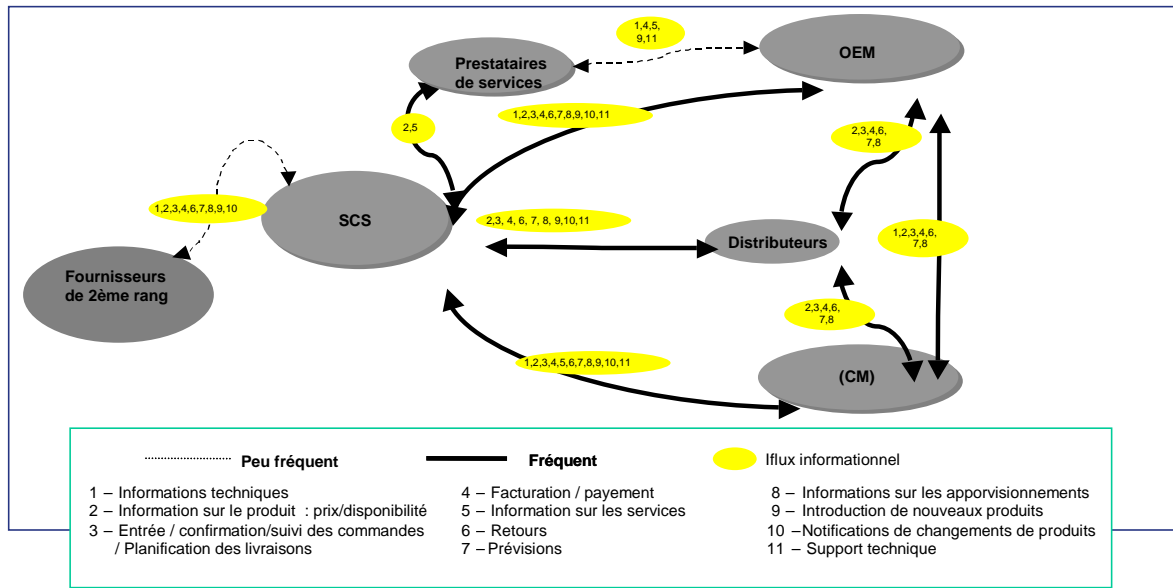


Figure 12 : Complexité du flux d'information dans la chaîne logistique des télécoms (source:[PWC, 03])

1.3.2.6 Problèmes spécifiques à la gestion de la chaîne logistique des télécoms : une synthèse

Nous pouvons synthétiser l'ensemble des problèmes auxquels est confrontée la chaîne logistique des télécoms dans la liste suivante :

- un marché très fluctuant et imprévisible,
- des produits très innovants et à très courtes durées de vie,
- des investissements pour l'acquisition de nouvelles capacités chez le SCS très lourds,
- un échange d'informations dans la chaîne est complexe et mal structuré,
- une structure de chaîne qui subit une désagrégation de plus en plus forte.

1.3.2.7 La coopération en tant que solution industrielle dans la chaîne logistique des télécoms : un retour d'expériences

Partant de ces constatations et du danger provenant de la non maîtrise du flux informationnel, les acteurs impliqués dans la chaîne commencent à soutenir des projet dits de « coopération ». Dans ce type de projets les acteurs focalisent sur l'amélioration de des modes d'échange et de partage de l'information. Par ailleurs, des organismes tels que RosettaNet¹⁹ et VICS²⁰ viennent apporter leur aide en proposant des processus et des modèles standard sur lesquels peuvent se baser les efforts engagés en matière de gestion des flux d'informations tels que le processus CPFR (proposé par VICS) (voir Figure 11) et le protocole PIP (proposé par RosettaNet).

¹⁹ www.rosettanet.org

²⁰ <http://www.vics.org>

◆ **Le Collaborative Planning, Forecasting & Replenishment (CPFR)**

Le CPFR (Collaborative Planning, Forecasting & Replenishment) (voir la description des étapes du processus dans la Figure 13) a été lancé en 1996 par le VICS (Voluntary Interindustry Commerce Standard). C'est une méthode de collaboration ouverte entre les distributeurs et les fournisseurs basée sur une démarche ECR (Efficient Consumer Response)²¹. Son but est la coopération à travers un partage réel des informations et des processus. La collaboration s'effectue au niveau stratégique par la mise en commun des plans commerciaux des différents partenaires, permettant d'établir des prévisions uniques et partagées par les acteurs de la collaboration. Le CPFR est une démarche de gestion collaborative et globale de la chaîne d'approvisionnement incluant les forces du marketing et du commercial. Le CPFR vise de ce fait à fiabiliser les prévisions de ventes, à diminuer les stocks et à augmenter la marge nette.

Planification	<ol style="list-style-type: none"> 1. Etablir l'accord de coopération : <ul style="list-style-type: none"> - définir les règles de fonctionnement de la relation partenariale ; - décrire les attentes, les actions et les ressources nécessaires ; - définir les objectifs de collaboration, les accords de confidentialité et les engagements de chacun. 2. Développer le plan commercial commun : <ul style="list-style-type: none"> - échanger les informations stratégiques et commerciales afin d'arriver à un plan commun ; - définir les rôles et les objectifs de chaque partenaire ; - définir une stratégie commune.
Prévisions	<ol style="list-style-type: none"> 3. Elaborer les prévisions de vente. 4. Identifier les prévisions de vente non valides : <ul style="list-style-type: none"> - déceler les prévisions non valides à l'aide de critères d'exception. 5. Résoudre les exceptions : <ul style="list-style-type: none"> - résoudre entre partenaires le problème de prévisions ; - ajuster la prévision. 6. Générer le programme d'approvisionnement : <ul style="list-style-type: none"> - s'appuyer sur les besoins nets pour optimiser les ressources de production ; - calculer les réapprovisionnements grâce au DRP. 7. Identifier les ordres planifiés non valides : <ul style="list-style-type: none"> - déceler les ordres planifiés non valides à l'aide de critères d'exception. 8. Résoudre les exceptions : <ul style="list-style-type: none"> - résoudre entre partenaires le problème de planification ; - ajuster la planification.
Réapprovisionnement	<ol style="list-style-type: none"> 9. Créer les commandes : <ul style="list-style-type: none"> - transformer le programme d'approvisionnement en commandes fermes sur une période définie ; - transmettre les avis de confirmation de commandes à son partenaire.

Figure 13 : Le processus CPFR (source : [Jouenne, 00]).

D'après la figure ci-dessus, le CPFR peut être donc vu comme une consolidation conjointe des prévisions faites par les partenaires impliqués dans le projet, dans le but d'améliorer

²¹ Réponse efficace au Consommateur : ensemble de vision stratégique, démarches organisationnelles et contractuelles et modules de systèmes d'information visant, à partir de la connaissance des besoins et des consommations clients, à optimiser les différents maillons de la chaîne logistique (systèmes d'offre ou " Supply side ") afin de rechercher l'apport de valeur ajoutée pour le client sur chacune des opérations.

l'approvisionnement et en résolvant d'une façon collaborative les problèmes de planification qui peuvent apparaître dans le contexte de certaines situations spéciales ou exceptions (par exemple, pannes, retards, ...).

En implémentant le CPFRR, les fournisseurs et les détaillants pourraient escompter des bénéfices via la fiabilité accrue des prévisions, les ruptures réduites, et les stocks mieux maîtrisés. D'autres bénéfices suggérés incluent des temps de livraison réduits et des capacités beaucoup mieux utilisées. Il est aussi impératif de signaler l'existence d'un ensemble d'obstacles pour la mise en place d'un système de « prévisions collaboratives » que nous résumons comme suit [Fliedner, 03] :

- ✓ le manque de confiance pour le partage d'informations sensibles,
- ✓ le manque de collaboration inter-entreprises pour l'élaboration des prévisions,
- ✓ la disponibilité et le coût de la technologie ou de l'expertise pour supporter de telles initiatives,
- ✓ les aspects relatifs à l'agrégation (le nombre et la fréquence de génération des prévisions) et enfin la connivence – objectifs conflictuels-.

◆ **Processus d'Interface entre Partenaires (PIP)**

RosettaNet fournit des définitions et des modèles pour desservir les chaînes logistiques des produits électroniques en composants. L'approche est de définir des Processus d'Interface entre Partenaires (PIP), lesquels comprennent :

- ✓ des documents XML qui définissent des Services, des Transactions, et des Messages ;
- ✓ des diagrammes UML de classes et de séquences ;
- ✓ un outil de validation ;
- ✓ un guide d'implantation.

Deux dictionnaires de données ont été développés pour offrir un ensemble commun de propriétés nécessaires au développement des PIP :

- ✓ un dictionnaire des propriétés techniques pour toutes les catégories de produits,
- ✓ un dictionnaire des propriétés d'affaires, ce qui comprend les propriétés de catalogue, des partenaires dans la chaîne, et des transactions d'affaires.

RosettaNet offre donc un protocole d'échange général, le Cadre d'implantation, où les partenaires inscrivent leurs besoins grâce à des choix dans les dictionnaires pour pouvoir utiliser les PIP dont ils ont besoin, et pourvu qu'ils utilisent le réseau Internet et le format d'échange XML. Les premiers PIP développés visent à :

- ✓ gérer la clientèle intéressée à l'information sur les produits,
- ✓ diffuser la nouvelle information sur les produits,
- ✓ consulter la nouvelle information sur les produits,
- ✓ consulter l'information technique,
- ✓ diffuser le SKU (StockKeeping Unit)²² sur les produits,
- ✓ consulter le prix et la disponibilité,
- ✓ transférer sa liste de choix d'achat,
- ✓ gérer le bon de commande,
- ✓ consulter le statut d'une commande,
- ✓ diffuser le statut d'une commande.

²² Le SKU est un code alphanumérique qui aide à identifier un produit dans le stock.

Cette approche à base de dictionnaire est efficace tant que les types de documents d'affaires (Business Documents) ne subissent pas beaucoup de changements au cours de leurs usages ou que ces changements apparaissent dans la phase de spécification des PIP. Dans le cas contraire, le protocole de l'échange nécessite une révision parfois complète dès qu'un changement apparaît sur ces documents. C'est ce qui renvoie à manque de flexibilité important qui pèse sur les PIP.

En outre, ce ne sont pas seulement les coûts d'implantation qui ralentissent la diffusion des solutions que propose RosettaNet, mais aussi le nombre important d'activités de la supply chain qui peuvent utiliser les PIP de RosettaNet et qui nécessitent d'apporter des services capables de supporter les déploiements futurs.

1.4 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'introduire et de coupler les notions de chaîne logistique, de gestion des chaînes logistiques, et de gestion du risque dans les chaînes logistiques, et enfin de positionner notre étude sur l'aspect analyse et évaluation en termes de risque des pratiques de planification et d'interaction, que les acteurs de la chaîne logistique peuvent mettre en place, conjointement, en choisissant de se placer dans une optique coopérative. D'autre part, ce chapitre nous a permis de mettre l'accent sur la problématique de la gestion de l'une des chaînes les secteur électronique : la chaîne logistique des télécommunications, en présentant d'abord notre partenaire industriel en tant qu'acteur dans cette chaîne, et en décrivant ensuite ses problèmes et les solutions industrielles apportées dans une volonté d'assurer une gestion en adéquation avec le contexte à fortes perturbations dans lequel cette dernière évolue.

Malgré les différents projets de coopération existants (par exemple, CPFIR) ainsi que les différents standards visant la normalisation des échanges de l'information (par exemple, PIP), nous sommes arrivés suite à plusieurs interviews²³ avec les dirigeants de Freescale Semi-Conductors à faire un constat que nous pouvons résumer en quatre points :

- les projets de coopération mis en place au sein de la chaîne logistique des télécoms sont rares, et la plupart des projets qui ont pu dépasser le cap d'expérimentation (par exemple, Hub d'informations de Cisco) cherchent à centraliser certaines informations critiques telles que les prix, faisant ainsi perdre aux acteurs l'autonomie dont ils disposent. De ce fait, ces processus se trouvent ensuite abandonnés,
- les prévisions des clients sont mal utilisées, voire dans beaucoup de cas ignorées et de ce fait, les décisions stratégiques (décisions au niveau du Plan Industriel et Commercial) notamment celles de la gestion de la capacité, sont mal optimisées,
- l'évaluation des apports de la coopération n'est pas faite,
- les différents partenaires de la chaîne logistique des télécoms ne sont pas convaincus par les apports ou les dangers que peuvent impliquer la coopération.

Cependant, comme nous l'avons évoqué précédemment, la chaîne logistique des télécoms est sujette à de fortes incertitudes et instabilités et les risques relatifs aux comportements des acteurs sont très élevés, au point que cette chaîne est très vulnérable et qu'elle est condamnée à avoir des performances assez médiocres. Freescale et ses différents

²³ Chaque interview a une durée moyenne de trois heures et différentes catégories de décideurs ont été ciblées : les responsables de production, les responsables de planification, les responsables des systèmes d'information, et enfin les responsables d'intégration de la chaîne logistique.

partenaires doivent donc être conscients des enjeux qu'impliquent leurs propres comportements ainsi que les comportements des autres en termes de flexibilité, de réactivité et d'adaptabilité de toute la chaîne par rapport aux évolutions du marché et des besoins des clients. C'est une étape préliminaire à une prise de conscience effective de l'intérêt de la mise en place de projets de coopération.

A cette date, les actions menées par Freescale dans ce sens n'ont pas eu les succès attendus (par exemple projet Hub d'informations en partenariat avec Cisco) et restent dépendantes de l'enthousiasme des acteurs qui est souvent intimement lié à l'état du marché.

De ce fait, il est logique de s'interroger d'un point de vue industriel sur la nature des actions et des stratégies auxquelles ont recours les acteurs de la chaîne logistique. Il convient notamment de se demander :

- sur quels types de processus de gestion de la chaîne logistique les efforts de coopération entre les acteurs doivent porter ?
- Comment caractériser les politiques de coopération que les acteurs de la chaîne logistique peuvent mettre en place ?
- Comment prendre en compte les comportements des décideurs ?
- Comment évaluer les risques associés aux politiques de coopération ?

Le chapitre suivant propose de définir des réponses aux différentes questions posées précédemment, ainsi qu'une description de la proposition de recherche que nous apportons pour combler les besoins industriels identifiés.

Chapitre 2. Proposition de recherche

RESUME

Dans ce chapitre, nous partons des constats que nous avons faits avec Freescale par rapport aux différents problèmes qui se posent dans la chaîne logistique des télécommunications.

Ce chapitre décrit notre proposition pour répondre aux besoins industriels et traiter les problématiques de recherche que nous avons identifiées. Il s'agit de proposer un outil et une méthodologie associée pour évaluer les risques liés aux politiques de coopération mises en place au niveau des processus de planification qui vont notamment déterminer le dimensionnement des capacités des acteurs de la chaîne logistique.

2.1 Introduction

Après avoir présenté, dans le chapitre précédent, Freescale Semi-Conductors, notre partenaire dans cette étude, et dressé un bilan des questions qu'il se pose sur la nature des différentes pratiques managériales actuelles adoptées par ses partenaires et sur l'incidence de ces pratiques sur la mise en place d'une gestion efficace de la chaîne logistique des télécoms, nous consacrons ce chapitre à la définition de notre problématique et à la description de la proposition de recherche que nous avons formulée pour répondre à cette problématique.

2.2 Problématique de recherche

Notre problématique de recherche peut être décrite à travers les besoins et les questionnements qui se rattachent aux quatre points suivants :

▪ Sur quels types de processus de gestion de la chaîne logistique les efforts de coopération entre les acteurs doivent-ils porter ?

Nous avons choisi de focaliser l'étude sur les processus de planification et notamment sur le Plan Industriel et Commercial (Sales & Operations Planning) (S&OP). Ce choix est en cohérence avec les fortes contraintes de capacités auxquelles fait face Freescale pour être réactive face à l'évolution des besoins de ses clients : les délais de mise en place de nouvelles capacités sont très longs, les coûts engagés sont élevés, etc. Signalons qu'à ce niveau, c'est-à-dire au niveau de la définition des nouvelles capacités à mettre en place deux types de décisions stratégiques sont envisageables :

- construction de nouveau Wafer-fab,
- variation de la capacité d'un Wafer-fab existant.

Pour notre étude, nous focalisons plutôt sur le deuxième type de décision stratégique, c'est-à-dire que nous analysons la définition de nouvelles capacités via le rajout d'équipement de capacité au niveau d'un Wafer-fab qui existe déjà.

Cependant, ce choix ne doit pas nier la nécessité de prendre en compte les autres processus de planification moyen et court terme vu leurs impacts sur le Plan Industriel et Commercial. De ce fait, nous considérons en plus du processus S&OP qui est représenté d'une façon très détaillée, trois autres processus de planification qui seront représentés d'une façon plus agrégée (voir Figure 1) :

- Le Medium Term Planning (MTP) ou « Planification à moyen terme » : couvrant les décisions de niveau tactique ou moyen terme et permettant particulièrement, sous la contrainte de la capacité définie par le S&OP de calculer les lancements programmés ainsi que les objectifs de stocks. Ce processus de planification, à l'encontre du S&OP, possède une fréquence d'exécution plus élevée et de ce fait la prise en compte des changements d'états qui peuvent apparaître chez l'acteur concerné (par exemple, les niveaux états de stock).
- Le Short Term Planning (STP) ou « Planification à court terme » : couvrant les décisions de niveau court terme en tenant compte des contraintes internes chez un acteur donné et permettant de ce fait de traduire les lancements programmés en lancements possibles. D'autre part, le STP et le processus MTP décrit ci-dessous, permettent de tenir compte de différentes stratégies de gestion de flux (flux poussé/flux tiré) que ce soit pour la production ou pour l'approvisionnement.
- Le Launching and Inventory Management (L&IM) ou « Lancement et Gestion de stock » : couvrant les décisions de niveau court terme en intégrant les contraintes externes de l'acteur c'est-

à-dire celle provenant de ces fournisseurs et traduisant ainsi les lancements possibles en lancements effectifs en tenant compte des livraisons effectives faites par les fournisseurs et celles souhaitées par l'acteur. D'autre part le L&IM est responsable de la définition des livraisons destinées aux différents clients, de la mise à jour des états des stocks et des ruptures. Nous ne simulons pas au niveau du processus L&IM les flux de matières, et supposons que le L&IM sera capable de faire à la période de temps la plus élémentaire le bilan des transformations réalisées.

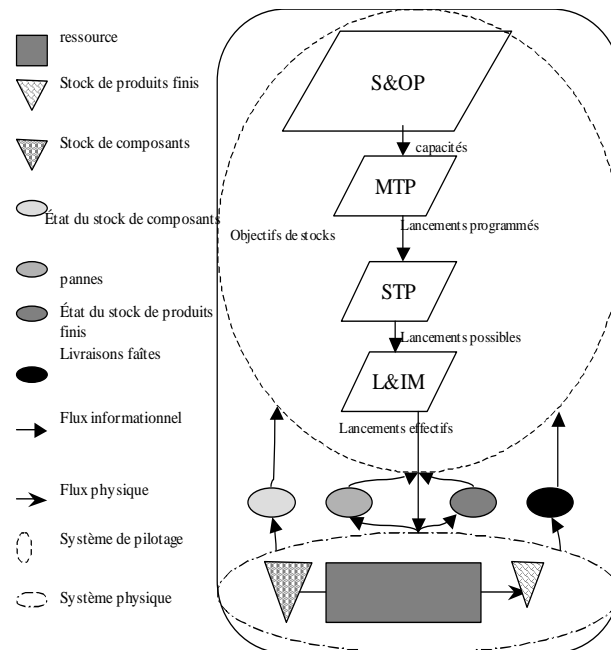


Figure 1 : Représentation des processus de planification chez un acteur de la chaîne logistique.

Dans la figure ci-dessus, remarquons que le système physique de l'acteur (représenté par la ressource clés chez l'acteur, par un stock de composants et un stock de produits finis), est liée au système de pilotage de l'acteur (représenté par les processus de planification S&OP, MTP, STP et L&IM) via un système d'information qui a pour objectif principalement de communiquer les nouveaux états de stocks, les livraisons qui ont été faites pour les clients et celles qui ont été reçues de la part des fournisseurs.

▪ **Comment caractériser les politiques de coopération que les acteurs de la chaîne logistique peuvent mettre en place ?**

Après avoir défini le type des processus de gestions sur lesquels nous voulons focaliser, il aussi nécessaire de caractériser la notion de « politiques de coopération » que nous souhaitons étudier.

Dans notre approche, une politiques de coopération s'inscrit :

- au niveau des processus de planification des acteurs appartenant à une même chaîne logistique : nous focalisons ici sur les différentes activités intervenant dans un processus de planification, mais aussi sur les comportements que peuvent avoir les décideurs impliqués dans les processus de planification.
- au niveau de l'échange d'informations : nous nous intéressons ici aux types d'informations échangées et à la manière dont les informations sont échangées. Nous parlerons alors dans ce cadre de protocoles ou de modèles d'interaction qui décrivent les processus de planification des acteurs de la chaîne logistique sont connectés

Nous définissons ainsi une politique de coopération comme étant l'union de tous les choix de protocoles d'interaction et de paramètres de caractérisation des processus de planification faits à l'échelle de la chaîne logistique étudiée. Les figures 3 et 4 de la section 2.4 donnent un exemple d'illustration de cette définition.

▪ **Comment prendre en compte les comportements de planification des décideurs ?**

Comme nous l'avons signalé ci-dessus, dans le cadre de la planification de leurs activités, les décideurs de la chaîne logistique manifestent différents comportements du fait de la confiance qu'ils ont ou pas dans les informations dont ils disposent et des risques qu'ils sont prêts à prendre. Parmi ces comportements, nous avons identifié les trois suivants :

- comportements d'interprétation des informations reçues de la part d'un autre acteur : en fonction de la confiance qu'il accorde à cet autre acteur, le décideur peut faire différentes lectures de l'information qu'il reçoit et la transformer avant de l'intégrer dans ses processus.
- Comportements de planification proprement dit : au moment de la planification des stocks, des capacités, des approvisionnements et de ses productions, les décideurs adoptent des comportements qui traduisent une attitude plus au moins risquée. Nous chercherons à modéliser ces comportements dans les processus de planification identifiés.
- Comportements de transmission des informations vers son fournisseur : au moment où l'acteur transmet les informations vers son fournisseur, il peut introduire des modifications. Un exemple classique est l'anticipation des prévisions d'approvisionnement pour induire chez le fournisseur un stock de couverture.

▪ **Comment évaluer les risques associés aux politiques de coopération ?**

Nous avons identifié chez notre partenaire industriel le besoin d'évaluer les politiques de coopération en terme de risque. Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 1, les risques dans la chaîne logistique sont associés aux dangers qui accompagnent intrinsèquement l'évolution de la chaîne logistique dans son environnement, qu'il soit interne ou externe. Le risque peut être caractérisé donc à travers un événement déclencheur possédant une probabilité d'occurrence plus ou moins importante, et l'impact induit par l'occurrence de cet événement.

D'un point de vue industriel, les événements déclencheurs du risque sont nombreux. Nous en pouvons notamment distinguer :

- les changements de tendance du marché,
- les retards/avances qui peuvent affecter le lancement d'un nouveau produit sur le marché,
- la mise en place de comportements de planification non adéquats (par exemple, comportement de décision de capacité non adapté à l'évolution du marché),
- la perte d'opportunités (par exemple, ne pas être retenu par participer à la conception et au développement d'un nouveau produit),
- les pannes qui peuvent toucher les ressources de production.

Pour nos travaux, nous focalisons sur les trois premiers types d'événements déclencheurs du risque.

Quant aux occurrences caractérisants les événements déclencheurs du risque, nous avons constaté que bien qu'ils soient incapables, dans certains contextes de décision, de caractériser l'occurrence des événements déclencheurs via des distributions de probabilités, les industriels en s'inspirant de la méthode AMDEC (voir section 4.5.2 plus de détails sur cette méthode) persistent pourtant à leurs associer des probabilités subjectives.

Pour notre étude, nous distinguons deux contextes de décision : un contexte de décision sous risque correspondant au cas où on dispose de probabilités pour la caractérisation de l'occurrence des événements déclencheurs du risque, et un contexte de décision sous incertitude correspondant au cas où ne dispose pas de tels probabilités.

D'autre part, les impacts associés à l'occurrence des événements déclencheurs du risque sont estimés par les industriels principalement en terme de :

- ruptures de livraison générées,
- stocks détenus,
- stocks obsolètes (produits non vendus),
- sur ou sous-capacités.

Pour nos travaux, nous avons choisi de focaliser plus sur le coût généré. Ceci nous permet de faire une agrégation des différents impacts vus par les industriels. L'évaluation proposée est faite globalement à l'échelle de la chaîne logistique, mais aussi localement chez les acteurs.

En outre, nous nous sommes proposés d'apporter des réponses aux interrogations suivantes :

- Comment définir des critères de choix sur lesquels les décideurs peuvent se baser pour la définition d'un comportement à mettre en place ? (voir chapitre 7 et chapitre 8).
- Comment intégrer dans ces critères de choix l'attitude que peuvent avoir les décideurs face au risque ? (voir chapitre 7 et chapitre 8)

Notre problématique de recherche ainsi exprimée s'inscrit d'une part au sein des problématiques liées aux notions d'incitation à la coopération en tant que moyen de mitigation des risques dans les chaînes logistiques. D'autre part, il s'inscrit dans le cadre des démarches s'appuyant sur les outils méthodologiques d'aide à la décision dans le domaine de la planification stratégique.

2.3 Vers une proposition de recherche

Pour répondre aux objectifs énoncés plus haut, la proposition de recherche que nous faisons consiste plus précisément en un ensemble d'outils et de démarches permettant l'évaluation des politiques de coopération que des acteurs peuvent mettre en place. On considère des décideurs appartenant à différentes entités de la chaîne logistique (voir Figure 1), et qui sont en charge du processus de planification long terme et plus précisément du dimensionnement de la capacité. L'objectif de cette évaluation que nous nous sommes fixée est double :

- montrer aux décideurs l'existence réelle de risques liés à leurs comportements plus au moins coopératifs et les évaluer,
- aider les partenaires à faire ensemble des choix en matière de politiques de coopération.

Ceci en proposant :

- un outil pédagogique de simulation capable de prendre en compte différents comportements des décideurs (par exemple, comportements de planification, comportements de transmission et d'interprétation des informations, etc.), et de permettre leurs évaluations dans différentes situations liées à l'évolution du marché et aux modèles (protocoles) d'interaction entre acteurs,
- une démarche d'aide à la coopération s'appuyant sur une approche par les risques.

Les étapes de cette démarche sont résumées dans la Figure 2 :

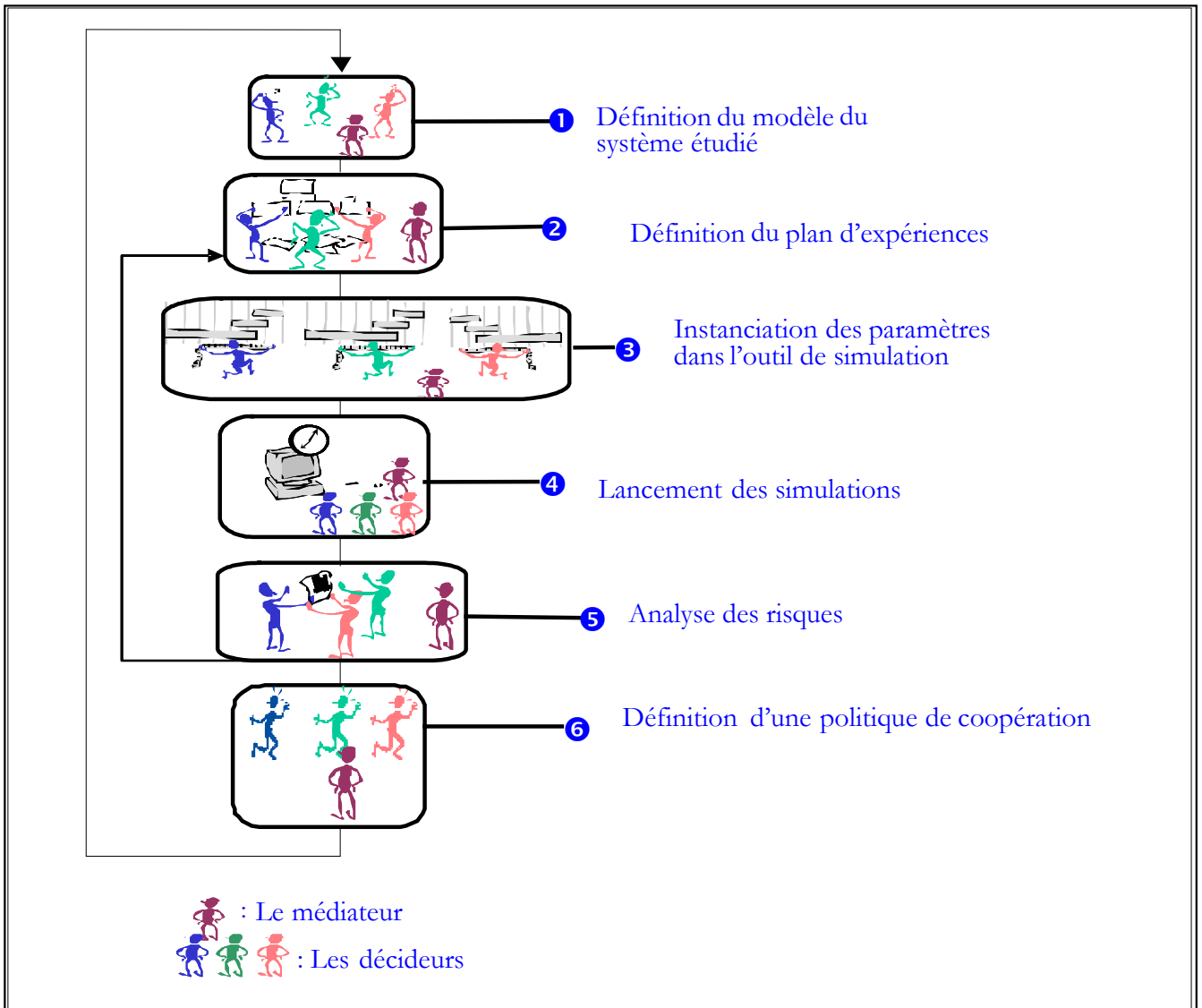


Figure 2 : Etapes de la démarche d'aide à la coopération.

1. Définition du modèle du système étudié

Au cours de cette étape, les décideurs qui représentent les différents acteurs (entreprises) de la chaîne logistique, se mettent d'accord sur le choix du modèle du système à étudier (voir l'exemple de la Figure 3).

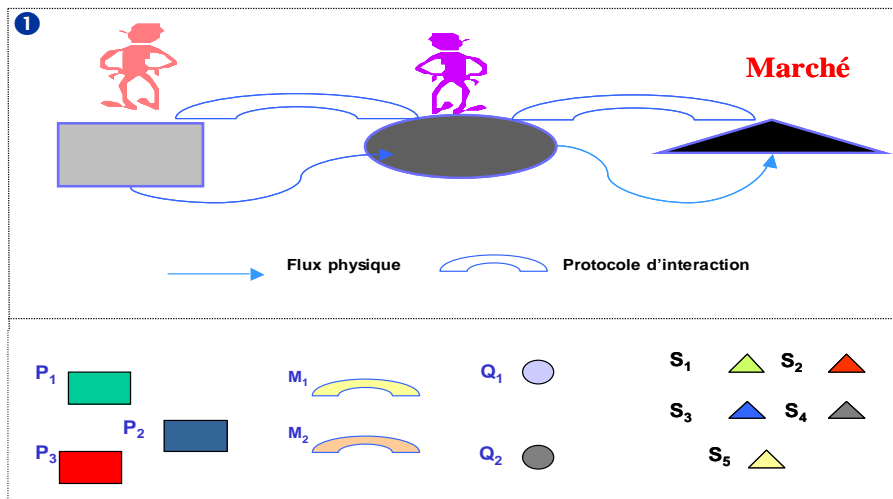


Figure 3 : illustration de l'étape 1 de la démarche proposée.

Dans la figure ci-dessus le système étudié est, par exemple, une chaîne logistique à deux acteurs : un premier acteur caractérisé par trois comportements de planification $\{P_1, P_2, P_3\}$ (par exemple, des comportements de décision de capacité) et un deuxième acteur avec deux comportements de planification $\{Q_1, Q_2\}$ (par exemple, des comportement de définition de stock). Ces deux acteurs sont liés par des protocoles d'interaction $\{M_1, M_2\}$ définissant la manière dont les processus de ces derniers sont connectés (par exemple, un protocole prévoyant ou pas un échange de prévisions). La chaîne logistique ainsi constituée doit faire face à un marché qui est caractérisé à travers cinq scénarios d'évolution $\{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$.

2. Définition du plan d'expériences des simulations

Au cours de cette étape, en se basant sur les comportements de planification des acteurs et sur les protocoles d'interaction retenus dans l'étape 1, les acteurs sélectionnent les paramètres et les relations entre les paramètres à analyser : ils définissent ainsi les expérimentations ou encore les politiques de coopération à analyser dans les simulations. L'ensemble des expérimentations retenues constitue le plan d'expériences des simulations (voir l'exemple de la Figure 4).

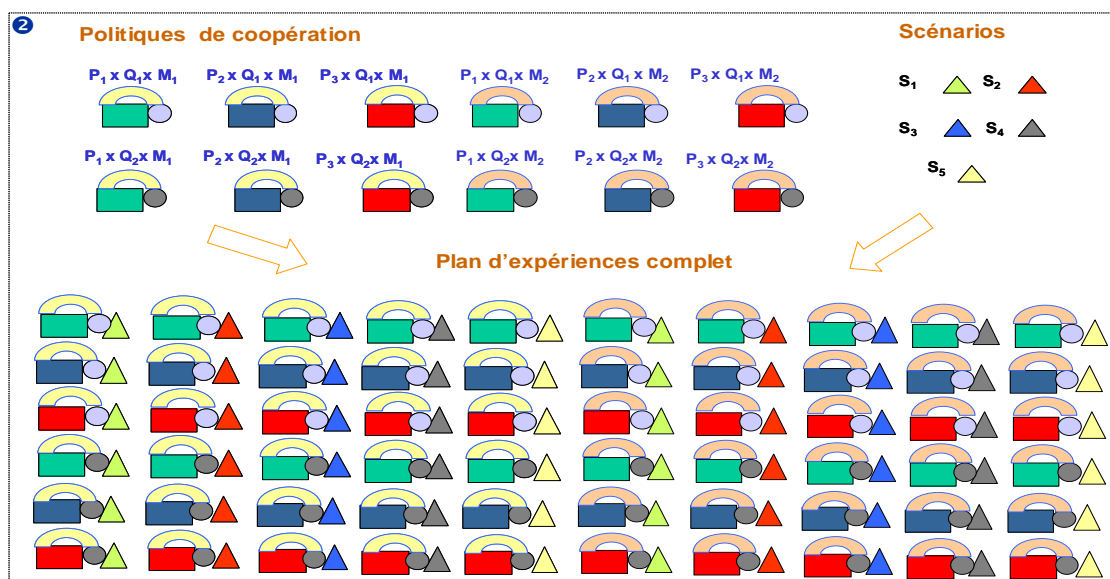


Figure 4 : Exemple d'illustration de l'étape 2 de la démarche proposée.

En se basant sur l'exemple de système étudié donné par la Figure 1, la figure ci-dessus montre comment on procède d'abord à la définition des politiques de coopération et comment on définit ensuite le plan d'expériences dans lequel les politiques de coopération seront évaluées en fonction des différents scénarios d'évolution du marché considérés.

3. Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation

Durant cette étape, le médiateur introduit les valeurs des paramètres caractérisant les différentes politiques de coopération retenues à l'issue de l'étape 2, ainsi que les valeurs des paramètres caractérisant les politiques de gestion propres à chaque acteur appartenant à la chaîne logistique étudiée.

4. Lancement des simulations

Les simulations sont lancées, l'outil calcule les différents indicateurs retenus.

5. Analyse des risques

Au cours de cette étape, les décideurs évaluent les risques liés aux politiques envisagées à partir des indicateurs calculés à l'étape précédente. L'évaluation faite peut être orientée « chaîne logistique » ou « acteurs ». Dans le premier cas, l'évaluation porte sur la chaîne logistique dans sa globalité. Alors que dans le deuxième cas, l'évaluation est faite acteur par acteur.

6. Définition d'une politique de coopération

Les décideurs définissent ensemble les paramètres qu'ils jugent adéquats pour l'amélioration de leurs performances et les politiques à mettre en place en tenant compte des risques qu'elles impliquent.

Durant toutes ces étapes, le médiateur intervient pour coordonner et pour orienter les différents décideurs qui sont impliqués dans la démarche. Ce dernier, c'est-à-dire le médiateur est le garant de la bonne implémentation et du bon déroulement de la démarche.

2.4 Conclusion

L'environnement opérationnel de la chaîne logistique des télécoms est un environnement à forte incertitude, et les risques auxquels sont exposés les différents acteurs de la chaîne logistique sont importants. Sans la mise en place d'actions communes à tous les partenaires, et sans une meilleure volonté de maîtriser les flux informationnels et physiques, cette chaîne restera toujours soumise à une vulnérabilité élevée.

C'est ce qui nous a motivé pour proposer un outil de simulation pédagogique et une démarche qui visent à :

- rendre les décideurs conscients de ces enjeux,
- et à les aider en matière d'évaluation et de choix des politiques de coopération à mettre en place, tout en tenant compte des risques qu'elles comportent.

Partie 1 : Conclusion

Dans ces deux premiers chapitres nous avons :

- clarifié les notions de chaîne logistique et de gestion de chaînes logistiques
- situé la notion du risque dans le contexte de la chaîne logistique et introduit la gestion des risques dans la chaîne logistique (Supply Chain Risk Management) qui est un domaine émergent.
- caractérisé les chaînes logistiques des télécoms et présenté les orientations actuelles des différents acteurs intervenant dans ces chaînes.
- précisé le besoin industriel qui a motivé nos travaux
- dégagé et exhibé une problématique : la coopération en tant qu'action de mitigation des risques dans les chaînes logistiques faisant face à un marché très instable et très incertain.
- et enfin proposé une approche basée sur un outil de simulation et une démarche d'aide à la coopération associée.

La partie suivante focalisera sur une analyse des travaux scientifiques. Trois thèmes seront abordés :

- la chaîne logistique et la gestion des chaînes logistiques,
- le risque et la gestion des risques dans les chaînes logistiques,
- la coopération.

Il s'agit de proposer une revue des travaux scientifiques en liaison avec la problématique décrite précédemment dans le chapitre 2, et de situer les axes sur lesquels nous allons orienter notre travail.

Partie 2 : Etat de l'art

Cette partie est centrée sur l'analyse des travaux scientifiques en liaison avec les problématiques que nous abordons dans nos travaux. C'est ce qui nous permettra de situer nos propositions par rapport aux travaux existants.

Dans le chapitre 3, nous proposons une grille de classification des nombreux travaux dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique, que nous avons élaborée suite à un travail que nous avons mené dans le cadre d'un groupe de recherche régional. Cette grille va nous permettre de faire un premier positionnement de nos travaux.

Dans le chapitre 4, nous nous concentrons sur la gestion des risques dans les chaînes logistiques. C'est ce qui nous conduira à la description d'une deuxième grille que nous proposons en tant que tentative de classification des travaux réalisés par la communauté scientifique sur le SCRM.

Enfin, en s'appuyant sur la grille présentée dans le chapitre 4, le chapitre 5 sera consacré à l'analyse des différents travaux qui sont en liaison avec les pratiques coopératives en matière de planification et d'échange/partage d'informations (demandes, stocks, prévisions, etc.) dans les chaînes logistiques, en vue de réduire les risques.

Chapitre 3. Chaîne logistique et gestion des chaînes logistiques

RESUME

Dans ce chapitre, nous proposons tout d'abord une classification de la littérature scientifique abondante en gestion des chaînes logistiques qui permet de situer le domaine de travaux sur lequel nous focalisons. Les points de vue identifiés concernent la gestion des risques, la planification des activités et la coopération. Dans ce contexte, la démarche adoptée focalise sur la simulation à événements discrets et se base sur l'utilisation des théories de la décision et des jeux.

3.1 Introduction

Le domaine du Supply Chain Management (SCM) a fait l'objet ces dernières années de nombreux travaux. Le but de ce chapitre est de proposer une classification de ces travaux. Pour cela, nous avons choisi de définir une grille de classification qui va nous permettre, dans une deuxième étape (section 3.4), de situer nos travaux par rapport aux travaux existants du domaine. La grille de classification proposée est le fruit d'un travail coopératif inter-laboratoires²⁴ avec notamment F. Galasso et J. François²⁵, et a été construite à partir d'une étude bibliographique centrée sur des articles de revue de l'état de l'art (plus de 70 surveys ont été utilisés) et des ouvrages généraux (livres, thèses...) qui nous ont notamment permis de définir les notions de « chaîne logistique » et de « gestion de chaînes logistiques ». Dans les sections qui suivent, nous commencerons donc par la définition de la chaîne logistique et de la gestion de la chaîne logistique. Une fois ces deux concepts clarifiés, nous nous consacrerons aux points suivants, qui nous paraissent les plus intéressants pour la cartographie du domaine :

- La définition du cadre de l'étude dont :
 - la structure de la chaîne : décrit les topologies de réseaux que l'on peut rencontrer dans l'état de l'art,
 - les niveaux décisionnels : d'une vision à long terme qui définira la stratégie d'évolution de l'entreprise à la gestion temps réel de l'activité d'une machine dans l'atelier, le SCM implique divers degrés et flux dans la prise de décision,
 - les processus de la chaîne logistique : fait allusion aux différentes activités et à leurs liens qui interviennent dans la chaîne logistique à savoir l'approvisionnement, la production, la distribution, la vente, la planification et la logistique inverse,
 - les points de vues : dans cette section nous identifierons, à travers notre revue de la littérature, les différents thèmes par lesquels les auteurs positionnent leurs recherches sur le SCM.
- La définition du modèle et de son utilisation dont :
 - La nature de l'approche : cette section précisera la nature de l'approche adoptée,
 - la nature des modèles : cette section donnera les différents types de modèles rencontrés dans la littérature scientifique du Supply Chain Management,
 - les caractéristiques du modèle : pour un même type de modèle, on peut trouver différentes manières de l'appréhender. Les choix développés ici dépendront fortement du système que l'on considère et des effets que l'on désire mettre en évidence,
 - les méthodes de résolution : ici, nous distinguons les techniques utilisées pour résoudre ou simuler les modèles décrits dans les deux points précédents,
 - les outils utilisés : chaque technique de résolution peut être implémentée sur différents types d'outils que nous abordons ici.

3.2 Définition de la chaîne logistique et de la gestion de la chaîne logistique

Le terme Gestion de Chaînes Logistiques ou Supply Chain Management (SCM) est apparu pour la première fois il y a une vingtaine d'années [Cooper *et al.*, 97]. Le SCM est devenu un sujet

²⁴ Cinq laboratoires étaient impliqués dans ce travail : ONERA, CGI de l'EMAC, LAAS, LGIT et LAPS. Le groupe de travail dans le cadre duquel la coopération s'était établie est SCMIP (www.univ-tlse2.fr/mathinfoLMD/membres/thierry/scmip/).

²⁵ Le travail en question a été présenté au 6ème Congrès International de Génie Industriel à Besançon sous le titre Proposition d'une grille de classification de la littérature en gestion des chaînes logistiques (Supply Chain Management).

tellement porteur dans les dix dernières années qu'il est difficile de prendre une revue spécialisée dans la production, la distribution, le marketing, la gestion des clients ou le transport sans y trouver un article consacré à cette question ou à des thèmes connexes. En 1995, lors de la conférence annuelle du Council of Logistics Management, 13.5 % des titres des sessions concurrentes contiennent le terme Supply Chain. Et juste deux ans plus tard, le nombre de sessions contenant ce même terme est monté à 22.4 % [Mentzer *et al.*, 01]. En dépit de cette popularité dans le monde académique et chez les professionnels, la signification du SCM reste très confuse.

3.2.1 Définition de la chaîne logistique

Pour caractériser le concept de SCM, nous proposons, en nous appuyant sur le tableau proposé par le groupe SCMP, d'effectuer tout d'abord une revue des définitions du terme chaîne logistique (Supply Chain) les plus représentatives de celles couramment utilisées par le monde académique.

[Christopher, 92]	<i>La chaîne logistique peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participent, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une chaîne logistique est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final.</i>
[Lee et Billington, 93]	<i>Un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client.</i>
[La Londe et Masters, 94]	<i>Une chaîne logistique est un ensemble d'entreprises qui se transmettent des matières. En règle générale, plusieurs acteurs indépendants participent à la fabrication d'un produit et à son acheminement jusqu'à l'utilisateur final - producteurs de matières premières et de composants, assembleurs, grossistes, distributeurs et transporteurs sont tous membres de la chaîne logistique.</i>
[Ganesan et Harisson, 95]	<i>Une chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre.</i>
[Lummus <i>et al.</i> , 98]	<i>La chaîne logistique est le réseau d'entités par lequel le flux matériel passe. Ces entités incluent fournisseurs, transporteurs, sites d'assemblages, centres de distribution, détaillants et clients.</i>
[Tayur <i>et al.</i> , 00]	<i>Un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens.</i>
[Rota, 99]	<i>La chaîne logistique d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime.</i>
[Mentzer <i>et al.</i> , 01]	<i>Une chaîne logistique est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et/ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client.</i>
[Poirier et Reiter, 01]	<i>Une chaîne logistique est le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients.</i>
[Cheyroux, 03]	<i>C'est un réseau de sites, indépendants ou pas, participant aux activités d'approvisionnement, de fabrication, de stockage et de distribution liées à la commercialisation d'un produit ou d'un service</i>
[Génin, 03]	<i>Une chaîne logistique est un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction du client est le même, la complexité varie d'une chaîne logistique à l'autre.</i>
[Lummus et Vokurka, 04]	<i>Toutes les activités impliquées dans la livraison d'un produit depuis le stade de matière première jusqu'au client en incluant l'approvisionnement en matières premières et produits semi-finis, la fabrication et l'assemblage, l'entreposage et le suivi des stocks, la saisie et la gestion des ordres de fabrication, la distribution sur tous les canaux, la livraison au client et le système d'information permettant le suivi de toutes ces activités.</i>

Tableau 1 : Exemple de définitions de la chaîne logistique (Inspiré de [SCMP, 05])

Bien que ces définitions mettent en évidence une cohérence quant à la finalité de la chaîne logistique, elles se distinguent par leur nature de leur orientation. [Thierry et Bel, 01] distingue notamment les approches définissant les chaînes logistiques pour des produits des approches définissant les chaînes logistiques des entreprises.

◆ Chaîne logistique d'un produit

Le premier type de définition que l'on retrouve est centré sur un produit donné, on parle plutôt dans ce cas d'une chaîne logistique d'un produit : « La chaîne logistique d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime » qui s'inscrit dans une orientation de la chaîne logistique de type « produit ».

Dans cette optique, en adoptant une vision opérationnelle de la chaîne logistique, [Lee et Billington, 93] propose un rapprochement naturel entre la chaîne logistique et un réseau d'installations permettant de schématiser de façon très simple n'importe quelle chaîne logistique. La représentation fait alors apparaître les fonctions d'approvisionnement (relation entre fournisseur et producteur), de transformation (par la production des biens) et de distribution (du produit final vers le ou les clients) (Voir Figure 1).

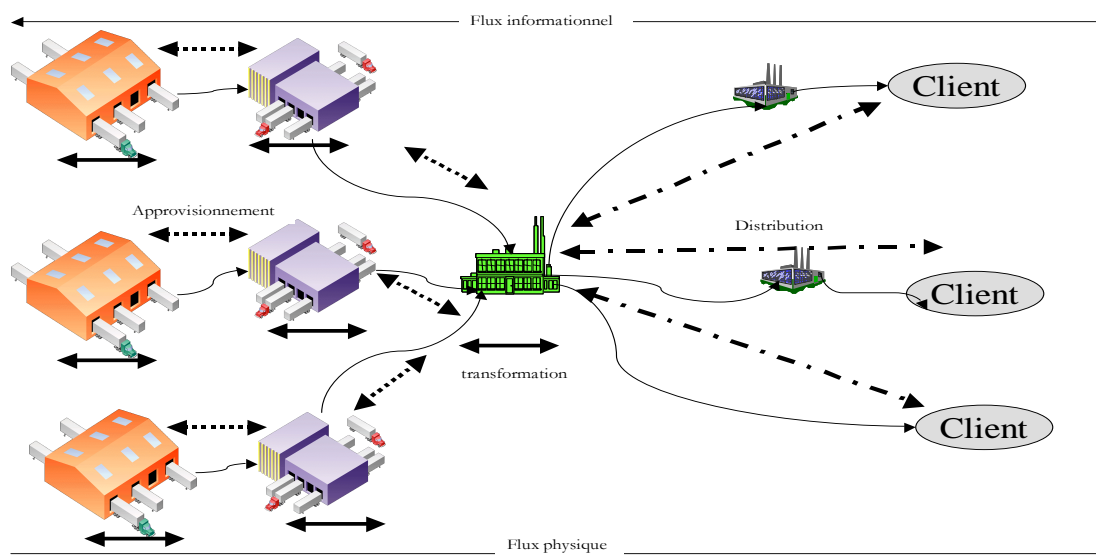


Figure 1 : Représentation d'une chaîne logistique.

◆ Chaîne logistique d'une entreprise

On trouve également un deuxième type de définition centrée sur une entreprise donnée. Il ne s'agit plus de chaîne logistique d'un produit, mais de chaîne logistique de l'entreprise : « le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients » [Poirier et Reiter, 01].

Dans cette optique, des modèles de chaîne logistique ont été proposés dont le modèle SCOR (Voir Figure 2).

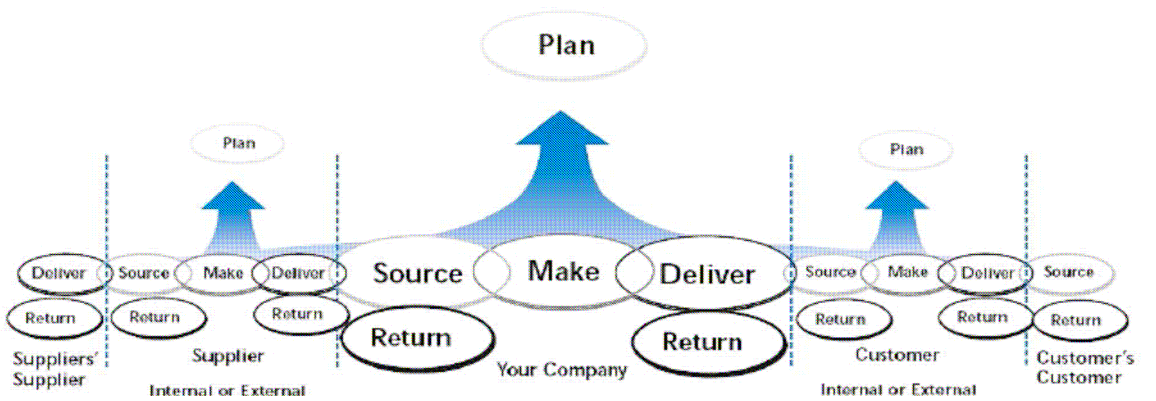


Figure 2 : Modèle SCOR niveau 1

On remarque alors que lorsque le concept de chaîne logistique est abordé du point de vue d'une entreprise, on considère l'ensemble des chaînes logistiques qui incluent l'entreprise considérée en se limitant parfois aux fournisseurs et aux clients de l'entreprise, voire aux fournisseurs des fournisseurs et aux clients des clients.

Dans ce document, nous optons pour une orientation de type « produit », et on parlera d'une chaîne logistique d'un secteur d'activités que nous définissons comme suit : « la chaîne logistique d'un secteur d'activité donné (aéronautique, automobile, télécommunications, ...) est l'ensemble des chaînes logistiques des produits de ce secteur ».

Après avoir défini la chaîne logistique, nous détaillons dans la section qui suit le concept gestion de la chaîne logistique.

3.2.2 Définition de la gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management)

Tout comme celui de chaîne logistique, le concept de gestion de la chaîne logistique (Supply Chain Management) a donné lieu à plusieurs définitions. En raison des disciplines et des courants qui les constituent, il n'existe pas de définition unique, universellement reconnue, de la gestion de la chaîne logistique ([Croom *et al.*, 00], [Genin, 03]). Nous avons sélectionné, en se basant les définitions proposées par le groupe SCMIP, les définitions suivantes qui ont pour atout de recouvrir plusieurs interprétations :

Thomas et Griffin, 96]	La gestion des flux de matières et des flux d'information à la fois à l'intérieur et entre les entités de la chaîne logistique (fournisseurs, centres de fabrication et d'assemblage et sites de distribution).
[Stadtler, 02].	La tâche d'intégration des différentes organisations qui composent la chaîne logistique, et de la coordination des flux de matière, d'informations et financiers afin de satisfaire la demande des clients finaux et d'améliorer la compétitivité de la chaîne logistique globale.
[Semchi-Levi et al., 03].	Un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs et les détaillants de façon à garantir la production et la distribution des produits finis au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité, en respectant les exigences des clients finaux et ce, au moindre coût ».
[Mentzer, 01].	Le Supply Chain Management peut être défini comme la coordination systématique, stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la chaîne logistique, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne ».

Tableau 2 : Exemple de définitions de la gestion de la chaîne logistique (Inspiré de [SCMIP, 05]).

L'ensemble de ces définitions fait ressortir des fondamentaux du Supply Chain Management :

- la satisfaction du client final avec les bons délais, les bonnes quantités, les bonnes qualités et les moindres coûts,
- la globalité de la gestion en allant des fournisseurs jusqu'au client final,
- l'intégration des prises de décisions,
- l'amélioration des performances locales et globales,
- la maîtrise des flux informationnels, physiques et financiers.

3.3 Classification proposée

Maintenant que nous avons défini le SCM, nous présentons dans ce qui suit une caractérisation des différents critères que nous avons retenus pour définir une grille de classification (voir Figure 3) des travaux couvrant ce vaste sujet.

Structure de la chaîne	Dyadique	Convergente	Divergente	Série	Réseau	Intra-entreprises	Inter-entreprises
Niveau de décision	Stratégique	Tactique	Opérationnel	Temps réel			
Processus	Approvisionnement	Production	Distribution	Vente	Logistique inverse	Planification	Autres processus
Point de vue	Planification des activités	Gestion des stocks	Gestion des transports (tournées)	Gestion des risques	Evaluation de performances	Etude du système d'information	Modélisation d'entreprise
	Ententes industrielles (coopération)	Aspects sociologiques	Offre logicielle	Autres points de vue			
Nature de l'approche	Analytique	Simulation	Empirique				
Nature du modèle	Analytique	Simulation	Descriptif	Centralisé	Distribué		
Caractéristique du modèle	Déterministe	Stochastique	Continu	Discret	Linéaire	Non linéaire	
Méthode utilisée	Programmation mathématique	Heuristique	Approche par contraintes (CSP)	Théorie des jeux	Théorie de la décision	Simulation continue	Simulation à événements discrets
	Multi-agents	Autres méthodes					
Outil utilisé	Logiciel spécifique	Simulateur	Solveur générique	Jeux de plateaux	Jeux informatiques	Tableur	Autres logiciels

Figure 3 : Critères de classification des différents travaux de recherche en SCM.

3.3.1 Définition du cadre de l'étude

3.3.1.1 Structure de la chaîne considérée

Une des premières étapes dans l'étude des chaînes logistiques est d'identifier une structure, un réseau, permettant la caractérisation des entités qui vont interagir pour former la chaîne logistique. La communauté scientifique semble unanime sur la description de réseaux caractéristiques souvent repris dans les modélisations de chaînes logistiques. Par exemple, Croom *et al.*, 00] identifient trois types de structures : dyadique, chaîne, réseau. [Huang *et al.*, 03] décomposent plus précisément ces structures en : série, divergente, dyadique, convergente et réseau. Ils donnent même un tableau qui définit le type de problème à analyser suivant le modèle de structure et le niveau de décision choisis.

Ces structures de base, identifiées comme caractéristiques dans la modélisation des réseaux d'entreprises et des relations interentreprises, sont présentées ci-dessous (Figure 4).

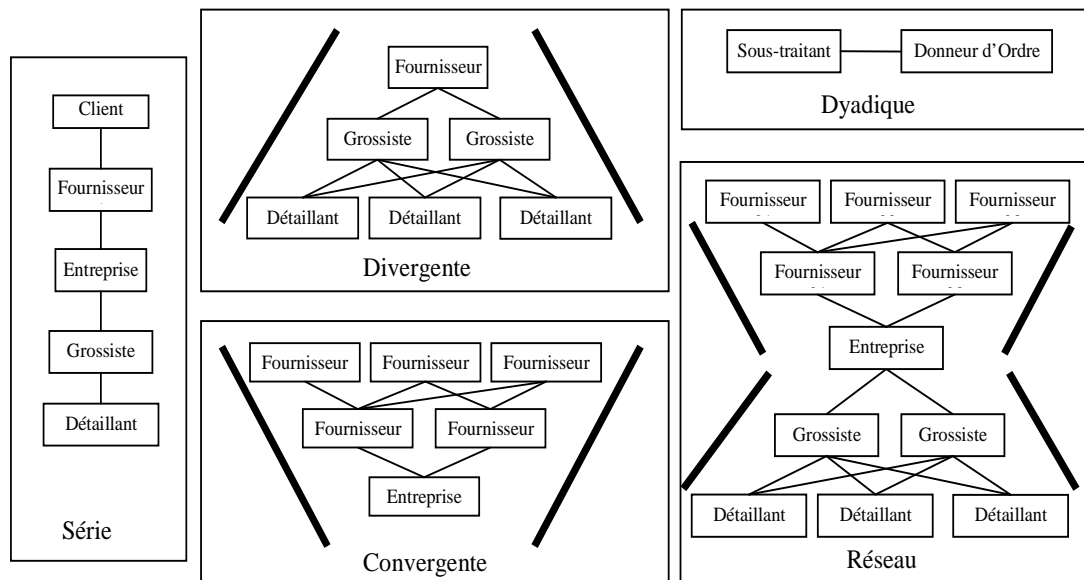


Figure 4 : Différentes structures de la chaîne logistique.

La structure dyadique constitue la liaison de base et elle fait apparaître une relation unique du type donneur d'ordre – sous-traitant. La structure série est composée de plusieurs liaisons dyadiques mises en série. Quand à la structure convergente, elle est souvent caractéristique des réseaux d'approvisionnements dans le domaine manufacturier où une entreprise d'assemblage reçoit des pièces de diverses provenances. La structure divergente, de son côté, est vraisemblablement plus adéquate au fonctionnement des réseaux de distribution qui choisissent souvent de faire un positionnement des stocks dans des centres de distributions et un éclatement ensuite vers des détaillants à capacité de stockage limitée. Pour ce qui est de la structure réseau, elle permet de considérer à la fois les aspects approvisionnements et distribution, mais peut s'avérer plus complexe par le nombre d'acteurs impliqués.

Enfin, nous rajoutons aux structures décrites précédemment, deux types de structures qui ont pour vocation d'introduire la notion de dépendance ou l'indépendance entre les différentes installations formant la chaîne, à savoir : la structure intra-entreprises et la structure inter-entreprises. La structure intra-entreprises correspond aux cas où les maillons de la chaîne sont

différents sites d'une même entreprise. Ceci est par opposition à la structure inter-entreprises, où les maillons de la chaîne sont juridiquement indépendants [Min et Zhou, 02].

3.3.1.2 Niveaux de décision

Dans le cadre des problématiques relatives à la gestion de la chaîne logistique, les différents travaux de la littérature couvrent les différents horizons de la prise de décision : le court, le moyen et le long termes.

✓ Niveau stratégique ou long terme

La gestion de la chaîne logistique sur le long terme concerne en fait la conception ou la re-configuration la chaîne, ce qui peut s'accompagner d'une remise en cause de la conception du produit.

Selon [Pirard, 05], les problèmes de la gestion à long terme de la chaîne logistique peuvent être scindés en 3 catégorie de problèmes :

- la (re-) configuration des chaînes logistiques : vise à déterminer la structure de la chaîne logistique qu'il conviendrait qu'une entreprise mette en place ou redéploie afin de développer un avantage concurrentiel. Plusieurs types de décisions peuvent être associés à ce problème : des décisions de localisation des installations de productions et de distribution, des décisions concernant les investissements en main-d'œuvre et en équipements dans chacune de ces installations, et enfin le choix des politiques de dimensionnement des capacités, d'approvisionnement ou de distribution dans la chaîne,
- les types de relations entre donneurs d'ordre et fournisseurs : cette catégorie de problèmes met l'accent sur le type de rapport que les acteurs de la chaîne logistique doivent entretenir pour garantir l'atteinte de leurs objectifs,
- le positionnement du point de découplage : cette catégorie, quant à elle, cherche à déterminer le point de découplage séparant la partie de la chaîne logistique qui est orientée vers le client de la partie de la chaîne logistique globale basée sur la planification. L'intérêt est de déplacer le stock au plus près du client pour augmenter l'efficacité de la chaîne logistique. Cela conduit à la pratique de la différenciation retardée, qui réduit d'un côté le risque d'indisponibilité des produits pendant de longues périodes et d'un autre côté le risque de détention de stock élevés de produits peu demandés.

✓ Niveaux tactique et opérationnel ou moyen et court termes

La gestion à moyen terme ou court terme concerne principalement la gestion des flux de produits et d'information au sein de chaque installation et entre les différentes installations de la chaîne. L'objectif recherché est d'avoir une chaîne logistique virtuellement équivalente à une macro-opération [Evans *et al.*, 95], ce qui conduit à des stocks nuls (synchronisation parfaite) et un temps de réponse minimal (maîtrise du processus de production et du réseau de distribution). [Rota, 98] donne quelques exemples de problèmes qui peuvent se rattacher à la gestion de la chaîne logistique sur le moyen terme :

- la coordination entre deux installations liées par des relations client/fournisseur,
- la coordination entre le niveau de stock et la fonction de distribution,
- l'importance du flux d'information et les transformations qu'il subit le long de la chaîne.

✓ Niveaux temps réel ou très court terme

A ce niveau, nous retrouvons les décisions qui doivent être prises face aux aléas du système de production afin de réagir au plus vite et d'assurer le contrôle des processus.

3.3.1.3 Processus

Concernant les activités de la chaîne logistique, quatre grandes familles de processus peuvent être redéfinies [Stadtler et Kilger, 00] : approvisionnement, production, distribution, ventes. Cependant, et en se basant sur le modèle SCOR, on pourrait rajouter deux autres grandes familles de processus, qui sont aussi importantes que les quatre premières, à savoir la gestion des retours ou encore logistique inverse et la planification.

✓ Approvisionnements

L'objectif de l'approvisionnement est la satisfaction des demandes de matières premières provenant du processus de production tout en essayant de garder les niveaux de stocks aussi bas que possible. L'intérêt est de ce fait porté sur le taux annuel de rotation des stocks, la durée moyenne d'approvisionnement, la distribution de « l'âge » du stock, les performances des fournisseurs relatives aux livraisons à temps, etc. Tous ces indicateurs donnent une bonne compréhension globale des performances du processus d'approvisionnement.

✓ Production

Le processus de production vise à contrôler le niveau des encours de production, les temps de cycles, les excès de capacités, les goulots d'étranglement et les décisions de sous-traitance.

✓ Distribution

La distribution se concentre en premier sur les opérations de transfert, sur les flux physiques et matériels, sur les niveaux de stock dans les centres de distribution et enfin sur la définition des stratégies de distribution et la planification des processus associés. Il est important que toutes ces tâches soient correctement synchronisées avec la demande et l'approvisionnement.

✓ Ventes

Ce processus est en liaison directe avec les clients, et de ce fait est capable de donner des informations sur les comportements de ces derniers, sur les segments du marché, sur les profils de la demande par segment, etc. Par conséquent, il est préférable, qu'il détienne la responsabilité de la planification de la demande. Les aspects importants à explorer, dans ce cas, seront alors : la fréquence de planification, le temps de cycle de la planification, la fiabilité des plans, la structure des prévisions en rapport avec les trois dimensions : produit, lieu, temps, ainsi que les aspects de saisonnalité de la demande, de cannibalisation de produits, etc.

✓ Logistique inverse (gestion des retours)

La logistique inverse focalise sur la gestion des flux logistiques du consommateur à la source (en vue de recyclage, de la récupération, de la réparation...).

✓ Planification

D'après [Domscke et Scholl, 00], la planification peut se résumer en cinq phases : l'identification et l'analyse du problème de décision, la définition des objectifs, la prévision de futurs développements, l'identification et l'évaluation des solutions faisables et enfin la sélection des meilleures solutions.

- Les tâches de planification sont souvent classées en trois niveaux [Anthony, 65]²⁶ :
 - la planification à long terme : à ce niveau, les décisions sont appelées décisions stratégiques. Elles constituent un pré-requis des développements futurs de l'entreprise et/ou de la chaîne logistique. Typiquement, elles concernent la structure et la conception de la chaîne et ont des effets pouvant apparaître sur plusieurs années.
 - Planification à moyen terme : en respectant les décisions stratégiques provenant du niveau de planification supérieur, ces décisions précisent approximativement les temps et les quantités pour les différents flux et ressources de la chaîne logistique considérée. L'horizon de planification peut varier de six à vingt quatre mois.
 - Planification à court terme : le niveau de planification le plus bas doit faire une spécification de toutes les activités en termes d'instructions immédiatement exécutables et contrôlables. De là les modèles de planification à court terme doivent présenter le maximum de détails et de précisions. L'horizon de planification peut varier de quelques jours à trois mois.

[Rohde *et al.*, 00] proposent une matrice (SCP-Matrix) (voir Figure 5) donnant une classification en deux dimensions des tâches de planification : horizon de planification et processus de la chaîne logistique.

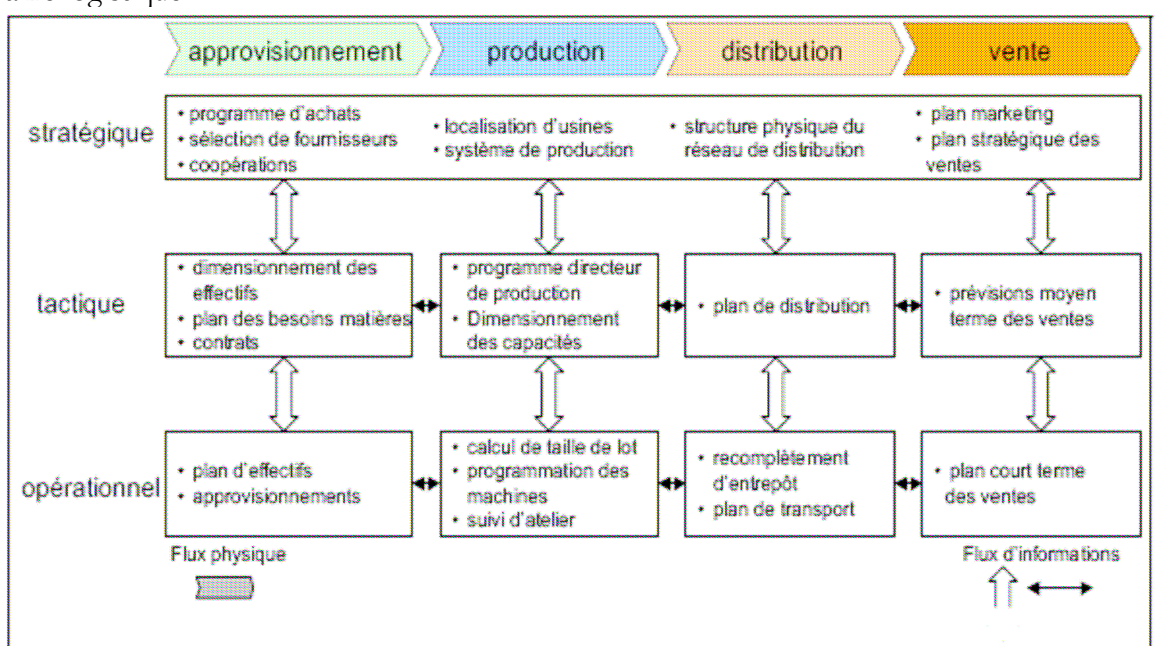


Figure 5 : SCP-Matrix (source : [Rohde *et al.*, 00]).

²⁶ Article cité dans [Stadler et Kilger, 00]

La figure montre des tâches typiques qui peuvent apparaître dans la majorité des types de chaînes logistiques mais avec un contenu qui est différent selon le domaine d'activités considéré.

3.3.1.4 Points de vue

Nous avons recensé un certain nombre de thèmes qui nous semblaient importants dans la gestion des chaînes logistiques. Ils sont aussi clairement identifiés par les auteurs des surveys. Ainsi, Croom [Croom *et al.*, 00] découpe la littérature de la chaîne logistique en six branches : Management Stratégique (Strategic management), Relations/Partenariats (Relationships/Partnerships), Logistique et Transports (Logistics & Transportation), Meilleures Pratiques (Best Practices), Marketing, et Comportement Organisationnel (Organisational behaviour). Le Management Stratégique a déjà été évoqué dans les niveaux décisionnels. La branche Relations/Partenariats est intégrée à cette catégorie sous l'aspect ententes industrielles. Les aspects Logistiques et Transports seront décomposés d'une part en gestion des stocks et d'autre part en gestion des transports. Les Meilleures Pratiques ont déjà été identifiées lors de l'étude du type de publication. La branche Marketing étant incluse dans le domaine Vente ne sera pas traitée dans cette partie. Enfin, la partie Comportement Organisationnel est incluse dans notre classification sous la dénomination Aspects Sociologiques.

✓ **Planification des activités**

Cette thématique, comme nous l'avons évoqué précédemment, regroupe l'identification et l'analyse du problème de décision, la définition des objectifs, la prévision de futurs développements, l'identification et l'évaluation des solutions faisables et enfin la sélection des meilleures solutions.

✓ **Gestion des stocks**

La gestion des stocks permet l'acquisition et le stockage de matières premières, composants et produits finis [Min et Zhou, 02]. La gestion des stocks supporte le cycle complet du flux de matière depuis les achats et les contrôles internes des approvisionnements jusqu'à l'entreposage et la livraison des produits finis en passant par le suivi des en-cours de fabrication.

[Tan, 01] met en avant l'importance de la gestion des stocks dans la chaîne logistique en focalisant sur les gains que l'on peut espérer en améliorant les processus de gestion des stocks et en remplaçant ces stocks par de l'information sur leur état (dans une perspective de suivi d'activité) ou sur la demande client.

✓ **Gestion des transports**

Cette thématique a été abordée par [Croom *et al.*, 00] dans un cadre un peu plus général appelé « Logistics & Transportation literature ». Au-delà des aspects gestion de la distribution, et dimensionnement du réseau de distribution, il se dégage un contexte plus particulier qui est celui étroitement lié au transport avec, par exemple, l'optimisation du parcours d'un camion, la détermination du nombre de camions pour effectuer la tournée, la recherche du trajet optimal permettant l'exécution d'une tournée à plus faible coût.

[Shapiro, 98] met bien en évidence ce problème de transport et le distingue nettement du problème de production aussi bien dans l'approche bottom-up que dans l'approche top-down. [Ganeshan, 99], d'après sa classification de la littérature, voit plutôt le problème de la gestion du transport au niveau tactique et le rapproche de la notion de la distribution physique et cherche même à les intégrer dans un même système.

✓ **Gestion des risques**

La gestion des risques dans le contexte de la chaîne logistique ou Supply Chain Risk Management (SCRM) est une thématique émergente ([Norrman, 03], [Jüttner *et al.*, 03]). Les travaux qui s'y intéressent sont encore rares.

Nous retournons plus loin dans le chapitre 4 sur le SCRM pour le définir et pour détailler les différents aspects qui lui sont liés.

✓ **Evaluation de performance**

D'après [Gunasekaran *et al.*, 04], les indicateurs utilisés dans l'évaluation et l'amélioration de performance doivent être ceux qui capturent vraiment l'essence de la performance organisationnelle. Un système de mesure devrait faciliter l'affectation des indicateurs de façon à ce qu'ils soient les plus appropriés. Pour une évaluation de performance efficace, les objectifs des mesures doivent représenter les objectifs organisationnels et les indicateurs choisis doivent refléter une balance entre les mesures financières et opérationnelles qui pourraient être attachés aux différents niveaux de contrôle et de prise de décisions (niveaux stratégique, tactique et opérationnel).

En dehors de cette classification des indicateurs de performances en indicateurs financiers et opérationnels, on trouve dans la littérature une autre classification en indicateurs qualitatifs et quantitatifs [Beamon, 98]. Les mesures qualitatives sont celles auxquelles on ne peut associer une valeur numérique unique et directe, malgré le fait que certains aspects de ces mesures soient quantifiables. Par contre, les mesures quantitatives sont celles auxquelles on peut associer une description numérique directe.

✓ **Système d'information**

C'est la description au niveau de la chaîne logistique de l'infrastructure, l'organisation, les ressources humaines et de tous éléments intervenant dans la collection, le traitement, le stockage, l'affichage, et la mise à disposition des informations [Infosec, 99]. La principale préoccupation de cette partie est de concevoir comment circule et est stockée l'information de façon efficace et cohérente pour toutes les activités dans la chaîne logistique.

✓ **Modélisation d'entreprise**

Selon [Vernadat, 02], « la modélisation de l'entreprise consiste en la description de l'organisation des processus d'une entreprise soit dans le but de simuler ces processus pour comparer divers scénarios, soit dans le but de les analyser et de les restaurer pour améliorer la performance de l'entreprise ».

De cette définition, on peut comprendre que la modélisation d'entreprise constitue une aide pour :

- comprendre le fonctionnement,
- analyser les performances,
- détecter les dysfonctionnements,
- concevoir une organisation et une structure,
- valider une conception ou une réorganisation de l'entreprise.

✓ **Ententes industrielles²⁷ (coopération)**

[Cheyroux, 03] considère la thématique « Ententes industrielles » (coopération) comme une thématique clé qui doit être prise en compte pour la classification des travaux scientifiques en SCM. Sous ce terme ententes industrielles, nous regroupons plusieurs notions comme le partage des prévisions de vente, l'accord sur une gestion des stocks ou encore les rapports de domination et leurs implications sur la chaîne. Cette catégorie regroupe donc toutes les références où les acteurs essaient de se mettre d'accord pour améliorer les performances du réseau et non

²⁷ Le terme ententes industrielles est issu des travaux de [Lauras *et al.*, 03].

seulement sur leurs performances locales. C'est ce qui nous laisse comprendre mieux l'étendue de ce thème de la coopération à partir du moment où tout type d'accord est envisageable.

✓ Aspects sociologiques

Si les aspects matériels ont une part importante dans le SCM, l'aspect humain constitue aussi un élément primordial. Le choix d'inclure une catégorie relative aux aspects sociologiques, humains et comportementaux dans notre classification se justifie par [Croom *et al.*, 00], qui identifient les aspects comportementaux liés aux organisations contraintes par des interactions entre entreprises comme un champ commun et complémentaire aux développements théoriques dans la gestion des chaînes logistiques.

✓ Offre logicielle

Compte tenu du nombre de variables à traiter dans la gestion d'une chaîne logistique industrielle et de l'éclatement géographique des sites de production, le système de gestion de l'information est au cœur de la gestion d'entreprise et de la chaîne logistique [Lumms et Vokurka, 04]. Nous intégrons donc, dans notre classification, cette catégorie Offre Logicielle qui permettra l'identification des publications qui abordent ces systèmes et peuvent intégrer leur évaluation, comme le font des organismes tels que le CXP, ou leur implémentation [Grabot, 02] [Tomas, 02].

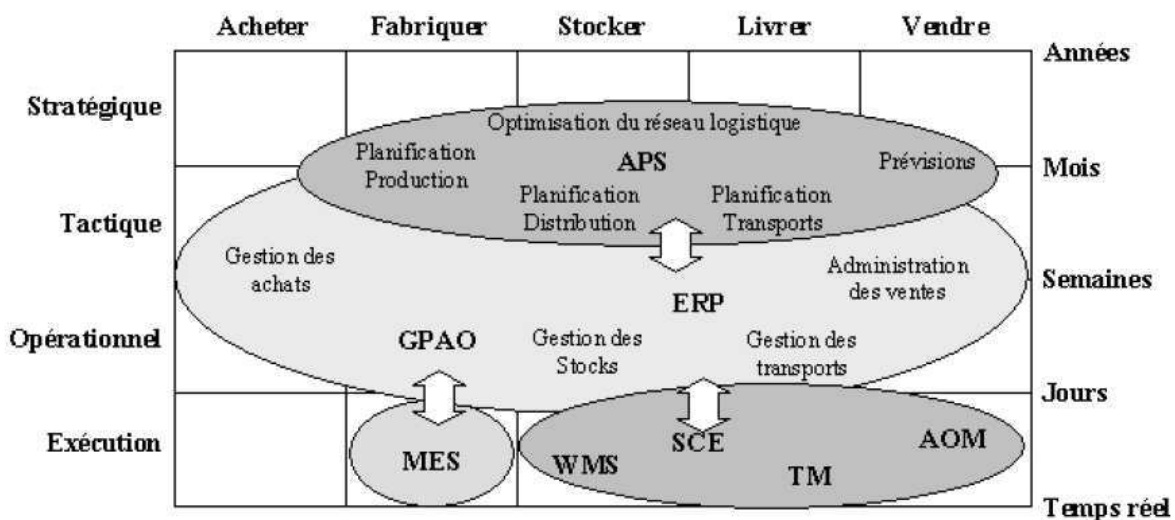


Figure 6 : Positionnement de l'offre logicielle (source : [Cxp, 05]).

La Figure 6 présente une répartition de l'offre logicielle couvrant une majeure partie des besoins de l'entreprise. On y retrouve :

Les APS : Advanced Planning Systems, servant à l'optimisation de la chaîne logistique. Ce sont ces progiciels qui nous concernent plus particulièrement dans le cadre de la gestion de la chaîne logistique et de son optimisation.

Les ERP : Enterprise Resource Planning, focalisés sur la gestion interne de l'entreprise et de ses interfaces avec les fournisseurs / distributeurs. Leur couverture est assez vaste et au-delà des activités représentées en Figure 6, ils couvrent aussi les ressources humaines, la gestion financière...

Les MES : Manufacturing Execution Systems effectuent le lien entre l'informatique industrielle et l'informatique de gestion, ils récupèrent les données de l'atelier, d'un poste de travail, etc. en temps réel et les intègre à un outil d'aide à la décision.

Les WMS : Warehouse Management Systems, logiciels permettant la gestion et l'optimisation de l'entreposage.

Les TM : Transport Management, logiciels de gestion du transport.

Les AOM : Advanced Order Management : progiciel de gestion avancée des commandes.

3.3.2 Définition du modèle et de son utilisation

3.3.2.1 Nature de l'approche

Nous distinguons trois types d'approche :

- approche analytique : utilise des modèles à base d'équations mathématiques.
- approche par simulation : utilise des modèles qui ont pour vocation d'être simulés.
- approche empirique : utilise des modèles subjectifs.

3.3.2.2 Nature du modèle d'une chaîne logistique

Cette catégorie permet de définir, dans les grandes lignes, quel type de modèle est décrit ou utilisé dans la publication. Des caractéristiques plus précises pour définir ces modèles seront développées dans les parties suivantes. [Ganeshan et Magazine, 99] propose un classement de la littérature suivant le modèle utilisé pour décrire la chaîne logistique. Il fait apparaître quatre parties :

- les concepts et les modèles non quantitatifs,
- les études de cas,
- les revues, taxonomies, ...
- les modèles quantitatifs (stochastiques, par simulation, ...).

Les parties 2 et 3 se reportent au type d'article plutôt qu'au modèle, c'est pourquoi nous n'avons conservé que les parties 1 et 4, la partie 4 étant d'ailleurs plus détaillée. Nous les avons renommées ainsi :

- les modèles analytiques,
- les modèles de simulation,
- les modèles descriptifs.

Les deux premières seraient des sous-parties de la partie 4 de [Ganeshan et Magazine, 99].

✓ **Modèle analytique**

Les modèles analytiques permettent de décrire le système par un ensemble d'équations. Ils peuvent être déterministes ou stochastiques. Ces modèles cherchent généralement à optimiser un critère. Ils peuvent être résolus par différents logiciels spécifiques ou génériques.

[Huang *et al.*, 03] précisent que le choix du modèle affecte directement le type de problème et de structure que l'on peut étudier. Il rappelle aussi que pour qu'un modèle analytique (déterministe ou stochastique) soit viable, il faut qu'il soit relativement simple, c'est-à-dire qu'il faut faire un certain nombre d'hypothèses et de simplifications. Et c'est peut-être pour cela que les modèles analytiques se contentent généralement d'aspects basés sur la distribution dans une structure dyadique.

✓ **Modèle de simulation**

Ce type de modèle, ayant pour vocation d'être simulé, est généralement utilisé lorsqu'il est difficile de trouver une relation (une équation) entre différentes variables et ne pouvant donc généralement pas se mettre sous la forme d'un modèle analytique. [Maria, 97] distingue aussi un autre critère sur le classement des modèles : la prise en compte du temps. Il y aurait donc deux types de modèles : les modèles statiques dans lesquels le temps n'est pas pris en compte, et les modèles dynamiques. D'après [Maria, 97], les modèles de simulation sont des modèles à la fois stochastiques et dynamiques.

✓ **Modèle descriptif**

Ils se basent principalement sur les T.I (I.T-driven) : ce type de modèle a comme objectif d'intégrer et de coordonner en temps réel les différentes phases de planification dans une chaîne logistique par l'utilisation de logiciels. Ceci permet d'étendre la visibilité tout au long de la chaîne. Ils incluent les WMS, TMS²⁸, CPFR²⁹, MRP³⁰, DRP³¹, ERP, GIS³². On retrouve aussi tous les modèles descriptifs et non normatifs comme le signalent [Croom *et al.*, 00]. On peut citer par exemple les modèles d'analyse et de benchmarking comme le modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference model) [SCC, 04] , ainsi que des modèles d'évaluation de maturité des entreprises comme le CMM (Capability Maturity Model) [SEI, 04]. Cette partie se retrouve dans d'autres classifications : les modèles non quantitatifs de [Ganeshan et Magazine, 99], ou les modèles qualitatifs de [Min et Zhou, 02].

✓ **Modèle centralisé ou distribué**

Parmi l'ensemble des modèles vus ci-dessus, certains peuvent être « centralisés », c'est-à-dire qu'ils ont une vision globale du problème considéré ou au contraire « distribués », comme c'est le cas dans les systèmes multi-agents où chaque agent n'a qu'une vision partielle du problème. Dans le cas d'un modèle centralisé, si celui-ci est trop important et nécessite un temps de calcul très lent, il peut être résolu de façon distribuée, c'est-à-dire qu'il est réparti en plusieurs sous-problèmes résolus séparément. Mais le modèle reste tout de même centralisé : ce n'est que la résolution qui est distribuée.

3.3.2.3 **Caractéristiques du modèle**

[Min et Zhou, 02] proposent une classification des modèles de la chaîne logistique ainsi qu'un ensemble de consignes à respecter lors de l'élaboration d'un modèle de ce genre. Quatre types de modèles sont identifiés :

- modèles déterministes,
- modèles stochastiques,
- modèles hybrides,
- et modèles qualitatifs se basant sur les T.I³³ (I.T-driven).

Les modèles qualitatifs ayant été intégrés à la classification dans la partie précédente (modèle descriptif), seules trois catégories seront ici traitées. La nouveauté de cette classification par rapport à celle proposée par [Beamon *et al.*, 98] par exemple, est la classe des modèles qualitatifs se basant sur les T.I. dont l'intérêt a été souligné par [Shapiro, 01]. Ce dernier affirme que les T.I. sont la force motrice pour l'innovation dans la gestion des chaînes logistiques et dans la réingénierie des processus de business.

²⁸ TMS : Transportation Management Systems

²⁹ CPFR : Collaborative Planning Forecasting and Replenishment

³⁰ MRP : Material Requirement Planning

³¹ DRP : Distribution Resource Planning

³² GIS : Geographic Information Systems

³³ T.I. : Technologies de l'Information

D'après [Maria, 97], les modèles sont généralement des modèles mathématiques qui se décomposent de la façon suivante : les modèles déterministes et les modèles stochastiques.

✓ **Modèle déterministe**

Dans les modèles déterministes, tous les paramètres du modèle sont connus et fixés avec certitude. La modélisation déterministe se scinde en une modélisation à simple critère et une modélisation multi-critères. Le modèle peut être linéaire ou non. Il peut se résoudre par diverses techniques (heuristique, programmation dynamique ou mathématique) qui seront développées dans la partie suivante.

✓ **Modèle stochastique**

Dans les modèles stochastiques, certains paramètres sont incertains et suivent une loi de probabilité. De même, diverses techniques de résolution sont possibles : programmation mathématique, théorie des jeux, ... [Thomas et Griffin, 96] souligne que la plupart des études récentes en recherche focalisent sur des modèles stochastiques qui requièrent des hypothèses fortes sur la distribution de la demande et sa régularité.

✓ **Modèle continu/discret**

Une autre caractéristique classique des modèles que l'on peut rencontrer est le fait qu'ils prennent en compte des variables discrètes ou au contraire continues. Certains modèles, par exemple, ne se servent que d'entiers, ou encore de variables binaires. D'autres intègrent à la fois des variables continues et discrètes, on parle alors de modèles mixtes.

✓ **Modèle linéaire/non linéaire**

Le dernier critère mis en avant ici dans cette grille de classification concerne la linéarité ou non du modèle. Ce critère peut s'appliquer sur le critère à optimiser et/ou sur les contraintes.

3.3.2.4 Méthodes utilisées

Les quatre catégories présentées ci-dessus ne peuvent définir précisément les méthodes de résolution utilisées en relation avec ces types de modèles. C'est pourquoi, nous abordons dans le chapitre suivant une décomposition plus fine.

En complément des modélisations déterministes ou stochastiques, différenciées sur la nature aléatoire de certaines variables, nous distinguons deux catégories supplémentaires dans la modélisation : la programmation linéaire et la programmation dynamique que nous regroupons dans la programmation mathématique. Une autre façon de modéliser est la théorie des jeux.

Dans le cadre d'une modélisation pour la simulation, [Kleijnen, 03] a identifié quatre types : Tableaux, Événements discrets, Dynamique des systèmes, et Jeux d'entreprises.

Si l'on considère de manière plus précise les modélisations qualitatives, on va distinguer des modèles purement descriptifs (Agents, objets ou holons) ou alors de benchmarking ou utilisant des technologies de l'information.

Nous allons maintenant préciser un peu plus en détail chacune de ces approches.

✓ **Programmation Mathématique**

C'est une des techniques d'optimisation les plus courantes et elle a été introduite indépendamment par Kantorowitsch en 1939 et par Dantzig en 1949 [Stadtler et Kilger, 00]. La programmation linéaire est applicable pour des problèmes dans lesquels les variables peuvent prendre n'importe quelle valeur réelle et sont liées par des égalités (ou inégalités) linéaires. Une fois le modèle défini, on fait appel à des algorithmes de résolution (solvers) pouvant introduire des heuristiques permettant de limiter l'arbre de recherche de solutions.

[Huang, 03] parle aussi souvent de programmation mathématique dont fait partie les Mixed Integer Programming (MIP) : pour des raisons techniques, certaines modélisations proscrivent

L'utilisation de variables réelles et n'admettent, pour tout ou partie des variables, que des nombres entiers. Cela peut être le cas pour des produits ne pouvant être fabriqués qu'à l'unité ou selon une taille de lot bien définie. Cette catégorie de modèles pour la programmation en nombres entiers vient donc apporter une contrainte forte dans la résolution d'un modèle linéaire ou non.

[Thomas et Griffin, 96] fait le constat que la plupart des modèles qu'il a identifiés sont des MIP. La programmation mathématique peut être envisagée sous des aspects dynamiques par l'intermédiaire de la programmation dynamique. D'après [Thomas et Griffin, 96], la programmation dynamique permet d'avoir la solution optimale et permet de poser les coûts par des fonctions (donc non forcément fixes) qui peuvent être non-algébriques et représentés sous forme de tableau. La programmation dynamique est utilisée en commande optimale pour des systèmes échantillonnés pour lesquels on optimise un critère additif dépendant du choix de la commande à chaque instant d'échantillonnage. Cette technique d'optimisation est basée sur le principe d'optimalité qui énonce que dans un processus d'optimisation dynamique, une suite de décisions est optimale si, quels que soient l'état et l'instant considérés sur la trajectoire qui lui est associée, les décisions ultérieures constituent une suite optimale de décisions pour le sous-problème dynamique ayant cet état à cet instant comme conditions initiales.

✓ Heuristiques

Comme nous l'avons vu précédemment, l'étude des chaînes logistiques peut contenir une partie de planification et/ou ordonnancement visant à organiser les activités de manière à satisfaire un certain nombre d'indicateurs de performance. Lorsque cette étude est traduite par un modèle analytique, une méthode de résolution basée sur une heuristique peut être employée pour limiter la recherche de solutions et, de ce fait, les temps de calculs, tout en cherchant à optimiser un critère. Ces heuristiques vont définir un ensemble de règles qui vont guider la recherche de solution (par exemple, donner la priorité aux plus petits ordres de fabrication). [Beamon, 98] montre une application des heuristiques à l'ordonnancement et à la définition des tailles de lots dans un contexte de chaîne logistique.

✓ CSP

Un CSP (Constraint Satisfaction Problem) est défini par (X, D, C) . Il est constitué de n variables $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, dont les valeurs sont issues de domaines finis et discrets $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, et d'un ensemble de contraintes $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ sur ces valeurs. Une contrainte est définie par une relation qui précise quelles sont les combinaisons de valeurs autorisées. Ainsi, la contrainte $c_k(x_{k_1}, \dots, x_{k_j})$ est une relation définie sur le produit cartésien $D_{k_1} \times \dots \times D_{k_j}$. Cette relation est vraie si les valeurs des variables satisfont la contrainte. Ainsi, la résolution d'un CSP revient à déterminer une valeur pour chacune des variables, de sorte que toutes les contraintes soient satisfaites. En recherche opérationnelle, les CSP peuvent avoir de multiples applications. [Brailsford *et al.*, 99] présentent un certain nombre d'exemples d'utilisation des CSP qui recouvrent des thématiques pouvant rentrer dans le cadre de l'étude des chaînes logistiques : choix géographique d'implantation d'usine ou de dépôt, ordonnancement, gestion des transports, etc.

✓ Théorie des jeux

La théorie des jeux constitue un domaine intéressant où l'on cherche à décrire par des équations le comportement stratégique d'êtres humains. On distingue les jeux non coopératifs où les coalitions ne sont pas admises et les jeux coopératifs où les joueurs peuvent former des coalitions afin de maximiser un revenu commun à la coalition et qu'ils se partagent par la suite, à l'intérieur de chaque coalition.

✓ Jeux d'entreprise

Cette catégorie permet de préciser si la modélisation est effectuée dans le but de simuler, au travers d'un jeu, tel que le jeu de la bière ou du Kanban, l'activité d'un atelier, d'une usine ou de

tout autre système dans un but souvent de formation pour présenter aux décideurs un certain nombre de concepts.

Dans le cas du jeu de la bière, qui est probablement le plus connu, quatre personnes vont interpréter le rôle d'un gestionnaire devant gérer une partie du flux de fabrication d'un produit. Chaque acteur est autonome dans sa gestion et doit interpréter au mieux les commandes provenant de l'acteur suivant. En modélisant ainsi une chaîne logistique de manière simple, ce jeu permet de mettre en évidence l'effet Forrester d'amplification de la demande tout au long de la chaîne. Plusieurs versions de ce jeu existent dont une version plateau et une version informatique. Nous intégrons la distinction entre jeu de plateaux et version informatique dans la partie « outils utilisés ».

D'autres jeux comme Pl@net s'intéressent à la chaîne logistique interne de l'entreprise et ont pour objectif de faire « comprendre les mécanismes de pilotage qui permettent à l'entreprise d'assurer un meilleur service à ses clients » [Cipe, 05].

Si ces jeux ne développent pas forcément des modèles de chaînes logistiques très complexes, ils possèdent un intérêt non négligeable dans leur appréhension et leur compréhension.

✓ **Simulation à événements discrets**

[Érard et Déguénon, 96] définissent la simulation à événements discrets comme représentant la modélisation d'un système réel par une représentation dans laquelle les grandeurs n'évoluent qu'en un nombre fini de points dans le temps. Ces points indiquent les instants où se passent les événements capables de modifier l'état du système. Un changement dans l'état du système constitue par définition un événement incluant les actions qui accompagnent ou caractérisent ce changement. [Pierreval, 06] fait remarquer que dans les articles publiés, les études de cas communiquées et les enseignements effectués dans les universités, la simulation à événements discrets est en situation de monopole presque total.

✓ **Simulation continue**

Par opposition à la simulation à événements discrets, la simulation continue fait référence à des systèmes dans lesquels les variables peuvent être modifiées et changer de valeurs à tout instant. Les modèles de simulation continue reposent sur des équations différentielles qui régissent les relations entre variations des variables d'état [Bruniaux, 00].

✓ **Multi-agents**

Au-delà des modélisations prenant en compte dans un modèle analytique l'ensemble de la chaîne logistique, des approches consistent à mettre en avant l'aspect distribué de la chaîne en créant des maillons possédant plus ou moins d'autonomie. Ces modélisations relèvent des concepts orientés objets et se traduisent par une architecture à base distribuée à base d'acteurs (agents, holons...) [Nis, 01].

Ainsi, le paradigme des systèmes multi-agents apparaît comme une réponse au problème de la modélisation de systèmes distribués de grande échelle.

3.3.2.5 Outils utilisés

✓ **Logiciel spécifique**

C'est un logiciel qui répond à une attente spécifique. Il est destiné à un utilisateur spécifique et dédié à une tâche spécifique conforme aux besoins de cet utilisateur.

✓ **Simulateur**

Un simulateur est un programme informatique qui permet d'étudier le comportement d'un modèle du système à étudier. Il s'agit donc d'un outil d'expérimentation. A partir de la description du système à simuler et des stimuli à appliquer sur ses entrées, le programme calcule l'évolution

du modèle et fournit à l'utilisateur des résultats traduisant l'activité du système. Cependant, la crédibilité des résultats dépend fort de la qualité du modèle soumis au simulateur. L'utilisateur doit donc posséder des connaissances approfondies du fonctionnement des systèmes qu'il simule pour pouvoir apprécier les limites d'exploitation des résultats qui lui sont délivrés par le calculateur.

✓ **Solveur générique**

Il s'agit de codes algorithmiques de résolution. Par la suite sont venus se greffer les langages de modélisation ou modeleurs. Les solveurs sont distribués sous forme de logiciels autonomes, ou encore de bibliothèques de sous-programmes à inclure dans des programmes d'application.

✓ **Jeux de plateaux (Boardgames)**

La caractéristique première d'un jeu de plateaux est que l'ensemble de l'action se déroule sur une surface délimitée (le plateau) comportant des étapes à accomplir afin d'arriver à démontrer un effet données. Dans un contexte de chaîne logistique, ces jeux sont un moyen précieux pour montrer des phénomènes en liaison avec les acteurs, de leurs interactions et le contexte dans lequel il se place.

✓ **Jeux informatiques**

La particularité de ce type de jeux est son support, qui est une application informatique qui, suite à son exécution, supporte la saisie des paramètres et le déroulement du jeu. Le joueur (ou les joueurs) ne fait (font) qu'interagir avec l'application via des interfaces (textuelles, graphiques ...).

✓ **Tableurs (spread-sheet simulation)**

La simulation par tableurs se réfère à l'utilisation d'un tableur pour représenter des modèles de simulations et réaliser des expériences. [Seila, 01] présente l'intérêt d'utiliser la simulation sous tableur notamment par son caractère intuitif et naturel pour l'organisation des données et des résultats. De plus, l'usage des tableurs est très répandu et les fichiers issus de ces simulations sont facilement échangeables. [Seila, 01] émet néanmoins quelques limitations à l'utilisation des tableurs pour la simulation. Ainsi, il sera difficile d'utiliser la simulation par tableur (1) lorsque la structure des données est trop complexe (2) lorsque les algorithmes à mettre en œuvre sont difficiles à implémenter (3) lorsque le temps de réalisation de la simulation est un donnée contraignante car les feuilles de calculs peuvent s'avérer plus lentes que d'autres approches (4) lorsque le nombre de données est important (la capacité de stockage est limité). La simulation par tableurs semble donc appropriée à des modèles simples pour lesquels on souhaite obtenir des résultats rapidement grâce à une démarche intuitive ne nécessitant pas de connaissances de programmation poussées.

✓ **Autres logiciels**

Dans cette catégorie, nous retenons les logiciels qui sont plus génériques que les logiciels spécifiques et qui traitent une classe de problème plus large que celle traitée par le logiciel spécifique. Ces logiciels ne sont pas développés pour un client ou pour une application spécifique.

3.4 Notre positionnement

Les travaux scientifiques se rattachant à la problématique de la gestion de la chaîne logistique sont très nombreux et variés. Toutefois, beaucoup de travaux se basent sur l'hypothèse d'une décision centralisée niant ainsi l'importance des décisions locales qui peuvent être prises d'une façon indépendante à l'échelle de chaque unité organisationnelle appartenant à la chaîne logistique. Ceci peut se justifier dans certains cas, par exemple dans le cas d'une structure de chaîne de type intra-

entreprise ou dans le cas d'une chaîne logistique où une unité organisationnelle donnée joue un rôle de leader et impose une relation de dominance vis-à-vis des autres entités (par exemple, chaîne logistique de l'automobile, ou celle de l'aéronautique). Dans nos travaux, la chaîne logistique analysée est de type « inter-entreprises » et n'affiche pas de relation de dominance et les unités organisationnelles impliquées bénéficient d'une large autonomie pour la prise de décision et sont juridiquement indépendantes. C'est ce que nous a conduit à opter pour le développement d'un « logiciel spécifique » supporté par un « modèle distribué » s'appuyant sur la « simulation à événement discret » et utilisant des « heuristiques » pour pouvoir représenter différents comportements (comportements de « planification », comportements de « production », et comportements d'« approvisionnement ») et différents facteurs situationnels (par exemple, changement de tendance du marché, demandes « déterministe », demandes « stochastiques », etc.) pouvant influencer la chaîne logistique.

D'un autre côté, il s'avère primordial de déterminer des politiques de coopération pour améliorer l'efficacité de la chaîne. C'est ce qui nous a motivé à définir des politiques de coopération s'intéressant aux processus de planification et à l'utilisation du flux informationnel transitant dans la chaîne. Cependant, vu la forte incertitude du type de marché auquel nous nous intéressons, nous avons choisi de procéder à une évaluation en termes de risques de ces politiques que nous proposons pour permettre aux décideurs, en fonction des risques encourus, par la chaîne dans sa globalité ou par chacun des acteurs, de choisir une ou plusieurs politiques à déployer. Dans cette évaluation, les risques sont quantifiés et hiérarchisés en respectant la perception du décideur pour le risque. Nous nous inscrivons donc dans les deux points de vue « Gestion des risques » et « Théorie de la décision ». Signalons que le risque dans les travaux scientifiques du SCM a été rarement abordé d'une façon explicite. De la même façon, à notre connaissance, l'attitude du décideur face au risque ou encore sa perception du risque est un aspect qui n'a pas été pris en compte dans la littérature scientifique du SCM. Par ailleurs, afin de pouvoir évaluer les risques locaux et pour formaliser les interactions entre les acteurs qui interviennent au moment du choix des politiques de coopération assurant les meilleurs intérêts individuels, nos travaux s'inscrivent aussi dans un point de vue « Théorie des jeux » qui est un domaine émergent.

La figure ci-dessus (Figure 7) est une synthèse du positionnement de nos travaux. Chaque case grisée illustre quelle instanciation nous faisons des critères de classification situés dans la première colonne.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une grille de classification de la littérature scientifique en SCM. Cette grille a été ensuite utilisée pour présenter un premier positionnement de nos travaux par rapport aux travaux existant en SCM.

S'inscrivant dans les courants de travaux s'intéressant à la gestion des risques et à l'importance de coopération en matière de planification et d'échange/partage des informations pour la coordination de la chaîne, nos travaux se situent dans le domaine de la gestion des risques dans les chaînes logistiques ou Supply Chain Risk Management (SCRM). C'est ce qui nous a amené à présenter, en s'inspirant de la démarche adoptée pour définir la grille de classification que nous avons présentée dans ce chapitre, une nouvelle grille de classification des travaux se situant dans le domaine du SCRM. Cette nouvelle grille va nous permettre de situer nos travaux de manière plus précise dans ce domaine.

Structure de la chaîne	Dyadique	Convergente	Divergente	Série	Réseau	Intra-entreprises	Inter-entreprises
Niveau de décision	Stratégique	Tactique	Opérationnel	Temps réel			
Processus	Approvisionnement	Production	Distribution	Vente	Logistique inverse	Planification	Autres processus
Point de vue	Planification des activités	Gestion des stocks	Gestion des transports (tournées)	Gestion des risques	Evaluation de performances	Etude du système d'information	Modélisation d'entreprise
	Ententes industrielles (coopération)	Aspects sociologiques	Offre logicielle	Autres points de vue			
Nature de l'approche	Analytique	Simulation	empirique				
Nature du modèle	Analytique	Simulation	Descriptif	Centralisé	Distribué		
Caractéristique du modèle	Déterministe	Stochastique	Continu	Discret	Linéaire	Non linéaire	
Méthode utilisée	Programmation mathématique	Heuristique	Approche par contraintes (CSP)	Théorie des jeux	Théorie de la décision	Simulation continue	Simulation à événements discrets
	Multi-agents	Autres méthodes					
Outil utilisé	Logiciel spécifique	Simulateur	Solveur générique	Jeux de plateaux	Jeux informatiques	Tableur	Autres outils

Figure 7 : Synthèse du positionnement de nos travaux.

Chapitre 4. La gestion des risques dans les chaînes logistiques

RESUME

Dans ce chapitre nous définissons tout d'abord les notions de risque et de gestion du risque dans la chaîne logistique. Nous présentons ensuite une grille de classification des travaux scientifiques dans le domaine du SCRM qui nous permet de déceler les différents aspects liés aux risques et à sa gestion dans la chaîne logistique (types de risques, sources des risques, stratégies pour la gestion des risques, moyens et méthodes utilisés). Cette grille sera utilisée dans le chapitre suivant (chapitre 5), pour faire une revue des travaux scientifiques abordant la coopération en tant que stratégie pour agir face aux risques menaçant la chaîne logistique et la rendant vulnérable.

4.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de proposer une classification de la littérature scientifique sur le risque et la gestion des risques dans les chaînes logistiques (Supply Chain Risk Management : SCRM). Pour cela, nous avons choisi, comme c'était le cas pour les travaux en Supply Chain Management, de définir une grille de classification (voir Fig. 1). Cette grille va permettre de situer la coopération dans la chaîne logistique par rapport à la gestion du risque et pour faire ultérieurement (voir section 4.6) un nouveau positionnement de nos travaux.

En l'absence de travaux scientifiques de revue de l'état de l'art (surveys) en Supply chain Risk Management (ceci est du au fait de la nouveauté de la discipline qui a été signalée dans le chapitre 1), la grille de classification dans ce chapitre, à l'inverse de celle du chapitre précédent, a été construite à partir d'articles dont la majorité sont à caractère prospectif et généraliste. Notamment, nous nous sommes concentrés sur les papiers suivants : [Christopher, 03], [Hallikas *et al.*, 04], [Jüttner *et al.*, 03], [Norrman et Linroth, 02], [Norrman, 03], [Peck *et al.*, 03], [Paulsson, 03], [Zsidisin, 03], [Ziegenbein et Nienhaus, 04], [Ziegenbein *et al.*, 03], [Smelzer et Silferd, 98], [Sheffi, 01], [Bözel *et al.*, 03], [Bhatnagar et Soha, 04], [Davis, 93], [Artebrant *et al.*, 03], qui nous ont aussi permis de définir le risque et la gestion du risque dans la chaîne logistique.

Dans cette grille, nous focalisons sur les points suivants, qui nous paraissent les plus intéressants pour la cartographie du domaine :

- la caractérisation de la chaîne étudiée dont :
 - la structure de la chaîne,
 - les niveaux décisionnels,
 - les processus de la chaîne logistique.

Ce critère de classification ne fera pas l'objet d'un développement dans ce chapitre, puisqu'il a été abordé dans le chapitre 3.

- la caractérisation du risque et de son processus de gestion dont :
 - les types de risques,
 - la source de risques,
 - le processus de gestion des risques,
 - la stratégie de gestion des risques (actions de mitigation).
- la définition du modèle et de son utilisation dont :
 - la nature de l'approche,
 - la nature du modèle,
 - les caractéristiques du modèle,
 - la méthode utilisée,
 - l'outil utilisé.

Seules les méthodes non définies dans le chapitre 3 seront développées dans cette partie.

Avant de présenter la grille de classification des travaux scientifiques dans le domaine du SCRM, nous focalisons dans la section suivante sur la définition du risque et de la gestion du risque dans la chaîne logistique.

4.2 Le risque et la gestion du risque dans la chaîne logistique

4.2.1 Le risque

Les définitions du risque sont nombreuses, nous en retenons les deux définitions suivantes : « Combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences » (ISO/CEI 73), « Probabilité qu'un événement nuisible particulier apparaisse durant une période de temps donnée, ou qu'il résulte d'un défi particulier »³⁴ (The Royal Society).

D'après ces deux définitions, le risque dans son acception la plus générale, fait allusion à l'appréciation de la situation future. Il peut être vu de deux façons différentes :

- une façon pessimiste, considérant le risque comme cause de perte,
- et une autre plutôt optimiste, considérant le risque comme « une exposition au danger dans l'espoir d'obtenir un avantage ».

Ainsi, le risque possède une double facette ; un danger à éviter et un facteur d'opportunité : oser pour gagner. [Gourc, 99] appuie cette deuxième définition : pour qualifier le risque subi, plutôt négatif, il utilise l'appellation « risque-écueil ». Quant au risque créateur d'opportunités, il le désigne par « risque-action ». Dans la même logique, [Bougaret, 02] qualifie de risque spéculatif le risque offrant une possibilité de gain.

Dans le contexte de la chaîne logistique, les risques proviennent de l'incertitude intrinsèque à la chaîne logistique elle-même. Selon [Bhatnagar et Soha, 04] cette incertitude est due essentiellement aux interactions complexes et dynamiques entre les différentes entités. La propagation de cette incertitude dans la chaîne réduira sa performance.

[Davis, 93] distingue trois catégories d'incertitude dans une chaîne logistique :

- une incertitude provenant de l'approvisionnement,
- une incertitude provenant du processus,
- et une incertitude provenant de la demande.

La première catégorie est essentiellement causée par la variabilité des performances de l'approvisionnement (retards, livraisons défectueuses, ...). La deuxième catégorie est liée à la non-fiabilité du processus de production. Quant à la troisième catégorie, l'incertitude est causée par la volatilité de la demande ou par de mauvaises prévisions.

Afin de mieux préciser notre positionnement par rapport au risque dans la chaîne logistique, signalons d'abord que la classe d'incertitude à laquelle nous nous intéressons dans cette étude est celle qui est liée à l'environnement dans lequel évolue la chaîne logistique, plus spécifiquement l'incertitude qui est liée à la demande du marché que la chaîne doit satisfaire.

³⁴ La définition originale donnée par The Royal Society au risque est la suivante "the probability that a particular adverse event occurs during a stated period of time, or results from a particular challenge".

D'un autre côté, et vu notre volonté à aider les décideurs de la chaîne à gérer cette incertitude et à mieux réagir, nous nous intéressons au risque dans la prise de la décision. La définition que nous proposons pour le risque est la suivante : la conséquence à l'échelle de l'entité à laquelle appartient le décideur, et à la chaîne logistique dans sa globalité que peut avoir le choix d'une stratégie donnée face à un avenir indéterminé. L'indétermination de l'avenir est le résultat de la difficulté à prévoir son évolution future. Pour illustrer cette définition, supposons que les décideurs de la chaîne logistique aient opté pour une certaine stratégie, par exemple une stratégie de production ou une stratégie d'échange d'information, etc., et qu'ultérieurement l'état du marché diffère de l'état planifié ou souhaité qui a engendré la prise de décision. Alors les ventes (respectivement les coûts) diffèrent de celles (respectivement ceux) escomptées. C'est à ce niveau qu'intervient le risque. Nous parlerons alors de risque, d'une manière générale, pour chaque domaine de prise de décision.

Remarquons enfin que les risques dans nos travaux sont analysés sous leur facette « positive », autrement la décision est faite tout en étant conscient des risques et elle cherche à se procurer un bénéfice.

4.2.2 La gestion du risque dans la chaîne logistique

Pour ce qui est de la définition de la gestion du risque dans la chaîne logistique connue le plus souvent sous l'appellation Supply Risk Management (SCRM), peu de définitions sont disponibles. Nous en présentons ici les deux suivantes :

1. « L'identification et la gestion des risques provenant de l'intérieur ou de l'extérieur de la chaîne logistique, à travers une approche coordonnée, impliquant les membres de la chaîne, et cherchant à réduire la vulnérabilité de cette dernière, c'est-à-dire de la chaîne logistique, dans sa globalité »³⁵ [Artebrant *et al.*, 03].

Ce qui ressort de cette définition est le double regard qu'on pourrait avoir sur les risques de la chaîne logistique : un regard à la fois interne – c'est ce qui caractérise les risques constatés en interne de la chaîne- et externe -c'est ce qui caractérise les risques provenant de l'environnement dans lequel évolue la chaîne logistique-. Par ailleurs, cette définition précise un aspect fondamental du SCRM : la réduction de la vulnérabilité de la chaîne, et souligne le fait que le SCRM est une action collective des différents acteurs de la chaîne et non une action isolée conduite par un acteur de la chaîne.

2. « La gestion des risques dans les chaînes logistiques est de définir, d'une façon collaborative, avec les partenaires, un ensemble d'outils pour faire face aux risques et aux incertitudes causés par, ou ayant un impact sur les activités et les ressources logistiques »³⁶ [Norrman et Linroth, 02].

Cette deuxième définition souligne l'importance de définition et de l'utilisation de méthodes et d'outils sur lesquels doit se baser la gestion des risques dans la chaîne logistique.

La rareté de ces définitions est en cohérence avec le constat fait par rapport à la nouveauté du SCRM, que se soit dans le monde académique ([Paulsson, 03]³⁷, [Smelzer et Silferd, 98],

³⁵ La définition originale du SCRM donnée par [Artebrant *et al.*, 03] est la suivante "the identification and management of risks within the supply chain and risks external to it through a co-ordinated approach amongst supply chain members in order to reduce supply chain vulnerability as a whole".

³⁶ La définition originale du SCRM donnée par [Norrman et Linroth, 02] est la suivante "Supply Chain Risk Management is to collaboratively with partners in a supply chain apply risk management process tools to deal with risks and uncertainties caused by, or impacting on, logistics related activities or resources".

[Christopher, 03], [Jüttner *et al.*, 03]) ou industriel (Center of Enterprise Sciences (BWI) (ETH Zurich)). [Norrman, 03] affirme que le SCRM serait dans les années à venir un sujet dont l'importance serait croissante pour les académiciens comme pour les praticiens.

D'une façon légitime, nous pouvons donc affirmer le manque d'expérience industrielle et de recherches académiques se concentrant sur le SCRM.

La gestion de risque est de notre point de vue une démarche collaborative qui doit impliquer les différents acteurs de la chaîne logistique et non pas une action isolée menée par une entreprise de la chaîne logistique. Nous partageons ainsi avec [Norrman et Linroth, 02] et [Artebrant *et al.*, 03] la conviction qu'une action commune entre les membres de la chaîne logistique est nécessaire pour la mise en place d'une démarche SCRM efficace. En outre, par la mise en place d'outils et de méthodes adéquats, le SCRM doit rationaliser les risques en les quantifiant, et de ce fait le SCRM doit avoir un impact sur la prise de la décision. En d'autres termes, le SCRM est un moyen pour mieux orienter et guider la décision. Nous synthétisons notre positionnement par rapport à la gestion du risque dans les chaînes logistiques dans la définition suivante que nous en faisons : C'est un ensemble de méthodes et d'outils, que l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique définissent et mettent en place d'une façon conjointe, afin d'orienter la prise de la décision face aux risques qui menacent la chaîne.

4.3 Grille de classification proposée

La grille de classification de la littérature traitant de gestion des risques dans les chaînes logistiques est présentée dans la Figure 1. La première colonne mise à part, chaque case de cette grille illustre une instanciation d'un critère de classification. Certains de ces critères de classification ont été définis dans le chapitre 3 notamment les critères de caractérisations de la chaîne logistique et ceux qui sont liés à la définition du modèle et de son utilisation. Nous focalisons dans les sections suivantes sur la caractérisation du reste des critères.

³⁷ [Pau, 03]³⁷ conclue via un décompte des articles publiés dans les journaux scientifiques entre 1998-2003, qu'il y a un manque notable de travaux de recherche s'intéressant et focalisant sur ce domaine.

Structure de la chaîne	Dyadique	Série	Convergente	Divergente	Réseau	Intra-entreprises	Inter-entreprises	
Niveau de décision dans la chaîne	Stratégique	Tactique	Opérationnel	Temps réel				
Processus dans la chaîne	Approvisionnement	Production	Distribution	Vente	Logistique inverse	Planification		
Types de risques	Clients	Fournisseurs	Processus	Planification et contrôle	Réseau	Information	Externes	
Source de risques	Politiques	Naturels	Sociaux	Environnementaux	Economiques	Sectoriels	Ressources humaines	Infrastructure (pannes)
	Technologie produit/système	Technologie de l'information	Actes délibérés Vol, sabotage, fraude, espionnage	Modification des processus	Disponibilité (ressources, information)	Fiabilité (ressources, information)	Sécurité	Indicateurs de performance
Processus de gestion des risques	Identification	Evaluation	Choix et implémentation des actions de gestion des risques	Pilotage				
Stratégie pour la gestion des risques	Elimination	Conservation (Acceptation)	Réduction	Transfert	Exploitation	Coopération	Evitement	Flexibilité
	Analyse des risques individuels	Prévention	Contrôle (parer l'éventualité)					
Moyens	Capacité	Stock	Multi-sourcing	Alternatives pour la distribution et le transport	Solutions de remplacement	Echange d'informations	Compréhension de la SC	Agilité (vitesse, visibilité)
	Culture SCRM	Autres moyens						
Nature de l'approche	Analytique	Simulation	Empirique					
Nature du modèle	Analytique	Simulation	Descriptif	Centralisé	Distribué			
Caractéristique du modèle	Déterministe	Stochastique	Continu	Discret	Linéaire	Non linéaire		
Méthode utilisée	APR	AMDEC	Arbre de défaillance	Hazop	Delphi	Brainstorming	Check List	BPR
	Cause effet	Théorie des jeux	Jeux d'entreprises	Enquête	Simulation discrète	Simulation continue	Analytique (programmation mathématique, heuristiques, CSP)	
Outil utilisé	Logiciel spécifique	Simulateur	Solveur générique	Jeux de plateaux	Jeux informatiques	Tableur	Autres logiciels	

Figure 1 : Grille de classification des travaux scientifiques en SCRM.

4.4 La caractérisation du risque et de son processus de gestion

4.4.1 Les types de risques

4.4.1.1 Risques de demande ou Risques clients

Selon [Ziegenbein et Nienhaus, 04], les risques liés à la demande sont causés en premier lieu par les changements imprévus de la demande des produits finis de l'entreprise constituant le point focal de l'étude. Et comme, de plus, la majorité des décisions dans la planification de la chaîne logistique dépendent de la demande des clients, la gestion d'une demande incertaine est l'un des défis majeurs du SCRM dans les années à venir. Non seulement, la demande totale est soumise à une incertitude mais la segmentation de la demande pour différentes variétés de produits finis complique la tâche de la planification dans un grand nombre de secteurs industriels, surtout avec des besoins clients grandissants. En outre, les sources de risques sur les demandes sont les comportements urgents, les changements ou encore la résiliation de la commande.

L'impact négatif de la demande incertaine sur le succès de l'entreprise en question peut être classé en deux catégories :

1. Si l'entreprise est sujette à une augmentation imprévue de la demande, sa chaîne logistique est incapable de satisfaire les commandes des clients et subit une perte de profits - coûts d'opportunité -. Cette situation peut entraîner des pénalités contractuelles, des pertes de clients, des pertes de parts de marchés et enfin des pertes de revenus de ventes.
2. Si l'entreprise est sujette à une baisse imprévue de la demande, le nombre de produits semi-finis et finis en stock est assez élevé et par conséquent le capital immobilisé croît. Cette situation affecte les résultats financiers de façon négative et cause l'obsolescence des produits.

4.4.1.2 Risques d'approvisionnement ou Risques fournisseurs

Les risques d'approvisionnement sont perçus à partir de trois différentes sources : les biens achetés, le fournisseur et enfin le marché dans lequel s'opère l'approvisionnement [Zsidisin, 03]. Ils proviennent essentiellement de l'incertitude intrinsèque au fournisseur et au marché lieu de l'approvisionnement ([Zsidisin, 03], [Ziegenbein *et al.*, 03]). Un marché source d'approvisionnement avec un nombre réduit de fournisseurs possibles et avec des contraintes de capacité fortes ou avec des prix instables et une monnaie incertaine est perçu comme un marché avec un risque d'approvisionnement élevé. La source principale du risque d'approvisionnement est l'incertitude causée par les fournisseurs. Les paramètres comme les temps de livraisons, la qualité et les prix sont souvent sujets à des événements imprévisibles. Face à des marchés dont la dynamique est de plus en plus croissante, les problèmes de flexibilité de la capacité et de scénarios de fortes demandes deviennent très importants. De ce fait, des fournisseurs à capitaux ou bases financières basses sont sources de risques d'approvisionnement pour les entreprises qui procèdent à l'achat.

4.4.1.3 Risques des processus

Selon [Ziegenbein et Nienhaus, 04] les risques liés aux processus sont essentiellement causés par les défaillances et les pannes concernant la capacité et le processus de production. Celles liées à la capacité peuvent apparaître sur le système de production ou sur les ressources humaines. Les sources du risque des processus sont les paramètres à caractère incertain tels que les temps, le débit et la qualité de la production. Ces sources de risque pourraient mener à des coûts d'opportunité ainsi qu'à des conséquences assez négatives pour l'entreprise concernée si le problème de défaillance dure dans le temps.

4.4.1.4 Risques de planification et de contrôle

Ces risques sont associés aux concepts et aux méthodes utilisées pour la planification, ils sont de ce fait très liés aux trois catégories de risques décrites ci-dessus. La cause principale de ces risques est la discordance entre les concepts appliqués, les méthodes et les procédures. Un exemple des sources de ce risque est l'application des méthodes de gestion non adéquates pour certains articles ou certains stocks de produits. Par ailleurs, ces risques proviennent aussi des informations et des données manquantes ou non fiables qui sont utilisées dans la planification. L'impact de cette catégorie de risque peut être mesuré grâce à l'évaluation des coûts d'opportunité, des capitaux ou encore les coûts logistiques engagés.

4.4.1.5 Risques « Réseau »

Ces risques sont associés aux interactions sous-optimales entre les différentes organisations impliquées dans la chaîne logistique [Jüttner *et al.*, 03].

4.4.1.6 Risques « Information »

Ces risques sont associés aux informations qui transitent dans la chaîne logistique. Ces informations, provenant des différentes organisations faisant partie de la chaîne ou encore de l'environnement de celle-ci peuvent avoir des distorsions importantes rendant leurs niveaux de fiabilité assez médiocres.

4.4.1.7 Les risques externes ou environnementaux

Ces risques sont associés aux événements externes et aux événements incontrôlables pouvant impacter le bon fonctionnement des chaînes logistiques. Les désastres naturels tels que les séismes, les tonnerres ou le feu peuvent mettre en péril la capacité de la chaîne logistique à délivrer les produits. D'autres sources relatives à ce risque sont les épidémies, telles que le SRAS. L'instabilité politique, les grèves ou encore les attaques terroristes sont aussi des causes de vulnérabilité des chaînes logistiques. En outre, les actions gouvernementales autour des taxes et des régulations et des taux de change peuvent influencer la chaîne logistique. Les conséquences négatives du risque environnemental vont des coûts d'opportunités jusqu'aux coûts de réparations des dommages.

4.4.2 Les sources de risques

Les sources de risques sont multidimensionnelles. Pour un risque donné, il est facile d'identifier plusieurs sources potentielles. Nous proposons de classer les sources de risques suivant les catégories ci-dessous :

- politiques : les risques peuvent avoir comme source une situation politique ou une décision du pouvoir politique : nationalisation sans indemnité suffisante, exclusion de certains marchés, fiscalité discriminatoire...
- naturelles : les risques peuvent être liés aux phénomènes naturels, comme ceux d'une tempête, d'un tremblement de terre, d'une éruption volcanique, d'un raz-de-marée qui détruit des actifs.
- sociales : les risques peuvent être liés à la structure sociale qui peut causer une maladie ou un traumatisme.
- économiques : les phénomènes économiques, tels que la pauvreté, la richesse, l'illettrisme, la promiscuité... peuvent être une source de risque.
- sectorielles : les caractéristiques intrinsèque à un secteur donné peuvent être des facteurs de risque.
- ressources humaines : la cohésion de l'équipe dirigeante, le manque de compréhension de la stratégie de l'entreprise par les salariés, la confiance envers les managers... peuvent être des facteurs de risque à l'échelle de l'entreprise en particulier et à l'échelle de la chaîne logistique en général.
- l'infrastructure : une infrastructure inadaptée, défailante, ou en manque d'entretien et de surveillance est aussi un facteur important de risque.
- technologies produits/systèmes : les sources de risque à caractère technologique sont en relation avec un développement incontrôlé d'une activité industrielle, entraînant un danger grave, immédiat ou différé pour l'homme, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entreprise, et/ou pour l'environnement, et mettant en jeu une ou plusieurs substances dangereuses.
- technologies de l'information : les technologies de l'information sont aussi une source de risque. En effet, les entreprises dépendent chaque jour davantage des technologies de l'information. Cependant, les conséquences d'une défaillance du système de technologie d'information peuvent s'avérer désastreuses : en effet, la sécurité de l'information et les relations avec les clients risquent d'être compromises.
- Actes délibérés, vol, sabotage, fraude, espionnage : ces sources de risques sont à caractère humain.
- Modification des processus : la modification des processus ou leur restructuration est source de risques. La non compréhension des nouveaux processus mis en place, ou le désaccord avec la nécessité de la restructuration, ou encore les conséquences des modifications apportées (par exemple, réduction de l'effectif) peuvent conduire à une perte d'efficacité, à la création de tensions entre les acteurs impliqués dans le projet, à des actes de

sabotage et dans beaucoup de cas à la non atteinte des objectifs recherchés à travers la modification.

- Disponibilité (ressources, informations) : l'indisponibilité des ressources matérielles ou humaines (pannes, absences, ...) et/ou celle des informations nécessaires pour la prise des décisions peuvent générer des pertes d'opportunités et un manque d'efficacité.
- Fiabilité (ressources, informations) : disposer de ressources non fiables et/ou d'informations inexacts conduit à des performances médiocres et à une perte de la compétitivité de toute la chaîne logistique sur le long terme.
- Sécurité : la sécurité des personnes et des infrastructures en présence d'un environnement hostile est une source de risque à prendre en compte. Si l'entreprise et plus généralement la chaîne logistique ne parviennent pas à faire face à temps aux menaces liées à la sécurité des personnes et des infrastructures, ses activités seront affectées.

Cette liste de sources de risque n'a pas la prétention d'être exhaustive. D'autres sources de risques pourraient exister.

4.4.3 Processus de gestion des risques dans une chaîne logistique

De manière générale, un processus typique de gestion de risque d'une entreprise est scindé en quatre étapes [Hallikas *et al.*, 04] :

- identification des risques,
- évaluation des risques,
- choix et implémentation des actions de gestion des risques,
- pilotage des risques.

[Ziegenbein *et al.*, 04], en se basant sur les travaux de [Bözel *et al.*, 03] consacrés à la gestion des risques financiers et stratégiques, proposent un processus de gestion de risque dans les chaînes logistiques (voir Figure 2) proche de celui de [Hallikas *et al.*, 04].

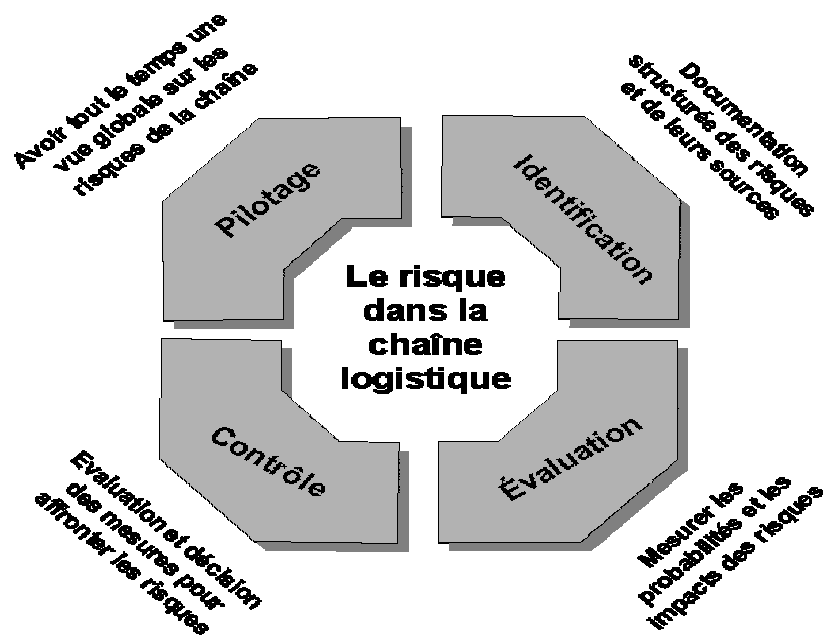


Figure 2 : Processus de gestion des risques dans la chaîne logistique (source : [Ziegenbein *et al.*, 04]).

On peut considérer que le processus de gestion des risques dans le contexte d'une chaîne logistique a les mêmes phases. Chaque entreprise opère en considérant son propre risque et doit le manager elle-même. Comme l'interconnexion des entreprises dans la chaîne les rend dépendantes les unes des autres, il est utile de partager, partiellement, le processus de gestion des risques et de développer des moyens coopératifs afin de gérer les risques.

4.4.3.1 Identification des risques

C'est une étape fondamentale de la pratique de gestion des risques. En identifiant les risques, un décideur ou un groupe de décideurs deviennent conscients des événements ou des phénomènes qui causent l'incertitude. Le point focal de l'identification des risques est la reconnaissance des incertitudes futures afin de pouvoir gérer pro-activement les différents scénarios qui peuvent se présenter. Les techniques utilisées durant cette phase sont principalement les interviews, les ateliers de travail, les brainstormings et la méthode Delphi [Peck *et al.*, 03]

4.4.3.2 Evaluation des risques

L'évaluation et la prioritarisation des risques sont nécessaires pour le choix des actions adéquates de management des facteurs de risque identifiés en rapport avec la situation dans l'entreprise et au niveau de la chaîne logistique. Notons que la plupart des auteurs qui traitent de l'évaluation des risques préconisent la prise en compte de deux caractéristiques majeures du risque : la probabilité et l'impact. Certains auteurs comme [Bernard *et al.*, 02] préconisent d'évaluer le risque en prenant en compte séparément les deux caractéristiques du risque. Dans leur démarche, ils proposent des échelles de probabilités et d'impact, qui une fois croisés, définissent un espace (probabilité ; impact) fractionné en des zones d'expositions dans lesquelles sont positionnés les risques. Ces zones sont qualifiées de faible, moyenne, élevée (voir Figure 3). D'autres auteurs comme [Pandélios *et al.*, 99] se situent dans la lignée des méthodes proposées pour l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC). Ils considèrent la criticité comme

critère d'évaluation des risques (voir [Mahmoudi *et al.*, 06b] pour un exemple d'illustration de ce type d'évaluation des risques). Cette criticité est obtenue en faisant le produit suivant :

$$\text{Criticité} = \text{probabilité} * \text{impact}$$

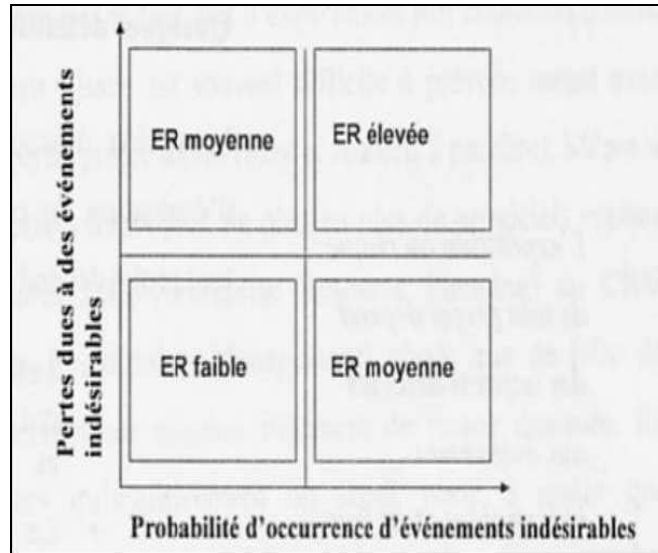


Figure 3 : Zones d'exposition au risque (source : [Bernard *et al.*, 02]).

Dans [Ziegenbein *et al.*, 04], l'espace (probabilité ; impact) est plutôt qualifié de « carte du risque » et fait apparaître douze zones classées en trois grandes zones (voir Figure 4) : A-Risque (les risques qui sont à forte probabilité d'occurrence et à fort impact négatif), B-Risque (les risques qui ont une moyenne probabilité d'occurrence et un moyen impact négatif), C-Risque (les risques à faible probabilité d'occurrence et à faible impact négatif) qui permettent à l'entreprise de définir les priorités par rapport aux risques identifiés.

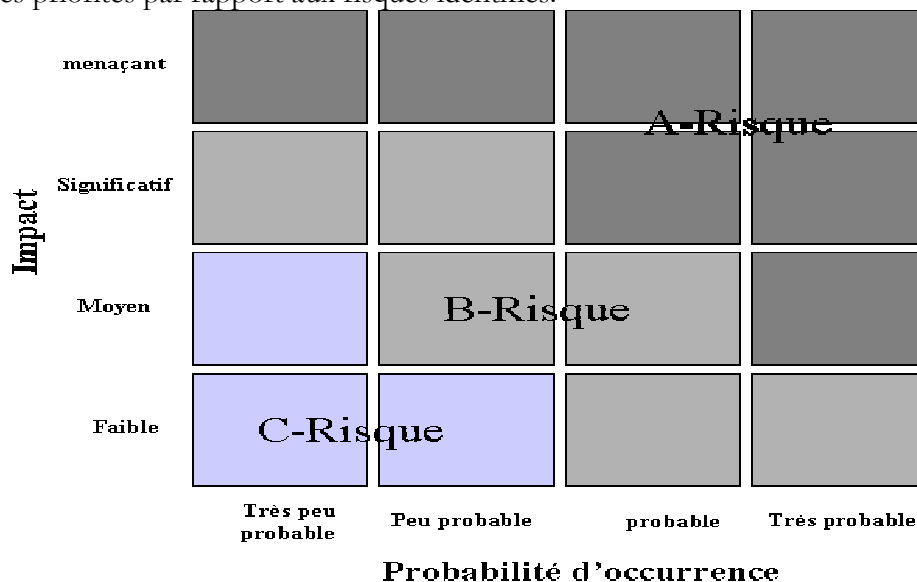


Figure 4 : La carte du Risque (source : [Ziegenbein *et al.*, 04]).

4.4.3.3 Le choix et l'implémentation des actions de gestion des risques

Selon [Hallikas *et al.*, 04], le risque peut être géré généralement en développant une stratégie commune, et en identifiant de meilleures politiques de contractualisation. L'identification et l'évaluation des risques donnent une indication plus spécifique sur l'endroit où ils faut concentrer les actions. Certains risques peuvent être réduits via des collaborations dans la chaîne, d'autres par contre nécessitent d'être gérés par chacune des entreprises impliquées dans la chaîne. Cependant, il peut arriver des situations où les objectifs globaux (définis pour l'ensemble des entreprises de la chaîne) peuvent être en contradiction avec les objectifs locaux (définis pour une entreprise donnée dans la chaîne) d'une entreprise. L'évaluation des risques aide l'entreprise en question à définir un mode opératoire pour gérer de telles situations.

4.4.3.4 Pilotage des risques

L'entreprise et son environnement ne sont pas statiques et par conséquent l'état du risque change. Les facteurs de risque identifiés pourraient être pilotés par l'identification des tendances potentielles d'évolution des risques en termes de leurs probabilités d'occurrence ou de leurs impacts. De plus, des nouveaux facteurs de risque significatifs peuvent apparaître. Pour piloter ces changements et assurer une meilleure gestion des risques, il est nécessaire de piloter les changements dans la chaîne logistique, dans les besoins des clients, dans les technologies, dans les stratégies des partenaires et des concurrents et de mettre à jour l'évaluation des risques respectifs.

4.4.4 Stratégies pour la gestion des risques

Généralement les stratégies utilisées pour la gestion des risques incluent :

- l'élimination des sources du risque : cette mesure agit directement sur ce qui est la « cause » du risque,
- l'acceptation du risque : consiste à ne prendre aucune mesure contre les risques de la chaîne logistique,
- la réduction de l'impact -conséquences- du risque : cette stratégie orientée impact s'intéresse aux impacts du risque pour les réduire les rendre acceptable,
- le partage ou transfert du risque : une partie ou l'intégralité du risque est transférée aux autres partenaires de la chaîne logistique,
- l'exploitation : le risque peut des fois devenir un allié et permettre la réalisation de profit,
- la coopération : les réponses coopératives implique des accords conjoints tels que les moyens pour assurer une réduction des incertitudes qui remplace les actions unilatérales. Suivant une perspective chaîne logistique, la focalisation est sur les accords conjoints des organisations engagées dans la chaîne logistique pour améliorer la visibilité de la chaîne et sa compréhension, pour partager les informations en face d'une exposition à des ressources de risque spécifique et enfin pour préparer conjointement une continuité des business plans,
- la flexibilité : la flexibilité accroît l'aptitude à répondre. Un exemple dans le contexte de la chaîne logistique est la différenciation retardée qui invite les entreprises à retarder

volontairement la configuration, la labellisation ou encore le transport du produit vers une destination particulière. La différenciation retardée réduit la dépendance aux prévisions et accroît la capacité de répondre à la variabilité et également aux perturbations que peut connaître la demande. Un deuxième exemple est le multi-sourcing que certains décideurs voient comme la forme traditionnelle pour gérer les risques en les dispersant,

- l'analyse des risques individuels : l'analyse individuelle des risques aux niveaux des différentes organisations impliquées dans la chaîne logistique peut conduire à une réduction du risque à l'échelle de la chaîne. Cependant, ceci nécessite une action conjointe et coordonnée avec les autres partenaires,
- le contrôle : les entreprises peuvent chercher à contrôler les contingences à partir de différentes sources de risques au lieu de traiter passivement les incertitudes comme des contraintes avec lesquelles elles doivent opérer. [Christopher, 03] fait remarquer que les stratégies de contrôle sont les plus répandues dans les entreprises. Des exemples de ces stratégies dans les chaînes logistiques incluent l'intégration verticale, l'utilisation des stocks tampon, le maintien de large capacité en production, l'entreposage, la manutention et/ou le transport ou enfin l'imposition d'exigences contractuelles sur les fournisseurs,
- l'évitement : l'évitement a lieu lorsqu'il y a un risque provenant d'un marché de produit donné ou une zone géographique donnée et que ce risque est considéré comme inacceptable. Suivant une perspective chaîne logistique, l'évitement peut être lié à des marchés de produits/géographiques et/ou à des organisations de clients et de fournisseurs.

4.4.5 Les moyens

Les moyens qu'on peut utiliser pour l'implantation des stratégies de gestion de risques sont variés, mais on peut distinguer principalement :

- les capacités : avoir des capacités facilement adaptables aux différents incidents qui peuvent se produire est un vrai atout pour gérer les risques liées aux évolutions de la demande du marché,
- les stocks : une gestion intelligente et optimisée des niveaux des stocks dans la chaîne logistique permet à la fois de profiter des opportunités qui peuvent s'offrir pour pouvoir vendre plus de produits et d'éviter l'obsolescence des produits dans le cas où la demande du marché est différente de celle prévue,
- le multi-sourcing : avoir la possibilité de recourir à plusieurs fournisseurs à la fois permet d'avoir des risques d'approvisionnement modérés,
- les alternatives pour la distribution et le transport : dans le cas où un mode de transport ou de distribution ne s'avère plus adapté, avoir d'autres alternatives (moyens) de transport ou de distribution est un atout pour pouvoir garantir la satisfaction du client au moment et à l'endroit attendus,
- les solutions de remplacement : sont aussi un moyen pour s'adapter à des situations risquées,

- l'agilité : savoir s'adapter aux différentes situations et savoir rendre sa réponse assez rapide peut aider les décideurs de la chaîne logistique à réduire la gravité des impacts qui peuvent se produire suite à l'occurrence d'un événement indésirable,
- la coopération : la coopération via l'échange ou le partage d'information peut s'avérer comme une solution pour pouvoir anticiper ou réduire les risques qui sont par exemple liés à l'écroulement du marché,
- la compréhension de la chaîne logistique : la bonne compréhension de la chaîne logistique et de sa dynamique est un moyen précieux sur lequel le décideur peut compter pour gérer les risques menaçant cette dernière et la rendant vulnérable,
- la culture SCRM dont dispose la chaîne logistique : la culture SCRM est un moyen important sur lequel peuvent compter les décideurs dans leur gestion du risque.

Cette liste de moyens n'a pas la prétention d'être exhaustive, d'autres moyens restent envisageables pour appuyer la mise en place des différentes actions de gestion des risques.

4.5 Méthodes utilisées

4.5.1 APR

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode d'identification et d'évaluation des risques, de leurs causes, de leurs conséquences et de la gravité des conséquences. L'objectif de cette analyse de risque est d'en déduire les moyens et les actions correctives permettant d'éliminer, ou du moins maîtriser, les situations dangereuses et accidents potentiels mis en évidence. L'APR est particulièrement intéressante dès les premières phases du cycle de vie des nouveaux systèmes pour lesquels on ne peut pas s'appuyer sur le retour d'expérience [INERIS, 03].

4.5.2 AMDEC

L'AMDE(C) est l'extension de l'AMDE à l'analyse de la criticité. Cette analyse consiste à déterminer l'importance de chaque mode de défaillance compte tenu de son influence sur le comportement normal du système [Landy, 03] ; elle permet d'évaluer l'impact des défaillances sur la fiabilité et la sécurité du système. L'objectif est d'identifier les barrières existantes pour limiter les effets des défaillances. A défaut de tels moyens de protection, il est proposé des mécanismes supplémentaires de détection / recouvrement pour tolérer les fautes. On peut également proposer des moyens de contournement basés sur l'utilisation de procédures opérationnelles. L'AMDE(C) peut-être réalisée à partir d'une représentation fonctionnelle du système ou du niveau structurel (décomposition du système en composants matériel / logiciel).

4.5.3 Arbre de défaillance (arbre de faute)

Diagramme logique utilisant une structure arborescente pour représenter les causes de défaillances et leurs combinaisons conduisant à un événement redouté (racine de l'arbre). La

réduction des arbres de faute à partir du calcul des coupes minimales permet d'identifier les chemins critiques. On en déduit les éléments matériel et logiciel du système dont la défaillance contribue le plus à la réalisation de l'événement redouté. Les arbres de faute peuvent être quantifiés, permettant ainsi de calculer l'indisponibilité ou la fiabilité du système modélisé [Mortureux, 02].

4.5.4 HAZOP

Revue systématique de la conception et des principes opératoires basée sur :

- (1) la recherche de toutes les causes de dérive des différents paramètres opératoires,
- (2) analyse des conséquences liées à ces dérives,
- (3) les moyens de correction ou de protection à apporter, si nécessaire.

Cette revue permet l'identification systématique des problèmes d'exploitation et d'entretien, et facilite les études pour apporter des corrections ou de protections au système étudié. En ingénierie industrielle, cette étude est utilisée dès le début des études de réalisation sur les plans de circulation des fluides, schémas d'utilités et diagrammes d'interconnexions (Dictionnaire contractuel de l'ingénierie pétrolière, chimique et gazière) [Law, 06].

4.5.5 Delphi

La méthode Delphi a pour but de mettre en évidence des convergences d'opinion et de dégager certains consensus sur des sujets précis, grâce à l'interrogation d'experts, à l'aide de questionnaires successifs. L'objectif le plus fréquent des études Delphi est d'apporter l'éclairage des experts sur des zones d'incertitude en vue d'une aide à la décision [Linstone et Turoff, 75].

4.5.6 Brainstorming

La méthode du brainstorming consiste à rassembler un groupe de personnes choisies à qui l'on demande d'exprimer librement ses idées, pensées et intuitions sur un ou plusieurs thèmes. Le but est de générer un maximum d'idées, de suggestions et de propositions sur un sujet, sachant qu'il est plus facile de rendre applicable une idée trop créative que de générer une solution créative à partir d'une idée banale. Un animateur gère la discussion et prend note des idées émises, qui seront par la suite analysées, classées et éventuellement approfondies. La méthode repose sur la mise en place d'une bonne dynamique de groupe qui contribue à lever les inhibitions, chacun étant alors encouragé à rebondir sur les idées émises par les autres participants. La technique du brainstorming est assez facile à mettre en œuvre et ne demande qu'un minimum de moyens (contrainte légère) [Coulon *et al.*, 93].

4.5.7 Check list

Cette pratique est considérée comme simple à utiliser, elle consiste à construire une liste, s'approchant le plus possible de l'exhaustivité, des événements indésirables susceptibles de constituer des menaces [Bakir, 03].

4.5.8 BPR

Le Business Process Reengineering (BPR) est une démarche de remise en question et de redéfinition en profondeur des processus d'une organisation en vue de la restructurer pour la rendre plus efficace tout en réduisant les coûts [Hammer et Champy, 93].

4.5.9 Le diagramme de cause à effet (Diagramme Ishikawa)

Le diagramme d'Ishikawa est un outil qui permet d'identifier les causes possibles d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier. Il se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon la loi des 5 M (matière, main-d'œuvre, matériel, méthode, milieu) [Chauvel, 00].

4.5.10 Enquête

L'enquête est basée sur la collecte des informations utiles à la résolution de problème, elle fait appel à diverses techniques dont les principales sont : entretien, questionnaire, analyse des documents [Aso, 06].

4.6 Notre positionnement

En focalisant sur les « risques clients », les « risques fournisseurs » et les « risques information » dans le cas d'une chaîne logistique ayant une structure « série » et de type « inter-entreprises », nos travaux sont à cheval entre la deuxième et la troisième phase du processus de gestion des risques, c'est-à-dire entre « l'évaluation des risques » et « le choix et l'implémentation des actions de gestion des risques ». Nous nous basons ainsi sur des concepts issus de « la théorie de la décision » et de « la théorie des jeux » pour procéder à l'évaluation et à la quantification des risques tout en prenant en compte la qualité de l'indétermination de l'avenir et l'appréciation de cette indétermination par les décideurs. D'autre part, nous optons pour la « coopération » en tant que stratégie de gestion des risques. Les politiques de coopération que nous proposons sont la combinaison entre des politiques de « planification » au niveau « stratégique », notamment des politiques de planification des « capacités » et des politiques d'« échange d'informations » (« Disponibilité » et « fiabilité » des prévisions). Ceci se fera en s'appuyant sur un outil de « simulation à événements discrets » que nous avons développé en se basant un modèle « distribué », et dont les potentialités en termes de modélisation des comportements d'acteurs de la chaîne (comportements de « planification », comportements de « production » et comportements d'« approvisionnement ») nous ont permis de proposer une démarche d'aide à la coopération visant à guider les décideurs dans le choix des politiques de coopération à déployer en fonction des risques qu'elles véhiculent.

La figure suivante (Figure 5), en utilisant la grille de classification décrite précédemment, présente une synthèse du positionnement de nos travaux dans le domaine du SCRM.

4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une grille de classification des travaux scientifiques en SCRM. Cette grille de classification nous a permis de positionner nos travaux dans ce domaine. En ayant opté pour la coopération dans la planification et à la coordination des unités organisationnelles impliqués dans la chaîne logistique par l'échange d'information en tant que stratégie de gestion des risques, nous nous consacrons dans le chapitre suivant à un état de l'art des travaux scientifiques s'intéressant à ces aspects.

Structure de la chaîne	Dyadique	Série	Convergente	Divergente	Réseau	Intra-entreprises	Inter-entreprises	
Niveau de décision dans la chaîne	Stratégique	Tactique	Opérationnel	Temps réel				
Processus dans la chaîne	Approvisionnement	Production	Distribution	Vente	Logistique inverse	Planification		
Types de risques	Clients	Fournisseurs	Processus	Planification et contrôle	Réseau	Information	Externes	
Source de risques	Politiques	Naturels	Sociaux	Environnementaux	Economiques	Sectoriels	Ressources humaines	Infrastructure (pannes)
	Technologie produit/système	Technologie de l'information	Actes délibérés Vol, sabotage, fraude, espionnage	Modification des processus	Disponibilité (ressources, information)	Fiabilité (ressources, information)	Sécurité	Indicateurs de performance
Processus de gestion des risques	Identification	Evaluation	Choix et implémentation des actions de gestion des risques	Pilotage	.			
Stratégie pour la gestion des risques	Elimination	Conservation (Acceptation)	Réduction	Transfert	Exploitation	Coopération	Evitement	Flexibilité
	Analyse des risques individuels	Prévention	Contrôle (parer l'éventualité)					
Moyens	Capacité	Stock	Multi-sourcing	Alternatives pour la distribution et le transport	Solutions de remplacement	Echange d'informations	Compréhension de la SC	Agilité (vitesse, visibilité)
	Culture SCRM	Autres moyens						
Nature de l'approche	Analytique	Simulation	Empirique					
Nature du modèle	Analytique	Simulation	Descriptif	Centralisé	Distribué			
Caractéristique du modèle	Déterministe	Stochastique	Continu	Discret	Linéaire	Non linéaire		
Méthode utilisée	APR	AMDEC	Arbre de défaillance	Hazop	Delphi	Brainstorming	Check List	BPR
	Cause effet	Théorie des jeux	Théorie de la décision	Jeux d'entreprises	Enquête	Simulation discrète	Simulation continue	Analytique (programmation mathématique, heuristiques, CSP)
Outil utilisé	Logiciel spécifique	Simulateur	Solveur générique	Jeux de plateaux	Jeux informatiques	Tableur	Autres progiciels	

Figure 5 : Notre positionnement par rapport aux travaux scientifiques en SCRM.

Chapitre 5. La coopération dans la chaîne logistique

RESUME

Dans ce chapitre, nous clarifions d'abord la notion de coopération dans la chaîne logistique. Ensuite, nous présentons un état de l'art de la littérature scientifique qui se concentre sur la problématique de la coopération et à l'échange/partage de l'information dans la planification en tant que moyen de mitigation des risques. Nous focalisons notamment sur les trois thèmes suivants : partage des informations sur les demandes et les stocks, partage des prévisions (Collaborative Forecasting) et planification collaborative (Collaborative Planning). Ceci nous permettra par la suite de situer nos travaux par rapport aux travaux existant dans le domaine du SCRM.

5.1 Introduction

La gestion des risques dans les chaînes logistiques suppose des relations transversales entre plusieurs centres de décisions interdépendants tant sur le plan juridique, institutionnel que stratégique, mais sans lien de subordination entre eux. Ces relations revêtent des formes multiples selon leur nature, leur structure (horizontale ou verticale), leur forme juridique ou les objectifs à atteindre ([Sboui *et al.*, 03], [Thomas et Griffin, 96], [Huang *et al.*, 03]). Différentes notions sont alors avancées pour justifier, initier les rapprochements et enfin établir les actions de mitigation des risques qui doivent être réalisées (voir Chapitre 4). Parmi ces notions, nous distinguons celle de la coopération.

Une fois que définition de la notion de la coopération est faite dans la section suivante, nous nous proposons, dans la section 2, de faire une revue de la littérature scientifique rattachée à ce thème.

5.2 La coopération dans la chaîne logistique : définition(s)

La coopération est souvent pointée comme la pierre angulaire d'une gestion de la supply chain efficace, pourtant elle reste mal définie. Ceci est du au fait que la coopération fait référence à un grand nombre de concepts allant du partage d'informations entre deux ou plusieurs partenaires à la co-conception de produits ou systèmes.

Plusieurs définitions académiques sont données à la coopération, nous en proposons les trois suivantes que nous jugeons comme complémentaires :

1. « Tout accord explicite – officiel ou officieux – conclu entre deux ou plusieurs firmes pour une longue période, relatif à un ou plusieurs domaines d'activités (lignes de produits, segments de marché, fonction économique) et qui implique un comportement coordonné de leur part, sur la base de mécanismes plus ou moins formalisés. L'accord comprend une prise de participation au capital ou la création de nouvelles sociétés, aussi bien que des arrangements sans prise de participation » [Dubelcco, 93].
2. « La coopération est un contrat synallagmatique³⁸ entre deux ou plus de deux entreprises. Il s'inscrit dans la durée et implique un comportement coordonné dans le cadre d'un projet commun aux partenaires qui n'en conservent pas moins leur souveraineté stratégique» [Guillouzo, 96].
3. « Accord, établi dans une perspective de durée, impliquant une interaction entre membres d'organisations indépendantes qui combinent ou mettent en commun des actifs immatériels et/ou matériels afin de réaliser l'objet de l'accord et d'atteindre des objectifs communs et individuels. »

Outre ces définitions venant du monde académique, la vision industrielle de la coopération peut être résumée dans les trois définitions suivantes de la coopération³⁹ :

1. « La coopération est un engagement réciproque, limité, progressif et réversible entre deux ou plusieurs partenaires, pour améliorer leurs performances respectives et acquérir un avantage concurrentiel décisif.» [CCI, 06].
2. « La coopération Client-Fournisseur est d'une part l'établissement d'une relation de confiance avec vos fournisseurs et d'autre part, l'implantation de nouvelles méthodes de travail capables d'améliorer vos performances » [Rioux, 02].

³⁸ Contrat dans lequel chaque partie s'oblige vis-à-vis de l'autre.

³⁹ Selon [CIC, 06], dans le langage des dirigeants d'entreprise, il n'existe pas de différences significatives entre les mots de coopération, d'alliance, de partenariat, groupement inter-entreprises.

3. « Deux ou plusieurs entités travaillant ensemble en échangeant de l'information au bon moment dans le but de prendre des décisions permettant d'être mutuellement efficaces » (Semi-Conductor Supply Chain Association)

L'examen de ces définitions, quels que soient leurs caractères -académiques ou industriels - nous permet de répondre aux questions suivantes : qu'est ce que la coopération ? Pourquoi coopère-t-on ? Comment coopère-t-on ?

Qu'est-ce que la coopération ? : la coopération interentreprises est une forme de relation entre deux ou plusieurs entreprises basée sur un engagement réciproque. Cette relation, qui s'inscrit dans le temps, peut être à caractère officiel ou officieux. Aussi elle peut être liée à un ou plusieurs domaines d'activités (lignes de produits, segments de marché, fonction économique, etc.)

Pourquoi coopère-t-on ? : la coopération permet d'atteindre des objectifs irréalisables autrement. Ces objectifs peuvent se décliner en objectifs individuels et communs. Plus spécifiquement, la coopération permet :

- d'avoir un avantage concurrentiel,
- d'améliorer les performances individuelles ou collectives,
- d'améliorer les compétences,
- de créer de la confiance entre les différents partenaires.

Comment coopère-t-on ? : la coopération nécessite un comportement coordonné de la part des partenaires engagés dans la relation, basé sur des mécanismes plus ou moins formalisés. Ce comportement coordonné peut s'appuyer notamment sur :

- un échange d'informations fiables,
- sur un échange de compétences, de méthodes et d'outils de travaux.

La définition que nous retenons pour la coopération au sein d'une chaîne logistique dans ce document est la suivante :

Ce sont les moyens utilisés par les entreprises au sein d'une supply chain pour travailler d'une façon coordonnée et atteindre des objectifs individuels et communs, en partageant des idées, des informations, des savoir-faire, des risques et des gains⁴⁰.

A travers cette définition, nous pointons en premier lieu la nécessité, dans le contexte spécifique à la chaîne logistique, d'une démarche coordonnée pour la mise en place en place d'une relation de coopération. Cette démarche est souvent complexe. Le « réseautage » qu'implique l'orientation chaîne logistique (SCO) nécessite qu'elle soit transversale et qu'elle sorte des frontières de l'entreprise. En

⁴⁰ Cette définition est inspirée de celle donné par [Cohen et Roussel, 05] à la notion de la coopération dans la chaîne logistique. Cette dernière définition, c'est-à-dire celle de [Cohen et Roussel, 05] ne souligne pas l'intérêt des mécanismes de coordination dans la mise en place d'une relation de coopération entre un ensemble de partenaires, et ne précise pas que les bénéfices qu'apporte la coopération peuvent à être la fois individuels et collectifs. C'est ce qui nous a motivé de l'enrichir et de proposer une définition plus précise et complète.

deuxième lieu, nous soulignons aussi le fait qu'une relation de coopération réussie permet de maîtriser les risques et d'en faire une meilleure gestion.

En effet, elle permet :

- un supplément de visibilité grâce à l'interaction entre les différents niveaux de la chaîne,
- une meilleure anticipation du fait de la disponibilité d'informations fiables,
- un enrichissement des méthodes et des outils de travaux grâce à l'amélioration des connaissances dont dispose l'entreprise.

5.3 La coopération dans la chaîne logistique : un état de l'art

Nous présentons dans les sections qui suivent une revue de la littérature scientifique dédiée à la problématique de coopération dans les chaînes logistiques. Cette revue est axée sur trois thèmes principaux : « le partage des informations sur les demandes et les stocks » et « les prévisions collaboratives » connu aussi sous l'appellation Collaborative Forecasting et « la planification collaborative » connu aussi sous l'appellation Collaborative Planning. Nous aborderons pour chacun de ces thèmes à la fois les travaux qui s'inscrivent dans une approche de type analytique », les travaux qui s'inscrivent dans une approche de type « simulation », et enfin les travaux qui s'inscrivent dans une approche de type « empirique ».

L'ensemble de ces travaux sont synthétisés dans les Tableaux 1.a et 1.b en utilisant la grille de classification définie dans le chapitre précédent (chapitre 4). La dernière colonne du Tableau 1.b permet de situer nos travaux.

5.3.1 Partage d'informations sur les demandes et les stocks

[Bourland *et al.*, 96] pointent le fait que les implications du partage des informations sur les demandes et sur les stocks provenant de l'amont de la chaîne (*i.e.* le côté de la chaîne en contact avec le client final) sur les acteurs situés en aval ne sont pas bien examinées dans les travaux de recherche. Récemment, plusieurs travaux ont essayé de quantifier la valeur opérationnelle du partage des informations provenant de l'amont de la chaîne et surtout les informations concernant les ventes. Les approches adoptées sont réparties entre les approches analytiques, les approches par simulation et les approches empiriques.

5.3.1.1 Approches analytiques

Dans le cadre de ce type d'approche, nous trouvons une première catégorie de travaux ([Gavirnenin *et al.*, 99], [Cachon et Fisher, 00]) qui a focalisé sur le cas de demandes indépendantes et identiquement distribuées. [Gavirnenin *et al.*, 99] considèrent un modèle avec un manufacturier et un détaillant. Le manufacturier possède une capacité de production limitée. Deux cas de partage d'informations entre le manufacturier et le détaillant sont alors étudiés et comparés au cas où seules les commandes sont transférées. Dans le premier cas, le manufacturier obtient des informations sur la distribution de la demande considérée et sur la politique de commande du détaillant. Dans le second cas, le manufacturier obtient des informations supplémentaires sur les états de stock du détaillant. [Gavirnenin *et al.*, 99] concluent que les bénéfices du partage de l'information sont plus élevés lorsque la variance de la demande finale est modérée, lorsque les coûts fixes du détaillant sont modérés et enfin lorsque le manufacturier a une capacité moyenne jusqu'à élevée. Par ailleurs, [Cachon et Fisher, 00] trouvent en considérant un modèle avec un fournisseur et N détaillants identiques dans lequel le fournisseur utilise

des informations supplémentaires pour mieux faire l'allocation de stock aux détaillants et pour mieux faire ses décisions de commande, que les coûts de la chaîne logistique sont en moyenne 2.2 % plus bas lorsque le fournisseur a un accès à des informations supplémentaires.

Une deuxième catégorie de travaux a focalisé sur le cas d'une demande distribuée selon une loi Gamma. [Fransoo *et al.*, 01], par exemple, examinent une situation avec un fournisseur et N détaillants. Le problème étudié est la conception d'une approche de planification de la chaîne logistique qui permet que les informations de demandes communiquées aux détaillants coopératifs, restent secrètes pour les autres membres du site web. [Fransoo *et al.*, 01] montrent que dans le contexte classique de la centralisation de l'information, le seul moyen pour garder ces informations secrètes est de traiter séparément les détaillants coopératifs et ceux qui ne le sont pas, ceci a l'inconvénient d'empêcher le regroupement et la gestion commune des stocks et réduit donc l'efficacité de la chaîne logistique.

Une troisième catégorie de travaux s'est intéressée au cas d'une demande distribuée selon une loi uniforme. [Sepulveda et Frein, 06], en considérant la chaîne logistique du jeu de la bière, ont procédé à une évaluation en fonction de l'incertitude de la demande de deux scénarios d'optimisation : un scénario considérant une optimisation globale (cas impliquant tous les acteurs de la chaîne logistique) et un scénario considérant une optimisation locale (cas où chaque acteur fait son optimisation pour satisfaire son propre critère). Les auteurs montrent que lorsque la qualité d'informations disponibles se dégrade, une approche globale est meilleure qu'une approche locale et que la différence entre résultats obtenus dans les deux cas augmente lorsque le niveau de fiabilité des informations utilisées baisse.

Dans une autre catégorie de travaux, les auteurs se sont intéressés au cas de demandes autorégressives. [Lee *et al.*, 00] utilisent un modèle analytique avec une chaîne logistique à deux étages faisant apparaître un manufacturier et un détaillant. Leurs analyses indiquent que l'accès aux informations de demande des détaillants pourrait conduire à des réductions significatives. Par contre, les bénéfices sont largement liés au processus de la demande et aux temps de productions. Plus précisément, les résultats indiquent que le manufacturier pourrait avoir des grands bénéfices lorsque : la demande est fortement corrélée dans le temps, la variance de la demande dans chaque période de temps est élevée ou lorsque les temps de productions sont longs. Dans le cas où les paramètres sont fixés de sorte à ce que la demande soit indépendante et identiquement distribuée, aucune valeur ajoutée n'est attribuée au partage de l'information. Ce qui est important à signaler par rapport à cet article, c'est que malgré le fait que les auteurs supposent que le manufacturier connaît les paramètres caractérisant le processus de demande du détaillant, ce qui voudrait dire que le manufacturier pourrait utiliser l'historique de données pour obtenir des informations supplémentaires sur ce même processus de demande, ils considèrent que la situation est assez complexe pour être analysée d'une façon analytique et limitent l'étendue de leur analyse en supposant que le manufacturier n'utilise pas l'historique de demandes. Ils admettent d'ores et déjà qu'une utilisation efficace de l'historique de demandes pourrait réduire la valeur ajoutée du partage de l'information. Plus tard, [Raghunathan, 01] a réexaminé le modèle présenté par [Lee *et al.*, 00] et montré analytiquement et par simulation que les bénéfices tirés par le manufacturier sont insignifiants lorsque les paramètres du processus de demande utilisé sont connus par les deux parties. La raison clé qui explique la différence des deux résultats est que dans le modèle de [Raghunathan, 01], le manufacturier utilise l'historique de demandes complet auquel il a accès c'est ce qui lui permet de réduire la variance de ces prévisions. [Raghunathan, 01] conclut qu'une utilisation intelligente des informations internes (*i.e.* l'historique des demandes) suffit et qu'il n'y a pas de besoin d'investir dans systèmes inter-organisationnel pour le partage des informations. Les informations partagées n'ont de la valeur que lorsqu'elles ne peuvent pas être déduites à partir des informations dont on dispose. Par exemple, si le détaillant peut partager les informations sur les promotions, le manufacturier pourrait en être bénéficiaire. Par ailleurs, si le processus de demande change dans le temps, le manufacturier pourrait bénéficier d'une façon significative du partage de l'information.

Dans le cadre de cette même catégorie de demande, [Chen *et al.*, 00] ont examiné l'impact des méthodes de prévisions et des temps de productions sur l'amplification de la variation de la demande, *i.e.* effet bullwhip. Dans un premier temps, Les auteurs ont considéré une chaîne logistique à deux étages constituée d'un manufacturier et d'un détaillant, et étendu ensuite l'analyse à une chaîne logistique multi-étages avec et sans centralisation de la demande du client final. Dans le scénario correspondant à une centralisation de l'information, tous les membres de la chaîne logistique utilisent les mêmes données sur les ventes pour obtenir des prévisions faites avec la méthode de la moyenne mobile. [Chen *et al.*, 00] démontrent que l'amplification de la demande pourrait être réduite mais pas complètement éliminée par la centralisation de l'information.

Enfin, très peu de travaux se sont intéressés au cas des demandes inconnues. [Cachon et Fisher, 00] affirment que le partage des informations sur les demandes en amont de la chaîne a une valeur plus grande dans des situations à demandes inconnues, comme c'est le cas de l'introduction ou de la promotion d'un nouveau produit. Selon les auteurs, dans de telles situations, le partage des informations améliore la capacité des fournisseurs à prévoir un changement dans le processus de demande.

5.3.1.2 Approches par simulation

Dans le cadre de ces approches, certains auteurs ont utilisé les systèmes multi agents pour analyser la valeur du partage des informations de demandes et des stocks sur la réduction de la variabilité de la demande, *i.e.* effet bullwhip. [Moyaux *et al.*, 03] présentent un mécanisme de coordination qui consiste à décomposer les commandes transmises entre les différents étages de la chaîne en deux parties : la première donnant le vrai besoin sans les fluctuations, et la deuxième traduisant les conséquences des fluctuations en termes de besoin de ressources de la part du reste du système pour rééquilibrer les réserves de chaque membre de la chaîne. En considérant un modèle de chaîne logistique divergente à cinq étages inspiré de la Wood Supply Game, les auteurs concluent que ce mécanisme de coordination à base de « jetons »⁴¹ réduit la variabilité de la demande et que la centralisation de l'information rend ce mécanisme encore plus efficace.

5.3.1.3 Approches empiriques

Pour ce qui est des travaux de recherche qui s'adressent à la problématique du partage des informations de demandes et de stocks provenant de l'amont de la chaîne et qui sont de nature empirique, la majorité des travaux dont on dispose se concentre sur la collaboration en termes de la gestion des approvisionnements tel que le VMI (Vendor Management Inventory).

[Holmström, 98] présente un cas d'étude sur l'implémentation d'un VMI entre un vendeur et un grossiste. Il souligne qu'une implémentation pilote réduit d'une façon significative la variabilité de la demande du vendeur, mais ne présente pas une évidence de l'accroissement de l'efficacité opérationnelle une fois l'implémentation du VMI complète. Par contre, l'auteur affirme que les coûts d'administration du grossiste et les niveaux de stocks de produits du vendeur sont réduits.

[Lapide, 01], en se basant sur son expérience de consultant en projets, conclut que malgré le fait le VMI puisse supporter le vendeur dans ses tâches de planification et d'établissement de prévisions, il nécessite que les besoins en approvisionnement du client soient rigoureusement intégrés dans les processus et les systèmes de planification opérationnels. Ce qui est rarement le cas selon l'auteur.

⁴¹ Le terme original utilisé est « Tokens ».

5.3.1.4 Synthèse et bilan

L'examen des travaux existants, nous permet de pointer certaines carences et vides théoriques ainsi que d'importants écarts entre la théorie et les pratiques industrielles. Malgré le fait que plusieurs auteurs affirment que le partage d'informations venant de l'amont de la chaîne pourrait apporter plus de bénéfices dans des situations de changement impliquant des demandes irrégulières, peu de travaux traitent ce cas. D'autre part, la majorité des travaux sont en accord sur le fait que les manufacturiers bénéficient le plus des efforts de partage d'informations, et pourtant il apparaît que les manufacturiers ont beaucoup de mal à réaliser ces bénéfices [Lapide, 01]. Les mécanismes permettant aux entreprises de faire des bénéfices via l'accès aux informations venant de l'amont sont clairement mal compris.

5.3.2 Partage des prévisions

D'autres travaux affirment que bien que le partage des informations de ventes venant de l'amont de la chaîne pourrait procurer des bénéfices, il n'assure pourtant pas suffisamment de visibilité sur la demande [Lee *et al.*, 97]. Et de ce fait, les entreprises devraient partager et collaborer pour établir les prévisions.

La littérature qui traite de la collaboration inter-entreprises pour l'établissement de prévisions pourrait être aussi classée selon les mêmes catégories que précédemment.

5.3.2.1 Approches analytiques

[Raghunathan, 99] examine l'intérêt du partage des prévisions en utilisant un modèle avec un manufacturier vendant ses produits à deux détaillants identiques et indépendants. Ce premier ne possède pas de contraintes de capacité et les prévisions des détaillants sont parfaitement fiables. La demande considérée est stochastique et stationnaire, elle est déduite d'une distribution en loi uniforme. Le principal résultat de Raghunathan est que le partage des prévisions fait décroître les coûts du manufacturier lorsque l'un ou les deux détaillants participent au partage de l'information, *i.e.* prévisions. Cette baisse des coûts est plus importante dans le cas où le deuxième détaillant est impliqué dans le partage. L'auteur conclut aussi que la baisse des coûts concerne aussi le (les) détaillant (s) participant. Par contre, les coûts du détaillant qui ne participe pas décroissent lorsque le manufacturier alloue d'une façon égale les ruptures sur les deux détaillants mais croissent dans le cas où le manufacturier s'engage à garantir les quantités commandées pour celui qui participe. Finalement, l'auteur remarquait que ces effets s'accroissent lorsque l'incertitude de la demande est élevée. Selon [Raghunathan, 99], il y a un intérêt pour que tous les acteurs s'orientent vers une participation systématique des détaillants dans l'effort de la collaboration qu'implique l'établissement des prévisions. [Aviv, 01] examine l'intérêt de la collaboration dans l'établissement des prévisions dans une chaîne logistique à deux étages impliquant un produit unique face à une demande indépendante et uniformément distribuée. Les acteurs de la chaîne sont un fournisseur et un détaillant. Aviv compare une situation de « prévisions collaboratives » (Collaborative Forecasting) dans laquelle les deux acteurs développent et emploient conjointement des prévisions communes à une situation appelée « prévisions locales » (Local Forecasting) dans laquelle chaque partie développe et emploie ses propres prévisions. Admettant qu'une méthode collaborative est toujours au minimum aussi performante qu'une méthode individuelle, l'auteur conclut que les prévisions collaboratives impliquent en moyenne une réduction de 10 % des coûts de la chaîne logistique. Les prévisions collaboratives sont aussi performantes lorsque le fournisseur et le détaillant ont accès à différentes informations et considèrent des variables explicatives (variables de décisions) différentes. Il a aussi été constaté que la valeur de la collaboration croît d'une façon inverse aux temps de productions. Dans un papier plus récent, [Aviv, 02] développe plus le modèle en introduisant une demande auto-regressive. Trois situations sont comparées :

- dans la première, le fournisseur et le détaillant ne se partagent pas leurs observations des signaux du marché, développent et mettent à jour leurs prévisions séparément,
- dans la seconde, ce qui est analysé est proche du cadre du VMI, le fournisseur prend toute la responsabilité de gérer les stocks de la chaîne logistique, mais les signaux du marché ne lui sont pas transmis. Aussi le développement et la mise à jour des prévisions sont à sa charge.
- dans la troisième situation, appelée « prévisions collaboratives » (Collaborative Forecasting), les stocks sont gérés d'une façon centralisée et toutes les informations relatives à la demande sont partagées. Les prévisions sont développées et mises à jour en utilisant les informations de demande dont dispose chaque acteur.

L'étude montre que l'apport du partage de l'information croît lorsque la portion explicable de la variabilité de la demande croît et que le choix d'une approche d'ajustement des stocks -approche centralisée ou différents types d'approches décentralisées- dépend de la capacité du fournisseur ou du détaillant à avoir plus de force explicative.

5.3.2.2 Approches par simulation

Dans le cadre de ces approches, [Zhao *et al.*, 02] utilisent la simulation pour examiner l'impact des méthodes de prévisions sur l'apport que peut faire le partage de l'information dans une chaîne logistique où il considère un fournisseur avec une capacité finie - la contrainte de la disponibilité de la capacité est prise en compte – et quatre détaillants. Quatre profils de demandes combinant saisonnalité et tendance sont analysés. Cinq méthodes de prévisions sont utilisées – la méthode naïve, la moyenne mobile, le lissage exponentiel double, la méthode de Winter sans composante tendancielle, et la méthode de Holt et Winters (méthode de lissage exponentiel à trois paramètres), ce qui en combinaison avec les profils de demandes produit différentes erreurs de prévisions. La capacité du fournisseur a été aussi variée. [Zhao *et al.*, 02] étudient trois niveaux de partage d'informations : partage seulement des commandes, partage des commandes et des besoins nets prévisionnels, partage des commandes et des besoins bruts. Ils montrent que le partage des besoins bruts prévisionnels est plus profitable que le partage des besoins nets prévisionnels. Plus les prévisions sont exactes et fiables, plus le partage de l'information est profitable. Par contre, l'exactitude des prévisions des détaillants n'a pas d'impact substantiel sur les performances de la chaîne si un partage d'informations n'est pas mis en place. Par ailleurs l'échange d'informations est plus profitable lorsque les contraintes de capacités sont faibles ou modérées. On montre enfin que le profit tiré du partage de l'information est plutôt à escompter du côté du fournisseur.

5.3.2.3 Approches empiriques

[Mc Carthy et Golicic, 02] ont présenté l'une des rares études disponibles à notre connaissance sur le système de « prévisions collaboratives ». Ils jugent que le processus de collaboration apporté par le modèle CPFR est trop détaillé et examinent le cas de trois entreprises engagées dans différents types de collaboration pour l'élaboration des prévisions avec leurs partenaires commerciaux. Leurs principaux résultats sont qu'un système de « prévisions collaboratives » pourrait être rentable et qu'il pourrait résulter en un accroissement de la réactivité, une amélioration de la disponibilité des produits ainsi qu'une optimisation des coûts et des stocks. Les auteurs recommandent que les entreprises développent des pratiques de collaboration qui impliquent moins d'investissement en technologie et ressources humaines que le CPFR. Par contre, ils ne recommandent concrètement aucune pratique à adopter, ils préconisent seulement que les entreprises fassent des réunions régulières pour discuter des prévisions avec les autres partenaires de la chaîne logistique et qu'elles développent des prévisions partagées.

5.3.2.4 Synthèse et bilan

En examinant la littérature existante sur la collaboration inter-entreprises engagée pour l'élaboration des prévisions, des domaines manquant d'investigation peuvent être identifiés. Les recherches à base de modèles dans le domaine des «prévisions collaboratives» dépendent sur quelques hypothèses assez fortes. [Raghunathan, 99], par exemple, suppose que les détaillants sont capables de produire des prévisions parfaites et le seul argument qu'il présente est le suivant «En général, les détaillants connaissent mieux leurs demandes que les manufacturiers» ([Aviv, 01], [Aviv, 02]) suppose que la combinaison des prévisions des fournisseurs et des détaillants améliore toujours la qualité des prévisions. Mais toutes ces hypothèses ne semblent pas validées par les travaux de recherche empirique. Une autre observation importante est que les actions mises en places par les entreprises sont en opposition avec la recherche académique. Tandis que la recherche supporte le système de «prévisions collaboratives» en tant que moyen d'amélioration l'efficacité de la chaîne logistique ([Aviv, 02], [Zhao *et al.*, 02]), les entreprises sont assez lentes pour l'adoption de ce système ([Barratt et Oliveira, 01]). Ainsi, on décèle un besoin assez clair de travaux de recherche se basant sur des approches par simulation et sur des approches empiriques afin de mieux comprendre la valeur ajoutée que peut avoir un système de prévisions collaboratives.

5.3.3 Planification collaborative

Bien que la coordination via l'échange d'information ou l'élaboration collaborative des prévisions puisse procurer des bénéfices, elle n'est pas suffisante pour assurer une planification efficace de la chaîne logistique [De Snoo et Wezel, 06]. Et de ce fait, les entreprises devraient aussi s'intéresser au processus de planification proprement dit.

La littérature qui traite de la planification collaborative peut être aussi classée selon les mêmes catégories que précédemment.

5.3.3.1 Approches analytiques

[Ertogral et Wu, 00] ont développé un mécanisme de coordination pour la planification de la production dans les différents maillons de la chaîne logistique basé sur la relaxation lagrangienne d'un modèle global de la chaîne. Ce modèle global est décomposé en sous-modèles spécifiques aux différents acteurs. Un agent central définit les valeurs cibles des approvisionnements et évalue les plans résultant chez les acteurs pour en suivre la convergence. Le principal résultat de cette étude est que le mécanisme à base d'enchère proposé améliore l'impartialité des solutions, mesurée comme étant l'écart entre des solutions obtenues après les itérations imposées par le mécanisme de coordination et les meilleures solutions obtenues localement, mais au prix d'une dégradation de la qualité de certaines d'entre elles.

[Barbarosoglu et Özgür, 99], en considérant une chaîne logistique à deux étages avec un manufacturier et n entrepôts, utilisent aussi la relaxation lagrangienne pour transformer le problème d'un système production-distribution intégré en deux sous-systèmes décentralisés et développent donc à partir d'une organisation centralisée deux divisions organisationnelles décentralisées : une division responsable des décisions de production et une autre responsable des décisions de distribution. Le mécanisme de coordination proposé est une heuristique basée sur un échange d'information descendant (les décisions de productions sont tirées par les décisions de distribution) géré par un agent central qui pourrait modifier les décisions de distributions si des manques de capacités apparaissent au niveau de la

division responsable de la production. La résolution d'une liste de problèmes utilisant à la fois l'heuristique et un logiciel commercial (GAMS) montre que cette première garantit des résultats souvent plus performants.

[Dudek et Stadtler, 05] proposent un mécanisme de coordination d'une chaîne logistique faisant intervenir d'un côté un fournisseur et d'un autre côté un manufacturier, qui est basé sur une négociation itérative des propositions de commandes et des approvisionnements faite par les deux partenaires. Les auteurs montrent que le même modèle de planification peut être utilisé de part et d'autre pour l'évaluation des propositions du partenaire et pour la génération de commandes ou des plans d'approvisionnement modifiés. Le principal résultat de cette étude est que ce mécanisme de négociation améliore le coût total de la chaîne logistique et celui du fournisseur mais pas celui du manufacturier. En utilisant en moyenne 4.6 itérations, pour cinq structures de tests impliquant différents nombres et structures d'opérations et de ressources chez le manufacturier et chez le fournisseur, le schéma de coordination développé présente des solutions dont la déviation moyenne est de 1.6 % par rapport à celles obtenues avec un modèle de planification centralisé.

5.3.3.2 Approches par simulation

[De Snoo et Wezel, 06] en se basant sur la simulation multi-agents, présentent une démarche progressive (incrémentale) pour l'identification et la modélisation des processus de planification collaborative. Cette démarche est constituée de six étapes :

1. analyse des comportements de planification des acteurs dans une situation donnée.
2. modélisation des processus de planification et des interactions entre les acteurs.
3. conception de la simulation à base d'agents.
4. simulation de différents scénarios et stratégies de planification collaborative.
5. implémentations réelles des meilleures pratiques que révèle la simulation à travers différents projets pilotes.
6. formulation des conclusions et des directives par rapport aux processus de planification collaborative.

Les auteurs soulignent qu'une attention particulière devrait être accordée durant les différentes étapes de la démarche aux aspects humains (différents points de vue, différentes stratégies, différentes capacités cognitives et d'apprentissage, autonomie, confiance), aux informations (incomplètes, mal définies, nécessitant d'être partagées, manque de supports technologiques), à la coordination (division des tâches, négociation, aspects commerciaux), qui pourraient être vus comme des inducteurs mais aussi comme des inhibiteurs d'une collaboration réussie.

5.3.3.3 Approches empiriques

Quant à la catégorie des travaux s'intéressant à la planification collaborative qui pourrait être engagée entre deux ou plusieurs entreprises, et se basant sur une approche empirique, elle focalise pour la plupart sur un modèle unique de collaboration, à savoir le model CPFAR (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment) sponsorisé par l'association VICS. Récemment, le comité CPFAR du VICS et ECR Europe avaient publié plusieurs rapports présentant des pilotes d'implémentation du modèle CPFAR et procurant des recommandations et des cartes de route pour les entreprises qui montrent un intérêt pour la mise en place de tel modèle (voir par exemple [Accenture, 02], [VICS, 99]). Ces ressources indiquent qu'en implémentant le CPFAR, le fournisseur et les détaillants pourraient escompter des bénéfices via une fiabilité accrue des prévisions, les ruptures réduites, et les stocks mieux maîtrisés. D'autres bénéfices suggérés incluent des temps de livraisons réduits et des capacités beaucoup mieux utilisées.

En se basant sur une revue de la littérature et sur une synthèse des implémentations CPFR existantes, [Barrat et Oliveira, 01] identifient les inhibiteurs et les inducteurs d'un CPFR réussi. Leur étude identifie un manque de discipline pour mener proprement la phase préparatoire de l'implémentation du modèle CPFR, un manque d'une planification conjointe, une difficulté à gérer les exceptions et les processus de révisions liés aux ventes et aux prévisions, et un manque de définitions de cibles et d'objectifs communs comme étant les principaux inhibiteurs. La technologie et la confiance sont identifiés comme étant les principaux inducteurs d'un CPFR réussi.

[Barratt, 04] présentent les résultats d'un cas d'étude de six organisations d'une chaîne logistique du café en Angleterre. L'étude engage un détaillant et un manufacturier qui au moment de l'étude étaient depuis deux années impliqués dans un projet cherchant à développer une planification collaborative et tentant de l'étendre sur les membres de la chaîne en aval pour inclure les fournisseurs du packaging et des matières premières. L'étude a été conduite sur la base d'interviews approfondies faisant apparaître des informations clés concernant le détaillant, le manufacturier et les quatre fournisseurs. En se basant sur ce cas d'étude, [Barratt, 04] présente un large nombre d'inducteurs et d'inhibiteurs d'une planification collaborative. Ils insistent sur le besoin et la nécessité d'intégration des efforts de collaborations avec les activités opérationnelles et stratégiques des entreprises. En outre, ils concluent qu'une intégration interne –intégration des fonctions de production et de marketing-, nécessite d'être mise en place.

5.3.3.4 Synthèse et bilan

L'examen des travaux à caractère analytique sur la planification collaborative montre qu'ils focalisent dans la plupart des cas sur les mécanismes d'échange d'information mis en place pour coordonner la planification dans chaque unité organisationnelle de la chaîne logistique ([Sepulveda et Frein, 06], [Dudek et Stadtler, 05], [Barbarosoglu et Özgür, 99], [Ertogral et Wu, 00]). Cependant, au-delà de ces aspects de coordination informationnelle, les travaux de recherches empiriques montrent que les aspects comportementaux influencent dans une large mesure la planification ([Barrat et Oliveira, 01], [Barrat, 04]). L'analyse des comportements que peuvent manifester les responsables de planification peut être faite par l'intermédiaire de travaux simulation qui permettent de mieux comprendre et de mieux modéliser les processus de la planification collaborative [De Snoo et Wezel, 06]. Mais, ces travaux restent rares.

5.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons clarifié la notion de la coopération dans une chaîne logistique. Et en se basant sur une revue de la littérature focalisant sur trois thèmes clé liés à la coopération dans la chaîne logistique (partage des informations sur les demandes et les stocks, prévisions collaboratives et planification collaborative) et se concentrant à la fois sur les approches analytiques, sur les approches par simulation et sur les approches empiriques, nous avons pointé des carences de travaux scientifiques :

Peu de travaux considèrent des demandes inconnues intervenant par exemple dans le cas de l'introduction de nouveaux produits.

Les caractéristiques des produits et des processus de planification sont peu prises en compte.

Les approches qui permettent de mieux comprendre la faisabilité et la valeur ajoutée que peut avoir un système de planification collaborative dans différentes situations, dans différentes structures de chaînes logistiques, et avec différentes logiques et comportements d'acteurs sont rares.

De plus, l'évaluation du risque faite dans les différents travaux cités ne fait pas intervenir l'attitude que peut avoir le décideur face au risque.

Dans ce contexte, nous avons développé un outil de simulation pour pouvoir évaluer, en termes de risque, différentes politiques de coopération en considérant différentes situations ou scénarios et en intégrant la perception du risque que peuvent avoir les décideurs. Dans cet outil, nous avons :

- pris en compte les caractéristiques des processus de planification intervenant chez chaque acteur de la chaîne logistique. L'accent est surtout mis sur les processus de type Plan industriel et Commercial (Sales & Operations Planning ou S&OP) et notamment sur la planification des capacités, les autres processus qui interviennent dans la planification seront représentés d'une façon agrégée.
- intégré le cas où de nouvelles générations de produit sont lancées régulièrement sur le marché dans les modèles de représentation du comportement du marché. De ce fait, les caractéristiques relatives aux dates de lancements, aux durées de vie et aux forces de pénétration du marché des générations innovantes sont prises en compte.

D'autre part, nous proposons autour de cet outil une démarche qui a pour but d'instaurer la coopération entre les acteurs de la chaîne logistique.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]	
Structure de la chaîne																									
Dyadique	x	x			x	x	x		x					x	x										
Convergente																									
Divergente			x	x				x					x			x									
Série							x				x												x	x	
Réseau																	x	x		x					
Intra-entreprises												x										x			
Inter-entreprises	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Niveau de décision																									
Stratégique																		x							x
Tactique																		x							x
Opérationnel	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	x
Temps réel																									
Processus																									
Planification	x	x	x		x	x	x				x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Approvisionnement	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x							
Production																						x	x		
Distribution																						x			
Vente																									
Logistique inverse																									
Types de risques																									
Clients	x				x	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x			x	x		x
Fournisseurs	x								x	x		x	x		x		x	x	x	x		x			x
Processus																									
planification et contrôle	x										x			x					x	x					x
Réseau																									
Information		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Source de risques																									
Politiques																									
Naturels																									
Sociaux																									
Environnementaux																									
Economiques																									
Sectoriels																									
Ressources humaines											x				x			x	x						x
Infrastructure (pannes)																									
Technologie produit/système																									
Technologie de l'information										x															
Actes délibérés, vol, sabotage, fraude, espionnage																									
Modification des processus																									
Disponibilité (ressources, information)		x	x	x			x	x		x		x		x	x	x	x	x	x	x					x
Fiabilité (ressources, information)	x	x					x	x	x		x	x	x		x	x	x								x
Sécurité																									
Processus de gestion des risques																									
Identification																									
Evaluation	x	x	x	x	x	x	x	x			x		x	x		x	x								x
Choix et implémentation des actions de gestion des risques		x	x	x			x	x	x	x	x	x		x	x										x
pilotage																									
Stratégie pour la gestion des risques																									
Elimination																									
Conservation (Acceptation,)																									
Réduction							x	x	x					x								x	x		
Transfert																									
exploitation																									
Coopération	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Evitement																									
Flexibilité																									
Analyse des risques individuels	x				x	x								x		x	x								x
Prévention																									
Contrôle (parer l'éventualité)																									

[1] : [Bourland *et al.*, 96] [2] : [Gavirmenin *et al.*, 99] [3] : [Cachon et Fisher, 00] [4] : [Fransoo *et al.*, 01] [5] : [Lee *et al.*, 00] [6] : [Raghunathan, 01] [7] : [Chen *et al.*, 00] [8] : [Moyaux *et al.*, 03] [9] : [Holmström, 98] [10] : [Lapide, 01] [11] : [Lee *et al.*, 97b] [12] : [Barrat et Oliveira, 01] [13] : [Raghunathan, 99] [14] : [Aviv, 01] [15] : [Aviv, 02] [16] : [Zhao *et al.*, 02] [17] : [McCarthy et Golicic, 02] [18] : [Barrat, 04] [19] : [De Snoo et Wazel, 06] [20] : [Ertogral et Wu, 00] [21] : [Barbarosoglu et Özgür, 99] [22] : [Dudek et Stadler, 05] [23] : [Sepulveda et Frein, 06]

Tableau 1.a : Classification des travaux scientifiques focalisant sur la coopération dans la chaîne logistique.

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]	[23]	[24]
Moyens																								
Capacité		x														x								x
Stock	x	x	x										x											x
Multi-sourcing																								
Alternatives pour la distribution et le transport																								
Solutions de remplacement																								
Echange d'informations	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Compréhension de la SC									x			x						x						
Agilité (vitesse, visibilité)									x	x									x					
Culture SCRM																								
Nature de l'approche																								
Analytique		x	x	x	x	x							x	x	x					x	x	x	x	
Simulation					x	x		x																x
empirique									x	x	x						x	x	x					
Nature du modèle																								
Analytique	x		x	x	x	x	x						x	x	x									
Simulation					x	x		x								x				x	x	x	x	x
Descriptif																								
Centralisé														x										
Distribué					x	x	x	x						x	x	x								x
Caractéristique du modèle																								
Déterministe								x												x	x	x	x	x
Stochastique	x	x	x	x	x	x	x						x	x		x								x
Continu																								
Discret	x				x	x	x									x				x	x		x	x
Linéaire		x	x		x	x	x							x	x	x				x	x	x	x	x
Non linéaire	x			x																				
Méthode utilisée																								
APR																								
AMDEC																								
Arbre de défaillance																								
Hazop																								
Delphi																								
Brainstorming																								
Check List													x											
BPR																								
Cause effet																								
Enquête									x	x	x	x								x	x			
Théorie des jeux																								x
Théorie de la décision																								x
Simulation continue																								
Simulation discrète					x	x		x								x								x
Jeux d'entreprises																								
programmation mathématique, heuristique, CSP		x		x	x	x								x						x	x	x	x	
Outil utilisé																								
Logiciel spécifique																x								x
Simulateur																								
Solveur générique																					x	x	x	
Jeux de plateaux																								
Jeux informatiques								x																
Tableur																								
Autres progiciels										x														

[1] : [Bourland *et al.*, 96] [2] : [Gavirmenin *et al.*, 99] [3] : [Cachon et Fisher, 00] [4] : [Fransoo *et al.*, 01] [5] : [Lee *et al.*, 00] [6] : [Raghunathan, 01] [7] : [Chen *et al.*, 00] [8] : [Moyaux *et al.*, 03] [9] : [Holmström, 98] [10] : [Lapide, 01] [11] : [Lee *et al.*, 97b] [12] : [Barrat et Oliveira, 01] [13] : [Raghunathan, 99] [14] : [Aviv, 01] [15] : [Aviv, 02] [16] : [Zhao *et al.*, 02] [17] : [McCarthy et Golicic, 02] [18] : [Barrat, 04] [19] : [De Snoo et Wazel, 06] [20] : [Ertogral et Wu, 00] [21] : [Barbarosoglu et Özgür, 99] [22] : [Dudek et Stadler, 05] [23] : [Sepulveda et Frein, 06]

Tableau 1.b : Classification des travaux scientifiques focalisant sur la coopération dans la chaîne logistique.

Partie 2 : Conclusion

Dans cette partie, nous avons proposé :

- une grille de classification de la littérature scientifique concernant le SCM,
- une grille de classification de la littérature scientifique concernant le SCRM,
- un état de l'art des travaux scientifiques focalisant sur la coopération dans les chaînes logistiques comme une stratégie de mitigation des risques.

L'examen de ces travaux sur la gestion coopérative des risques dans les chaînes logistiques, nous a permis de pointer certaines carences et vides théoriques ainsi que d'importants écarts entre la théorie et les pratiques industrielles.

Par rapport à ces constats, la proposition de recherche que nous faisons a été située pour combler les manques théoriques qui sont en liaison avec :

- la place des processus de planification dans la structuration des coopérations que des acteurs de la chaîne logistique peuvent mettre en place (voir le chapitre 6),
- l'étude de la coopération dans un contexte d'introduction de nouveaux produits (voir le chapitre 6),
- l'évaluation des politiques de coopération en utilisant une approche par les risques (voir le chapitre 7),
- l'utilisation de la théorie de la décision et de la théorie des jeux pour l'analyse des politiques de coopération (voir le chapitre 7).

Partie 3 : Approche proposée

La problématique dans laquelle s'inscrit cette recherche est, comme nous l'avons évoqué dans les chapitres précédents, l'évaluation par simulation des coopérations que des acteurs d'une chaîne logistique des télécoms peuvent instaurer dans un contexte de chaîne impliquant l'introduction pour un même produit de différentes nouvelles générations. Nous considérons plus précisément les coopérations au niveau du Plan Industriel et Commercial (PIC) et les décisions de planification long terme. L'approche que nous proposons pour mettre en place cette évaluation est une « approche par les risques » basée sur une démarche pédagogique visant à rendre les décideurs conscients des bénéfices ou des pertes que peuvent engendrer leurs comportements plus au moins coopératifs.

Nous venons de voir que la problématique de la gestion de la chaîne a été largement étudiée, ainsi que celle de la coopération. Cependant, l'état de l'art que nous avons dressé met en évidence un manque important de travaux qui s'intéressent aux processus collaboratifs de planification. Et, malgré le fait que plusieurs auteurs affirment que la coopération pourrait apporter plus de bénéfices dans des situations de changement tels que l'introduction de nouveaux produits, peu de travaux traitent ce cas. En outre le domaine de l'évaluation de la coopération, et plus particulièrement l'évaluation de la coopération en termes de risque est aujourd'hui à peu près vierge.

L'objectif de notre recherche est de ce fait, d'analyser la coopération des acteurs de la chaîne logistique des télécommunications dans la planification de leurs processus, en se situant dans un contexte de marché incertain et caractérisé par l'introduction fréquente de nouvelles générations de produit. Notre approche consiste, dans un premier temps, à proposer un outil pédagogique de simulation pour l'évaluation de la coopération dans un contexte dynamique et incertain. Dans un second temps, nous proposons une méthodologie d'aide à la coopération permettant au décideur d'avoir un moyen qui structure et qui oriente ses choix au vu des risques qu'il court.

Dans le chapitre 6, nous présentons d'abord l'outil de simulation ainsi que l'ensemble des modèles sur lesquels il s'appuie. Nous décrivons ensuite dans le chapitre 7 la méthodologie d'aide à la coopération proposée.

Chapitre 6. Un outil de simulation pour l'évaluation des risques de la coopération

RESUME

Dans ce chapitre, nous présentons une description de l'outil de simulation proposé. Cette description portera tout d'abord sur la technique de modélisation retenue, à savoir la simulation à événements discrets. Par ailleurs, nous présentons les modèles de comportements d'acteurs de la chaîne logistique incluant leurs comportements de planification, d'interprétation et de transmissions des informations à destination ou en provenance de leurs partenaires dans la chaîne. En outre, nous présentons la façon dont nous modélisons les comportements du marché dans sa globalité ainsi que lors de l'introduction de nouveaux produits. C'est ce qui nous permettra ensuite de présenter les modèles de coopération caractérisant les interactions entre les acteurs de la chaîne logistique, et enfin de présenter les protocoles régissant l'exécution de la simulation.

6.1 Introduction

La proposition de recherche que nous apportons (voir Chapitre 2) est centrée sur une démarche qui permet d'évaluer les risques liés aux comportements de planification plus ou moins coopératifs des acteurs de la chaîne logistique, à l'incertitude qui règne sur le marché auquel doit faire face cette chaîne et enfin à la fiabilité et à la disponibilité des informations échangées (prévisions). Cette démarche s'appuie sur un outil de simulation qui doit permettre l'implémentation des différents modèles pour la planification des activités de chaque acteur (capacités, production, approvisionnement) et la prise en compte des interactions entre les acteurs de la chaîne logistique.

Dans ce chapitre, nous justifions dans un premier temps le choix de la simulation à événements discrets comme support de l'outil d'aide à la coopération proposé (sections 6.2 et 6.3). Ensuite, nous consacrerons les sections 6.4 et 6.5 respectivement à la présentation des modèles de processus de planification chez un acteur de la chaîne logistique, et à la description des différents modèles de comportements des décideurs (comportements de décision de capacité, comportements de transmission, comportements d'interprétation). Dans la section 6.7, notre attention sera portée sur la modélisation du comportement du marché. C'est ce qui nous permettra de caractériser chacun des acteurs de la chaîne logistique, et de présenter dans la section 6.8 les différents modèles que nous proposons pour caractériser les interactions entre les acteurs ainsi que les protocoles gouvernant l'exécution de la simulation.

6.2 Choix de la simulation à événements discrets

La simulation discrète, par son principe de fonctionnement, est capable de décrire des systèmes changeant à des instants particuliers. La simulation continue peut quant à elle traduire facilement le fonctionnement continu des industries de process. Ceci n'implique pas qu'un système discret est nécessairement à utiliser pour modéliser un système dont le fonctionnement est discret et vice versa [Law et Kelton, 91]. Les travaux de [Bruniaux, 00] utilisant la simulation continue pour l'analyse des comportements dynamiques des réseaux de sites industriels dans le secteur automobile est une illustration de cette idée.

Le choix entre la simulation continue et discrète est d'autant plus difficile qu'il existe des zones de recouvrement entre les deux types de simulation. Cependant, ce choix dépend avant tout de l'objectif de l'étude [Sweetser, 99]. Il nous semble donc propice de rappeler tout d'abord que notre objectif est de simuler et d'évaluer des politiques de coopération que des acteurs de la chaîne logistique peuvent avoir lors de la planification de leurs activités (par politique de coopération, nous entendons les informations qui sont échangées, la manière dont elles sont échangées, ainsi que les stratégies caractérisant les processus de planification de chacun des acteurs (planification des stocks, planification des capacités, planification des productions et planification des approvisionnements). Au regard de la problématique retenue, la voie de la simulation discrète sera privilégiée dans la suite de ce mémoire.

6.3 Modèle de simulation choisi

6.3.1 Eléments clés dans un modèle de simulation à événements discrets

Selon [Ball, 1996], les éléments clés dans un modèle de simulation à événements discrets sont les suivants :

- les entités qui représentent les éléments constituant le système qu'on cherche à décrire. Par exemple dans un système de production, les entités peuvent être les machines ou les produits,

- les relations qui relient les entités entre-elles. Par exemple un produit est fabriqué par une machine donnée,
- les logiques de changements d'états qui définissent les règles opératoires qui vont faire évoluer l'état du système et rendre compte de son comportement dynamique. Dans ces logiques, on retrouve :
 - les différents changements d'états à réaliser lors de l'occurrence d'un événement,
 - et règles de génération d'événements futurs à déclencher lors de l'occurrence d'un événement,
- les méthodes d'avance de temps. Selon [Ball, 1996], deux méthodes d'avance de temps sont possibles :
 - une méthode d'avance par incrément fixe de temps : à chaque incrémentation, on calcule le nouvel état du système et on détermine si l'occurrence d'un événement a eu lieu,
 - ou une méthode d'avance de temps par les événements : dans ce cas, seuls les instants d'occurrence d'événements sont pris en considération et l'incrémentation du temps se fait en examinant la date du prochain événement. Les événements sont alors ordonnés dans un échéancier mais cet ordre peut être remis en cause à chaque apparition et traitement d'un événement.

6.3.2 Notre choix

L'objectif de notre démarche est :

- de représenter des processus de planification qui sont périodiques,
- de simuler ces processus de planification. Pour les flux physiques, nous supposons que les couches de planification à très court terme sont capables de décider des quantités à fabriquer ou à livrer en adéquation avec les capacités décidées et les quantités de composants disponibles. De ce fait, les ordres de fabrication lancés sont réalisés dans les délais promis. Nous pourrions alors faire un bilan des flux physiques (réception, stockage, production et livraison) sur une période de temps élémentaire.

De ce fait, nous avons retenue une méthode avance de temps par incréments.

Lors de l'implémentation du modèle de simulation, la principale difficulté réside dans le choix de la gestion du temps associée à l'exécution de la simulation. La section suivante donne les détails de la gestion de temps que nous proposons.

• Simulation distribuée

Concernant la gestion du temps associée à l'exécution de la simulation, deux choix sont possibles dans le cadre de nos travaux :

- une gestion distribuée du temps, chaque acteur ayant son temps propre,
- une gestion centralisée du temps, qui permet de garantir la cohérence des informations, mais qui va à l'encontre d'une approche vraiment distribuée.

Nous proposons, en optant pour une résolution à incréments temporels, un principe simple de gestion du temps s'inspirant de [Telle, 03] (voir Figure 1) dont l'aspect centralisé permet de restituer un modèle d'exécution distribué : l'emploi d'un échéancier garant de la cohérence de l'évolution du système global.

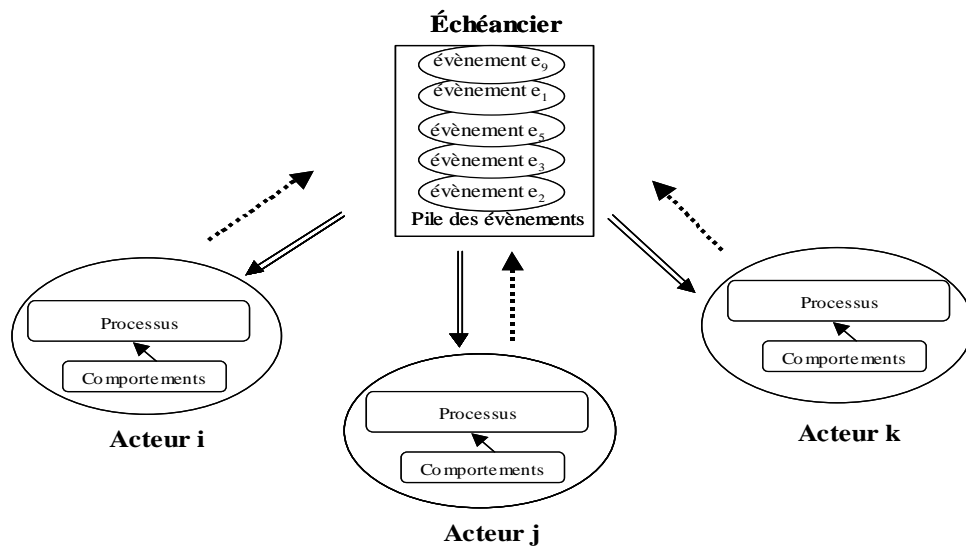


Figure 1 : Echéancier et acteurs au sein du modèle d'exécution (inspirée de [Telle, 03]).

Afin de décrire le modèle d'exécution présenté dans la figure ci-dessus, nous détaillons dans ce qui suit les types d'événements pris en compte, la représentation que nous faisons d'un acteur, de ses processus de planification et de ses comportements et la façon dont la pile d'événement est trié au niveau de l'échéancier.

▪ Les événements

Quatre types d'événements sont possibles :

- événement « Déclenchement d'un processus de planification » : il déclenche chez un acteur donné un processus de planification. L'hypothèse faite ici est qu'un processus de planification utilise les informations d'état disponibles en début de période. La fin d'exécution d'un processus de planification renseigne l'échéancier sur la prochaine date d'exécution du même type de processus.
- événement « Envoi prévisions » : il déclenche chez l'acteur destinataire (fournisseur) la mise à jour des prévisions dont il dispose.
- événement « Passage commande » : il déclenche chez l'acteur destinataire (fournisseur) la mise à jour des besoins réels de son client (acteur expéditeur).
- événement « Changement de période » : il déclenche chez tous les acteurs l'incrémentation de la période et la mise à jour des informations d'état en début de période : stocks, ruptures, attendus, encours de production, etc.

▪ Les acteurs

Dans notre représentation, nous considérons qu'un acteur de la chaîne logistique :

- connaît son état de début de chaque période de planification,
- connaît des informations sur son historique,
- connaît des informations disponibles sur ses fournisseurs, sur ses clients et sur le marché,
- gère une ressource principale et ses stocks amont (stocks de matières premières (composants) et aval (stocks de produits finis),

- sait réaliser différents processus de planification.

Malgré le fait qu'on s'intéresse au processus S&OP, nous considérons aussi, comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre 2, les autres processus de planification. En effet, il est nécessaire de prendre en compte les différentes dynamiques qui peuvent influencer le S&OP et qui sont issues des autres niveaux de décision. Pour ce faire, le MTP, le STP et le L&IM seront modélisés d'une façon agrégée.

En guise de rappel, considérons ci-dessous une description des différents processus de planification pris en compte (voir section 6.5 pour la présentation des modèles qui supportent l'exécution de ces processus) :

✓ ***Sales & Operation Planning (S&OP) ou « Plan Industriel et Commercial » (PIC)***

Dans le cadre de ce processus, l'acteur définit d'abord sa prévision de vente :

- soit en interne : on parle dans ce cas d'un modèle de « prévisions non collaboratives »,
- soit en interprétant un plan d'approvisionnement transmis par les acteurs en aval de la chaîne : on parle dans ce cas d'un modèle « prévisions collaboratives ».

Puis l'acteur estime la charge et les stocks sur chaque période du Plan Industriel et Commercial à capacité infinie.

Il en résulte une capacité proposée qui peut être modifiée par le décideur. Celui-ci peut ainsi anticiper une augmentation de capacité en prenant en compte le délai nécessaire pour l'acquisition et la mise en place de nouvelles capacités, et n'accepter par exemple qu'une proportion de la variation de capacité par rapport à celle validée au S&OP précédent. Sous contrainte de cette capacité, les lancements en production, les stocks de produits finis ou de matière première et les lancements d'approvisionnements peuvent être planifiés.

✓ ***Medium Term Planning (MTP) ou « Planification à moyen terme »***

Dans ce processus qui est similaire au processus S&OP mais qui s'exécute avec une fréquence plus élevée, l'acteur refait la planification à capacité finie en tenant compte des mises à jour des stocks et de la capacité fixée par le S&OP.

✓ ***Short Term Planning (STP) ou « Planification à court terme »***

Dans ce processus, l'acteur va déterminer ce qu'il souhaiterait faire : les lancements possibles de son point de vue et les commandes à adresser aux fournisseurs en fonction de ses contraintes propres (problèmes de panne ou de défaut de production). A ce niveau, on tient compte des différentes stratégies de gestion de flux : flux poussé/flux tiré.

✓ ***Launching and Inventory Management (L&IM) ou « Lancement et Gestion de stock »***

Comme évoqué dans la section 6.3.2, le processus L&IM représentant la couche de planification à très court terme a pour fonction de garantir que le résultat de la planification est effectivement applicable sur le système physique. A ce niveau, l'acteur détermine donc les lancements effectifs en fonction de la disponibilité des composants, de la variabilité du système de production qui empêche de mettre à disposition toutes les quantités lancées, arbitre les choix de livraisons en cas de rupture, et calcule les stocks ou les ruptures après livraison. Enfin, l'acteur met à jour les réceptions programmées de produits finis et de composants. Pour les composants, on considère que les manquants sont programmés sur la période suivante.

✓ ***Les comportements des décideurs***

Dans les modèles de planification supportant l'exécution des différents processus décrits ci-dessus chez les acteurs, nous avons identifié deux sous processus traduisant les comportements des décideurs qui sont liés à :

- l'interprétation du comportement du client (voir la section 6.6.1 pour plus de détails),

- la transmission des informations au fournisseur (voir la section 6.6.2 pour plus de détails).
- la décision de capacité (voir la section 6.6.3 pour plus de détails).

▪ **Le Tri de la pile d'événements**

La dynamique d'exécution dans le temps des processus de planification décrits dans la section précédente, leurs ordres d'exécution chez chaque acteur, et la nature des protocoles d'interaction (modèles d'interaction) que les acteurs de la chaîne logistique peuvent mettre en place (voir section 6.6 pour plus de détails), génèrent un ensemble de contraintes au niveau du tri de la pile d'événements. Pour trier la pile en tenant compte de ces contraintes, nous nous appuyons sur une liste de caractéristiques portée par chaque événement :

- le rang de l'acteur dans la chaîne logistique : elle est prise en compte pour prioriser les interactions qui peuvent avoir lieu entre les acteurs,
- la date prévue pour l'exécution de l'événement : elle est prise en compte pour palier aux contraintes provenant du cadencement des processus de planification dans le temps,
- l'indice de priorité de l'événement chez un acteur : ce critère est pris en compte vue les contraintes provenant de l'hierarchisation des processus de planification chez un acteur.

Ces règles de tri permettent de pallier aux aléas qui peuvent affecter les événements (par exemple, prévisions non envoyées à temps) et d'assurer la gestion de la pile au niveau de l'échéancier.

Pour présenter les modèles de planification, nous introduisons dans un premier temps les principes sur lesquels se basent ces modèles. La formulation des modèles sera ensuite présentée dans la section 6.5.

6.4 Principes de modélisation

6.4.1 Principes généraux

Suite à la distinction des quatre processus de planification chez un acteur et vue leurs rôles respectifs rappelé dans la section 6.3.2, la représentation de ces différents processus de planification peut être résumé dans la figure suivante :

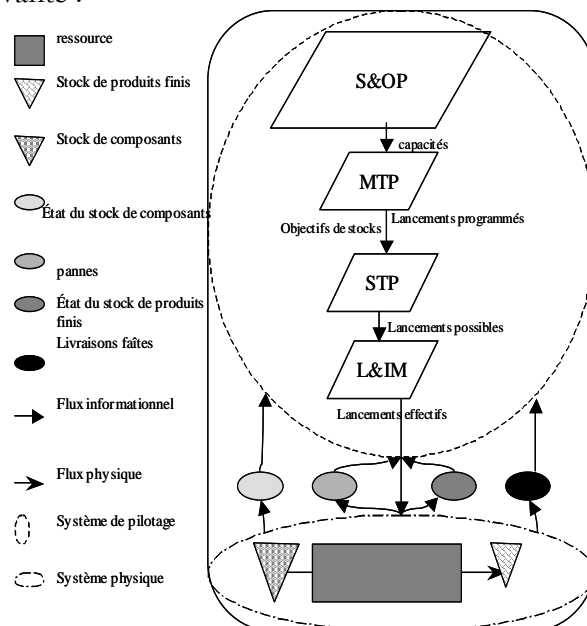


Figure 2 : Représentation des processus de planification chez un acteur de la chaîne logistique.

Comme on peut le constater dans la représentation ci-dessus, la synchronisation entre le système physique (ressource et stocks) et le système de pilotage (processus de planification) est faite via une communication régulière des états de stocks de composants, des états de stocks de produits finis, des livraisons faites et des pannes.

Remarque : dans la représentation donnée par la figure ci-dessus, nous avons omis pour des raisons de simplification et de lisibilité, le flux informationnel provenant de l'environnement externe de l'acteur.

Chacun des processus décrits ci-dessus débouche sur l'établissement d'un ensemble de plans dont les caractéristiques sont les suivantes :

- un horizon glissant H_p ($p \in \{S\&OP, MTP\}$),
- une fréquence de rafraîchissement n_p ($p \in \{S\&OP, MTP\}$) (nombre de périodes nécessaire entre deux mises à jour),
- une granularité g_p ($p \in \{S\&OP, MTP\}$) spécifiant chez l'acteur l'unité temporelle (exprimée en nombre de périodes élémentaires de simulation), le produit ou les composants sur lesquels porte la décision.

Par construction :

- $H_{STP} = H_{L\&IM} = 1$,
- $H_{STP} = H_{L\&IM} = 1$,
- $H_{STP} = H_{L\&IM} = 1$,

Car le STP et le L&IM traduisent les décisions à court terme.

Les plans établis dans le cadre des différents processus s'enchaînent en respectant le schéma suivant (voir Figure 4) : à un instant θ , le processus S&OP s'exécute, ensuite c'est le processus MTP qui s'exécute et enfin les processus STP et LI&M s'exécutent à leur tour.

Tant que $(\theta + t < k * n_{MTP}$ et $\theta + t < n_{S\&OP})$ les seuls processus qui s'exécutent sont les processus STP et L&IM. Arrivant aux dates $\theta + k * n_{MTP}$ (k est un entier $\in [1..(n_{S\&OP} - 1) / n_{MTP}]$) un nouveau MTP s'exécute. Lorsqu'on arrive, par contre, à la date $\theta + n_{S\&OP}$ un nouveau S&OP s'exécute et le cycle d'exécution des différents processus reprend en adoptant la même logique.

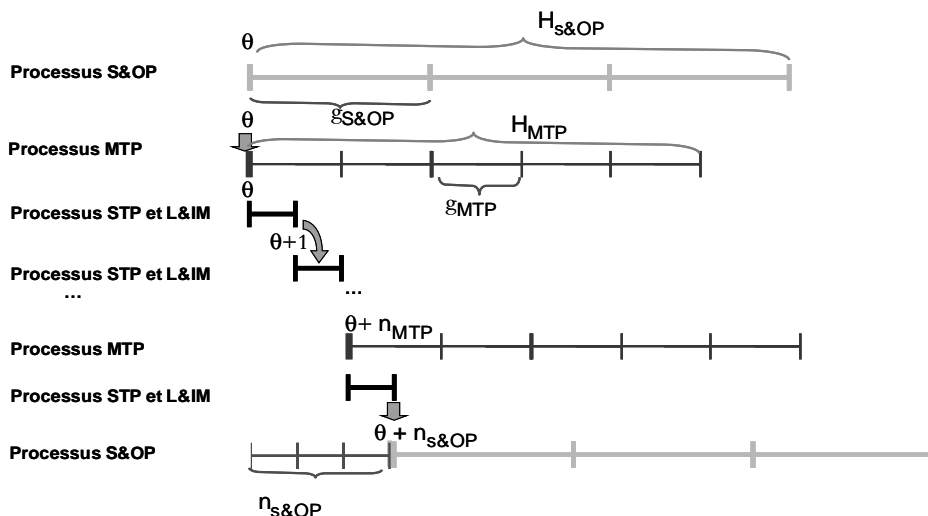


Figure 4 : Dynamique d'exécution des processus de planification.

Enfin, pour le calcul des différents plans résultants nous faisons l'hypothèse que :

- la capacité est fixée dans le processus S&OP qui réalise un lissage de charge sur la ressource principale plus au moins important selon la stratégie de l'acteur,
- les processus MTP et STP font des planification sous contrainte de cette capacité,
- pour les matières premières (composants) la planification est faite à capacité infinie : on ne tient pas compte de la contrainte de capacité chez le fournisseur.

6.4.2 Stratégies de gestion des flux : flux poussé (Push) et flux tiré (Pull)

La différenciation que nous faisons entre ces deux stratégies de gestion de flux est basée sur le principe suivant :

- dans une stratégie flux poussé (Push), la planification moyen terme (MTP) prévoit les quantités à produire de produits finis (PF) ou à approvisionner de matières premières (MP) en tenant compte des problématiques de capacité. Si les commandes réellement reçues ne correspondent pas aux prévisions utilisées au niveau du MTP, les quantités à produire ou à approvisionner ne changent pas :

$$\begin{aligned} \text{Stock final (PF)} &= \text{Stock initial (PF)} + \text{Production (PF)} - \text{Demande (PF)} \\ \text{Stock final (MP)} &= \text{Stock initial (MP)} + \text{Commande (MP)} - \text{Production (PF)} \end{aligned}$$

- dans une stratégie flux tiré (Tiré), la planification moyen terme (MTP) définit les niveaux de stocks souhaités. Les lancements en production ou les commandes de matières premières s'adaptent à la consommation pour maintenir le niveau de stock au niveau souhaité par la planification moyen terme (MTP) :

$$\begin{aligned} \text{Production (PF)} &= \text{Stock final (PF)} - \text{Stock initial (PF)} + \text{Demande (PF)} \\ \text{Commande (MP)} &= \text{Stock final (MP)} - \text{Stock initial (MP)} + \text{Production (PF)} \end{aligned}$$

Si des limites de capacités sont atteintes, on considère que la rupture est uniformément répartie sur les produits du fait d'une logique de réapprovisionnement plus régulière des stocks en flux tiré.

En considérant ce principe de différenciation et en adoptant la représentation décrite ci-dessus des processus de planification chez l'acteur, nous pouvons représenter ces deux stratégies de gestion de flux, que ce soit pour la production ou pour l'approvisionnement [Mahmoudi *et al.*, 06c]. Les différentes combinaisons possibles de ces stratégies sont résumées d'abord dans le tableau suivant, puis illustrées dans les Figures 5-8. La section 6.3.2.3 montre l'implication en termes de modélisation de la prise en compte des stratégies de gestion de flux.

	Production	Poussé	Tiré
Approvisionnement			
Poussé		Poussé-Poussé	Poussé-Tiré
Tiré		Tiré-Poussé	Tiré-Tiré

Tableau 1 : Les différentes stratégies de gestion de flux pour la production et l'approvisionnement.

Dans le cas où la production et l'approvisionnement sont gérés en flux poussé (stratégie Poussé-Poussé), l'approvisionnement est fait sur la base des plans calculés au niveau MTP et les lancements possibles respectent les productions planifiées à ce même niveau (voir Figure 4).

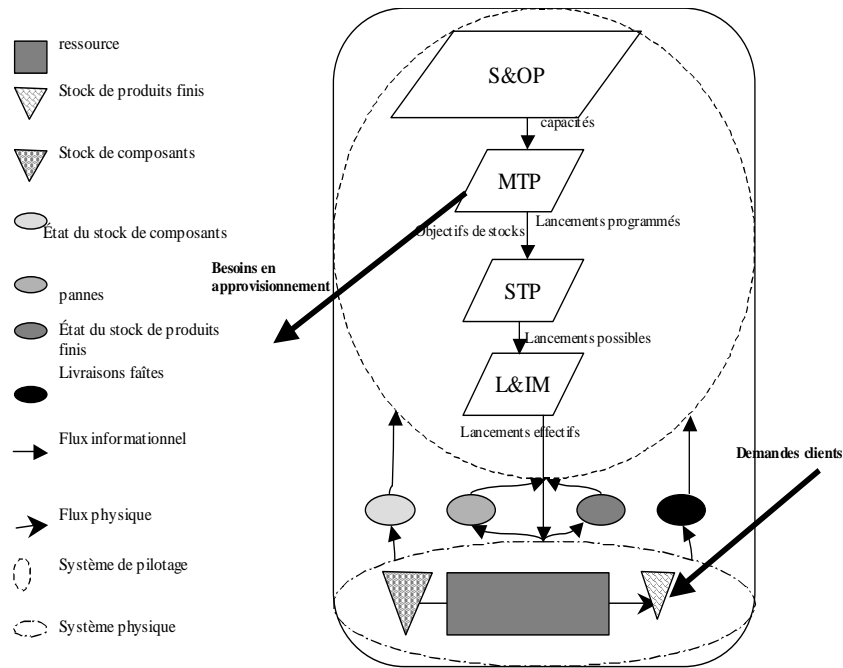


Figure 4 : Stratégie Poussé-Poussé.

Dans le cas où l'approvisionnement est géré en flux poussé et la production en flux tiré (stratégie Poussé-Tiré), l'approvisionnement est fait sur la base des plans calculés au niveau du MTP. Quant aux lancements possibles de production, ils dépendent de la demande du client, de l'objectif de stock fixé au niveau MTP et enfin des capacités et des stocks disponibles (voir Figure 5).

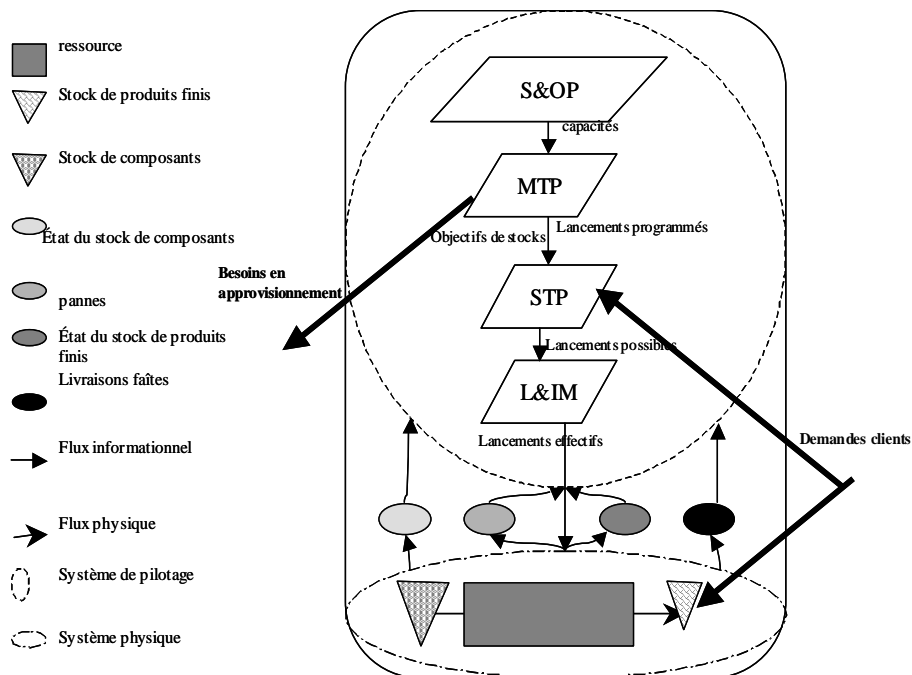


Figure 5 : Stratégie Poussé-Tiré.

Dans le cas où l'approvisionnement est géré en flux tiré et la production en flux poussé (stratégie Tiré-Poussé), l'approvisionnement dépend des lancements possibles et vise à reconstituer le stock de composants au niveau fixé par le MTP. Quant aux lancements possibles de production, ils ne dépendent que des productions calculées au niveau du MTP (voir Figure 6).

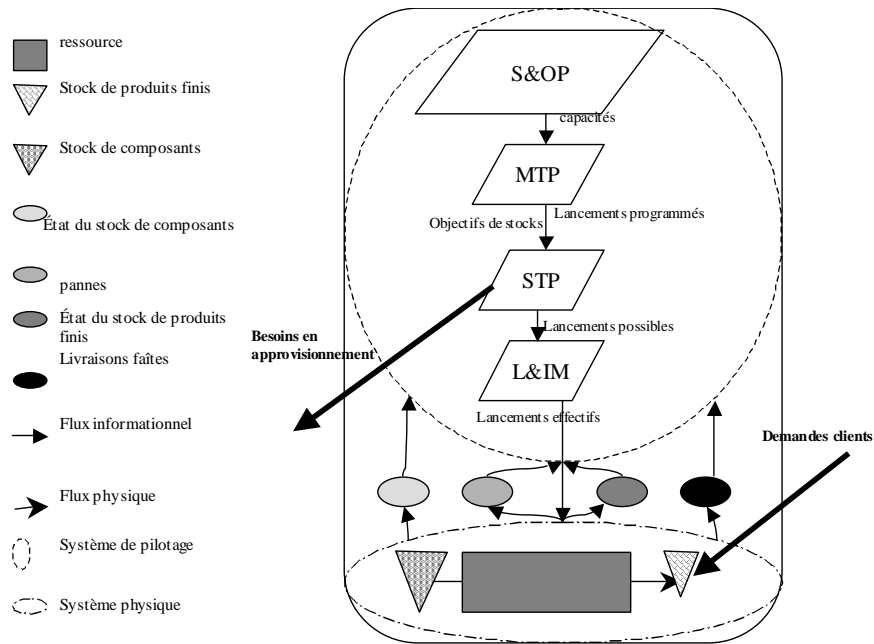


Figure 6 : Stratégie Tiré-Poussé.

Enfin, dans le cas où l'approvisionnement et la production sont en flux tiré (stratégie Tiré-Tiré), l'approvisionnement est fait en considérant les lancements possibles et en cherchant à reconstituer les stocks de composants jusqu'au niveau fixé par le MTP. Quant aux lancements possibles de production, ils dépendent des demandes reçues, de l'objectif de stock fixé par le MTP et des capacités et des stocks disponibles (voir Figure 7).

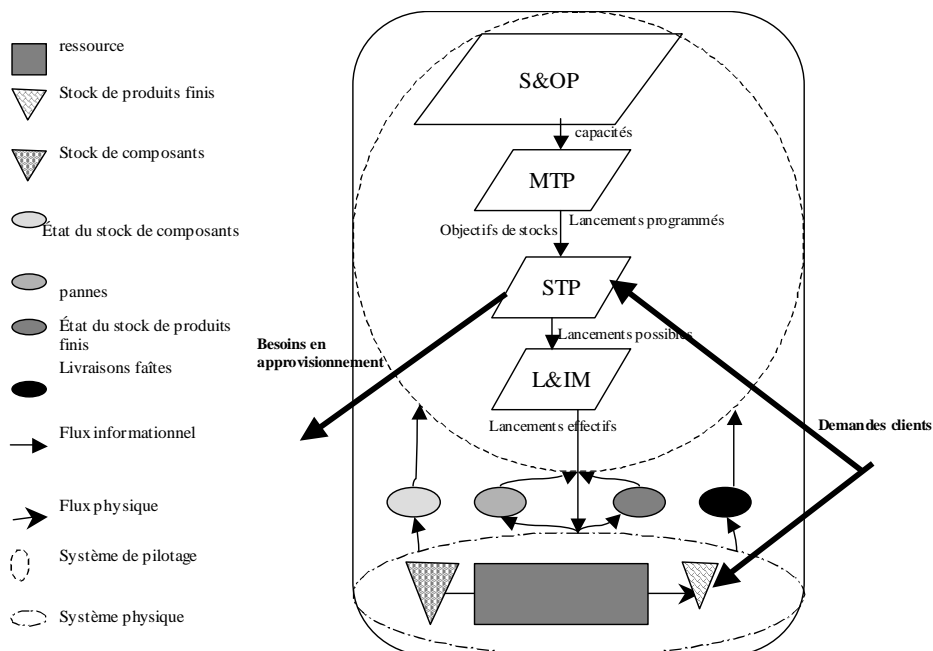


Figure 7 : Stratégie Tiré-Tiré.

6.5 Modèles des processus de planification

Afin de présenter ces différents modèles auxquels font appel les différents processus de planification décrit précédemment, nous introduisons préalablement les notations utilisées. Les modèles seront ensuite présentés.

6.5.1 Les notations utilisées

- opérateurs de calcul :

$\lceil \cdot \rceil$: opérateur d'arrondi à l'entier supérieur.

- indices :

A : un acteur de la chaîne logistique.

i (resp. j) : produit fini (resp. composant) de l'acteur A .

C : un acteur client de l'acteur A .

$Fr(j)$: acteur fournisseur du composant j .

- ensembles :

J_i : liste de composants nécessaires pour la production du produit fini i .

I_j : liste de produits finis utilisant le composant j .

$PF(A)$: ensemble des produits finis chez l'acteur A .

$MP(A)$: ensemble de matières premières (composants) chez l'acteur A .

$E_D^{C,A}$ désigne l'ensemble des informations échangées entre l'acteur A et son client C .

- informations caractérisant un acteur A de la chaîne logistique :

R_A : incrément d'augmentation de capacité chez l'acteur A .

L_A : délai avant disponibilité d'une augmentation de capacité.

α_A : pourcentage d'acceptation d'une variation de capacité.

cs_i^A (resp. cs_j^A) : nombre de semaines de couverture de stock pour le produit i (resp. composant j) chez l'acteur A (exprimé en semaines de ventes) (resp. exprimé en semaines de production).

- informations caractérisant un processus de planification chez un acteur de la chaîne logistique :

p : processus ($p \in \{S\&OP, MTP\}$).

θ : date à laquelle un plan est effectué.

H_p : horizon de planification, $p \in \{S\&OP, MTP\}$.

n_p : période de mise à jour d'un plan $p \in \{S\&OP, MTP\}$.

s^p : nombre de périodes de l'horizon de lissage de la production $p \in \{S\&OP\}$.

- informations caractérisant un produit fini i (resp. composant j) chez un acteur de la chaîne logistique :

$\alpha_{i,j}$: lien de nomenclature entre le produit fini i et son composant j .

l_i (resp. l_j) : délai de production (resp. d'approvisionnement) d'un produit fini i (resp. d'un composant j).

- paramètres :

$D_{i,\theta,c}^A$: commandes fermes de produit i reçues par l'acteur A à la date θ de la part du client c .

$RP_{i,t}^{\theta,A}$ (resp. $RP_{j,t}^{\theta,A}$) : réception programmée du produit i (resp. composant j) disponible à la date θ pour l'acteur A .

$\bar{I}_{i,\theta}^A$: position de stock réelle du produit i pour l'acteur A à la date θ .

$I_{i,\theta,c}^{-A}$: rupture de stock de produit i à la date θ pour le client c .

- variables de planification :

$PV_{i,t}^{\theta,A,p}$: prévision de vente de l'acteur A pour le produit i faite à la date θ pour le processus $p \in \{S\&OP ; MTP\}$.

$I_{i,t}^{\theta,A,p}$ (resp. $I_{i,t}^{\theta,A,p}$) : stock planifié à capacité infinie (resp. finie) à la date θ d'article i par l'acteur A $p \in \{S\&OP, MTP\}$.

$CS_{i,t}^{\theta,A,p}$: couverture de stock du produit i (resp. composant j) calculé à la date θ pour la période t par l'acteur A pour le processus $p \in \{S\&OP ; MTP\}$.

$Capa_t^{\theta,A}$: capacité planifiée à la date θ pour la période t par l'acteur A (exprimée en nombre de produits finis).

$Capa_{i,t}^{\theta,A}$: partie de la capacité $Capa_t^{\theta,A}$ réservée au produit i.

$M_{i,t}^{\theta,A,p}$: manque ou surplus de production par rapport au besoin à capacité infinie du fait de la capacité affectée au produit à la date t, $p \in \{S\&OP, MTP\}$.

$X_{i,t}^{\theta,A,p}$ (resp. $X_{i,t}^{\theta,A,p}$) : production planifiée à capacité infinie (resp. finie) à la date θ pour le produit i par l'acteur A. $p \in \{S\&OP, MTP\}$.

$x_t^{\theta,A,p}$: production lissée planifiée à la date θ par l'acteur A.

$B_{j,t}^{\theta,A,p}$: besoin en composant j à la date θ pour la période t chez l'acteur A $p \in \{S\&OP, MTP, STP\}$.

$y_{i,t}^{\theta,A,p}$: besoin en approvisionnement planifié à la date θ pour le produit i par l'acteur A. (resp. $I_{i,t}^{\theta,A,p}$) : stock planifié à capacité infinie (resp. finie) à la date θ d'article i par l'acteur A, $p \in \{S\&OP, MTP\}$.

$XP_{i,\theta}^A$ (resp. $\bar{X}_{i,\theta}^A$) : lancement en production possible (resp. réelle) à la date θ du produit i chez l'acteur A.

$DLT_{j,\theta,A}^{Fr(j)}$: commande passée au fournisseur du composant j ($Fr(j)$) à la date θ par l'acteur A.

$DLT_{i,\theta}^A$: total des livraisons du produit i à la date θ par l'acteur A.

$DL_{i,\theta,c}^A$: livraison d'article i à la date θ par l'acteur A au client c.

6.5.2 Modèle du processus S&OP

Le rôle principal de ce processus est de définir d'abord les nouvelles capacités à mettre en place. Ceci passe respectivement par la définition :

- des prévisions de ventes,
- des couvertures de stocks,
- des besoins en capacités sans lissage,
- des besoins en capacités lissés,

A ce niveau, c'est-à-dire suite à la définition des besoins lissés, nous avons identifié un comportement particulier selon lequel un décideur peut ne pas allouer tous les besoins en capacité. Ce comportement est détaillé dans la section 6.5.3.

Une fois que la capacité totale définie, on procède ensuite respectivement à :

- une affectation de capacité par produit,

- une planification des stocks de produits finis et desancements en production,
- une planification des stocks et des approvisionnements en composants.

La figure suivante résume les différents sous processus qui interviennent au niveau de ce processus, c'est-à-dire au niveau du S&OP.

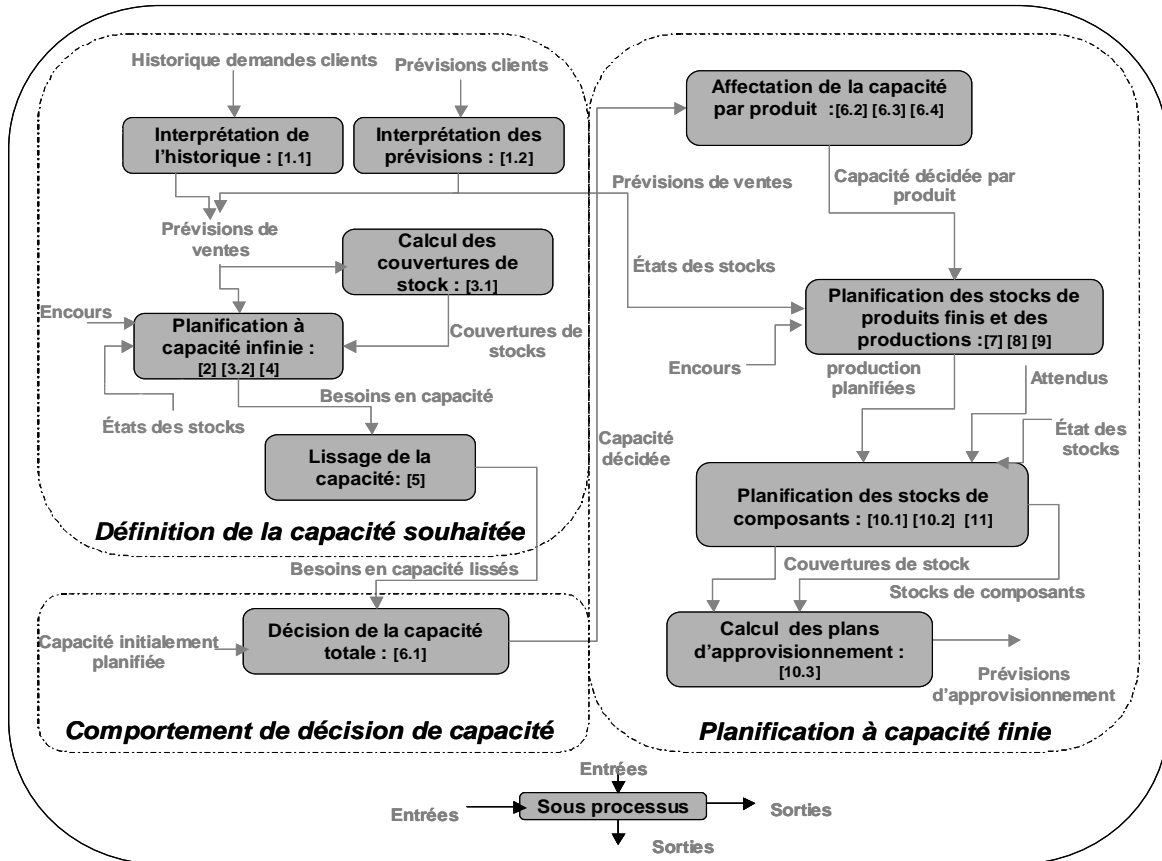


Figure 8 : Description des différentes sous processus intervenant au niveau du S&OP.

Toutes les n_{SOP} périodes, l'acteur A définit à la date θ ses prévisions de vente $PV_{i,t}^{\theta,A,S\&OP}$:

- soit en interne (la fonction $F_1(\cdot)$ de l'équation ([1.1]) fait alors référence à un modèle de prévision de vente endogène) (voir plus loin dans la section 6.6.1 le modèle d'interprétation du comportement du client pour plus de détails).
- soit en interprétant un plan d'approvisionnement $Y_{i,t}^{\theta,c}$ transmis par ses clients c en aval de la chaîne (équation [1.2]) (voir plus loin dans la section 6.6.2 le modèle d'interprétation du comportement du client pour plus de détails),

L'acteur estime alors les couvertures de stocks $C_{i,t}^{\theta,A,p}$, la production à effectuer $x_{i,t}^{\theta,A,p}$ et les stocks $i_{i,t}^{\theta,A,p}$ sur chaque période t du Plan Industriel et Commercial à capacité infinie (équations [2], [3.1], [3.2], [4]).

L'estimation de la production $x_{i,t}^{\theta,A,p}$ peut être suivie par un lissage conduisant à l'obtention des quantités $X_t^{\theta,A,p}$ (équation [5]) en vue d'une proposition de capacité. Pour faire ce lissage, plusieurs possibilités (α_l^{θ}) s'offrent à l'acteur. Nous proposons à titre indicatif un algorithme de lissage que nous avons utilisé :

Lissage de la production planifiée

Pour t allant de 0 à $s^{S\&OP}$ faire :

- $X_t^{\theta,A,p} = 0$;
- Pour l allant de 0 à $s^{S\&OP}$ faire :

calculer la production lissée planifiée à la date t ($X_t^{\theta,A,p}$) :

- si $(t+l) < s^{S\&OP}$ alors :

$$X_t^{\theta,A,p} = X_t^{\theta,A,p} + \sum_i X_{i,t+l}^{\theta,A,p} / (t+l+1)$$

- sinon

$$X_t^{\theta,A,p} = X_t^{\theta,A,p} + \sum_i X_{i,t+l}^{\theta,A,p} / s^{S\&OP}$$

Fin Pour
Fin Pour

Le principe de cet algorithme de lissage présenté dans l'encadré ci-dessus repose sur une anticipation du besoin.

En se basant sur ces estimations de productions lissées ainsi que sur les capacités actuelles disponibles $Capa_t^{\theta-nSOP,A}$, de nouvelles capacités peuvent être décidées par le décideur $Capa_t^{\theta,A}$ (équation [6.1]).

Plusieurs comportements ($G_2(l)$) sont donc possibles, nous les détaillerons dans la section 6.6.3.

Sous contrainte de cette capacité $Capa_t^{\theta,A}$, la capacité affectée à chaque produit fini i $Capa_{i,t}^{\theta,A}$ (équations [6.2] jusqu'à [6.4]), les quantités à produire $x_{i,t}^{\theta,A,p}$ (équation [8]), les stocks $r_{i,t}^{\theta,A,p}$ du produit fini i (équation [9]) ou les stocks $r_{j,t}^{\theta,A,p}$ du composant j (équation [11]) et les besoins d'approvisionnements $y_{i,t}^{\theta,A,p}$ (équations [10.1] jusqu'à [10.3]) peuvent être planifiés.

$$PV_{i,t}^{\theta,A,p} = F_1 \left(\left\{ \sum_c D_{i,\tau,c}^A \mid t_0 \leq \tau < \theta \right\} \right) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [1.1]$$

$$PV_{i,t}^{\theta,A,p} = F_2 \left(\sum_c Y_{i,t}^{\theta,c,p} \right) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p + Cs^A + li + 1] \quad [1.2]$$

$$I_{i,\theta}^{\theta,A,p} = \bar{I}_{i,\theta}^A \quad [2]$$

$$Cs_{i,t}^{\theta,A,p} = \sum_{k=0}^{Cs_i^A} PV_{i,t+k+1}^{\theta,A,p} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p + l_i] \quad [3.1]$$

$$X_{i,t}^{\theta,A,p} = PV_{i,t+l_i}^{\theta,A,p} - RP_{i,t+l_i}^{\theta,A} - I_{i,t+l_i}^{\theta,A,p} + Cs_{i,t+l_i}^{\theta,A,p} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [3.2]$$

$$I_{i,t+1}^{\theta,A,p} = I_{i,t}^{\theta,A,p} + X_{i,t-l_i}^{\theta,A,p} - PV_{i,t}^{\theta,A,p} + RP_{i,t}^{\theta,A} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p + l_i] \quad [4]$$

$$X_t^{\theta,A,p} = G_1 \left(\sum_i X_{i,t}^{\theta,A,p} \right) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [5]$$

$$Capa_t^{\theta, A} = G_2(Capa_t^{\theta-n, SOP, A}, X_t, R_A, L_A) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [6.1]$$

$$Capa_{i,t}^{\theta, A} = Capa_t^{\theta, A} \left((X_{i,t}^{\theta, A, p} + M_{i,t}^{\theta, A, p}) / (\sum_i X_{i,t}^{\theta, A, p} + M_{i,t}^{\theta, A, p}) \right) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [6.2]$$

$$M_{i,\theta}^{\theta, A, p} = 0 \quad [6.3]$$

$$M_{i,t}^{\theta, A, p} = M_{i,t-1}^{\theta, A, p} - Capa_{i,t}^{\theta, A} + X_{i,t}^{\theta, A, p} \text{ pour } t \in [\theta+1, \theta + H_p] \quad [6.4]$$

$$I_{k,\theta}^{\theta, A, p} = \bar{I}_{k,\theta}^A \text{ pour } k \in \{PF(A) \cup MP(A)\} \quad [7]$$

$$X_{i,t}^{\theta, A, p} = Capa_{i,t}^{\theta, A} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [8]$$

$$I_{i,t+1}^{\theta, A, p} = I_{i,t}^{\theta, A, p} + X_{i,t-l_i}^{\theta, A, p} - PV_{i,t}^{\theta, A, p} + RP_{i,t}^{\theta, A, p} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p + l_i] \quad [9]$$

$$B_{j,t}^{\theta, A, p} = \sum_{i \in I_j} X_{i,t}^{\theta, A, p} * \alpha_{i,j} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p - \max(l_i)] \quad [10.1]$$

$$Cs_{j,t}^{\theta, A, p} = \sum_{k=0}^{Cs_j^A} B_{j,t+k+1}^{\theta, A, p} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p + l_j] \quad [10.2]$$

$$Y_{j,t}^{\theta, A, p} = \alpha_{i,j} X_{i,t+l_j}^{\theta, A, p} - RP_{j,t+l_j}^{\theta, A, p} - I_{j,t+l_j}^{\theta, A, p} + Cs_{j,t}^{\theta, A, p} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p - l_j] \quad [10.3]$$

$$I_{j,t+1}^{\theta, A, p} = I_{j,t}^{\theta, A, p} + Y_{j,t-l_j}^{\theta, A, p} - \alpha_{i,j} X_{i,t}^{\theta, A, p} + RP_{j,t}^{\theta, A, p} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p] \quad [11]$$

En reprenant les notations présentées précédemment, la figure ci-dessous (Figure 9) présente une synthèse des différents sous processus intervenant au niveau du S&OP.

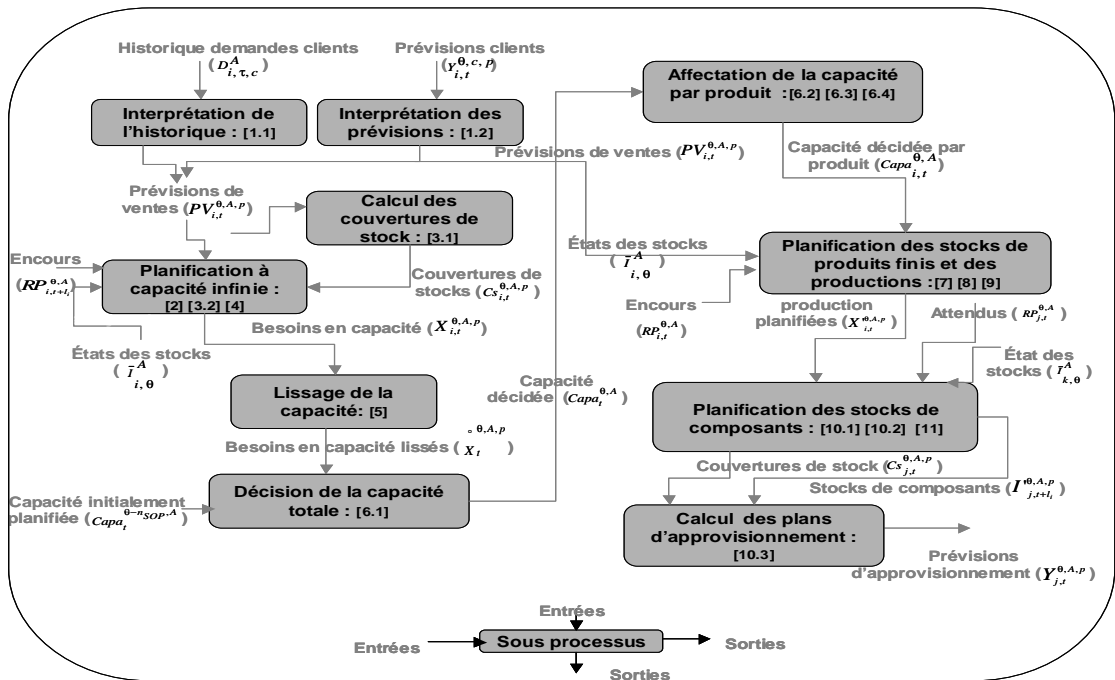


Figure 9 : Description synthétique du processus S&OP.

6.5.3 Modèle du processus MTP

A chaque période, dans cette étape, toutes les n_{MTP} périodes, l'acteur refait la planification à capacité finie en tenant compte des mises à jour des stocks (équations [1.1] et [1.2] puis [7] à [11] avec $p=MTP$).

Ici aucune remise en cause des capacités n'est envisagée (équations [2] à [6.4] du modèle non prises en compte si p=MTP).

6.5.4 Modèle du processus STP

Dans cette étape, l'acteur \mathcal{A} définit à la date θ les lancements possibles $XP_{i,\theta}^A$ étant donnée la disponibilité effective de ses ressources propres (sans tenir compte d'éventuelles indisponibilités des composants) (voir équations [12] ou [13]) et passe les commandes $D_{j,\theta,A}^{Fr(j)}$ (voir équations [14] ou [15]) en fonction de ses contraintes propres.

La prise en compte dans notre représentation de l'acteur des deux processus MTP et STP décrits ci-dessus, permet d'analyser des stratégies de type flux poussés et flux tirés pour le pilotage de la production (équations [12] ou [13]) et de l'approvisionnement (équations [14] ou [15]).

Dans le cas où l'approvisionnement et la production sont gérés en flux poussés (stratégie dite Poussé-Poussé) (voir Figure 6) :

- les commandes passées aux fournisseurs $D_{j,\theta,A}^{Fr(j)}$ ne dépendent que du plan d'approvisionnement $\gamma_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ décidé au processus MTP (équation [14]),
- les lancements possibles de production $XP_{i,\theta}^A$ ne dépendent que des productions $X_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ planifiées au processus MTP (équation [12]).

Dans le cas où l'approvisionnement est géré en flux poussé et la production en flux tiré (stratégie Poussé-Tiré) (voir Figure 7) :

- les commandes passées aux fournisseurs $D_{j,\theta,A}^{Fr(j)}$ ne dépendent que du plan d'approvisionnement $\gamma_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ décidé au processus MTP (équation [14]).
- les lancements possibles de production $XP_{i,\theta}^A$ dépendent des commandes $D_{i,\theta,c}^A$ décidées par les clients dans leur propre processus STP, mais aussi d'un objectif de stock $I_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ décidé au processus MTP et enfin de la capacité et du stock disponible (équation [13]).

Dans le cas où l'approvisionnement est géré en flux tiré et la production en flux poussé et (stratégie Tiré-Poussé) (voir Figure 8) :

- les commandes passées aux fournisseurs $D_{j,\theta,A}^{Fr(j)}$ dépendent directement des lancements possibles $XP_{i,\theta}^A$ de manière à reconstituer le stock de composants $\bar{I}_{j,\theta}^A$ à un niveau $I_{j,\theta+1}^{\theta,A,MTP}$ défini au MTP (équation [15]),
- les lancements possibles de production $XP_{i,\theta}^A$ ne dépendent que des productions $X_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ planifiées au processus MTP (équation [12]).

Enfin, dans le cas où les approvisionnements et la production sont gérés en flux tirés (stratégie Tiré-Tiré) (voir Figure 9) :

- les commandes passées aux fournisseurs $D_{j,\theta,A}^{Fr(j)}$ dépendent directement des lancements possibles $XP_{i,\theta}^A$ de manière à reconstituer le stock de composants $\bar{I}_{j,\theta}^A$ à un niveau $I_{j,\theta+1}^{\theta,A,MTP}$ défini au MTP (équation [15]).
- les lancements possibles de production $XP_{i,\theta}^A$ dépendent des commandes $D_{i,\theta,c}^A$ décidées par les clients dans leur propre processus STP, mais aussi, de l'objectif de stock

$I_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ décidé au processus MTP et enfin de la capacité et du stock disponible (équation [13]).

$$XP_{i,\theta}^A = X_{i,\theta}^{\theta,A,MTP} \text{ production flux poussé} \quad [12]$$

$$XP_{i,\theta}^A = \min \left(I_{i,\theta+1}^{\theta,A,MTP} - I_{i,\theta}^{\theta,A,MTP} + \sum_c D_{i,\theta,c}^A ; Capa_{\theta}^{\theta,A} \right) \text{ production flux tiré} \quad [13]$$

$$D_{j,\theta,A}^{Fr(j)} = Y_{j,t}^{\theta,A,MTP} \text{ Approvisionnement en flux poussé} \quad [14]$$

$$D_{j,\theta,A}^{F(j)} = I_{j,\theta+1}^{\theta,A,MTP} - I_{j,\theta}^{\theta,A,MTP} + \alpha_{i,j} XP_{i,\theta}^A \text{ Approvisionnement en flux tiré} \quad [15]$$

6.5.5 Modèle du processus L&IM

Dans ce processus, l'acteur détermine les lancements effectifs $\bar{x}_{i,\theta}^A$ en fonction de la disponibilité des composants (voir équation [16]). Plusieurs stratégies sont possibles pour le choix de la fonction $G_3(\cdot)$, donnant les lancements effectifs. Nous donnons, ci-après, une des stratégies possibles :

Détermination des lancements effectifs

1. Calculer le besoin pour chaque composant ($B_{j,\theta}^{\theta,A,STP}$) :

$$B_{j,\theta}^{\theta,A,STP} = \sum_{i \in I_j} XP_{i,\theta}^A * \alpha_{i,j}$$
2. Calculer $\bar{I}_{j,\theta}^A$ les volumes de composants réellement disponibles pour lancer des productions à la date θ :

$$\bar{I}_{j,\theta}^A = DL_{j,\theta,A}^{Fr(j)} + \bar{I}_{j,\theta}^A \text{ pour } j \in MP(A)$$
3. Pour chaque produit fini i concerné par un lancement en production à la date θ faire :
 - 3.1 Réserver une partie du stock de composant à chaque produit fini en proportion de sa contribution au besoin composant :
 Pour $i \in PF(i)$ faire:

$$\bar{X}_{i,\theta}^A = \left[\left(\min_{j \in J_i} \left(XP_{i,\theta}^A ; XP_{i,\theta}^A / C_{j,\theta}^A * \bar{I}_{j,\theta}^A \right) \right) / lot_i \right]^+ * lot_i$$

$$\bar{I}_{j,\theta}^A = \bar{I}_{j,\theta}^A - \bar{X}_{i,\theta}^A * \alpha_{i,j}$$

$$B_{j,\theta}^{\theta,A,STP} = B_{j,\theta}^{\theta,A,STP} - XP_{i,\theta}^A * \alpha_{i,j}$$
 Fin Pour
 - 3.2 Ne plus considérer de réservation de stock et lancer tout ce qu'on peut encore :
 Pour $i \in PF(i)$ faire:
 - soit $c = \min_{j \in J_i} \left(XP_{i,\theta}^A - \bar{X}_{i,\theta}^A ; \left[\bar{I}_{j,\theta}^A / \alpha_{i,j} \right] / lot_i \right)^+ * lot_i$
 - si $c > 0$ alors :

$$\bar{X}_{i,\theta}^A = \bar{X}_{i,\theta}^A + c$$

$$\bar{I}_{j,\theta}^A = \bar{I}_{j,\theta}^A - \alpha_{i,j} * c$$
 Fin Pour

Fin Pour

Le principe de cet algorithme est de lancer juste ce qui est possible quand tous les composants sont disponibles exactement dans les quantités souhaitées. En cas de pénurie d'un composant, on ne souhaite pas perdre de la capacité. Donc les reliquats sont utilisés.

Suite à l'estimation des lancement effectifs $\bar{x}_{i,\theta}^A$, l'acteur calcule les stocks ou les ruptures $\bar{I}_{i,\theta}^A$ et $\bar{I}_{j,\theta}^A$ effectives (voir équations [19] et [20]) après livraison $DLT_{i,\theta}^A$ (voir équation [17]). Il calcule également la répartition des livraisons à chaque client c $DL_{i,\theta,c}^A$ (voir équation [18]). La fonction $G_4(\cdot)$ caractérise la variabilité du système de production qui ne met pas à disposition toutes les quantités lancées. Enfin, l'acteur met à jour les réceptions programmées $RP_{i,t}^{\theta,A}$ du produit finis i (voir équation [21]) et $RP_{j,t}^{\theta,A}$ du composants j (voir équations [22.1] jusqu'à [22.3]). Pour les composants, on considère que les manquants sont programmés sur la période suivante.

$$\bar{X}_{i,\theta}^A = G_3 \left(XP_{i,\theta}^A ; DL_{j,\theta,A}^{Fr(j)} + \bar{I}_{j,\theta}^A \right), \quad j \in J_i \quad [16]$$

$$DLT_{i,\theta}^A = MIN \left(\max(0; -\bar{I}_{i,\theta}^A) + \sum_c D_{i,\theta,c} ; \max(0; \bar{I}_{i,\theta}^A) + G_4(\bar{X}_{i,\theta}^A - li) \right) \quad [17]$$

$$DL_{i,\theta,c}^A = DLT_{i,\theta}^A \left(D_{i,\theta,c}^A + I_{i,\theta,c}^- \right) / \left(\max(0; -\bar{I}_{i,\theta}^A) + \sum_c D_{i,\theta,c} \right) \quad [18]$$

$$\bar{I}_{i,\theta+1}^A = \bar{I}_{i,\theta}^A + G_4(\bar{X}_{i,\theta}^A - li) - DLT_{i,\theta}^A \quad [19]$$

$$\bar{I}_{j,\theta+1}^A = \bar{I}_{j,\theta}^A + DL_{j,\theta-l_j,A}^{Fr(j)} - \alpha_{i,j} \bar{X}_{i,\theta}^A \quad [20]$$

$$RP_{i,t}^{\theta+1,A} = \bar{X}_{i,t-li}^A \quad \text{pour } t \in [\theta+1, \theta+1+T] \quad [21]$$

$$RP_{j,\theta+1}^{\theta+1,A} = D_{j,\theta+1-l_j,A}^{Fr(j)} + RP_{j,\theta}^{\theta,A} - DL_{j,\theta,A}^{Fr(j)} \quad [22.1]$$

$$RP_{j,t}^{\theta+1,A} = RP_{j,t}^{\theta,A} \quad \text{pour } t \in [\theta+2, \theta+l_j-1] \quad [22.2]$$

$$RP_{j,\theta+l_j}^{\theta+1,A} = D_{j,\theta,A}^{Fr(j)} \quad [22.3]$$

6.6 Modèles de comportements des décideurs

Afin de représenter les modèles de comportements des décideurs qui interviennent au niveau des différents processus de planifications, nous décrivons respectivement dans les trois sections suivantes :

- le modèle d'interprétation du comportement du client,
- le modèle de transmission des informations au fournisseur,
- le modèle de décision de la capacité.

6.6.1 Modèles d'interprétation du comportement du client

Le modèle d'interprétation du comportement du client, chez un acteur donné, exprime la connaissance qu'a l'acteur du comportement du client et la manière dont il s'y adapte. L'acteur élabore cette

représentation du comportement du client à partir des connaissances qu'il a capitalisées au cours des relations antérieures.

Pour effectuer cette description, considérons les deux cas suivants :

- cas 1 : $E_D^{C,A} = \{D_{i,t,c}^A\}$ où $E_D^{C,A}$ désigne l'ensemble des informations échangées entre l'acteur A et son client C. Ce qui correspond au cas où les seules informations échangées entre l'acteur A et son client C sont les commandes fermes $D_{i,t,c}^A$.
- cas 2 : $E_D^{C,A} = \{Y_{i,t}^{\theta,c,p}\} \cup \{D_{i,t,c}^A\}$, Ce qui correspond au cas où en plus des commandes fermes $D_{i,t,c}^A$, le client transmet ses prévisions (besoins prévisionnels en approvisionnement) $Y_{i,t}^{\theta,c,p}$.

Dans le premier cas, l'acteur A bâtit ses prévisions de ventes en utilisant l'équation [1.1] déjà donnée auparavant. Dans cette équation $F_1(x)$ qui peut correspondre à une fonction mathématique (constante, déterministe ou stochastique) traduit l'interprétation que fait l'acteur du comportement de son client en se basant sur l'historique des demandes fermes que lui a envoyées ce dernier. Une modélisation qui semble particulièrement adaptée consiste à définir $F_1(x)$ en tant que modèle de prévisions endogène (voir [Giard, 03] pour plus de détails sur ce type de modèles). A titre indicatif, nous donnons deux exemples de modèles de prévisions endogènes que nous avons testés :

- modèle de Holt-Winters (lissage exponentiel triple),
- moyenne mobile simple.

Dans le deuxième cas, l'acteur A bâtit ses prévisions de ventes en utilisant l'équation [1.2] donnée auparavant. Dans cette équation, $F_2(x)$, qui peut correspondre à une fonction mathématique (constante, déterministe ou stochastique), traduit l'interprétation que fait l'acteur du comportement de son client en se basant sur les prévisions que lui a envoyées ce dernier. Une modélisation pertinente consisterait à appliquer un décalage temporel (positif ou négatif) δ_1^A en tenant compte du fait que l'acteur soit optimiste ou pessimiste, et/ou un coefficient d'amplification/amortissement ε_1^A sur les prévisions du client :

$$PV_{i,t}^{\theta,A,p} = \varepsilon_1^A * \left(\sum_c Y_{i,t-\delta_1^A}^{\theta,c,p} \right) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p]$$

6.6.2 Modèle de transmission des informations au fournisseur

Après avoir évalué des prévisions concernant ses futurs besoins (équation [10] dans le modèle de planification) ou encore ses commandes fermes à transmettre à son fournisseur (équation [14] dans le cas d'un approvisionnement en flux poussé ou équation [15] dans le cas d'un approvisionnement en flux tiré) en tenant compte des délais d'approvisionnement des produits, l'acteur peut introduire des déformations au moment de la transmission des informations calculées précédemment. Ceci se fera par l'application d'une fonction $\alpha_1()$ (respectivement $\alpha_2()$) sur le plan d'approvisionnement original calculé (respectivement la commande ferme originale). A titre indicatif, nous donnons l'exemple suivant :

$$Y_{j,t}^{\theta,A,p} = \left(\alpha_{i,j} X_{i,t-\delta_2+l_j}^{\theta,A,p} - RP_{j,t-\delta_2+l_j}^{\theta,A} - I_{j,t-\delta_2+l_j}^{\theta,A,p} \right) \text{ pour } t \in [\theta, \theta + H_p + \delta_2^A - l_j]$$

$$D_{j,\theta,A}^{Fr(j)} = \varepsilon_2 * Y_{j,t}^{\theta,A,MTP} \quad \text{Approvisionnement en flux poussé}$$

$$D_{j,\theta,A}^{Fr(j)} = \varepsilon_2 * \left(I_{j,\theta+1}^{\theta,A,MTP} - I_{j,\theta}^{\theta,A,MTP} + \alpha_{i,j} X_{i,\theta}^{PA} \right) \text{ Approvisionnement en flux tiré}$$

L'exemple ci-dessus représente un comportement dans lequel l'acteur anticipe le plan d'approvisionnement et amplifie les commandes transmises au fournisseur.

Après avoir décrit les différents comportements qui peuvent être associés aux acteurs de la chaîne logistique, nous présentons dans le paragraphe suivant les modèles décrivant les comportements du marché auquel doit faire face la chaîne logistique.

6.6.3 Modèle du comportement de décision de capacité

En se basant sur ces estimations de production lissées ainsi que sur les capacités actuelles disponibles $Capa_t^{\theta-n,SOP,A}$, de nouvelles capacités peuvent être décidées $Capa_t^{\theta,A}$ (équation [6.1]). Plusieurs comportements ($\sigma_2(i)$) sont donc possibles, nous en donnerons à titre indicatif deux exemples :

- le décideur accepte qu'un pourcentage (p_A) de la capacité proposée (voir Figure 10). Ce type de comportement sera utilisé pour la caractérisation des comportements de capacité analysés dans les chapitre 8 et 9 :

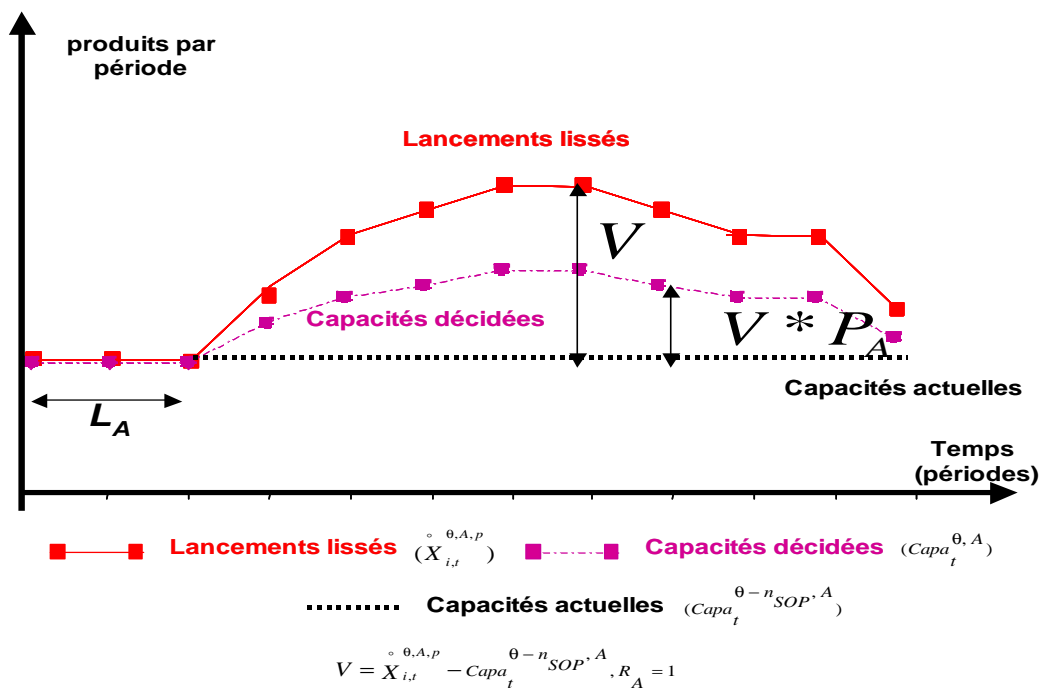


Figure 10 : Comportements de décision de capacité : Exemple 1.

Dans ce cas la capacité décidée est donnée par :

$$Capa_t^{\theta,A} = (1 - p_A) Capa_t^{\theta-n,SOP,A} + p_A R_A \left[X_{i,t}^{\theta,A,p} / R_A \right]^+ \text{ pour } t \in [\theta + L_A, \theta + H_p]$$

$$Capa_t^{\theta,A} = Capa_t^{\theta-n,SOP,A} \text{ pour } t \in [\theta, \theta + L_A].$$

- il valide la variation de capacité en plusieurs étapes (par exemple, en appliquant un pourcentage d'acceptation $\alpha_{1,A}$ % la première période, $\alpha_{2,A}$ % une période après et $\alpha_{3,A}$ % encore une période après). La figure suivante donne une illustration de ce type de comportement.

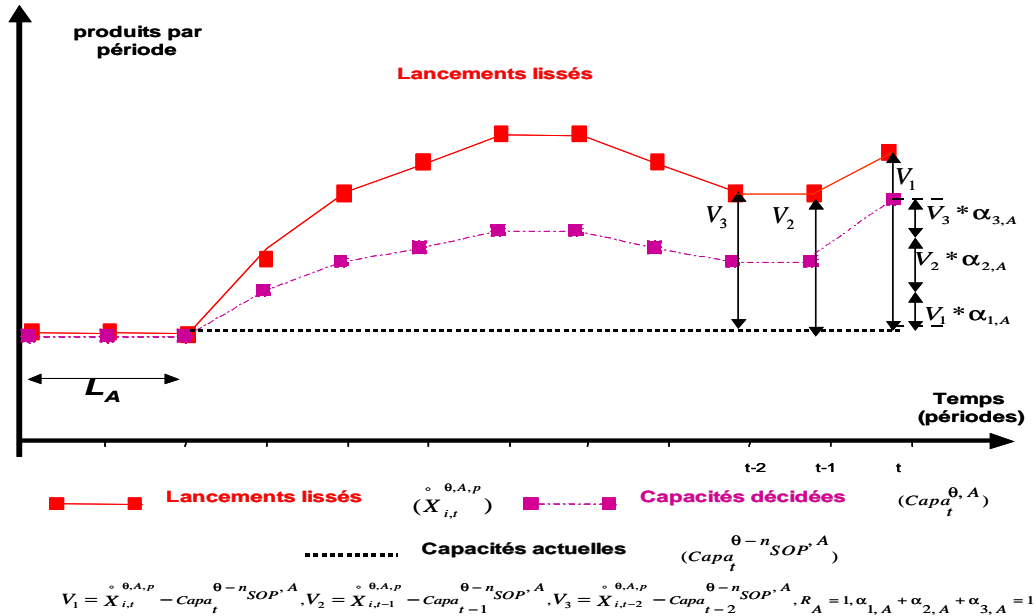


Figure 11 : Comportements de décision de capacité : Exemple 1.

Dans ce cas, la capacité décidée est donnée par :

$$\begin{aligned}
 Capa_t^{\theta,A} &= Capa_t^{\theta-n_{SOP},A} \quad \text{pour } t \in [\theta, \theta+L_A] \\
 Capa_t^{\theta,A} &= Capa_t^{\theta-n_{SOP},A} + R_A \left[(\alpha_{1,A} (X_t^{\theta,A,p} - Capa_t^{\theta-n_{SOP},A}) + \alpha_{2,A} (X_{t-1}^{\theta,A,p} - Capa_{t-1}^{\theta-n_{SOP},A}) + \alpha_{3,A} (X_{t-2}^{\theta,A,p} - Capa_{t-2}^{\theta-n_{SOP},A})) / R_A \right] \\
 &\quad \text{pour } t \in [\theta+L_A, \theta+H_p]
 \end{aligned}$$

6.7 Modèles des processus de planification et modèles de comportements : un récapitulatif

Les modèles des processus de planification proposés permettent à un acteur d'une chaîne logistique d'élaborer ses plans de production en respectant les trois niveaux de planification à savoir le niveau stratégique (long terme), le niveau tactique (moyen terme) et enfin le niveau opérationnel (court terme). Ces modèles apportent à l'acteur la possibilité :

- de tenir compte de sa stratégie de gestion de la capacité,
- de planifier ces stocks et ses production,
- de tenir compte des stratégies Poussé/Tiré de gestion des flux dans au niveau de la gestion de sa production et de ses approvisionnements,
- et enfin de définir ses approvisionnements.

Par ailleurs le modèle d'interprétation du client, permet à l'acteur de définir la manière dont il utilise les informations que lui envoie son client. Le modèle de transmission des informations au fournisseur, permet à l'acteur de modifier les informations qu'il adresse à son fournisseur en fonction de l'image de

comportement qu'il se fait sur ce dernier. Enfin, le modèle de décision de capacité permet à l'acteur de définir les nouvelles capacités à mettre en place.

Après avoir décrit les modèles des processus de planification et de comportements caractérisant les acteurs de la chaîne logistique, nous présentons dans la section suivante les modèles de comportements d'un acteur particulier de la chaîne : le marché.

6.8 Modèles du marché

Dans la modélisation du comportement du marché, deux aspects sont pris en compte :

- L'évolution du marché dans sa globalité : cet aspect se justifie par le fait que les acteurs de la chaîne logistique considérée, c'est-à-dire la chaîne logistique des télécommunications, sont sensibles aux différents phénomènes qui peuvent caractériser la dynamique d'évolution du marché tels que les changements de tendances du marché, la saisonnalité ou encore la capacité de prédiction du marché.
- L'introduction de nouvelles générations de produit : cet aspect, quant à lui, se justifie par les très courtes durées de vie des produits qui font qu'un produit est lancé sur le marché sous forme de générations de plus en plus évoluées. Plusieurs phénomènes peuvent caractériser l'introduction des nouvelles générations de produit sur le marché. Nous distinguons notamment les retards/avances qui peuvent affecter la date de lancement d'une génération donnée.

6.8.1 Modèle du marché global

Pour la prise en compte de la dynamique d'évolution du marché dans sa globalité, nous nous proposons de faire une modélisation en considérant que :

- la prévision du marché est identique pour tous les acteurs et que tous peuvent y accéder. Par contre, il peut exister une différence entre les prévisions du marché et les demandes réelles du marché,
- les modèles que nous bâtissons visent à étudier comment la chaîne logistique réagit face à une évolution de la tendance du marché ainsi qu'à une avance ou un retard à l'introduction de ce changement de tendance dans les prévisions du marché.

Pour illustrer le principe de modélisation du marché global, considérons d'abord les notations suivantes :

$Pv^\delta(.)$: prévisions du marché calculée à la date δ .

$D(.)$: demandes du marché.

H : horizon sur lequel les prévisions du marché sont faites.

Δ : date à laquelle la tendance de la demande réelle change.

T_{saison} : durée de la saisonnalité exprimée en nombre de semaines.

S_p : période de la saisonnalité.

S_{vente} : ce que représente le volume de vente de la période de saisonnalité par rapport au volume de vente annuel.

Λ : délai que met la prévision pour s'ajuster par rapport au changement de tendance de la demande du marché.

α^1 : coefficient utilisé pour le calcul de la croissance hebdomadaire du marché et des prévisions avant le changement de tendance de ce premier.

α^2 : coefficient utilisé pour le calcul de la croissance hebdomadaire du marché et des prévisions après le changement de tendance de ce premier.

β^1 : coefficient à utiliser pour le calcul des prévisions du marché et qui garantit d'avoir S_{vente} % du volume annuel de vente pendant la période de saisonnalité.

β^2 : coefficient à utiliser pour le calcul des prévisions du marché et qui garantit d'avoir S_{vente} % du volume annuel de vente pendant la période de saisonnalité.

Après avoir présenté les notations utilisées pour la description du comportement global du marché, nous en donnons maintenant le principe, qui peut être résumé à travers l'exemple présenté dans la figure suivante :

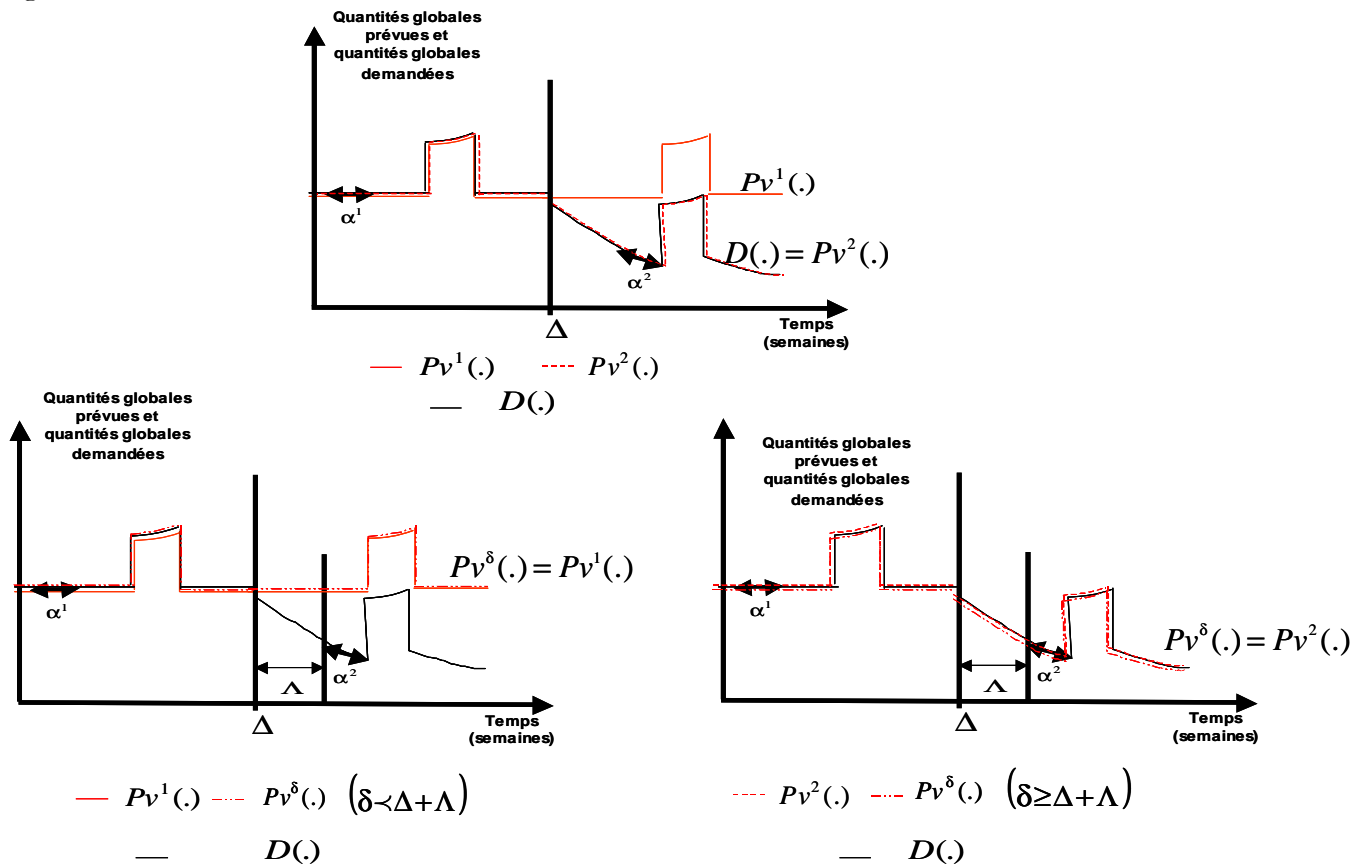


Figure 12 : Exemple de comportements des prévisions et des demandes du marché.

Dans une première étape, nous calculons deux tendances différentes de prévisions $Pv^1(.)$ et $Pv^2(.)$. Tant que l'on n'a pas atteint la date de changement de tendance du marché Δ , $Pv^1(.) = Pv^2(.)$. $Pv^1(.)$ possède une évolution hebdomadaire déduite à partir de α^1 tant qu'on est pas arrivé à la date de début de la saisonnalité S_p . Arrivant à cette période de saisonnalité et durant T_{saison} , la tendance de $Pv^1(.)$ est déduites à partir de β^1 qui garantit le fait que S_{vente} % de la vente annuelle se font durant la période de la saisonnalité.

A partir de la date de changement de tendance du marché Δ et jusqu'à $\Delta + \Lambda$, $Pv^1(.)$ se calcule avec la même logique que précédemment. Quant à $Pv^2(.)$, elle se calcule comme précédemment mais en changeant α^1 par α^2 et β^1 par β^2 qui garantit aussi le fait que S_{vente} % de la vente annuelle se font durant la période de la saisonnalité.

Dans une deuxième étape, et après avoir calculé $Pv^1(.)$ et $Pv^2(.)$ sur tout l'horizon de prévisions H , on calcule à une date donnée δ la valeur de la prévisions du marché $Pv^\delta(.)$ à partir des tendances $Pv^1(.)$

et $Pv^2(\cdot)$. Tant que $\delta < \Delta + \Lambda$, la prévision du marché $Pv^\delta(\cdot)$ est $Pv^1(\cdot)$, et une fois que $\delta \geq \Delta + \Lambda$, $Pv^\delta(\cdot)$ est $Pv^2(\cdot)$.

Enfin, dans la troisième étape, on calcule la demande réelle du marché $D(\cdot)$. Elle est déduite à partir de $Pv^2(\cdot)$ sur tout l'horizon H : $D(\cdot) = Pv^2(\cdot)$.

6.8.2 Modèle de l'introduction de nouvelles générations de produits

Après avoir décrit le modèle du marché global, nous nous penchons sur un autre aspect intervenant dans la caractérisation des comportements que peut avoir le marché : l'introduction de nouvelles générations de produits.

L'introduction fréquente de nouvelles générations de produit est motivée par la volonté de remplacer les produits existants par des produits proches, mais offrant des fonctionnalités ou un design plus attrayants pour les consommateurs. Donnant l'opportunité d'augmenter les ventes, le lancement de nouvelles générations de produits est considéré comme un avantage compétitif que chacun des acteurs du marché des télécommunications cherche à exploiter.

Afin de prendre en compte cet aspect dans nos modèles de comportements du marché, nous considérons qu'une génération de produit possède les caractéristiques suivantes :

- les dates de lancement de deux générations successives sont généralement séparées par une durée plus au moins fixe. Ceci correspond bien à un fait confirmé dans le secteur des télécommunications.
- une durée de vie caractérisée par une faible pénétration du marché durant la phase de lancement, une forte pénétration durant la phase de maturité et enfin de nouveau une faible pénétration durant la phase d'extinction. En cas d'un lancement retardé sur le marché, cette durée de vie est raccourcie et les ventes seront moins importantes que celles qui auraient pu être faites si la génération était lancée à temps. Dans le cas contraire, c'est-à-dire dans le cas où le lancement est anticipé, la durée de vie de la génération est allongée et les ventes seront plus importantes.

Pour modéliser ces caractéristiques, nous utilisons pour chaque génération une représentation sous forme de courbe en cloche (voir Figure 13).

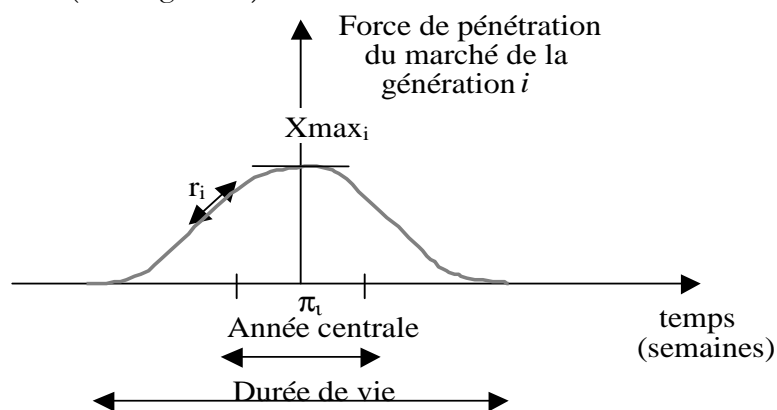


Figure 13 : Courbes en cloches d'une génération de produit.

Cette courbe en cloche exprime dans le temps la force de pénétration d'un produit sur le marché⁴², et à une date donnée, les parts de marché se répartissent sur les produits en proportion des forces de pénétration des différents produits.

⁴² Précisons que la force de pénétration est une grandeur sans unité. Par ailleurs, la force de pénétration d'une génération i prend ses valeurs dans l'intervalle $[0, Xmax_i]$.

A chaque date t , cette force de pénétration de la génération i $FP_i(t)$ est donnée par l'équation suivante, dont l'expression est inspirée des modèles de courbe de vie d'un produit, notamment les modèles logistiques (voir [Bourbonnais et Usunier, 97] pour plus de détails sur ces types de modèles) :

$$FP_i(t) = Xmax_i / (1 + (b_i * r_i^{(t-\pi_i + \Gamma_i)})) - Xmax_i / (1 + b_i * r_i^{(t-a_i - \pi_i)}) [23]$$

Avec :

$Xmax_i$: force maximale sur la cloche (seuil de saturation).

r_i : coefficient de montée de la cloche.

t : variable temps en semaine.

π_i : numéro de la semaine sur laquelle est centrée la cloche. Ce paramètre marque aussi la moitié de la durée de vie de la génération.

Γ_i : nombre de semaines d'anticipation de la montée en force d'un produit.

a_i et b_i : deux paramètres qui garantissent le fait que un pourcentage donné des ventes se font sur l'année centrale, ce qui est une réalité acceptée par la majorité des gens du métier des télécommunications.

La première partie de l'équation exprimant $FP_i(t)$, c'est-à-dire $(Xmax_i / (1 + (b_i * r_i^{(t-\pi_i + \Gamma_i)})))$ exprime la croissance puis le ralentissement de la force de pénétration du marché qui accompagnent la première phase du cycle de vie de la génération de produit (phase de croissance). Quant à la deuxième partie de l'équation $(Xmax_i / (1 + b_i * r_i^{(t-a_i - \pi_i)}))$, elle exprime la décroissance de la force de pénétration du marché qui accompagne la deuxième étape du cycle de vie de la génération du produit (phase de déclin).

En considérant plusieurs générations de produit, et en considérant qu'une nouvelle génération de produit est lancée tous les six mois par exemple, nous obtenons dans la figure suivante (Figure 14) un ensemble de forces de pénétration dans le temps pour différentes générations de produit.

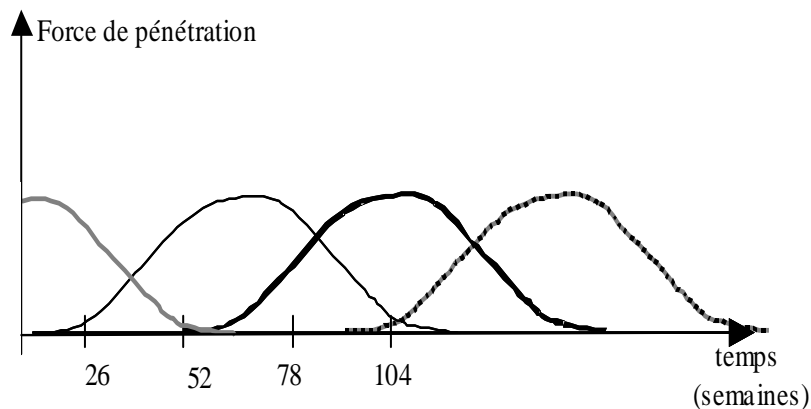


Figure 14 : Courbes en cloches de génération successive de produits.

Constatons qu'en adoptant une telle formulation, on garantit l'existence d'une cohabitation de deux ou trois générations à une même date, ce qui est le plus souvent le cas dans le secteur des télécommunications.

Enfin, en s'appuyant sur la modélisation proposée, la prévision calculée à la date δ pour la période t et la génération i $Pv_i^\delta(t)$, et la demande $D_i(t)$ pour la même période associées à une génération i sont déduites comme suit à partir de la prévision $(Pv^\delta(t))$ et de la demande $(D(t))$ globales du marché par :

$$Pv_i^\delta(t) = (FP_i(t) / \sum_i FP_i(t)) * Pv^\delta(t) \quad [24]$$

$$D_i(t) = (FP_i(t) / \sum_i FP_i(t)) * D(t) \quad [25]$$

Ainsi, la prévision et la demande associée à une génération de produit à une date donnée sont dépendantes non seulement de sa force de pénétration du marché, mais aussi du cumul des forces de pénétration de l'ensemble de générations présentes à cette même date.

Par suite, si on avance ou on retarde le lancement d'une génération de produit i ($\Gamma_i \neq 0$), on change l'allure de la force de pénétration de la génération i , et on modifie en conséquence les parts de marché acquises par la génération i mais aussi celles acquises par les autres générations.

6.9 Modèles d'interactions des acteurs

Dans cette section, nous présentons un ensemble de modèles permettant de représenter, dans un environnement dynamique, les interactions entre chaque acteur de la chaîne logistique qui planifie sa production, ses clients et ses fournisseurs.

Pour cela, nous décrivons dans un premier temps les modèles de communication au niveau des prévisions. Ensuite, nous décrivons la dynamique d'exécution des différents protocoles.

6.9.1 Modèle de communication au niveau des prévisions

La communication entre l'acteur et son client porte ici sur la question de l'échange des prévisions. Deux cas peuvent se présenter :

- cas de non échange de prévisions : $E_D^{C,A}$ l'ensemble des informations transmises du client à l'acteur se limite à ses commandes fermes. On parle dans ce cas de « prévisions non collaboratives ». Les prévisions de l'acteur sont calculées, comme nous l'avons souligné dans la section 4.1, sur la base d'un modèle de prévisions endogène.
- cas d'échange de prévisions : $E_D^{C,A}$ contient, à part les commandes fermes du client vers l'acteur en question, les prévisions que ce dernier transmet. On parle dans ce cas de « prévisions collaboratives ». Les prévisions Long Terme (prévisions qui interviennent au niveau du processus S&OP) et Moyen terme (prévisions qui interviennent au niveau du processus MTP) de l'acteur sont calculées sur la base des prévisions envoyées par le client.

Cependant, pour les prévisions collaboratives, plusieurs situations sont envisageables selon les caractéristiques temporelles (taille d'horizon, fréquence de rafraîchissement, granularité) des processus émetteurs (processus chez le client) et destinataires (processus chez l'acteur). Nous nous proposons de les détailler ci-dessous :

- situation numéro 1

Le processus S&OP du client envoie des Prévisions Long Terme à destination du processus S&OP de l'acteur, et ces prévisions couvrent un horizon $H_{S\&OP}^C$ suffisamment long pour que l'acteur A puisse constituer ses prévisions Long Terme sur un $H_{S\&OP}^A$.

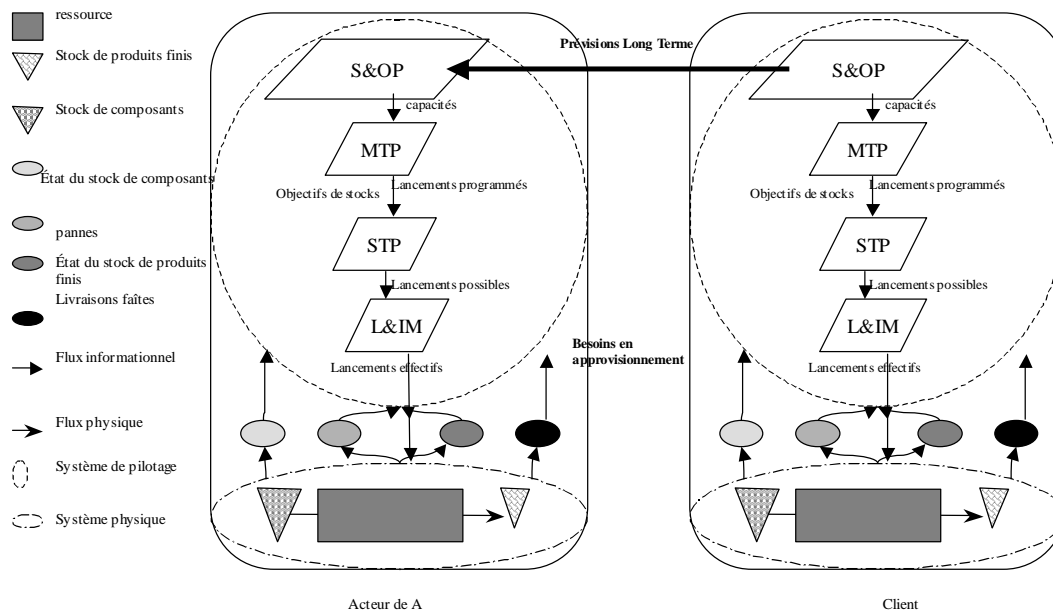


Figure 15 : Politique de communication numéro 1.

- situation numéro 2

Le processus S&OP du client envoie des Prévisions Long Terme à destination du processus S&OP de l'acteur, et ces prévisions ne peuvent pas couvrir un horizon $H_{S\&OP}^C$ suffisamment long pour que l'acteur A puisse constituer ses prévisions Long Terme sur un $H_{S\&OP}^A$. Toutes les n_{SOP} périodes, l'acteur A définit à la date θ ses prévisions Long Terme $PV_{i,t}^{\theta,A,S\&OP}$ sur un horizon $H_{S\&OP,commu}^A$ avec les prévisions Long Terme du client disponible à la date θ et les complète sur un horizon $(H_{S\&OP}^A - H_{S\&OP,commu}^A)$ en utilisant les informations Très Long Terme qu'il récupère du marché.

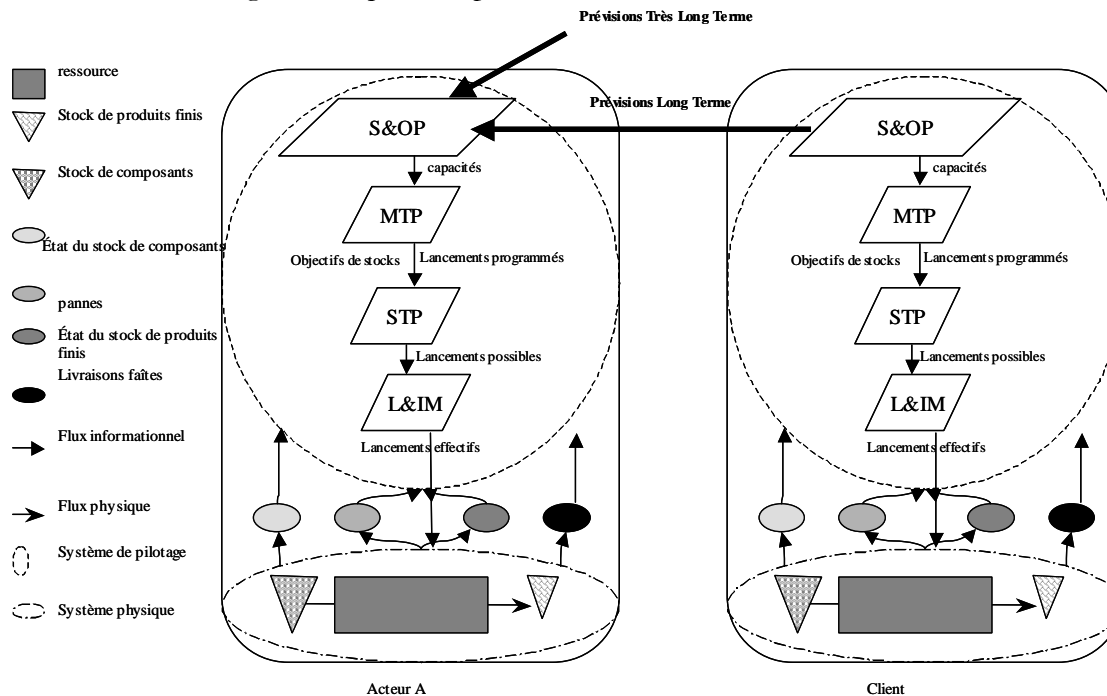


Figure 16 : Politique de communication numéro 2.

- situation numéro 3

Outre les prévisions Long Terme envoyées par le processus S&OP du client, des prévisions Moyen Terme sont envoyées par le processus MTP de ce dernier.

Dans ce cas, toutes les n_{SOP} périodes, l'acteur \mathcal{A} définit à la date θ ses prévisions Long Terme $PV_{i,t}^{\theta,A,S\&OP}$ en regardant la disponibilité des prévisions dans l'ordre de priorité suivant :

- (1) prévisions Moyen Terme,
- (2) prévisions Long Terme,
- (3) prévisions Très Long Terme (3 étant la priorité la plus faible).

C'est ce qui lui permettra de constituer ses prévisions Long Terme en augmentant à chaque fois l'horizon de prévisions connus $H_{S\&OP,connu}^A$ jusqu'à atteindre l'horizon voulu $H_{S\&OP}^A$.

Toutes les n_{MTP} périodes, l'acteur \mathcal{A} définit à la date θ ses prévisions Moyen Terme $PV_{i,t}^{\theta,A,MTP}$ en considérant la disponibilité des prévisions dans l'ordre de priorité suivant :

- (1) prévisions Moyen Terme,
- (2) prévisions Long Terme,
- (3) prévisions Très Long Terme (3 étant la priorité la plus faible).

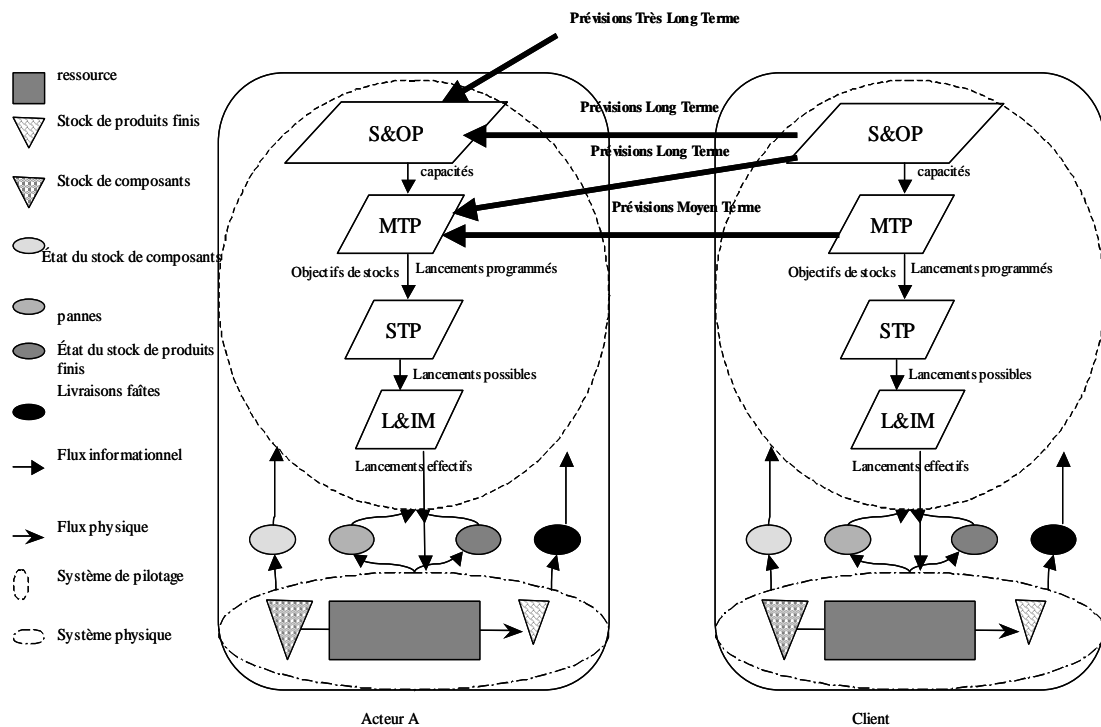


Figure 17 : Politique de communication numéro 3.

Remarque : le flux d'informations correspondant aux commandes fermes envoyées par le clients a été volontairement omis des Figures 15, 16 et 17 pour des raisons de lisibilité.

6.9.2 Dynamique d'exécution des différents protocoles

Dans les protocoles que nous avons définis pour la gestion de l'ordre d'exécution des processus de planification chez les différents acteurs de la chaîne logistique, nous considérons que chaque acteur dispose des informations les plus récentes de la part de ses clients. Ceci implique la synchronisation dans les échanges d'informations de planification, et nécessite la prise en compte des contraintes suivantes :

- le processus S&OP du client doit précéder celui du fournisseur. Cette contrainte de précédence doit s'appliquer aussi pour les deux processus MTP et STP du client par rapport aux processus MTP et STP du fournisseur,
- le processus de planification S&OP doit précéder le processus MTP qui doit précéder à son tour le processus STP et L&IM,
- la commande du client doit précéder la livraison du fournisseur,
- la livraison que fait le fournisseur doit précéder celle que fait son client. Le processus L&IM du fournisseur précède donc celui du client.

De ce fait, le cadencement des processus chez les différents acteurs de la chaîne logistique que nous proposons se fait selon un tri des processus des acteurs respectant les priorités dans l'ordre suivant :

- priorité à la date la plus courte,
- priorité d'exécution du processus chez chaque acteur : S&OP > MTP > STP > L&IM,
- selon le rang de l'acteur responsable du processus en question : si les processus S&OP, MTP ou STP des différents acteurs doivent s'exécuter, ils sont alors triés par rang croissant. Par contre, les processus L&IM sont quant à eux triés par rang décroissant.

Afin d'illustrer les protocoles que nous proposons pour la gestion de l'ordre d'exécution des processus de planification dans la chaîne logistique, considérons l'exemple suivant (voir Figure 18) :

- deux acteurs,
- chacun des deux acteurs gère sa production en flux poussé et son approvisionnement en flux tiré,
- les informations échangées entre les deux acteurs sont les prévisions de type Long Terme.

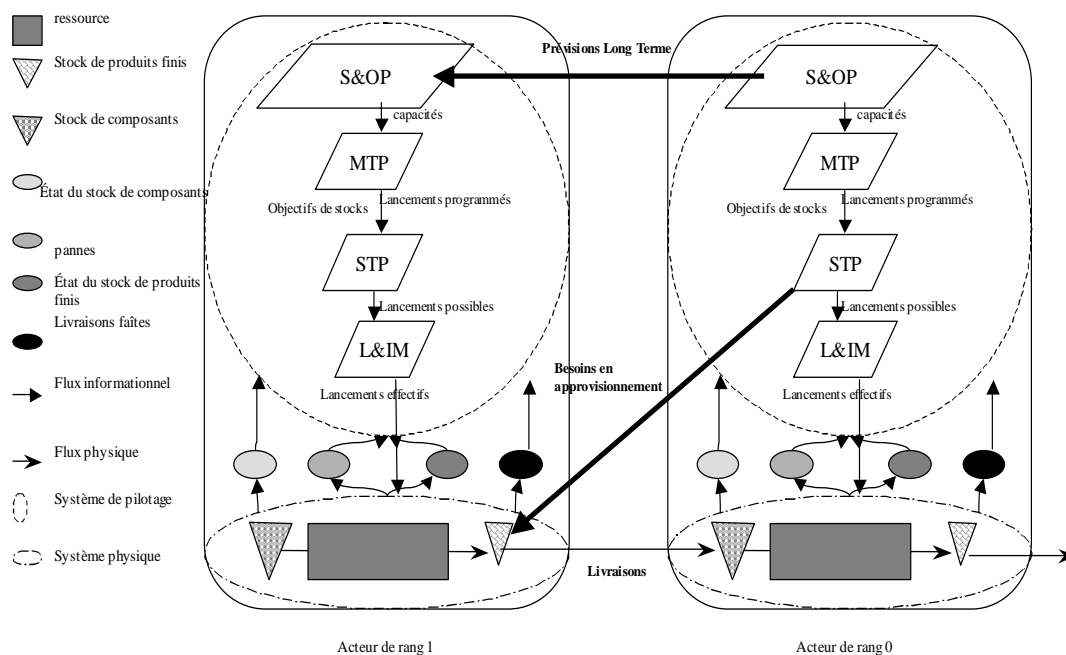


Figure 18 : description de l'exemple d'illustration.

Les ordres d'exécutions des processus sont donnés par la Figure suivante :

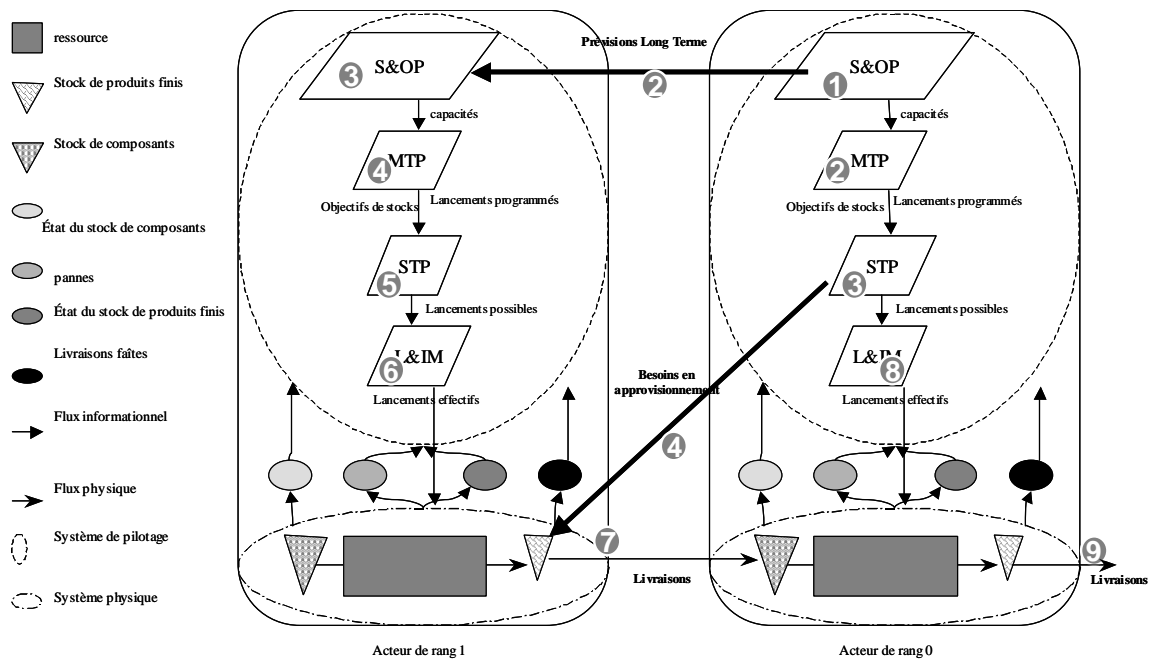


Figure 19 : Dynamique d'exécution des processus dans la chaîne logistique : un exemple.

Le premier acteur (acteur de rang 0) exécute en (1) son processus S&OP, c'est ce qui lui permet de définir ses prévisions d'approvisionnement (prévisions Long Terme) et ses capacités à mettre en place et donc d'envoyer en (2) à son fournisseur ses prévisions d'approvisionnements et de commencer l'exécution, sous contraintes des capacités décidées, de son processus MTP. La réception des prévisions Long Terme chez le deuxième acteur (acteur de rang 1) et le détermination des lancements programmés chez le premier acteur vont déclencher simultanément en (3) l'exécution du processus STP chez le premier acteur et du processus S&OP chez le deuxième acteur. Il en résulte en (4) l'envoi des besoins d'approvisionnement du premier acteur qui vont vers le stock de produit fini du deuxième acteur, et la détermination des capacités sur la base desquelles commence simultanément l'exécution du processus MTP chez le deuxième acteur. Ceci sera suivi, chez ce même acteur, de l'exécution du processus STP en (5) suivi du processus L&IM en (6). C'est ce qui permettra de faire la livraison des composants en (7) et de permettre au premier acteur de déclencher son processus L&IM sur la base de ce qu'il a reçu et de ce dont il dispose comme stock de composant, et ensuite de faire ces livraisons en (9).

6.10 Conclusion

Dans l'outil de simulation que nous avons présenté apparaissent :

- les différents processus de planification de l'acteur qui interviennent au niveau de la définition de ses capacités, de ses stocks, de ses approvisionnements et enfin de ses productions,
- l'interprétation que fait un acteur du comportement de ses clients,
- la transmission des informations de la part d'un acteur de la chaîne logistique à ses fournisseurs,
- les comportements du marché vu dans sa globalité et celui concernant l'introduction de nouvelles générations de produits,
- les interactions que peuvent mettre en place un acteur de la chaîne logistique avec ses clients.

Ceci va nous permettre de mettre en évidence l'effet des comportements des acteurs de la chaîne logistique sur les performances locales (performances au niveau d'un acteur donné) et globales (performances au niveau de l'ensemble de la chaîne logistique).

Nous proposons, dans le chapitre suivant, de montrer comment nous utilisons, à travers une démarche d'aide à la coopération que nous avons formulée, l'ensemble des potentialités de l'outil de simulation décrites ci-dessus pour aider les décideurs de la chaîne logistique à mieux coordonner leurs décisions afin de rendre la chaîne logistique dans laquelle ils sont impliqués moins vulnérables face à une dynamique très incertaine d'évolution du marché.

Chapitre 7. Démarche d'aide à la coopération : une approche par les risques

RESUME

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les concepts de la théorie de la décision et de la théorie des jeux utilisés pour formaliser le problème d'analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé. Ensuite, nous présentons une démarche d'aide à la coopération qui permet aux décideurs de choisir la ou les politiques de coopération à déployer. Nous distinguons dans ce contexte deux perspectives dans lesquelles les décideurs peuvent se placer : une perspective globale qui est centrée sur l'intérêt global de la chaîne logistique et une perspective locale qui est centrée sur les intérêts individuels des acteurs de la chaîne. Pour chacune de ces perspectives, nous introduisons dans l'analyse la nature de l'indétermination de l'avenir, c'est-à-dire le degré d'incertitude caractérisant l'évolution du marché ainsi que l'appréciation du risque que peuvent avoir les décideurs, ou encore leurs attitudes face au risque.

7.1 Introduction

Après avoir décrit dans le chapitre précédent l'outil de simulation des chaînes logistiques ainsi que l'ensemble des potentialités qu'il offre aux décideurs pour l'évaluation et la compréhension des impacts qu'impliquent leurs comportements, nous nous consacrons à la présentation de la démarche en complément de l'outil, pour aider ces décideurs à déterminer les politiques de coopération à déployer. Ceci se fera notamment en formalisant une analyse des politiques de coopération via les risques qu'elles peuvent générer.

Pour ce faire, nous commençons dans la section 7.2 par une présentation d'un ensemble de rappels sur des concepts et des notations issus de la théorie des jeux qui nous permettra de cerner le problème d'analyse des politiques de coopération dans le cadre d'un avenir indéterminé, et de distinguer deux angles d'analyse ou encore deux perspectives dans lesquelles les décideurs peuvent se placer : le premier est un angle dans lequel on considère la chaîne logistique dans sa globalité (section 7.2.4), le deuxième est un angle dans lequel on considère chaque acteur à part (section 7.2.5). Ensuite, nous présentons dans la section 7.3 la démarche d'aide à la coopération que nous apportons aux décideurs pour leurs permettre de choisir la ou les politiques de coopération à déployer en tenant compte d'un côté des risques qu'elles génèrent et d'un autre côté de leurs intérêts individuels ou de l'intérêt de la chaîne logistique dans sa globalité.

7.2 Rappels sur la théorie de la décision et la théorie des jeux

Nous commençons d'abord par un retour rapide sur le modèle général de la décision. Ceci nous permettra d'éclaircir les notions clés qui s'y rattachent et qui caractérisent à la fois le contexte de la décision et la façon dont la prise de décision est conduite. Ensuite, nous focalisons sur les implications que peut induire, dans le modèle de la décision, la présence d'un ou de plusieurs décideurs. Ceci nous conduira à la formalisation du problème sur lequel nous nous concentrons dans nos travaux, à savoir l'analyse des politiques de coopération dans un avenir indéterminé, et la distinction de deux types de perspectives de décisions (perspectives globale et locale) dans lesquels les décideurs peuvent se placer. Dans le premier type de perspective, c'est-à-dire la perspective globale, nous décrivons les différents concepts de la théorie de la décision que nous utilisons et les différentes adaptations que nous en faisons pour aider les décideurs à analyser les politiques de coopération qu'il peuvent mettre en place en prenant en compte l'intérêt global des décideurs (intérêt de l'ensemble des décideurs). Dans le deuxième type de perspective c'est-à-dire, la perspective locale, nous décrivons les différents concepts de la théorie des jeux que nous utilisons et les différentes adaptations que nous en faisons pour aider les décideurs à analyser les politiques de coopération qu'il peuvent mettre en place en prenant en compte l'intérêt local des décideurs (intérêt de chaque décideur).

7.2.1 Modèle général de décision

En dehors du critère d'évaluation (fonction d'utilité $u(.)$ ⁴³ par exemple), tout modèle de décision est défini par [Poudou, 05] :

- le système auquel le décideur est confronté,
- le ou les décideurs,
- l'environnement du système,

⁴³ Il est commode et usuel de représenter les préférences d'un individu au moyen d'un critère d'évaluation de ces préférences. En se plaçant dans l'hypothèse de la rationalité, la fonction d'utilité est un moyen d'ordonner les décisions de l'individu selon ses préférences.

- la structure d'information.

Ce système peut être perturbé de deux manières principales :

- 1) par la décision des acteurs : soit S l'ensemble des décisions possibles, une décision est notée $s \in S$.
- 2) Par les éventualités de la nature : la nature, c'est l'environnement non contrôlé d'un décideur donné, une éventualité est une caractérisation de la variable $\omega \in \Omega$ où Ω est l'ensemble des états de la nature.

Ainsi, le modèle de décision d'un individu devra évaluer, au travers de la fonction d'utilité, les performances relatives de ses décisions sur le système auquel il est confronté étant donné l'éventualité w de la nature. Dans ce cadre là la fonction d'utilité du décideur dépend explicitement ou implicitement de l'état de la nature, $u(.) = u(s, w)$.

Après avoir défini le modèle général de décision, nous nous intéressons dans le paragraphe suivant à un aspect primordial de ce modèle, à savoir la nature et la relation entre les objectifs des décideurs.

7.2.2 Décideur unique, équipes et jeux

Les modèles de décision décrits jusqu'ici ne mettent en jeu qu'un seul décideur pour contrôler le système. Toutefois, il se peut que le décideur soit capable d'identifier dans son environnement d'autres entités avec lesquels il est capable d'interagir pour contrôler le système.

A ce moment-là deux situations peuvent survenir. Si les critères d'évaluations des décideurs sont communs, on se ramène au cas du décideur unique, en supposant l'existence d'une entité organisationnelle représentant l'ensemble des décideurs. Nous dirons dans ce cas qu'on se place dans une « perspective globale » et que l'ensemble des décideurs constitue un « ensemble homogène ». Si les critères d'évaluation des décideurs ne sont pas communs, on se trouve en présence d'une situation conflictuelle. Nous dirons dans ce cas qu'on se place dans une « perspective locale » et que l'ensemble des décideurs constitue un ensemble « hétérogène ».

7.2.3 Formalisation du problème d'analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé⁴⁴

La formalisation du problème d'analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé, peut se résumer comme suit :

- le système auquel le (les) décideur (s) est (sont) confronté (s) est une chaîne logistique.
- Aux décideurs de la chaîne logistique considérée, on associe S l'ensemble des décisions possibles résultant du croisement des décisions propres à chaque décideur, une décision⁴⁵ est notée $s \in S$. Dans le cadre de notre étude, on entend par l'ensemble de décisions possibles l'ensemble des politiques de coopération que le décideur peut mettre en place dans le cadre de la planification de son activité (planification des stocks, planification des capacités, planification des lancements de production...). Ces derniers connaissent aussi toutes les éventualités de la nature Ω ⁴⁶, une éventualité est notée $\omega \in \Omega$. Dans le cadre de notre étude, on entend par éventualité de la nature un scénario donné du marché.

La prise de décision, dans ce cas, peut être schématisée sous la forme de la matrice suivante :

⁴⁴ L'indétermination de cet avenir est en liaison avec la difficulté qu'on a vis-à-vis de sa prédictibilité. Elle est ainsi en liaison avec le degré d'incertitude qui pèse sur cet avenir.

⁴⁵ L'usage du terme « décision » est équivalent ici au terme « stratégie » et désignent tous les deux une politique de coopération.

⁴⁶ L'usage du terme « état de la nature » est équivalent ici à celui du terme « éventualité » pour désigner un scénario donné du marché.

		Etats de la nature		
		\mathbf{w}_1	...	\mathbf{w}_j
Stratégies	\mathbf{s}_1	u_{11}	...	u_{1j}

	\mathbf{s}_i	u_{i1}	...	u_{ij}

U_{ij} : utilité associée à la stratégie i dans le cadre de l'éventualité j .

Figure 1 : La matrice de la décision.

Le problème s'écrit alors :
$$\text{Opt}_{s \in S} \Phi(u(s, \omega)), \omega \in \Omega$$

où Φ est le critère de choix du ou des décideurs impliqués dans le problème et qui cherchent à définir la ou les politique (s) de coopération à mettre en place.

En considérant le positionnement des décideurs face au système qu'ils cherchent à contrôler (la chaîne logistique) et la relation liant leurs objectifs, nous distinguerons deux variantes du problème d'analyse des politiques de coopération en avenir incertain :

- la première variante focalise sur le cas où la résolution du problème est faite en se plaçant dans une perspective globale c'est-à-dire que l'évaluation des politiques de coopération est faite suivant une valorisation de la totalité de la chaîne logistique.
- Et la deuxième variante qui focalise sur le cas où la résolution du problème est faite en se plaçant dans une perspective locale c'est-à-dire que l'évaluation des politiques de coopération est faite suivant une valorisation centrée non pas sur la chaîne, mais plutôt sur les acteurs.

Les deux paragraphes qui suivent sont consacrés respectivement à chacune de ces deux variantes du problème d'analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé.

7.2.4 Analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé : une perspective globale

Dans cette variante du problème, nous distinguons également deux cas et ceci selon le degré d'incertitude qui porte sur les occurrences des différents états de la nature (scénarios du marché) :

- situation où l'on connaît tous les états de la nature et qu'on peut les probabilités de leurs occurrences en définissant des probabilités objectives (cas où l'on dispose d'une information grande). Dans cette situation, on se place dans le domaine de l'aléatoire [Picard *et al.*, 80], et on parle d'une décision sous risque ([Myoung, 03], [Lang, 03]).
- Situation où l'on connaît tous les états de la nature, mais on ne peut aisément définir les probabilités (cas où l'on dispose d'une information moyenne) caractérisant l'occurrence de ces différents états. Dans cette situation, on se place dans le domaine de la faible incertitude [Picard *et al.*, 80], et on parle de décision sous incertitude ([Myoung, 03], [Lang, 03]).

7.2.4.1 Décision sous incertitude

En état d'incertitude, nous considérons les degrés d'optimisme et de pessimisme du preneur de décision. Le choix de la stratégie est déterminé par l'attitude de ce dernier.

Dans ce contexte, nous proposons plusieurs critères Φ de choix qui peuvent être utilisés pour l'évaluation des politiques de coopération ([Carluer et Richard, 02] et [Kast, 02]) (voir le tableau suivant) :

CRITERES	$\phi(u(s, w))$	Interprétation
Laplace	$L(s) = \frac{1}{n} \sum_{w \in \Omega} u(s, w)$	Equiprobabilité
Wald (Maximin)	$W(s) = \min\{u(s, w) / w \in \Omega\}$	On optimise l'évaluation minimale (pessimisme)
Optimiste d'Hurwicz (Maximax)	$H_o(s) = \max\{u(s, w) / w \in \Omega\}$	On optimise l'évaluation maximale (optimisme)
Pondération d'optimisme d'Hurwicz	$H(s) = (1 - C_o).m(s) + C_o.M(s)$	Degré d'optimisme
Savage (Minmax Regret)	$S(s) = \text{Max}\{r_w(s) / w \in \Omega\}$	Approche prudente

Tableau 1 : Exemple de critères de choix dans un environnement incertain.

Avec :

- n le nombre d'états de la nature.
- $u(s, w)$ l'utilité associée à la stratégie (décision) s dans l'état w ,
- $m(s)$: le pire des cas sur l'ensemble des états de la nature w qu'on peut avoir en choisissant s .
- $M(s)$: le meilleur des cas sur l'ensemble des états de la nature w qu'on peut avoir en choisissant s .
- C_o : un coefficient compris entre 0 et 1 traduisant le degré d'optimisme du décideur.
- $r_w(s) = \text{Max}\{u(s', w) / s' \in S\} - u(s, w)$: regret qu'aurait le décideur en ayant pris la décision s une fois que l'état de la nature w est observé.

Dans ce qui suit, nous donnons la signification de chacun de ces critères, ainsi que la démarche de calcul associée à chacun. Remarquons enfin que dans le cadre de nos travaux nous remplaçons l'utilité $u(s, w)$ par $C_w(s)$ le coût associé à la stratégie (décision) s dans l'état w les, ainsi les critères de choix exposés dans le Tableau 1 deviennent :

CRITERES	$\phi(C_w(s))$	Interprétation
Laplace	$L(s) = \frac{1}{n} \sum_{w \in \Omega} C_w(s)$	Equiprobabilité
Wald (Minimax)	$W(s) = \max\{C_w(s) / w \in \Omega\}$	On optimise l'évaluation minimale (pessimisme)
Optimiste d'Hurwicz (Minimin)	$H_o(s) = \min\{C_w(s) / w \in \Omega\}$	On optimise l'évaluation maximale (optimisme)
Pondération d'optimisme d'Hurwicz	$H(s) = C_o.m(s) + (1 - C_o).M(s)$	Degré d'optimisme
Savage (Minmax Regret)	$S(s) = \text{Max}\{r_w(s) / w \in \Omega\}$	Approche prudente

Tableau 2 : Critères de choix dans un environnement incertain : une évaluation en utilisant les coûts.

✓ Description des critères de choix et méthodes de calcul

- **Critère de Laplace** : $L(s) = \frac{1}{n} \sum_{w \in \Omega} C_w(s)$

Ce critère de Laplace (Laplace-Bayes) consiste à effectuer une simple moyenne arithmétique des revenus espérés, associés pour chaque stratégie aux divers états de la nature, puis à retenir la stratégie dont la moyenne est la plus élevée. L'avantage de ce premier critère réside dans sa simplicité de calcul, son inconvénient majeur est d'être peu réaliste : on prétend raisonner en avenir indéterminé, c'est-à-dire dans le cadre d'une situation où l'on ne peut affecter aisément une probabilité précise de réalisation à chacun des états de nature, alors que le choix du critère de Laplace-Bayes équivaut, par l'intermédiaire du choix de l'instrument « moyenne arithmétique », à attribuer implicitement la même probabilité d'arrivée aux divers états de nature. En outre, il correspond à un type de comportement des dirigeants d'entreprises tout à fait particulier, caractérisé par une neutralité totale à l'égard du risque. Nous verrons ultérieurement qu'un tel comportement est peu représentatif de l'attitude réelle des dirigeants d'entreprises à l'égard du risque : ces derniers sont rarement neutres à l'égard du risque ; tantôt l'amour du jeu les conduira à un optimisme déraisonné, tantôt au contraire la crainte de l'échec les conduira à des évaluations systématiquement pessimistes du rendement de leurs projets de décision.

Pour illustrer la méthode de calcul de ce critère, considérons à titre d'exemple un cas où on a trois états de la nature (w_1, w_2, w_3) et trois stratégies possibles ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$). Les coûts $C_w(s)$ que peut réaliser le décideur selon chaque stratégie et état de la nature sont représentés dans la matrice des coûts suivante :

Décisions	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
Scénarios						
W ₁	211	82	32	0	14	38
W ₂	973	482	247	79	47	55
W ₃	1 482	748	393	133	69	66

Tableau 3 : Exemple d'illustration du calcul des critères de choix.

On calcule, pour chaque décision, la moyenne arithmétique des trois coûts, on obtient :

Stratégies	$L(s) = \frac{1}{n} \sum_{w \in \Omega} C_w(s)$
S ₁	$(211 + 973 + 1482) / 3 = 889$
S ₂	$(82 + 482 + 748) / 3 = 437$
S ₃	$(32 + 247 + 393) / 3 = 224$
S ₄	$(0 + 79 + 133) / 3 = 71$
S ₅	$(14 + 47 + 69) / 3 = 43$
S ₆	$(38 + 55 + 66) / 3 = 53$

Tableau 4 : Méthode de calcul du critère de Laplace.

On retient la décision pour laquelle la moyenne arithmétique des coûts est minimale : S₅

- **Le critère de Wald :** $W(s) = \max\{C_w(s) / w \in \Omega\}$

L'adoption de ce critère correspond à une attitude prudente du preneur de décision : celui-ci cherchera à identifier pour chaque stratégie possible l'état de nature qui conduirait aux moins bons résultats. Après quoi, il cherchera à se couvrir en adoptant la stratégie qui est susceptible de lui fournir, si l'évolution de la nature s'avère défavorable, le résultat le moins mauvais possible.

Le décideur agit donc comme si la nature lui était hostile une fois sa stratégie choisie. Il opte pour la stratégie dont le coût maximal est le plus petit parmi les coûts maximaux : prenons pour chacune des six décisions, donc pour chaque colonne, le coût maximal :

Stratégies	$W(s) = \max\{C_w(s) / w \in \Omega\}$
S ₁	$\max(211, 973, 1482) = 1482$
S ₂	$\max(82, 482, 748) = 748$
S ₃	$\max(32, 247, 393) = 393$
S ₄	$\max(0, 79, 133) = 133$
S ₅	$\max(14, 47, 69) = 69$
S ₆	$\max(38, 55, 66) = 66$

Tableau 5 : Méthode de calcul du critère de Wald.

Nous retenons la décision dont le coût maximum est le plus petit : c'est la décision S₆.

- **Le critère optimiste d'Hurwicz :** $H_o(s) = \min\{C_w(s) / w \in \Omega\}$

Ici, le preneur de décision prévoit qu'il aura les faveurs du hasard. Il choisit la stratégie qui peut être la plus rentable. Il ne désire pas s'assurer un minimum, mais espère plutôt avoir des coûts faibles si la chance lui sourit. La démarche de calcul correspondant à ce critère est la suivante :

Dans chaque colonne, on choisit le coût le plus faible, soit :

Stratégies	$H_o(s) = \min\{C_w(s) / w \in \Omega\}$
S ₁	$\min(211, 973, 1482) = 211$
S ₂	$\min(82, 482, 748) = 82$
S ₃	$\min(32, 247, 393) = 32$
S ₄	$\min(0, 79, 133) = 0$
S ₅	$\min(14, 47, 69) = 14$
S ₆	$\min(38, 55, 66) = 38$

Tableau 6 : Méthode de calcul du critère optimiste d'Hurwicz.

Le critère retient le coût le plus faible parmi ces coûts, soit la stratégie S_4 .

- **Le critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz :** $H(s) = C_o \cdot m(s) + (1 - C_o) \cdot M(s)$

Les deux critères précédents ont un caractère commun : celui d'être associé à l'idée que la nature est fondamentalement hostile au joueur. C'est cette idée que Hurwicz remet en cause, en introduisant la possibilité d'une nature plus clémente à l'égard du joueur. Concrètement, le critère qu'il propose consiste à calculer pour chacune des stratégies une moyenne pondérée H du pire et du meilleur de ses résultats potentiels, et à choisir la stratégie s pour laquelle $H(s)$ est la plus petite. Lorsque C_o est égal à 0, le critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz se confond avec le critère de Wald. Lorsque C_o est égal à 1, il conduit le décideur à ne prendre en considération que le meilleur des résultats potentiels (à cette éventualité correspondrait un optimisme à toute épreuve du décideur). Ce dernier prévoit qu'il aura les faveurs du hasard. Il s'agit dans ce cas du critère optimiste d'Hurwicz.

La démarche de calcul, dans ce cas, peut s'illustrer comme suit :

On prend la décision qui minimise la grandeur H :

Stratégies	$H(s) = C_o \cdot m(s) + (1 - C_o) \cdot M(s)$
S_1	$C_o \cdot 1482 + (1 - C_o) \cdot 211$
S_2	$C_o \cdot 748 + (1 - C_o) \cdot 82$
S_3	$C_o \cdot 393 + (1 - C_o) \cdot 32$
S_4	$C_o \cdot 133 + (1 - C_o) \cdot 0$
S_5	$C_o \cdot 69 + (1 - C_o) \cdot 14$
S_6	$C_o \cdot 66 + (1 - C_o) \cdot 38$

Tableau 7 : Méthode de calcul du critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz.

- Pour $C_o = 0$, on retrouve donc le critère pessimiste de Wald et la stratégie S_6 est à retenir.
- Pour $C_o = 1$, on retrouve donc le critère optimiste de Hurwicz et la stratégie S_4 est à retenir.

Pour les valeurs intermédiaires du coefficient d'optimisme, le calcul aboutit aux résultats suivants :

$$0 \leq C_o < 0,2 : \text{stratégie } S_6$$

$$0,2 \leq C_o \leq 0,8 : \text{stratégie } S_5$$

$$0,8 < C_o \leq 1 : \text{stratégie } S_4$$

- **Le critère de Savage ou du Minimax Regret :** $S(s) = \text{Max}\{r_w(s) / w \in \Omega\}$

Au lieu de ne considérer que les valeurs extrêmes, il est possible, pour le décideur, d'anticiper les « regrets » qu'il aurait en ayant pris une décision une fois que l'état de la nature est observé. Ces « regrets », qui sont des manques à gagner, aussi appelés coûts d'opportunité, sont calculés pour

chaque décision en faisant les différences entre le coût réalisé dans chaque état et le coût minimal qui aurait pu être obtenu en choisissant une autre décision :

$$r_w(s) = C_w(s) - \text{Min}\{C_w(s') / s' \in S\}$$

(Le regret est nul si s est justement la décision qui présente le meilleur coût dans l'état w .) Le critère de Savage, dit aussi MinMax-Regret, conseille de choisir une décision qui minimise le regret maximal.

Afin de décrire la méthode de calcul de ce critère, construisons la matrice de regret (voir tableau) :

Décisions Scénarios	S					
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
W ₁	211	82	32	0	14	38
W ₂	926	435	200	32	0	8
W ₃	1 416	682	327	67	3	0

Tableau 8 : Méthode de calcul de la matrice de regret.

Ceci se fait en retenant pour chaque état de la nature de la matrice des coûts le coût minimal sur l'ensemble des stratégies, et en calculant ensuite la différence entre ce coût et le coût correspondant à chaque stratégie (par exemple, $211 = 211 - \min(211, 82, 32, 0, 14, 38)$, $926 = 926 - \min(926, 482, 247, 79, 47, 55)$, etc.). Ainsi, à chaque stratégie on peut faire correspondre un regret (le regret maximum sur les trois scénarios) :

$$S_1 : 1\ 416 - S_2 : 682 - S_3 : 327 - S_4 : 67 - S_5 : 14 - S_6 : 38$$

La stratégie à retenir est celle qui minimise le regret : S_5 .

7.2.4.2 Décision sous risque

La situation de risque se traduit par une distribution de probabilité objective définie par la nature même du problème et non les évaluations personnelles (subjectives) de la situation par les décideurs. Mais cela est rarement le cas en réalité : les décideurs disposent rarement de ce genre de lois de la nature. Ils font alors des jugements sur la vraisemblance des différents résultats possibles. En pratique, tout se passait comme si les individus possédaient des croyances probabilistes sur la vraisemblance des différents événements. C'est l'objet même de la théorie des probabilités subjectives [Savage, 54], qui considère que même si les états du monde ne peuvent être associés à des probabilités objectives et connues, les décideurs se comportent comme si des probabilités étaient associées aux états de la nature.

Dans une telle situation, on utilise en général comme critère de choix Φ le critère de l'espérance mathématique.

✓ Description du critère de choix et méthode de calcul

- Critère de l'espérance mathématique (Critère de Pascal) : $E(s) = \sum_{w \in \Omega} p_w \cdot C_w(s)$

Si l'état de connaissance partielle du décideur sur les états de la nature lui permet de définir des probabilités même non précises pour ces différents états, il peut faire recours au critère de l'espérance

mathématique qui cherche à minimiser sur les différentes stratégies du décideur la somme des coûts espérés pondérés par les probabilités des états de la nature auxquels ces revenus sont attribués.

On suppose que les probabilités affectées aux différents états de la nature de l'exemple de la section précédente sont données par : $p(W1) = 1/2$, $p(W2)=1/4$, et $p(W3) = 1/4$.

On calcule pour chaque décision l'espérance mathématique des trois coûts. On obtient :

Stratégies	$E(s) = \sum_{w \in \Omega} p_w \cdot C_w(s)$
S ₁	$1/2 * 211 + 1/4 * 973 + 1/4 * 1482 = 719$
S ₂	$1/2 * 82 + 1/4 * 482 + 1/4 * 748 = 349$
S ₃	$1/2 * 32 + 1/4 * 247 + 1/4 * 393 = 176$
S ₄	$1/2 * 0 + 1/4 * 79 + 1/4 * 133 = 53$
S ₅	$1/2 * 14 + 1/4 * 47 + 1/4 * 69 = 365$
S ₆	$1/2 * 38 + 1/4 * 55 + 1/4 * 66 = 49$

Tableau 9 : Méthode de calcul du critère de l'espérance mathématique.

On retient la décision pour laquelle l'espérance mathématique des coûts est minimale : S₅

7.2.4.3 Les critères de choix en avenir indéterminé : un récapitulatif

Afin de faire un récapitulatif sur l'utilisation que nous faisons des différents critères selon la nature du contexte de la décision dans lequel on se place, nous proposons la figure suivante :

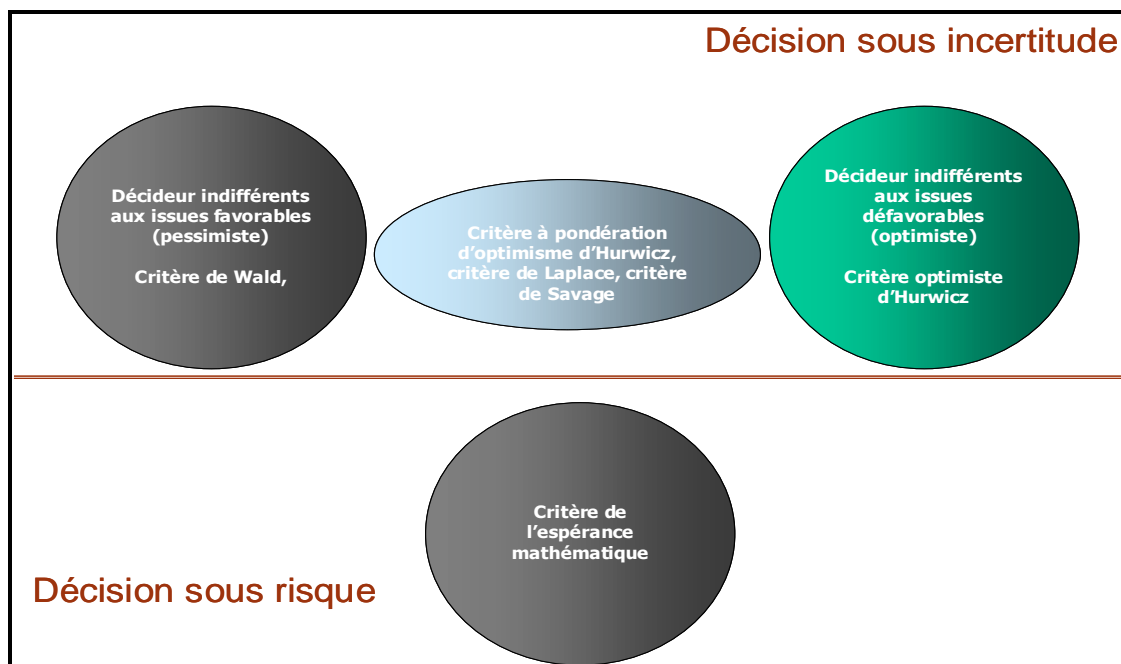


Figure 2 : Utilisation des critères de choix en avenir indéterminé.

7.2.5 Analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé : une perspective locale

Dans cette variante du problème d'analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé, nous nous basons sur la théorie des jeux, qui est un outil formel pour l'étude de la coordination et plus généralement l'interaction entre les acteurs de la chaîne logistique. Pour cela, nous donnerons, dans la section suivante, une présentation de cette théorie.

7.2.5.1 Qu'est-ce que la théorie des jeux

La théorie des jeux se propose de mettre sous forme mathématique des situations, appelées situations stratégiques ou jeux, dans lesquelles des agents⁴⁷ (les joueurs) à la recherche du gain maximum (hypothèse de rationalité) sont en interaction, autrement dit des situations dans lesquelles les actions prises par n'importe quel agent auraient des conséquences sur les autres.

7.2.5.2 Hypothèses

En utilisant la théorie des jeux dans cette thèse, nous adoptons les hypothèses suivantes :

- nous considérons des jeux dans lesquels les joueurs prennent leurs décisions simultanément. Il s'agit donc de « jeux sous forme stratégique ».
- Les joueurs font leurs décisions d'une façon indépendante.
- La rationalité des joueurs est infinie et permet aux joueurs d'itérer leurs raisonnements un nombre infini de fois.
- Les joueurs ne se coordonnent pas.
- Nous considérons des « jeux à information complète », c'est-à-dire que les joueurs ont une connaissance commune de la structure et les composantes du jeu.

Avec les hypothèses énoncées ci-dessus, nous pouvons donner maintenant les définitions en théorie des jeux utiles pour la compréhension de notre travail. Sauf indication contraire, ces définitions sont extraites de [Jehle et Reny, 00].

7.2.5.3 Jeu sous forme stratégique

Jeu sous forme stratégique Un jeu sous forme stratégique est un n-uplet $G = (R^i, u^i)_{i=1}^N$ où pour chaque joueur $i = 1, \dots, N$ R^i est l'ensemble fini de stratégies disponibles pour le joueur i , et $u^i : R^1 \times \dots \times R^N \rightarrow \mathfrak{R}$ décrit l'utilité (payoff) du joueur i comme une fonction des stratégies choisies par tous les joueurs.

7.2.5.4 Définition des relations de dominances

A ce stade, nous avons un formalisme décrivant les jeux, nous savons que les agents maximisent leurs utilités, du moment qu'ils sont rationnels. Mais nous ne savons pas comment les agents effectuent cette

⁴⁷ Un agent ou un joueur impliqué dans un jeu peut être une personne, un groupe de personnes, une société, une région, un parti politique, un pays.

maximisation, puisqu'ils sont dans l'obligation de prendre les décisions des autres en compte. Nous nous concentrons donc maintenant sur les outils d'analyse des jeux.

Dans un premier temps, nous nous intéressons aux relations de dominance. Pour cela, nous introduisons d'abord les stratégies strictement dominantes. Une stratégie strictement dominante est strictement supérieure à toutes les autres, c'est qu'elle est la meilleure quel que soit la stratégie choisie par les autres joueurs.

Stratégies strictement dominantes Une stratégie \hat{r}^i pour un joueur i est strictement dominante si $u^i(\hat{r}^i, r^{-i}) > u^i(r^i, r^{-i})$ pour tout $(r^i, r^{-i}) \in R$ avec $r^i \neq \hat{r}^i$.

Considérons l'exemple donné par la Table 10. Les stratégies disponibles pour les joueurs J_1 et J_2 sont $R^1 = \{U, C, D\}$ et $R^2 = \{L, M, R\}$. M est une stratégie dominante pour J_2 , puisqu'elle garantit le gain le plus élevé quel que soit le choix de stratégie que fait J_1 :

- Si J_1 choisit U, J_2 gagne 4, qui est le maximum entre 0, 4 et 3 qui sont les gains qu'il peut avoir en jouant L, M ou R.
- Si J_1 choisit C, J_2 perd 1 qui est le minimum des pertes entre -2, -1 et -4.
- Si J_1 choisit D, J_2 gagne 8 qui est le maximum entre 4, 8 et 6.

J_1	J_2	L	M	R
U		3 ; 0	0 ; 4	2 ; 3
C		1 ; -2	3 ; -1	4 ; -4
D		2 ; 4	-1 ; 8	2 ; 6

Tableau 10 : Stratégie strictement dominante source : [Jeble et Reny, 01].

Dans tous les cas de figure, M garantit le gain le plus élevé pour le joueur J_2 : M est par conséquent une stratégie dominante pour J_2 , J_1 est sûr que son adversaire va sans doute choisir M. Ce dernier est sûr du choix de J_2 , puisque tous les deux joueurs possèdent une connaissance commune du jeu, du moment où nous considérons des jeux à information complète, et raisonnent de la même façon, du moment où tous les deux ont rationalité illimitée (infinie). En conclusion, J_1 choisit C pour gagner 3, puisqu'il sait que seulement (U, M), (C, M) et (D, M) pourraient être choisis, et qu'il préfère (C, M).

Stratégies strictement dominées La stratégie \hat{r}^i du joueur i domine strictement une autre de ses stratégies \bar{r}^i si $u^i(\hat{r}^i, r^{-i}) > u^i(\bar{r}^i, r^{-i})$ pour tout $r^{-i} \in R \in R^{-i}$. Dans ce cas, nous dirons aussi que \bar{r}^i est strictement dominée dans R .

Pour illustrer ce concept, considérons maintenant le jeu présenté dans le Tableau 11 (a). Aucun joueur ne possède une stratégie strictement dominante, mais chacun possède une stratégie strictement dominée, *i.e.* une stratégie non attractive. En fait, J_1 aura un meilleur sort en D qu'en C, quel que soit ce qui est choisi par J_2 . De la même façon, J_2 aura un meilleur sort en R qu'en M, quel que soit ce qui est choisi par J_1 . Par conséquent, les stratégies C et M sont dominées par d'autres stratégies pour aucun des deux joueurs : elles vont donc être éliminées, puisqu'elles ne seraient jamais choisies par aucun des deux joueurs qui sont supposés rationnels. La forme réduite du jeu (a) obtenue suite à l'élimination de ces deux stratégies est représentée dans le Tableau 11 (b).

Dans ce deuxième tableau (Tableau 11 (b)), nous pouvons remarquer que U devient une stratégie dominante pour J_1 . Cette stratégie n'était pas dominante au début (Tableau 11 (a)), mais cette

dominance apparaît lorsque C et M sont éliminées. Comme U est dominante pour J_1 , D est dominée par U. Ainsi, nous pouvons éliminer D dans un second tour de stratégies strictement dominées. Le résultat de cette élimination est donné par le Tableau 11 (c).

Comme J_1 va jouer seulement U dans le Tableau 11 (c), R est strictement dominée par L pour J_2 , c'est ce qui donne le Tableau 11 (d). Finalement, nous connaissons exactement la stratégie choisie par chacun des deux joueurs : la solution du jeu du Tableau 11 (a) est (U, L), *i.e.* la seule stratégie commune restante dans le Tableau 11 (d).

J_2	L	M	R
J_1			
U	3 ; 0	0 ; -5	0 ; -4
C	1 ; -1	3 ; 3	-2 ; 4
D	2 ; 4	4 ; 1	-1 ; 8

(a) jeu original

J_2	L	R
J_1		
U	3 ; 0	0 ; 4
D	2 ; 4	-1 ; 8

(b) jeu après le premier tour d'élimination des stratégies strictement dominées.

J_2	L	R
J_1		
U	3 ; 0	0 ; -4

(c) jeu après le deuxième tour d'élimination des stratégies strictement dominées.

J_2	L
J_1	
U	3 ; 0

(d) jeu après le troisième tour d'élimination des stratégies dominées.

Tableau 11 : Stratégies strictement dominées (source : [Jeble et Reny, 01]).

7.2.5.5 Définition des concepts de solution

A ce stade, nous avons seulement comparé des stratégies pour des joueurs individuels. Dans la définition de l'amélioration-Pareto⁴⁸, de l'efficacité-Pareto⁴⁹, du bien-être social⁵⁰ et de l'équilibre de Nash, des stratégies communes sont comparées entre elles. Comme ces concepts définissent les issues possibles d'un jeu, elles sont appelées « concepts de solution ». Les deux premiers de ces concepts sont maintenant introduits.

Amélioration-Pareto La stratégie commune \hat{r} améliore, dans le sens de Pareto, la stratégie commune r , si pour chaque joueur i , $U^i(\hat{r}) \geq U^i(r)$ et qu'il existe au moins un joueur pour lequel $U^i(\hat{r}) > U^i(r)$.

Cette définition implique qu'une Amélioration-Pareto peut être seulement faite si c'est possible d'améliorer la situation d'un joueur sans dégrader la situation du reste des joueurs. S'il n'y a pas moyen d'une amélioration-Pareto à partir d'une stratégie commune donnée, alors nous dirons que cette stratégie commune est Pareto-éfficace. Une situation est Pareto-éfficace s'il est impossible d'améliorer le score de l'un des deux joueurs sans diminuer le score des autres :

⁴⁸ Le terme original est « Pareto-improvement ».

⁴⁹ Le terme original est « Pareto-efficiency ».

⁵⁰ Le terme original est « Social welfare ».

Efficienc-Pareto La stratégie commune \hat{r} est Pareto-efficiente si pour chaque joueur i , et pour n'importe quelle stratégie commune $r \neq \hat{r}$, $U^i(\hat{r}) \geq U^i(r)$.

Par conséquent, il est possible d'avoir plusieurs stratégies communes qui sont Pareto-efficientes. Dans le Tableau 4, quelques entrées ne sont pas Pareto-efficientes. En particulier, (U, R) pourrait être amélioré, dans le sens de Pareto, puisque si le joueur J_1 change U en D, il pourrait accroître les gains des autres joueurs sans changer son propre gain. Cette deuxième entrée, (D, R) ne peut pas être améliorée dans le sens de Pareto, puisque dans toutes les autres entrées, soit un joueur améliore sa situation en dégradant les situations des autres, soit tous les joueurs sont lésés. De ce fait, (D, R) est Pareto-efficiente, bien que nous ayons vu que R est strictement dominée pour J_2 . D'une façon similaire, (U, L) améliore, dans le sens de Pareto, (C, M) et (C, L). Finalement, nous pouvons vérifier que (U, L), (U, M), (D, L), (D, M) et (D, R) sont Pareto-efficientes.

Considérons maintenant un autre concept de solution, appelé le maximum du bien-être social. En général, c'est difficile de construire une fonction représentant le bien-être social, c'est-à-dire l'agrégation des utilités des agents, puisque l'utilité des agents ne peut pas être comparée avec l'utilité d'autres agents. En fait, les agents possèdent différents points de vue à propos d'une situation, et donc leur utilité est mesurée en unités différentes. Par exemple, l'argent, la joie et la santé ne peuvent pas être comparés ensemble. De ce fait, dans cette thèse, nous nous intéressons aux utilités d'agents qui peuvent être comparées entre elles, utilisant l'argent comme unité commune.

Considérons la définition suivante, est issu de [Sandholm, 99] :

Bien-être social L'ensemble des joueurs optant pour la stratégie commune r contribue à un bien-être social $U^i(\hat{r}) \geq U^i(r)$.

Avec cette définition, le bien-être social mesure le bien global des agents comme étant la somme des utilités des agents, dans le cas où ceux-ci utilisent une métrique commune pour leurs utilités. Si nous supposons que l'utilité de J_1 est équivalente à celle de J_2 , nous pourrions calculer le bien être social dans toutes les entrées du jeu présentée dans le Tableau 11 (a). Le résultat de ce calcul est donné dans le tableau suivant :

J_2	L	M	R
J_1			
U	3=3 +0	-5=0-5	-4=0-4
C	0=1 -1	6=3+3	2=-2+4
D	6=2+4	5=4+1	7=-1+8

Tableau 12 : Stratégies strictement dominées (source : [Jeble et Reny 01]).

Nous avons vu précédemment que la solution de ce jeu est (U, L). (U, L) induit un bien-être social de $3+0=3$, qui est très loin du maximum de $-1+8=7$ donné par la stratégie (D, R) qui procure pour J_2 un gain de 8 et pour J_1 une perte de 1 : le joueur J_2 pourrait donc donner 5 au joueur J_1 pour l'inciter à opter pour cette stratégie c'est-à-dire pour (D, R). Dans ce cas, les deux joueurs pourraient améliorer leurs sorts : J_1 pourrait avoir 4 au lieu de 3, et J_2 pourrait avoir 3 au lieu de 0.

Malencontreusement, de tels arrangements ne sont pas permis par la théorie des jeux ; si de tels transferts sont possibles, il faut les inclure dans la définition des stratégies, *i.e.* avant l'écriture des résultats dans le Tableau 11 (a).

Finalement, le dernier concept que nous utilisons est l'équilibre de Nash en stratégie pure⁵¹. Ce concept assez connu a été proposé par John Nash en 1951. Il représente le concept d'équilibre le plus important dans toute la théorie des jeux, puisque c'est le plus l'équilibre le plus généralisé qui est connu.

Equilibre de Nash en stratégie pure Etant donné un jeu sous forme stratégique $G = (R^i, u^i)_{i=1}^N$, la stratégie commune $\hat{r} \in R$ est un équilibre de Nash en stratégie pure du jeu G , si pour chaque joueur i , $u^i(\hat{r}) > u^i(r^i, \hat{r}^{-i})$ pour tout $r^i \in R^i$.

Dans une telle stratégie commune, aucun joueur ne serait tenté par un changement de la stratégie qu'il a choisie, en observant ce qui est choisi par un autre joueur. L'équilibre de Nash est de ce fait, d'un point de vue mathématique, un point fixe d'une fonction décrivant le jeu [Nash, 51]. En général, il peut y avoir plusieurs équilibres de Nash en stratégie pure ou aucun. Ces deux cas constituent un problème, puisque dans un cas quel équilibre apparaîtrait et dans l'autre cas quelles décisions les joueurs préféreraient.

Nous avons vu précédemment, dans le jeu du Tableau 11 (a), que les joueurs vont choisir la stratégie commune (U, L). Nous pouvons aussi trouver ce résultat en appliquant le concept de l'équilibre de Nash, afin d'illustrer le sens de cet équilibre. Pour ce faire, nous testons les neuf entrées du Tableau 11 (a), pour s'assurer que chaque joueur n'a aucune incitation pour quitter l'entrée considérée c'est-à-dire (U, L). Par exemple, pour l'entrée (U, L) :

- Le joueur J_1 possède un gain de 3, qui est mieux de 1 s'il joue C à la place de U et aussi mieux que 2 s'il joue D à la place de U ;
- Le joueur J_2 possède un gain de 0, qui est mieux de -5 s'il joue M à la place de L et aussi mieux que -4 s'il joue R à la place de L.

Retournons maintenant au Tableau 11 (a) pour décrire une sophistication de l'équilibre de Nash : l'équilibre de la dominance itérée. Dans ce tableau, (U, L) est la solution obtenue par éliminations récursives des stratégies dominées dans le jeu : (U, L) est un équilibre de la dominance itérée. Ce concept est plus puissant et intègre le concept de l'équilibre de Nash. C'est que l'équilibre de la dominance itérée est un équilibre de Nash avec la particularité d'être préféré par les joueurs à n'importe quels autres équilibres. [Rasmusen, 94] définit de tels équilibres de la dominance comme suit :

Equilibre de la dominance itérée Un équilibre de la dominance itérée est un profil de stratégie résultant de l'élimination d'une stratégie dominée de l'ensemble des stratégies d'un des joueurs, du repérage et de l'élimination des stratégies dominées restantes jusqu'à ce qu'une seule stratégie reste disponible pour chaque joueur.

Toutefois, même si les équilibres de la dominance itérée sont plus puissants que les équilibres de Nash, les équilibres de la dominance itérée peuvent ne pas être Pareto-éfficients. Pour s'en rendre compte, rappelons que nous avons montré que (U, L) dans le Tableau 11 (a) est l'équilibre de Nash restant dans le Tableau 11 (d) après une élimination récursive des stratégies strictement dominées, tandis que (D, M) est une amélioration-Pareto de cet équilibre.

Finalement, notons que les stratégies communes Pareto-éfficientes sont différentes des équilibres de Nash, puisque certains joueurs pourraient avoir une incitation pour dévier de la stratégie commune Pareto-éfficiente, ce qui pourrait accroître l'utilité de tels joueurs, mais pourrait aussi décroître l'utilité

⁵¹ Le terme stratégie pure exprime le fait que le joueur i ne possède pas une distribution de probabilité sur l'ensemble de ses stratégies R^i . Nous ne considérons pas de telle distribution de probabilité dans notre travail, puisque nos simulations ne prennent pas en compte un changement de stratégie dans une simulation.

des autres. Par exemple, (C, M) est une amélioration-Pareto de (U, L) dans le Tableau 11 (a). En plus, (C, M) procure plus de bien-être social ($3+3=6$) que (U, L) ($3+0=3$). Quoique, (C, M) ne soit pas un équilibre, puisque chaque joueur a une incitation d'en dévier unilatéralement.

7.2.5.6 La limite de la rationalité

Quand nous considérons des jeux, nous nous intéressons souvent à l'asymétrie entre les capacités des joueurs. Par exemple, certains joueurs peuvent mieux percevoir une situation ou avoir une capacité d'analyse plus forte. C'est typiquement la différence qui existe entre un ordinateur qui joue aux échecs et un joueur humain comme le fait remarquer [Yildizoglu, 03]. Ces différences sont exclues de la théorie des jeux du fait de l'hypothèse de rationalité. Si tous les joueurs du monde étaient des décideurs rationnels tels qu'on a défini ce concept, le jeu d'échec n'aurait aucun intérêt. En effet les agents rationnels se comportent plutôt comme un ordinateur qui joue aux échecs : l'ordinateur utilise la force brute et explore toutes les branches futures du jeu, tandis qu'un joueur humain procède par une appréhension globale et intuitive de la situation. Or, les joueurs diffèrent du point de vue de leur connaissance du jeu et de leurs capacités d'analyse dans les jeux réels. C'est cela même qui fait l'intérêt des jeux que les sociétés humaines inventent. C'est seulement très récemment qu'on a commencé à tenter de modéliser des situations où la rationalité des agents n'est pas parfaite (voir [Kirman et Salmon, 95] et [Rubinstein, 98]).

7.2.5.7 Adaptation des concepts de la théorie des jeux à nos simulations

L'ensemble des coûts $\{C^i\}_{i=1}^N$ évalués chez les N acteurs de la chaîne logistique suite à la simulation des différentes politiques de coopération sont utilisés pour construire un jeu sous forme normale qui consiste en :

- joueurs, qui sont les acteurs qui cherchent à faire coopérer et qui sont, Ces joueurs sont désignés par l'indice i .
- Stratégies r^i , qui sont les politiques de coopération que peut avoir chacun des acteurs considérés dans la chaîne logistique. Par exemple, dans le cas où nous considérons un jeu dans le quel le SCS affronte les deux acteurs CM/OEM, les stratégies des acteurs pourraient être respectivement le coefficients de validation des augmentations des capacités du côté du SCS, et les stratégies de gestion des prévisions (prévisions collaboratives, prévisions non collaboratives) et des flux (flux poussé, flux tiré) du côté de l'acteur CM/OEM.
- Utilités, qui sont remplacées ici par les coûts engendrés chez les acteurs C^i . Ce remplacement est dû au fait, que nous ne considérons pas l'utilité d'une entreprise mais plutôt son coût. Ainsi, les agents ne cherchent pas à maximiser leurs utilités, mais plutôt à minimiser leurs coûts. Pour déterminer ces coûts en prenant en compte l'existence de différents scénarios d'évolution du marché, les acteurs se mettent d'accord pour définir un moyen d'agrégation des coûts associés aux différents scénarios du marché. Si ces derniers jugent que le contexte de la décision correspond à un contexte de décision sous incertitude, ils pourraient choisir parmi les critères de choix que nous avons définis précédemment pour ce contexte, c'est-à-dire parmi les critères suivants :
 - Critère de Laplace,
 - Critère de Wald,
 - Critère optimiste d'Hurwicz,
 - Critère de Savage.
 - Critère à pondération d'optimisme d'Huwicz.

Par contre, s'ils jugent que le contexte de la décision correspond à un contexte de décision sous risque, ils pourraient choisir le critère de l'espérance mathématique.

Par application du critère de choix retenu, chacun des acteurs i est capable de définir l'ensemble de ces coûts C^i .

Les adaptations majeures que nous faisons entre nos notations et les définitions présentées précédemment proviennent de ce dernier remplacement des utilités par les coûts et de l'introduction dans le calcul de ces coûts de la nature de l'indétermination qui caractérise l'avenir ainsi que la perception collective du risque que peuvent avoir les décideurs. Pour prendre en compte ces adaptations, nous nous basons sur les définitions suivantes extraites de [Moyaux, 04]. Nous mentionnons aussi que les acteurs sont placés en exposant, par exemple C^i désigne le coût total chez l'acteur i .

Jeu sous forme stratégique Un jeu sous forme stratégique est un n -uplet $G = R^i, C^i$ où pour chaque joueur $i = 1, \dots, N$, R^i est l'ensemble fini de stratégies disponibles pour le joueur i , et $C^i : R^1 \times \dots \times R^N \rightarrow \mathfrak{R}$ décrit le coût total engendré chez le joueur i comme une fonction des stratégies choisies par tous les joueurs.

Les valeurs des fonctions C^i sont obtenues à partir des simulations faite par notre outil de simulation.

Stratégie commune l'ensemble r des politiques de coopération (r^1, r^2, \dots, r^N) est une stratégie commune.

Plus précisément, r est un vecteur de N stratégies. Par exemple dans le cas $N = 2$, la première stratégie r^1 désigne la politique de coopération utilisée par le premier acteur et la deuxième stratégie r^2 est la politique de coopération utilisée par le deuxième acteur considéré dans le jeu.

Stratégies strictement dominantes Une stratégie \hat{r}^i pour un joueur i est strictement dominante si $C^i(\hat{r}^i, r^{-i}) < C^i(r^i, r^{-i})$ pour tout $(r^i, r^{-i}) \in R$ avec $r^i \neq \hat{r}^i$.

En d'autres mots, une stratégie strictement dominante \hat{r}^i engendre un plus faible coût C^i pour l'acteur i que n'importe quelle autre stratégie, quel que soit la stratégie choisie par l'autre acteur.

Plus précisément, la stratégie dominante \hat{r}^i est le meilleur choix de l'acteur i .

Stratégies strictement dominées La stratégie \hat{r}^i de l'acteur i domine strictement une autre de ses stratégies \bar{r}^i si $C^i(\hat{r}^i, r^{-i}) < C^i(\bar{r}^i, r^{-i})$ pour tout r^{-i} . Dans ce cas, nous dirons aussi que \bar{r}^i est strictement dominée.

Ce qui veut dire que quelle que soit la stratégie r^{-i} choisie par l'autre acteur, une stratégie dominée \bar{r}^i engendre un coût plus élevé C^i qu'une autre stratégie \hat{r}^i . Plus précisément, la stratégie dominée \bar{r}^i est toujours plus mauvaise que la stratégie \hat{r}^i pour l'acteur i .

Equilibre de Nash en stratégie pure La stratégie commune \hat{r} est un équilibre de Nash en stratégie pure, si pour chaque acteur i , $C^i(\hat{r}^i, \hat{r}^{-i}) \leq C^i(r^i, \hat{r}^{-i})$ pour tout $r^i \neq \hat{r}^i$, où $\hat{r} = (\hat{r}^1, \hat{r}^2)$.

Contrairement aux deux relations de dominance décrites ci-dessus, l'équilibre de Nash est un état stable de la chaîne logistique : lorsque les acteurs choisissent la stratégie commune $\hat{r} = (\hat{r}^1, \hat{r}^2)$, aucun d'entre eux n'a une incitation pour choisir une autre stratégie en étant conscient du comportement de l'autre. En d'autres mots, aucun acteur ne veut unilatéralement dévier de cette situation, du moment où un tel comportement engendre des coûts plus élevés.

Comme précédemment évoqué, pour simplifier la recherche des équilibres de Nash, nous éliminons successivement les stratégies strictement dominées, du moment où cet équilibre ne se perd pas suite à l'élimination de telles stratégies. Ensuite, nous recherchons les équilibres de Nash dans le jeu ainsi réduit.

Minimum du coût total C Du moment où nous considérons les coûts à la place des utilités, le coût total C de la chaîne logistique ($C = \sum_i C^i$) remplace le concept du bien-être social.

Plus C est faible, plus la chaîne logistique est efficiente. Le problème, c'est que certaines entreprises ne pourraient avoir d'incitation pour atteindre le minimum de C , *i.e.* certaines entreprises ne veulent pas se

sacrifier et accroître leurs coûts pour améliorer la situation du reste de la chaîne logistique. Par conséquent, le fait qu'une stratégie commune engendre le minimum de C implique que cette stratégie est la meilleure en considérant la chaîne logistique dans sa globalité, mais n'implique pas qu'elle serait utilisée, puisque certaines entreprises pourraient avoir des incitations pour en dévier du moment que cette stratégie n'est pas un équilibre de Nash.

Meilleure et bonne stratégie commune Nous appelons « meilleure stratégie commune » une stratégie commune qui est à la fois un équilibre de Nash et qui minimise C . De la même manière, nous désignons par « bonne stratégie commune » une stratégie qui est un équilibre de Nash et qui seulement approche le minimum de C . Ce concept, qui n'est pas un concept issu de la théorie des jeux a été introduit par [Moyaux, 04].

Stratégie commune Pareto-dominée La stratégie commune r est Pareto-dominée par La stratégie commune \hat{r} , si pour chaque acteur i , $C^i(\hat{r}) \leq C^i(r)$ et qu'il existe au moins un joueur pour lequel $C^i(\hat{r}) < C^i(r)$.

Ce qui veut dire que \hat{r} améliore la situation d'au moins un acteur sans dégrader la situation des autres.

Stratégie commune Pareto-efficiente La stratégie commune \hat{r} est Pareto-efficiente, si elle n'est pas Pareto-dominée par aucune autre stratégie commune.

Après avoir décrit les concepts et les notions issus des théories de la décision et des jeux que nous utilisons dans nos travaux pour l'analyse des politiques de coopération dans un avenir indéterminé, nous présentons dans la section qui suit la démarche d'aide à la coopération que nous proposons aux décideurs de la chaîne logistique pour mener cette analyse et pour définir, en fonction des risques qu'ils générèrent, les comportements plus ou moins coopératifs qu'ils devraient mettre en place.

7.3 Démarche d'aide à la coopération

7.3.1 Rappel des six étapes de la démarche d'aide à la coopération

La démarche d'aide à la coopération que nous proposons est une démarche en six étapes :

1. Définition du modèle du système étudié

Au cours de cette phase, les décideurs se mettent d'accord sur le choix du modèle du système à étudier.

2. Définition du plan d'expériences des simulations

Au cours de cette étape, en se basant sur les politiques de gestion internes et sur les politiques de coordination liant les maillons de la chaîne logistique retenue dans l'étape 1, les décideurs sélectionnent les paramètres, les relations entre les paramètres à analyser et la façon dont l'analyse sera conduite : ils définissent ainsi les expérimentations ou encore les politiques de coopération à analyser dans les simulations. L'ensemble des expérimentations retenues constitue le plan d'expériences des simulations.

3. Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation

Durant cette phase, le médiateur introduit les valeurs des paramètres caractérisant les différentes politiques de coopération retenues à l'issue de l'étape 2, ainsi que les valeurs des paramètres

caractérisant les politiques de gestion propres à chaque acteur appartenant à la chaîne logistique étudiée.

4. Lancement des simulations

Les simulations sont lancées, l'outil fonctionne d'une façon proche du système réel et calcule les différents indicateurs retenus.

5. Analyse des risques

Au cours de cette phase, les décideurs évaluent les risques liés aux politiques envisagées. L'évaluation faite peut être orientée « chaîne logistique » ou « acteurs ». Dans le premier cas, l'évaluation porte sur la chaîne logistique dans sa globalité. Dans le deuxième cas, l'évaluation est faite acteur par acteur.

6. Définition d'une politique de coopération

Les décideurs définissent ensemble les paramètres qu'ils jugent adéquats pour l'amélioration de leurs performances et les politiques à mettre en place en tenant compte des risques qu'elles impliquent.

Parmi ces étapes, nous jugeons que les étapes 2 (Définition du plan d'expérience des simulations), 5 et 6 (Analyse des risques et Définition d'une politique de coopération) sont des étapes clés et nous invitons le lecteur à les revoir avec plus de détails dans les deux sections suivantes :

7.3.2 Définition du plan d'expériences des simulations

Au cours de cette étape, les acteurs impliqués dans l'étude spécifient le plan d'expériences. Pour cela, ils définissent :

- la combinaison des paramètres définissant les politiques de coopération (paramètres contrôlables) : ces paramètres émanent des politiques de gestion propres à chaque acteur (politiques de gestion des prévisions des ventes, politiques de gestion des stocks, politiques de gestion des capacités, politiques de gestion des productions, politiques de gestion des approvisionnements, politiques de gestion des flux, etc.) ainsi que des politiques d'échange d'informations (échange des prévisions entre les processus de planification, pas d'échange des prévisions entre les processus de planification, etc.),
- la combinaison des paramètres définissant les scénarios d'évolution du marché (paramètres incontrôlables liés aux changements de tendances, paramètres liées à la saisonnalité, paramètres liés à l'ajustement des prévisions par rapport aux demandes, paramètres liés à l'introductions de nouveaux produits, etc.),
- la nature de l'incertitude caractérisant l'occurrence des différents scénarios d'évolution du marché,
- la manière dont ils veulent analyser les effets des paramètres caractérisant les politiques de coopération et les scénarios par rapport auxquels ils veulent faire ces analyses.

7.3.3 Analyse des risques et définition d'une politique de coopération

Au cours de cette phase les décideurs évaluent les risques liés aux politiques envisagées. L'évaluation faite peut être orientée « chaîne logistique » ou « acteurs ». Dans le premier cas (perspective globale), l'évaluation porte sur la chaîne logistique dans sa globalité. Alors que dans le deuxième cas (perspective

locale), l'évaluation est faite acteur par acteur. L'objectif recherché suite à cette évaluation est de définir la ou les politiques de coopération à mettre en place. Pour aider les décideurs, dans le cadre d'une perspective donnée (locale ou globale), à atteindre cet objectif nous proposons deux méthodologies qui se basent sur les adaptations des théorie de la décision et des jeux que nous avons présenté précédemment (section 7.2.4 et 7.2.5).

7.3.3.1 Méthodologie d'analyse des risques des politiques de coopération selon une perspective globale

Les différentes étapes de la méthodologie d'analyse des risques que nous proposons sont résumées dans la figure suivante (Figure 3) :

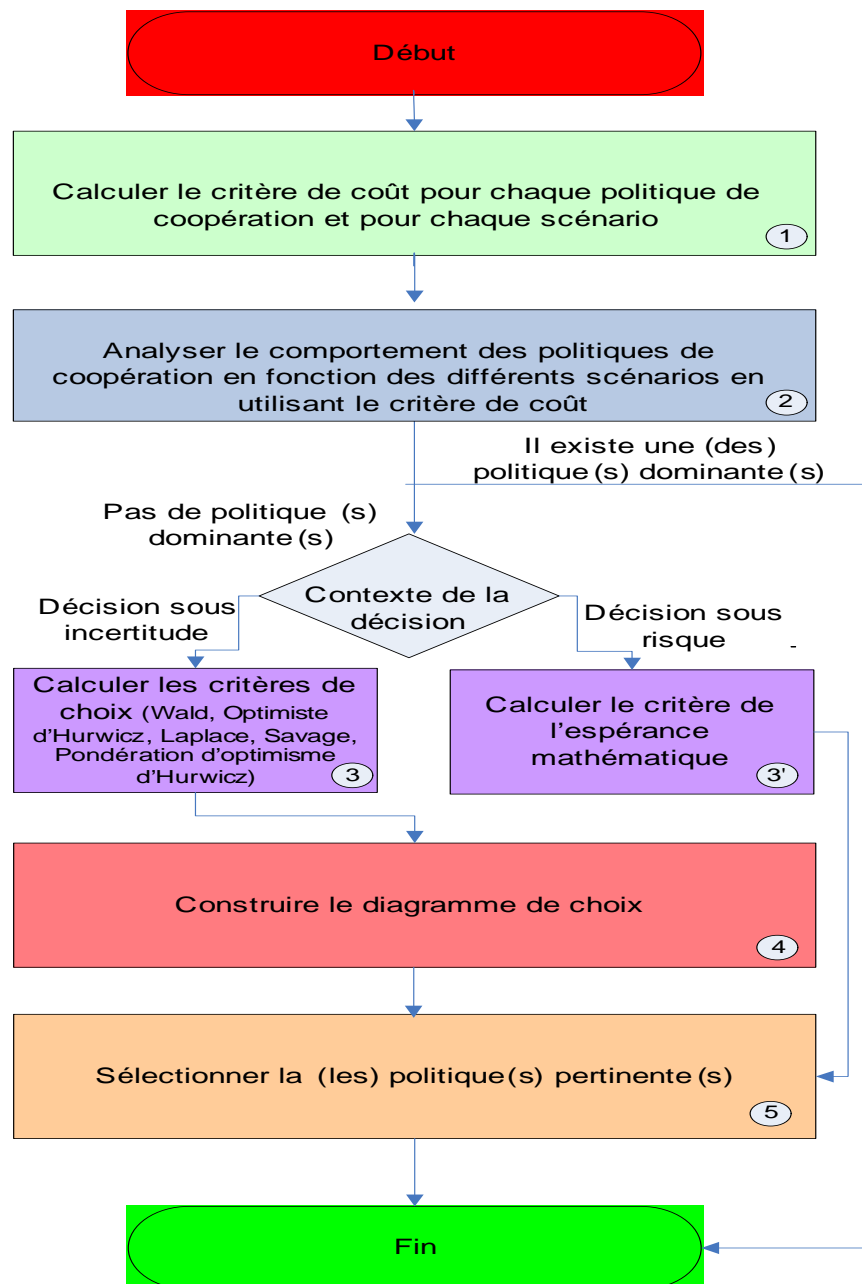


Figure 3 : Les différentes étapes de la méthodologie d'analyse des risques (cas d'analyse des politiques de coopération selon une perspective globale).

1. Calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario

Durant cette étape, les décideurs évaluent le coût total de la chaîne logistique dans le cadre d'une politique et d'un scénario du marché donnés.

L'évaluation du coût total pour la chaîne logistique passe par l'évaluation des coûts élémentaires qui interviennent chez chaque acteur A . Pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario, ces coûts élémentaires intègrent :

- les coûts de détention des stocks (H_A^+),
- les coûts d'obsolescence (O_A^+),
- les coûts de ruptures des stocks (H_A^-),
- les coûts de capacités (Ac_A),
- et enfin, les coûts de lancements de productions (Lc_A) ;

Le calcul de chacun de ces coûts élémentaires chez un acteur donné A se résume comme suit :

$$H_A^+ = \sum_i \sum_{t < v_i^A} \bar{I}_{i,t} * (a_i^A + c_i^A) * \tau_{ps}^A / N + \sum_j \sum_{t < v_j^A} \bar{I}_{j,t} * a_j^A * \tau_{ps}^A / N$$

$$O_A^+ = \sum_i \bar{I}_{i,t=v_i^A} * (a_i^A + c_i^A) + \sum_j \bar{I}_{j,t=v_j^A} * a_j^A$$

$$Ac_A = \sum_i \sum_t \overline{Capa}_{i,t}^A * c_i^A$$

$$Lc_s = \sum_i \sum_t l_c^A * \bar{X}_t^A$$

$$H_A^- = \sum_i \sum_t I_{i,t}^- * b_i^A$$

Où :

a_i^A : le coût des matières premières du produit i chez l'acteur A .

b_i^A : le coût d'une rupture du produit i chez l'acteur A .

c_i^A : le coût de capacité du produit i chez l'acteur A .

l_c^A : le coût d'un lancement de production d'une unité du produit i chez l'acteur A .

τ_{ps}^A : le taux de possession de stock chez l'acteur A .

N : le nombre de périodes élémentaires de simulations (semaines) considérées dans l'évaluation.

v_i^A (resp. v_j^A) : la date de fin de vie du produit i (resp. du composant j).

$\overline{Capa}_{i,t}^A$: capacité associée au produit i à la date t chez l'acteur A .

$\bar{I}_{i,t}$ (resp. $\bar{I}_{j,t}$) : stock du produit i (resp. du composant j) à la date t chez l'acteur A .

\bar{X}_t^A : Quantité lancée en production à la période t chez l'acteur A .

Ainsi, le coût total C_A chez l'acteur pour la politique de coopération et dans le cadre d'un scénario du marché en question, est évalué comme suit :

$$C_A = H_A^+ + O_A^+ + H_A^- + Ac_A + Lc_A$$

Celui de la chaîne C , pour la même politique de coopération et dans le cadre du même scénario du marché, est donné par :

$$C = \sum_A C_A$$

Remarque : dans le modèle d'évaluation des coûts ci-dessus, nous supposons que les coûts de ruptures à l'intérieur de la chaîne sont des coûts que supporte (paye) toute la chaîne. Autrement dit, nous supposons qu'il n'y a pas de transfert de pénalités de ruptures entre les acteurs.

2. Analyser le comportement des politiques de coopération en fonction des différents scénarios en utilisant le critère de coût

Une fois que le critère de coût est calculé, les décideurs se penchent sur l'analyse des comportements des différentes politiques de coopération. Deux cas peuvent se présenter à ce stade : soit que les décideurs repèrent une politique de coopération qu'ils jugent pertinente et qu'ils finissent par retenir, soit que ceux-ci n'arrivent pas à choisir parmi les politiques analysées et dans ce cas, ils passent à l'étape 3 ou à l'étape 3' selon le contexte de la décision dans lequel ils veulent se placer.

3. Calculer les critères de choix

En se situant dans un contexte de décision sous incertitude, les décideurs choisissent les critères de choix correspondant et les calculent. Ceci les amène à la construction du diagramme de choix.

3'. Calculer le critère de l'espérance mathématique

En se situant dans un contexte de décision sous risque, les décideurs calculent le critère de l'espérance mathématique et déterminent la politique de coopération à déployer.

4. Construire le diagramme de choix

Deux cas peuvent se présenter en fonction du fait que les décideurs :

- se situent dans un contexte de décision sous risque et dans ce cas ils procèdent à une évaluation des comportements des politiques de coopération en utilisant le critère de l'espérance mathématique pour retenir la (les) politique(s) pertinente(s),
- se situent dans un contexte de décision sous incertitude, et dans ce dernier cas ils définissent à l'issue du calcul des critères de choix de l'étape 3 l'ensemble des solutions, c'est-à-dire l'ensemble des politiques de coopération à déployer. Et pour chacune des solutions, ils spécifient l'ensemble des informations suivantes :
 - le maximum de regret que le décideur pourrait avoir en utilisant une solution donnée,
 - le coût moyen,
 - le meilleur et le pire des cas qui peuvent être associés à la solution en question, c'est-à-dire l'intervalle dans lequel le coût associé à la solution en question varie en fonction des différents scénarios qui peuvent se produire.

Les décideurs disposent alors de l'ensemble des informations nécessaires pour bâtir ce que nous appelons un diagramme de choix (voir Figure 4 pour un exemple de ce digramme).

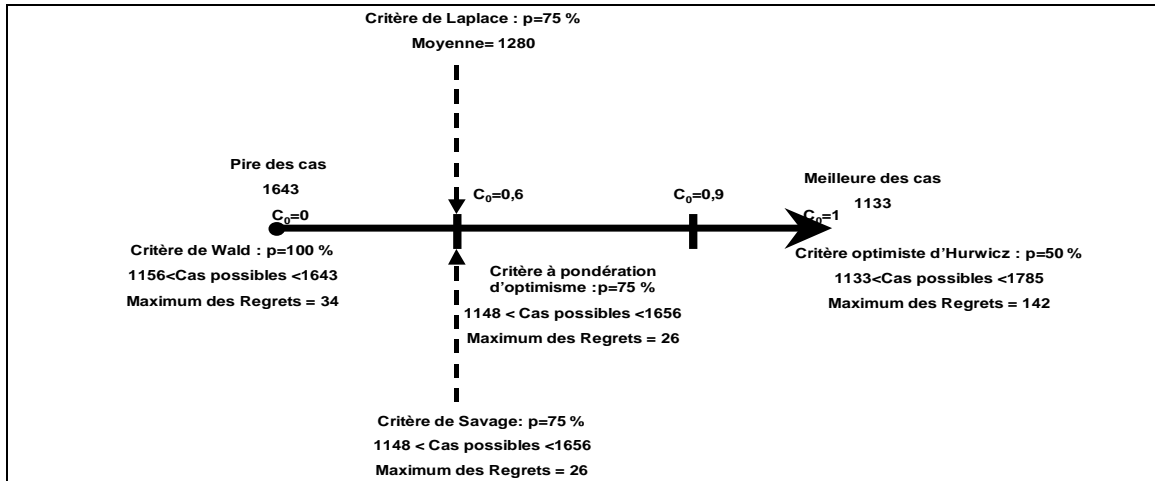


Figure 4 : Exemple d'un diagramme de choix.

L'axe central dans ce diagramme est utilisé pour représenter les solutions associées au critère de pondération d'optimisme d'Hurwicz selon les différentes valeurs C_o :

- à gauche de cet axe, on représente la solution correspondant à $C_o=0$ et donc celle correspondant au critère de Wald.
- A droite, on représente la solution correspondant à $C_o=1$ et donc celle correspondant au critère optimiste d'Hurwicz.
- Au milieu, on représente à chaque fois la valeur de C_o correspondant au passage d'une solution à une autre. Ainsi, une solution s est valable dans un intervalle $[C_{o\min}(s), C_{o\max}(s)]$ du coefficient de pondération d'optimisme.

L'obtention de ces valeurs de « ruptures » de C_o est faite en suivant, après la discrétisation de l'intervalle auquel appartient le coefficient de pondération d'optimisme (intervalle $[0,1]$) en utilisant un pas de discrétisation n , le principe suivant :

Intervalle de validité d'une solution

C_o à 0

$\bar{s}(C_o) = s_0$

$C_{o\min}(s_0) = 0$

$C_{o\max}(s_0) = 0$

Tant que $C_o \leq 1$ faire :

pour tout $s \in S$ faire :

1. calculer $\bar{H} = \min_{s \in S} H_{C_o}(s)$
2. calculer $\bar{s}(C_o)$ tel que $H_{C_o}(s) = \bar{H}$
3. si $\bar{s}(C_o) = \bar{s}(C_o - n)$ alors $C_{o\max}(\bar{s}(C_o)) = C_o$
4. sinon $C_{o\max}(\bar{s}(C_o)) = C_o$ et $C_{o\min}(\bar{s}(C_o)) = C_o$

Fin Pour

$C_o = C_o + n$

Fin Tant que

Avec :

s_0 : la solution correspondant au critère de Wald

$H_{C_o}(s)$: la fonction de pondération d'optimise d'Hurwicz calculé avec un coefficient de pondération d'optimisme fixé à C_o .

\bar{H} : le minimum sur l'ensemble des fonctions de pondérations, associées aux différentes politiques de coopération considérées, pour une valeur donnée du coefficient de pondération d'optimisme.

$\bar{s}(C_o)$: la solution correspondant au critère de pondération d'optimisme avec un coefficient de pondération fixé à C_o .

$C_{o\max}(s)$ (respec. $C_{o\min}(s)$) désigne la borne supérieure (respec. La borne inférieure) de l'intervalle du coefficient de pondération pour lequel s reste la meilleure solution.

Une fois que l'axe central du diagramme de choix est construit, on rajoute de part et d'autre deux axes verticaux :

- le premier est pour placer le critère de Laplace,
- et le second est pour placer le critère de Savage.

En utilisant ces différents critères de choix d'une façon combinée, l'intérêt de ce diagramme est de montrer au(x) décideur(s), en fonction de l'appréciation du risque qu'il (s) pourrait (aient) avoir, les enjeux qui sont liés au choix ou au refus d'une solution donnée.

5. Sélectionner la (les) politique(s) pertinente(s)

A ce stade et en s'appuyant sur l'ensemble des informations dont ils disposent suite à la lecture du diagramme de choix construit en 5., les décideurs sont capables de définir la (les) politique(s) à mettre en place.

7.3.3.2 Méthodologie d'analyse des risques des politiques de coopération selon une perspective locale

Les différentes étapes de cette méthodologie d'analyse des risques que nous proposons sont résumées dans la figure suivante (Figure 5) :

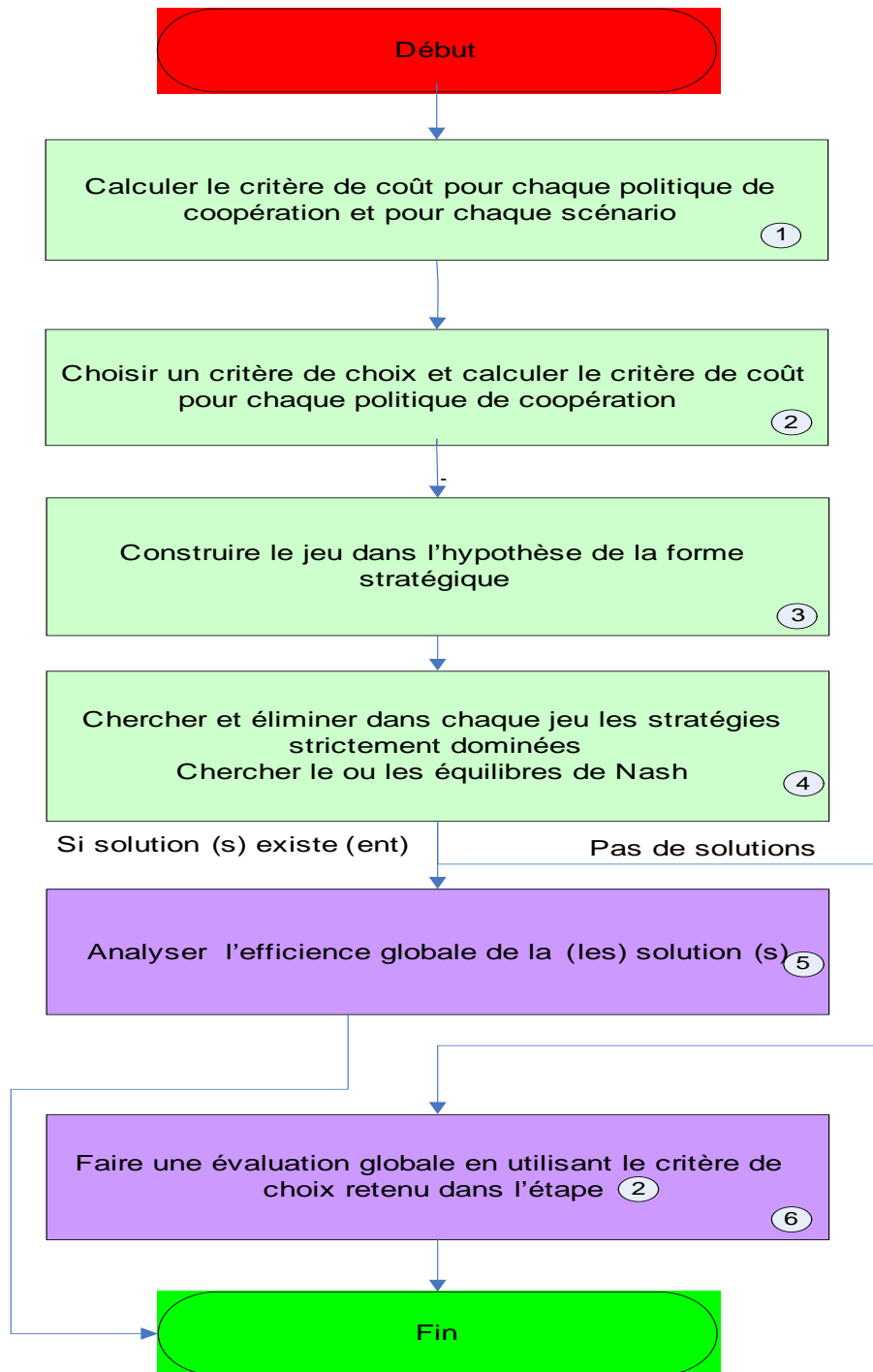


Figure 5 : Les différentes étapes de la méthodologie d'analyse des risques (cas d'analyse des politiques de coopération selon une perspective locale).

1. Calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario

Le calcul du coût chez un acteur donné dans le cadre d'une politique et d'un scénario donnés s'appuie sur le modèle utilisé dans l'étape 1 de la méthodologie d'analyse des risques présentée dans la section 7.3.3.1.

2. Choisir un critère de choix et calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération

Au regard des informations dont ils disposent et de leurs aptitudes à caractériser l'occurrence des scénarios par des probabilités, les décideurs choisissent ensemble de se placer dans un contexte de

décision sous incertitude ou dans un contexte sous risque. En fonction de ce contexte, ils procèdent ensuite à la sélection du critère de choix à utiliser pour faire une agrégation des différents scénarios du marché considérés :

- si le critère de choix retenu est le critère de Laplace, chaque décideur va associer à chacune de ses politiques de coopération la moyenne arithmétique de coûts calculés sur l'ensemble des scénarios du marché,
- si le critère de choix retenu est le critère de Wald, chaque décideur va associer à chacune de ses politiques de coopération le maximum des coûts sur l'ensemble des scénarios du marché,
- si le critère de choix retenu est le critère optimiste d'Hurwicz, chaque décideur va associer à chacune de ses politiques de coopération le minimum des coûts sur l'ensemble des scénarios du marché,
- si le critère de choix retenu est le critère optimiste de Savage, chaque décideur va associer à chacune de ses politiques de coopération le maximum de regrets qu'elle peut avoir en considérant l'ensemble des scénarios du marché,
- si le critère de choix retenu est le critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz, chaque décideur va associer à chacune de ses politiques de coopération, en fonction du coefficient de pondération d'optimisme retenu, une pondération entre son coût minimal et de son coût maximal calculés sur l'ensemble des scénarios,
- si le critère de choix retenu est le critère de l'espérance mathématique, ils vont associer à chacune de leurs politiques de coopération l'espérance mathématique de coûts calculée sur l'ensemble des scénarios du marché. Ceci en utilisant soit les probabilités objectives que les décideurs définissent pour les scénarios, soit les probabilités subjectives qu'ils pourraient définir en se basant par exemple sur l'échelle donnée par le tableau suivant :

Indice	Estimation subjective	Description
1	Très peu probable	Evènement très rare
2	Peu probable	Evènement dont l'évidence est indirecte
3	Modéré	Evènement dont l'évidence est directe
4	Probable	Evènement dont l'évidence est directe et forte
5	Très Probable	Evènement fréquent

Tableau 13 : Echelle des probabilités d'occurrences d'un scénario (source : [Hallikas et al., 04]).

3. Construire le jeu dans l'hypothèse de la forme stratégique

A l'issue de l'étape 2, les acteurs disposent de toutes les informations nécessaires sur les coûts de chacune de leurs politiques de coopération. Ceci permet de construire le jeu et de commencer la recherche des issues pour le résoudre.

4. Chercher et éliminer dans chaque jeu les stratégies strictement dominées et ensuite chercher le ou les équilibres de Nash

Pour la recherche des issues du jeu défini dans l'étape 3, les solutions dominantes sont d'abord éliminées. Le jeu est ainsi successivement réduit. Deux cas peuvent survenir :

- un équilibre de Nash au moins est identifié : dans ce cas on procède à une analyse de l'efficacité globale des stratégies communes correspondantes dans l'étape 5.
- aucun équilibre de Nash est identifié : dans ce cas, le recours que nous proposons, est de considérer le jeu réduit obtenu à l'issue de l'étape 4 et de faire une analyse globale à l'étape 6.

5. Analyser l'efficacité globale de la (les) solution (s)

L'intérêt de cette dernière analyse est de montrer les distances existantes entre l'intérêt de la stratégie commune correspondante d'un point de vue « acteurs » et l'intérêt qu'elle peut avoir d'un point de vue « chaîne logistique ». Ceci pourrait suggérer aux acteurs les efforts à faire pour que la chaîne reste compétitive.

6. Faire une évaluation globale en utilisant le critère de choix retenu dans l'étape 2

En utilisant le jeu obtenu à l'issue de l'étape 4, c'est-à-dire le jeu réduit résultant de l'élimination des stratégies dominantes, les acteurs font une analyse globale de leurs différentes stratégies en s'appuyant sur le critère de choix retenu dans l'étape 2. Le coût considéré dans ce cas est bien évidemment le coût de la chaîne logistique.

7.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une démarche d'aide à la coopération s'appuyant sur une approche par les risques. Dans le cadre de cette démarche, un ensemble de méthodes et d'outils pour l'analyse et l'évaluation des risques liés aux politiques de coopération, que les acteurs mettent en place pour la planification de leurs activités, a été proposé.

Deux perspectives ont été aussi abordées : la première est locale, c'est-à-dire qu'elle est centrée sur les acteurs, et la deuxième est globale, c'est-à-dire qu'elle est centrée sur la chaîne logistique.

Pour la perspective globale, nous avons proposé un cadre d'analyse s'appuyant sur la théorie de la décision. Et pour la perspective locale, nous avons proposé une formalisation des interactions entre les acteurs et un cadre d'analyse de ces interactions s'appuyant sur la théorie des jeux.

Partie 3 : Conclusion

On dispose maintenant d'un outil de simulation qui permet de représenter différents comportements et politiques que peuvent avoir les acteurs de la chaîne logistique. Ces politiques et comportements intègrent :

- l'interprétation que fait un acteur de la chaîne logistique du comportement de ses clients,
- la transmission des données de la part d'un acteur de la chaîne logistique à ses fournisseurs,
- les comportements de planification qu'un acteur de la chaîne logistique met en place pour la planification de ces activités et notamment pour la planification de ses capacités.

Par ailleurs, dans l'outil nous prenons en compte au niveau de la modélisation du comportement du marché auquel doit faire face la chaîne logistique un aspect très important, à savoir le lancement sur le marché de nouvelles générations de produits.

L'utilisation de l'ensemble des potentialités de cet outil nous a permis de formuler une démarche d'aide à la coopération s'appuyant sur une approche par les risques. Dans le cadre de cette démarche, un ensemble de méthodes et d'outils pour l'analyse et l'évaluation des risques liées aux politiques de coopération, que les acteurs mettent en place pour la planification de leurs activités, a été proposé. Notamment l'adaptation de certains concepts de la théorie de la décision pour proposer un cadre d'analyse des risques en considérant la chaîne logistique comme une seule entité homogène, et l'utilisation de la théorie des jeux pour formaliser les interactions entre les acteurs de la chaîne et définir un cadre d'analyse des risques des politiques de coopération en considérant la chaîne logistique comme un ensemble d'entités hétérogènes.

La partie suivante présente, à travers des exemples une illustration de l'implantation de la démarche d'aide à la coopération.

Partie 4 : Mise en œuvre de la démarche d'aide à la coopération

Dans cette partie, nous présentons trois exemples pour illustrer la mise en œuvre de notre démarche d'aide à la coopération que nous apportons :

- le premier exemple est un cas d'école inspiré du terrain industriel étudié et présente une analyse de politiques de coopération en avenir indéterminé en se plaçant dans une perspective globale (voir chapitre 8).
- Le deuxième exemple est aussi un cas d'école inspiré du terrain industriel étudié et présente également une analyse de politiques de coopération en avenir indéterminé, en se plaçant cette fois dans une perspective locale (voir chapitre 8).
- Le troisième exemple est celui d'une chaîne logistique de Freescale notre partenaire industriel (voir chapitre 9).

Chapitre 8. Exemples de mise en œuvre

RESUME

Après avoir décrit, dans le chapitre précédent, les cadres d'analyse, les outils et les méthodologies que nous proposons pour faire une évaluation et une analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé, nous consacrons ce chapitre pour faire une illustration, en s'appuyant sur deux cas d'étude inspirés du terrain industriel, de la mise en œuvre de la démarche d'aide à la coopération proposée. Le premier cas d'étude est choisi pour faire une analyse des risques en se situant dans une perspective globale. Le deuxième cas est choisi pour faire une analyse des risques en se situant dans une perspective locale.

8.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif d'illustrer la mise en œuvre de la démarche d'aide à la coopération proposée en s'appuyant sur deux cas d'école inspirés du terrain industriel étudié. Dans un premier temps, nous détaillons la mise en œuvre de la démarche d'aide à la coopération dans le cas où la chaîne logistique est considérée dans sa globalité sur un premier cas d'étude (Cas d'étude 1). Ensuite, nous détaillons la mise en œuvre de la démarche d'aide à la coopération dans le cas où seulement les intérêts individuels des acteurs sont pris en compte et sur un deuxième cas d'étude (Cas d'étude 2).

8.2 Analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé : une perspective globale (Cas d'étude 1)

Dans cet exemple, nous décrirons d'abord la chaîne logistique étudiée, ensuite les politiques de coopération que le décideur peut mettre en place et les scénarios du marché auquel doit faire face la chaîne. Enfin, nous illustrerons la démarche adoptée pour l'analyse des risques et pour le choix de politiques de coopération en fonction des niveaux de risques qui leur sont rattachés.

8.2.1 Définition du modèle du système étudié

La chaîne logistique retenue pour cette étude est une chaîne logistique multi-étages faisant intervenir quatre acteurs dont l'activité est inscrite dans le domaine des télécommunications. Les temps de cycles, ainsi que les délais de livraisons, sont choisis proches des délais réels. Les autres caractéristiques de la chaîne (taille des horizons, fréquences de planification, structures des coûts chez les acteurs) ne sont pas celles du système réel. L'objectif étant de définir un cas académique réaliste. L'analyse de la chaîne logistique réelle des télécoms fera l'objet du chapitre 9.

L'approvisionnement de l'acteur de rang i se fait chez l'acteur de rang $(i + 1)$ et on supposera que du côté de l'acteur de rang 4 la matière première est à disponibilité infinie. Enfin, la chaîne est mono-produit.

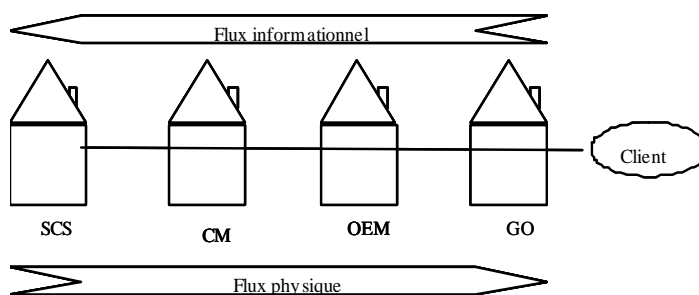


Figure 1 : modèle de la chaîne logistique étudiée.

Le choix de cette structure de chaîne est tout à fait naturel vu la présence dans la quasi-totalité des chaînes logistiques des télécommunications de quatre catégories d'acteurs : SCS, CM, OEM et GO. Décrivons maintenant, en guise de rappel, en quoi consiste l'activité de ces différents acteurs :

SCS (Semi-Conductor Supplier) : un fabricant de semi-conducteurs (par exemple Freescale).

CM (Contract Manufacturer) : un assembleur noté (par exemple Solectron). Cet acteur est aussi souvent appelé **EMS (Electronics Manufacturing Services Provider)**. Les termes EMS et CM seront donc utilisés, dans ce qui suit, d'une façon équivalente.

OEM (Original Equipment Manufacturer) : un équipementier électronique (par exemple, Ericsson).

GO (Global Operator) : un opérateur téléphonique (par exemple, Vodafone).

Remarquons enfin que l'hypothèse du mono-sourcing n'est pas une hypothèse forte, vu que la co-conception des produits implique d'ores et déjà une sélection du fournisseur.

8.2.2 Définition du plan d'expériences des simulations

✓ Les politiques de coopération (les décisions)

Les politiques de coopération que nous évaluons dans cet exemple sont le résultat de la combinaison de plusieurs politiques de couverture de stock, de gestion de la capacité, et d'échanges de prévisions. Dans ce qui suit, nous décrivons les instances étudiées pour ces différentes politiques de gestion.

- **Politiques de gestion de stock** : les acteurs choisissent de constituer des couvertures de stock C_s : $C_s \in \{0,1,2,3,4,5\}$ (exprimées en semaines de ventes).
- **Politiques de gestion de la capacité** : nous considérons que les capacités sont finies et que les acteurs peuvent valider de façons différentes, via l'application d'un pourcentage p les variations de la capacité $p \in \{50\%,75\%,100\%$.
- **Politiques de gestion des prévisions** : nous proposons deux politiques de gestion pour l'élaboration des prévisions. Dans le cadre de la première politique, que nous qualifierons de « prévisions collaboratives » ou « externes »⁵², l'acteur fournisseur calcule ses prévisions de ventes en se basant sur les prévisions que lui transmet l'acteur client. Dans la deuxième politique, un acteur calcule ses prévisions de ventes en interne et en ne se basant que sur ses méthodes de prévisions, sans réception de prévisions de la part de son client : on parle de « prévisions locales » ou « internes »⁵³. La méthode de prévisions retenue pour cet exemple est la méthode de Holt et Winters - lissage exponentiel à trois paramètres -.

La combinaison de toutes ces politiques peut se résumer dans le Tableau suivant :

⁵² Le terme « Echange » sera utilisé d'une façon équivalente aux termes « Prévisions collaboratives » ou « Externes ».

⁵³ Le terme « Sans échange » sera utilisé d'une façon équivalente aux termes « Prévisions non collaboratives » ou « Internes ».

Nom de la politique	Prévisions	C_s	P	Nom de la politique	Prévisions	C_s	P
(P_1)	externe	0	50 %	(P_{19})	interne	0	50 %
(P_2)	externe	0	75 %	(P_{20})	interne	0	75 %
(P_3)	externe	0	100 %	(P_{21})	interne	0	100 %
(P_4)	externe	1	50 %	(P_{22})	interne	1	50 %
(P_5)	externe	1	75 %	(P_{23})	interne	1	75 %
(P_6)	externe	1	100 %	(P_{24})	interne	1	100 %
(P_7)	externe	2	50 %	(P_{25})	interne	2	50 %
(P_8)	externe	2	75 %	(P_{26})	interne	2	75 %
(P_9)	externe	2	100 %	(P_{27})	interne	2	100 %
(P_{10})	externe	3	50 %	(P_{28})	interne	3	50 %
(P_{11})	externe	3	75 %	(P_{29})	interne	3	75 %
(P_{12})	externe	3	100 %	(P_{30})	interne	3	100 %
(P_{13})	externe	4	50 %	(P_{31})	interne	4	50 %
(P_{14})	externe	4	75 %	(P_{32})	interne	4	75 %
(P_{15})	externe	4	100 %	(P_{33})	interne	4	100 %
(P_{16})	externe	5	50 %	(P_{34})	interne	5	50 %
(P_{17})	externe	5	75 %	(P_{35})	interne	5	75 %
(P_{18})	externe	5	100 %	(P_{36})	interne	5	100 %

Tableau 1 : Description des politiques de coopération simulées.

Chacune de ces politiques de coopération décrites plus haut sera évaluée par rapport à chacun des scénarios suivants :

✓ Les scénarios d'évolution du marché (les états de la nature)

Les scénarios d'évolution du marché résultent de la combinaison des cas suivants :

- une augmentation de la demande du marché en décembre τ : faible : 10 %, moyenne : 50 %, forte : 100 % (les pourcentages sont calculés relativement aux demandes des autres mois qui sont égales à 2 millions de produits par mois). Le profil des prévisions du marché est donné par la Figure 2 :

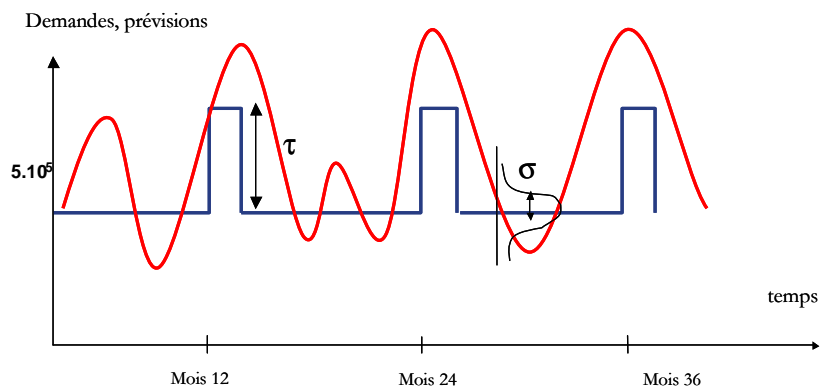


Figure 2 : Profil des prévisions et des demandes du marché.

- une fiabilité des prévisions caractérisée via l'écart-type σ de la distribution normale liant la demande aux prévisions : $Demand(t) = N(Pr\text{évision}(t), \sigma)$ - t désigne une période élémentaire de la simulation -. Les cas considérés sont les suivants :
 - o une très forte fiabilité : $\sigma = 0$.
 - o Une forte fiabilité $\sigma = 10000$.
 - o Une fiabilité moyenne $\sigma = 50000$.
 - o Une faible fiabilité $\sigma = 100000$.
 - o Une très faible fiabilité $\sigma = 250000$.

σ est exprimé en quantités de produits par semaine.

Dans un cadre de décision sous risque, la distribution des probabilités subjectives associées aux différents scénarios par les décideurs est donnée par :

$\tau \setminus \sigma$	0	10000	50000	100000	250000
10 %	1	2	3	4	3
50 %	2	3	4	5	4
100 %	1	2	3	4	3

Tableau 2 : Distribution des probabilités subjectives associées aux différents scénarios.

Sur la base des politiques de coopération et des scénarios décrits ci-dessus, le problème que les décideurs de la chaîne logistique décrite plus haut choisissent est de définir, en fixant le cadre d'échange de prévisions (prévisions collaboratives ou prévisions non collaboratives) et le cadre de la décision (décision sous risque ou décision sous incertitude), la couverture de stock C_s à mettre en place ainsi que le coefficient de validation p que les décideurs devraient appliquer pour déduire la variation de capacité à accepter sur la base des nouvelles capacités proposées. D'où la distinction des deux politiques suivantes :

- Politique 1 : nous supposons que les prévisions sont collaboratives.
- Politique 2 : nous supposons que les prévisions sont non collaboratives.

Quelle que soit la politique choisie, en prenant en compte le cadre de la décision dans lequel se placent les décideurs, on peut différencier deux possibilités :

- décision sous risque,
- décision sous incertitude.

8.2.3 Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation

Sur la base du plan d'expériences défini par les décideurs dans l'étape précédente, le médiateur introduit dans l'outil les paramètres propres à chaque décideur pour pouvoir caractériser ses différents comportements et ses différentes politiques de gestion internes.

8.2.4 Lancement des simulations

Une fois que les différents paramètres caractérisant les acteurs sont introduits dans l'outil, les simulations sont lancées.

8.2.5 L'analyse du risque

Cette analyse du risque sera menée en utilisant la méthodologie présentée dans la section 7.3.3.1 du chapitre 7. Nous commençons d'abord par nous intéresser à la politique suivante :

✓ **Politique «Prévisions collaboratives»** : nous supposons ici que les prévisions sont collaboratives et que l'on cherche à déterminer le pourcentage de validation des variations de capacités ainsi que la couverture de stock à mettre en place.

Etape 1 : Calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario

Les coûts associés à chaque politique de coopération dans le cadre des différents scénarios du marché sont évalués en utilisant le modèle de calcul décrit dans la section 7.3.3.1 du chapitre 7. Le tableau suivant donne une évaluation des coûts associés, par exemple, à la politique de coopération (prévisions collaboratives (externes), $C_s = 1$, $p = 100$) :

τ	σ	Coût total de la chaîne pour chaque scénario
0,1	0	2195
0,1	10000	2195
0,1	50000	2194
0,1	100000	2200
0,1	250000	2222
0,5	0	2234
0,5	10000	2233
0,5	50000	2232
0,5	100000	2240
0,5	250000	2255
1	0	2281
1	10000	2281
1	50000	2280
1	100000	2279
1	250000	2286

Tableau 3 : Exemple d'évaluation des coûts de chaîne associés d'une politique de coopération donnée selon les différents scénarios (Cas des prévisions collaboratives).

Etape 2 : Analyser le comportement des politiques de coopération en fonction des différents scénarios en utilisant le critère de coût

L'objectif comme évoqué plus haut est de définir la (es) couverture(s) de stocks (C_s) à mettre en place, ainsi que la (les) coefficient (s) de validation des variations de capacités (p).

Dans un premier temps, les décideurs vont examiner comment se comportent en termes de coûts totaux engagés les différentes politiques en fonction des scénarios du marché. Pour ce faire, ils fixent à chaque fois le pourcentage de validation des variations de capacités (p) et font varier seulement les couvertures de stocks (C_s) (voir Figure 3).

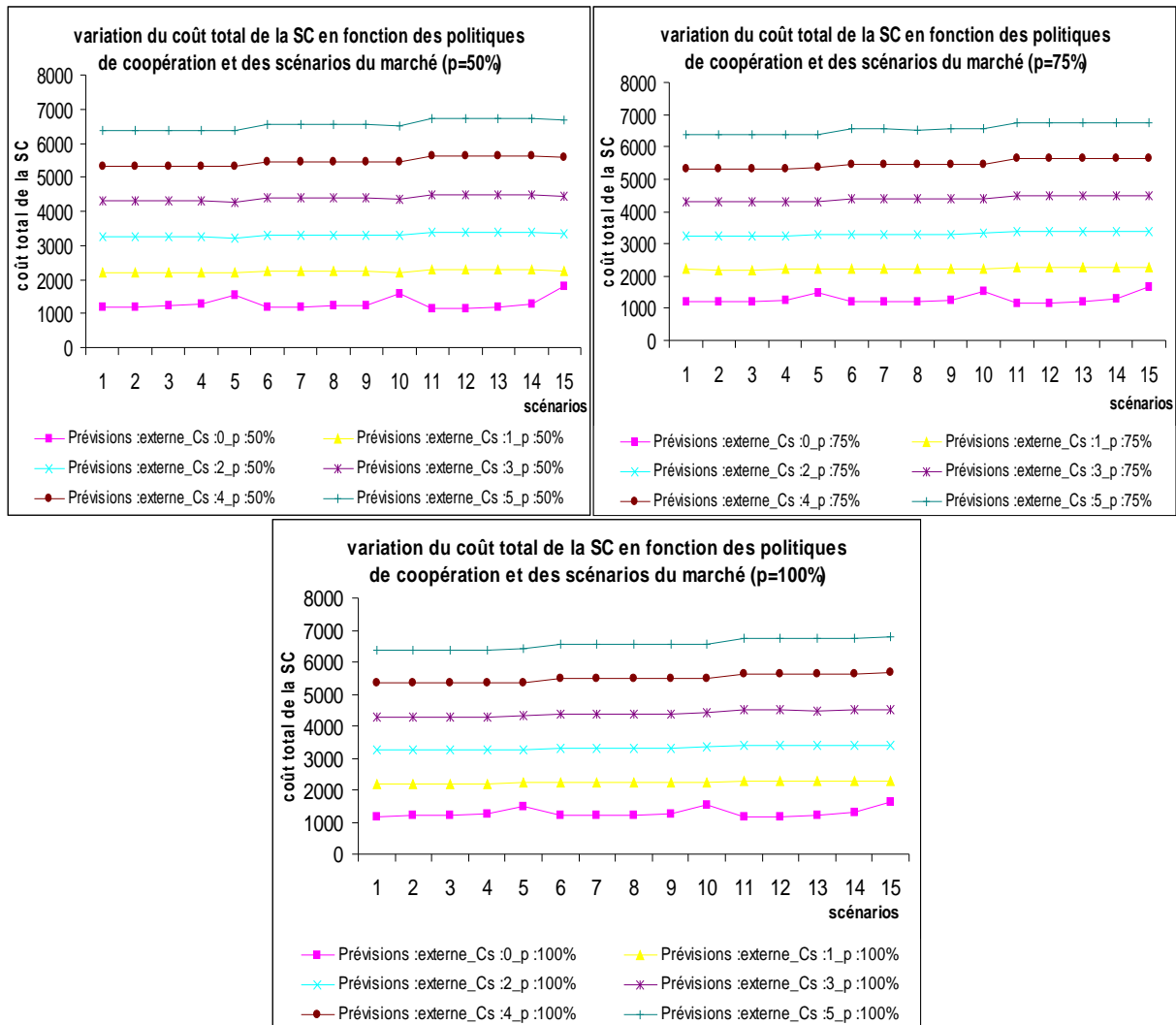


Figure 3 : Coûts totaux de la chaîne logistique relatifs aux différentes politiques de coopération (Cas des prévisions collaboratives).

A travers l'analyse de la variation des coûts des différentes politiques de couvertures de stock, le décideur peut conclure que la couverture de stock C_s à mettre en place est $C_s = 0$.

A ce stade, les décideurs ne s'intéressent qu'aux politiques de coopération qui font intervenir une couverture de stock $C_s = 0$ et leur problème consiste maintenant à définir la (les) politique (s) de gestion de capacité à mettre en place, c'est-à-dire la ou (les) valeur (s) du coefficient de validation des variations de capacité p .

Comme c'était le cas pour les couvertures de stock, le décideur examine les courbes de comportements des différentes politiques de capacités en fonction des différents scénarios :

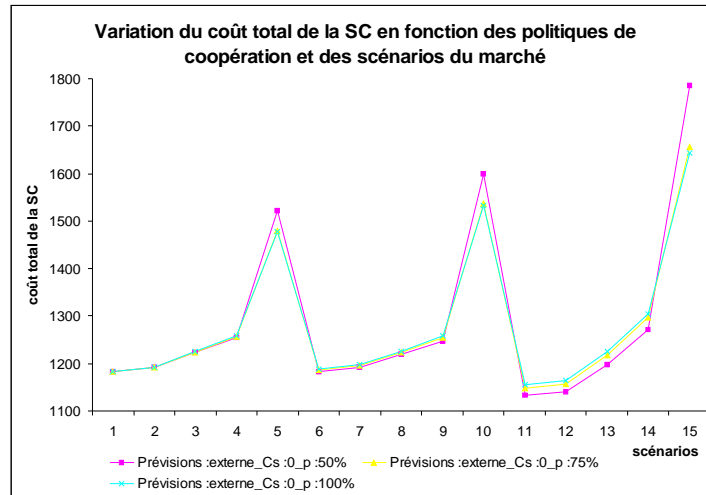


Figure 4 : Coûts totaux de la chaîne logistique relatifs aux différentes politiques de coopération.

L'analyse des comportements des politiques de coopération en question en utilisant le critère de coût ne permet pas non plus de décider de la valeur de p à choisir. Arrivant à ce stade, nous proposons l'utilisation des critères de choix. Pour cela, nous distinguons deux cas : le cas où la décision est sous incertitude et celui où la décision est sous risque.

Décision sous risque :

Etape 3' : Calculer le critère de l'espérance mathématique

Le critère de choix dans ce cas est l'espérance mathématique. Le calcul de ce critère suggère aux décideurs de choisir le coefficient de validation des variations de capacités tel que $p = 75\%$. Ainsi, sous l'hypothèse de la distribution des probabilités subjectives choisie par les décideurs, le choix d'un frein de capacités peu faible est la meilleure décision à mettre en place. Dans ce cas, le coût moyen espéré est de 1311.

Décision sous incertitude :

Etape 3 : Calculer les critères de choix

Le calcul des critères de choix dans le contexte de la décision sous incertitude (critère de Wald, critère de Savage, critère optimiste d'Hurwicz, critère de Laplace et critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz) nous donne les résultats suivants :

Critère	Politique
Wald	$p = 100\%$
Optimiste d'Hurwicz	$p = 50\%$
Pondération d'optimisme d'Hurwicz	$p = 100\%$ si $C_o \leq 0,6$ $p = 75\%$ si $0,6 < C_o \leq 0,9$ $p = 100\%$ si $C_o > 0,9$
Laplace	$p = 75\%$
Savage	$p = 75\%$

Tableau 4 : Calcul des critères de choix (Cas des prévisions collaboratives).

Etape 4 : Construire le digramme de choix

A travers le calcul de ces différents critères de choix, nous construisons le digramme de choix :

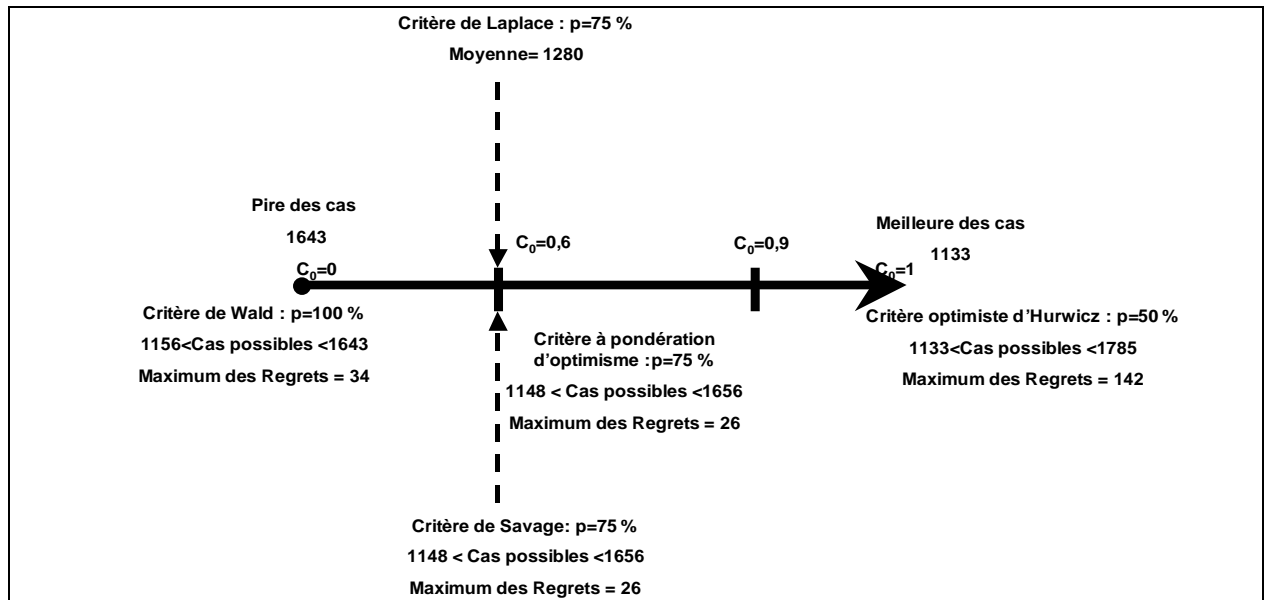


Figure 5 : Diagramme d'évaluations risques relatifs aux différentes politiques de coopération (Cas des prévisions collaboratives).

Etape 5 : Sélectionner la (les) politique(s) pertinente(s)

L'analyse du diagramme de choix suggère aux décideurs que le choix d'une des trois « solutions » possibles reflète une appréciation différente du risque :

- la solution $p = 50\%$ correspond à un grand goût pour le risque qui peut garantir d'avoir un coût faible 1133 si la nature est clémente avec le décideur. Mais dans le cas inverse ce coût peut atteindre la valeur de 1785 et le regret que peut avoir le décideur si une situation défavorable se produit grimpe jusqu'à 142.
- a solution $p = 100\%$ correspond à une attitude extrêmement prudente qui peut garantir au décideur, dans le cas où une situation défavorable se produit, que ces coûts ne dépassent pas 1643. Mais dans le cas inverse, la meilleure situation que ce dernier peut espérer est que son coût atteigne 1156. Par ailleurs, le regret maximum que peut avoir le décideur est de 34, qui est moins important que le regret entraîné par le choix de la solution $p = 50\%$.
- La solution $p = 75\%$ correspond à une attitude prudente qui peut garantir au décideur d'avoir le minimum de regrets maximums c'est-à-dire 24. La meilleure situation qu'il peut espérer est plus bonne que celle qu'il aurait pu avoir à la fois en choisissant la solution $p = 100\%$ et en ayant les faveurs de la nature, mais moins bonne que celle qu'il aurait pu avoir à la fois en choisissant la solution $p = 50\%$ et en ayant les faveurs de la nature. La pire des situations à laquelle il peut s'attendre est moins bonne que celle qu'il aurait pu avoir à la fois en choisissant la solution $p = 100\%$ et sans avoir les faveurs de la nature mais plus bonne que celle qu'il aurait pu avoir à la fois en choisissant la solution $p = 50\%$ et sans avoir les faveurs de la nature.

✓ **Politique « prévisions non collaboratives »** : nous supposons ici que les prévisions sont non collaboratives et qu'on cherche toujours à déterminer le pourcentage de validation des variations de capacités ainsi que la couverture de stock à mettre en place. Nous allons utiliser comme précédemment la méthodologie présentée dans la section 7.3.3.1 du chapitre 7.

Etape 1 : Calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario

Les coûts associés à chaque politique de coopération dans le cadre des différents scénarios du marché sont évalués en utilisant le modèle de calcul décrit dans la section 7.3.3.1 du chapitre 7. Le tableau suivant donne une évaluation des coûts associés, par exemple, à la politique de coopération (Prévisions non collaboratives (internes), $C_s = 1$, $p = 100$) :

τ	σ	Coût total de la chaîne pour chaque scénario
0,1	0	2284
0,1	10000	2286
0,1	50000	2163
0,1	100000	2130
0,1	250000	2548
0,5	0	2313
0,5	10000	2291
0,5	50000	2241
0,5	100000	2258
0,5	250000	2500
1	0	2365
1	10000	2354
1	50000	2304
1	100000	2325
1	250000	2595

Tableau 5 : Exemple d'évaluations des coûts de chaîne associés aux politique de coopération donnée selon les différents scénarios (Cas des prévisions non collaboratives).

Etape 2 : Analyser le comportement des politiques de coopération en fonction des différents scénarios en utilisant le critère de coût

L'objectif évoqué plus haut est de définir la (es) couverture(s) de stocks (C_s) à mettre en place ainsi que la (les) coefficient (s) de validation des variations de capacités (p), en supposant cette fois que les prévisions sont non collaboratives.

Pour ce faire, fixons à chaque fois le pourcentage de validation des variations de capacités (p) et faisons varier seulement les couvertures de stocks (C_s). Observons ensuite comment se comportent ces différentes politiques de couvertures des stocks en termes des coûts totaux engagés :

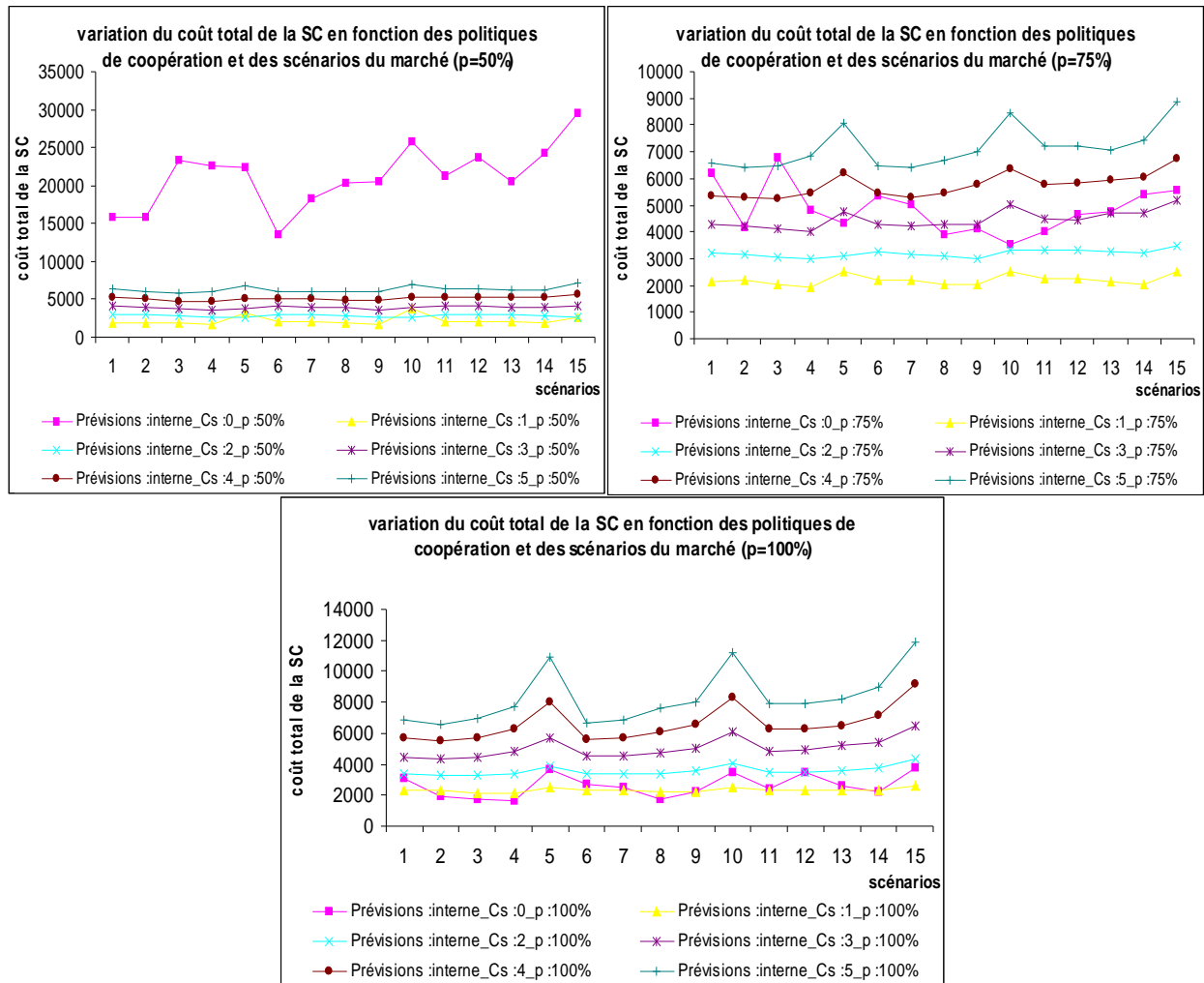


Figure 6 : Coûts totaux de la chaîne logistique relatifs aux différentes politiques de coopération (Cas des prévisions non collaboratives)

A travers ces courbes, on constate que les valeurs de (C_s) et de (p) sont dépendantes :

- lorsque $p = 50\%$, alors $C_s \in \{1, 2\}$,
- lorsque $p = 75\%$, alors $C_s = 1$,
- et lorsque $p = 100\%$, alors $C_s \in \{0, 1\}$.

Conscient de ce constat, le décideur fait recours aux critères de choix proposés mais en considérant qu'une politique est un couple (C_s, p) et en parcourant simplement l'ensemble suivant : $\{(0, 100\%), (1, 50\%), (1, 75\%), (1, 100\%), (2, 50\%)\}$ suite à l'élimination des politiques dominées.

Comme précédemment, nous distinguons deux cas : le cas où la décision se fait sous incertitude et la cas où la décision se fait sous risque :

Décision sous risque :

Etape 3' : Calculer le critère de l'espérance mathématique

Le calcul de l'espérance mathématique⁵⁴ suggère au décideur de choisir la politique correspondant à $(C_s, p) = (1, 50\%)$. Comparée à la solution de la décision sous risque obtenue dans le cas où les

⁵⁴ Nous utilisons pour ce calcul la même distribution de probabilités subjectives utilisée dans le cas des prévisions collaboratives.

prévisions sont collaboratives ($(C_s, p) = (0, 75 \%)$), la solution actuelle suggère qu'au cas où les prévisions sont non collaboratives, la couverture de stock à mettre en place ne devrait pas être nulle et que le frein de capacité dans ce cas devrait être plus sévère.

Décision sous incertitude :

Etape 3 : Calculer les critères de choix

Le calcul des critères de choix dans le contexte de la décision sous incertitude (critère de Wald, critère de Savage, critère optimiste d'Hurwicz, critère de Laplace et critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz) nous donne les résultats suivants :

Critère	Politique
Wald	$C_s = 1$ et $p = 75\%$
Optimiste d'Hurwicz	$C_s = 0$ et $p = 100\%$
Pondération d'optimisme d'Hurwicz	$C_s = 1$ et $p = 75\%$ si $C_o < 0,83$; $C_s = 1$ et $p = 50\%$ si $C_o = 0,83$; $C_s = 0$ et $p = 100\%$ si $C_o > 0,83$
Laplace	$C_s = 1$ et $p = 50\%$
Savage	$C_s = 1$ et $p = 75\%$

Tableau 6 : Calcul des critères de choix (Cas des prévisions non collaboratives).

Etape 4 : Construire le digramme de choix

Le calcul des différents critères de choix, que nous proposons en cas d'information moyenne, c'est-à-dire le critère de Wald, le critère de Savage, le critère optimiste d'Hurwicz, le critère de Laplace et le critère à pondération d'optimisme d'Hurwicz, nous permet de construire le diagramme suivant :

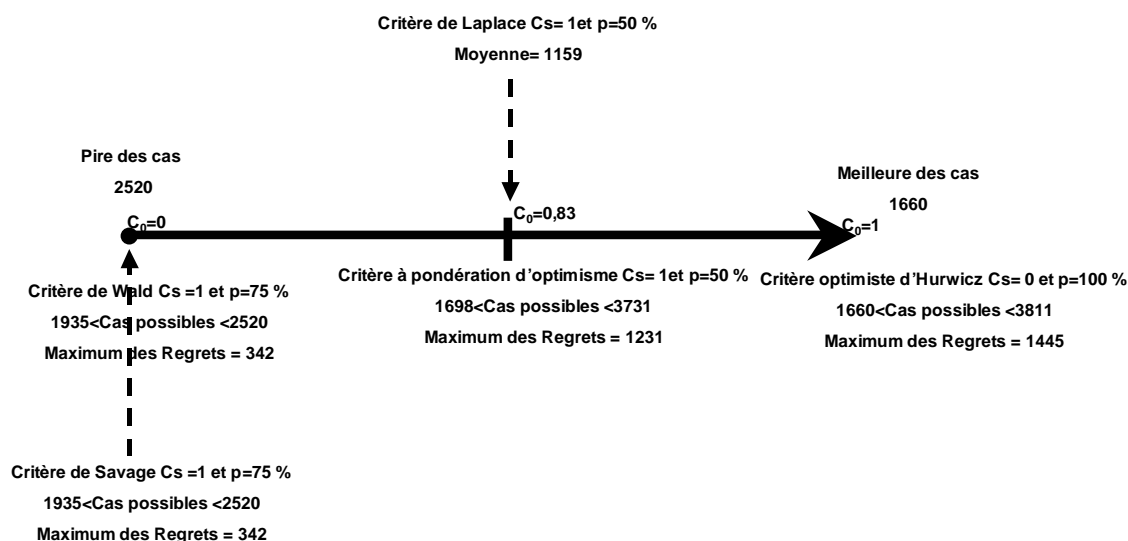


Figure 7 : Diagramme d'évaluations risques relatifs aux différentes politiques de coopération (Cas des prévisions non collaboratives).

Etape 5 : Sélectionner la (les) politique(s) pertinente(s)

L'analyse de ce diagramme montre au décideur qu'il y a trois solutions possible : $(C_s, p)=(1, 75 \%)$, $(C_s, p)=(1, 50 \%)$ et enfin $(C_s, p)=(0, 100 \%)$. Chacune de ces solutions traduit une attitude particulière face au risque :

La solution $(C_s, p)=(1, 75 \%)$ est une solution qui est d'extrême prudence, mais qui garantit le minimum des maximums de regret que peut avoir le décideur (342) comparé aux deux autres solutions ($(C_s, p)=(1, 50 \%)$ et $(C_s, p)=(0, 100 \%)$) qui garantissent respectivement des maximums de regrets de 1231 et de 1445 plus élevés. Mais, si la situation favorable se produit, le décideur ne peut avoir qu'un coût de 1935 qui est plus élevé que les coûts donnés par les deux autres solutions lorsque les situations les plus favorables se produisent.

8.2.5.1 Bilan

Nous apportons à travers cette étude une aide à la décision en matière de choix de politique de coopération. Cette aide est basée sur l'utilisation de critères de choix dont la construction est issue de la théorie de décision et dont l'importance majeure est de refléter la perception qu'a le décideur du risque.

Par ailleurs, l'examen des solutions dans les différents cas abordés dans l'étude n'est pas sans susciter quelques questions : en effet on constate qu'il y a presque autant de stratégies optimales différentes que de critères de base.

Dans certains cas, cette diversité est parfaitement justifiée : on ne saurait s'attendre à trouver par exemple une même stratégie optimale pour des dirigeants d'entreprise dont les attitudes à l'égard du risque seraient rigoureusement opposées.

Il faut cependant noter que dans certains autres cas, on peut observer que les critères de Wald et de Savage, reposant sur une même attitude de prudence, aboutissent à préconiser deux stratégies optimales différentes. On peut alors légitimement se demander si l'un des critères est supérieur aux autres. Quelques auteurs ont tenté de répondre à cette question. Au terme de ses travaux, l'un d'entre eux, J.L. Milnor [Milnor, 58], montre qu'un choix satisfaisant est logiquement impossible. J.J. Granelle écrit : « Milnor énonce dix axiomes. Chacun d'entre eux semble *a priori* de bon sens et il est vraisemblable que tout individu accepterait que tout critère de choix qu'il utilise satisfasse à chacun de ces axiomes pris isolément. Or aucun des critères examinés plus haut ne satisfait aux dix axiomes à la fois et il semble difficile de renoncer à l'un de ces axiomes. Dès lors, il est impossible de proposer un critère de choix dans l'incertitude qui soit satisfaisant » [Granelle, 69].

Toutefois, ce que nous préconisons, c'est d'utiliser comme nous l'avons fait dans le cadre du cas d'étude présenté précédemment, l'ensemble des critères à la fois pour construire un diagramme de choix. En effet, ceci est plus propice pour assurer une meilleure aide à la décision et pour faire une meilleure comparaison entre les solutions suggérées par les différents critères de choix. L'idée du critère de choix unique que nous pouvons retenir parmi la liste des indicateurs que nous avons présentés ne fait que réduire les points de vue dont peut disposer le décideur au moment où il effectue ses décisions.

Néanmoins, l'utilisation du diagramme de choix proposé nécessite de fournir une formation aux décideurs pour qu'ils arrivent à bien l'interpréter.

8.3 Analyse des politiques de coopération en avenir indéterminé : une perspective locale (Cas d'étude 2)

Dans cette variante du problème d'analyse des politiques de coopération, nous nous basons sur la théorie des jeux pour l'étude de la coordination et plus généralement l'interaction entre les acteurs de la chaîne logistique. Les sections suivantes illustrent un exemple d'utilisation de cette théorie en appliquant la démarche d'aide à la coopération proposée.

8.3.1 Définition du modèle du système étudié

La chaîne logistique retenue pour cette étude est une chaîne logistique multi-étages faisant intervenir trois acteurs dont l'activité est inscrite dans le domaine des télécommunications (voir Figure 8). Les temps de cycles, ainsi que les délais de livraisons, sont choisis proches des délais réels. Les autres caractéristiques de la chaîne (taille des horizons, fréquences de planification, structures des coûts chez les acteurs) ne sont pas celles du système réel. L'objectif est de définir un cas académique réaliste. La chaîne logistique réelle fera l'objet du chapitre 9.

L'approvisionnement de l'acteur de rang i se fait chez l'acteur de rang $(i + 1)$ et on supposera que du côté de l'acteur de rang 3 la matière première est à disponibilité infinie. Enfin, la chaîne est mono-produit.

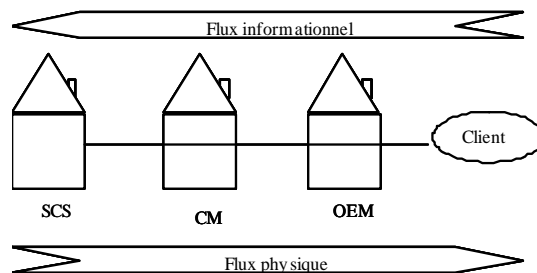


Figure 8 : Modèle de la chaîne logistique analysée.

8.3.2 Définitions du plan d'expériences des simulations

✓ Les politiques de coopération

Les politiques de coopération que nous évaluons dans cet exemple sont le résultat de la combinaison de plusieurs politiques de gestion de la capacité, d'échanges de prévisions et de gestion de flux (flux tiré/flux poussé). Dans ce qui suit, nous présentons les instances étudiées pour ces différentes politiques de gestion.

- **Politiques de gestion de la capacité :** nous considérons les cas où :
 - la capacité est finie chez le SCS, le CM et l'OEM,
 - l'acteur SCS peut valider de façons différentes, via l'application d'un pourcentage p_{SCS} les variations de capacité proposées. Les valeurs de p_{SCS} considérées sont les suivantes :

$$p_{scs} = 50\%(\text{freindecapacitésévère}) \quad p_{scs} = 75\%(\text{freindecapacitésfaible}) \quad p_{scs} = 100\%(\text{freindecapacitésnul})$$

- les autres acteurs, c'est-à-dire le CM et l'OEM, font une validation systématique des variations de capacités proposées, *i.e.* $p_{CM} = p_{OEM} = 100\%$

- **Politiques de gestion des prévisions :** nous proposons deux politiques de gestion pour l'élaboration des prévisions. Dans le cadre de la première politique, que nous qualifierons de « prévisions collaboratives » ou « externes », l'acteur fournisseur calcule ses prévisions de ventes en se basant sur les prévisions que lui transmet l'acteur client. Dans la deuxième politique, un acteur calcule ses prévisions de ventes en interne et en ne se basant que sur ses méthodes de prévisions sans réception de prévisions de la part de son client, on parle de « prévisions locales » ou « internes ». La méthode de prévisions retenue pour cet exemple est la méthode de Holt et Winters - lissage exponentiel à trois paramètres -.
- **Politiques de gestion de flux :** nous proposons deux politiques de gestion de flux que ce soit pour la production ou pour l'approvisionnement : flux poussé et flux tiré. Ce sont les deux acteurs CM et OEM qui décident de la politique de gestion de flux à mettre en place.

✓ **Les scénarios d'évolution du marché**

Les scénarios d'évolution du marché sont identiques à ceux définis dans le cas d'étude 1.

Sur la base de l'évaluation de chacune des politiques de coopération sur l'ensemble des scénarios décrits ci-dessus, le problème que les décideurs de la chaîne logistique décrite plus haut cherchent à analyser peut se décrire comme :

- le SCS cherche à définir le coefficient de validation p_{SCS} qu'il devrait appliquer pour déduire la variation de capacité à accepter sur la base des nouvelles capacités proposées.
- les acteurs CM/OEM cherchent à définir le mode de gestion de flux (flux poussé ou flux tiré) ainsi que le mode de prévisions à mettre en place. Ceci en tenant compte de coefficient de validation p_{SCS} que le SCS pourrait choisir.

En considérant le cadre de décision dans lequel se placent les décideurs, deux cas peuvent être distingués :

- décision sous incertitude,
- décision sous risque.

8.3.3 Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation

Sur la base du plan d'expériences défini par les décideurs dans l'étape précédente, le médiateur introduit dans l'outil les paramètres propres à chaque décideur pour pouvoir caractériser ses différents comportements et ses différentes politiques de gestion internes.

8.3.4 Lancement des simulations

Une fois que les différents paramètres caractérisant les acteurs sont introduits dans l'outil, les simulations sont lancées.

8.3.5 L'analyse du risque

Deux études vont être menées selon que le décideur choisi un critère de choix qui relève de la décision sous incertitude ou qu'il relève de la décision sous risque. Dans chacune de ces études, nous allons utiliser la méthodologie présentée dans la section 7.3.3.2 du chapitre 7.

✓ Décision sous incertitude

Etape 1 : Calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario

Les coûts associés à chaque acteur dans le cadre d'une politique de coopération et d'un scénario du marché donné sont évalués en utilisant le modèle de calcul décrit dans la section 7.3.3.1 du chapitre 7. Le tableau suivant donne une évaluation des coûts des acteurs associés, par exemple, à la politique de coopération ($p_{SCS}=100\%$, échange d'information et flux poussé) dans le cadre des différents scénarios :

τ	σ	Coût Total SCS par scénario	Coût Total CM par scénario
0.1	0	395	785
0.1	10000	395	786
0.1	50000	397	779
0.1	100000	416	758
0.1	250000	537	872
0.5	0	408	795
0.5	10000	409	794
0.5	50000	417	783
0.5	100000	439	773
0.5	250000	561	940
1	0	477	795
1	10000	478	797
1	50000	485	814
1	100000	500	839
1	250000	606	1060

Tableau 7 : Exemple d'évaluation des coûts d'acteurs associés à une politique de coopération donnée selon les différents scénarios (Cas de la décision sous incertitude).

Etape 2 : Choisir un critère de choix et calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération

En choisissant de se situer dans ce cadre de décision, les décideurs définissent ensuite le critère de choix à appliquer pour agréger les différents scénarios.

Ces derniers jugent ici, par exemple, qu'une attitude pessimiste est nécessaire à mettre en place et optent pour le critère de Wald. Ainsi, le coût d'une politique donnée est déduit à travers le calcul du coût maximum sur les différents scénarios. Le tableau suivant est une illustration de cette agrégation des scénarios pour la politique de coopération correspondant à ($p_{SCS}=100\%$, échange d'informations et flux poussé) :

τ	σ	Coût Total SCS par scénario	Coût Total CM par scénario
0.1	0	395	785
0.1	10000	395	786
0.1	50000	397	779
0.1	100000	416	758
0.1	250000	537	872
0.5	0	408	795
0.5	10000	409	794
0.5	50000	417	783
0.5	100000	439	773
0.5	250000	561	940
1	0	477	795
1	10000	478	797
1	50000	485	814
1	100000	500	839
1	250000	606	1060
Maximum du Coût total		Max (395,395,397,416,537,408,409,417,439,561,417,439,561,477,478,485,500,606) =606	Max (785,786,779,758,872,795,794,783,773,940,795,797,814,839,500) =1060

Tableau 8 : Agrégation des coûts pour les différents acteurs dans le cadre d'une politique de coopération donnée (Cas de la décision sous incertitude).

Etape 3 : Construire le jeu dans l'hypothèse de la forme stratégique

En se basant sur ce principe d'évaluation des coûts, les résultats des simulations peuvent être représentés dans le jeu sous forme normale suivant :

	Flux OEM + EMS	Poussé		Tiré
P_{scs}	Prévision	Echange	Sans échange	Echange
50 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(578 ; 1144)	(1351 ; 23656)	(505 ; 2734)
75 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(599 ; 1051)	(1185 ; 5518)	(617 ; 2516)
100%	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(606 ; 1060)	(1329 ; 2969)	(607 ; 2360)

Minimax Coûts : minimum des coûts maximaux.

Tableau 9 : Jeu original (Cas de la décision sous incertitude).

Etape 4 : Chercher et éliminer dans chaque jeu les stratégies strictement dominées et ensuite chercher le ou les équilibres de Nash

Le jeu étant défini, nous procédons dans un premier temps à l'élimination des stratégies dominées :

- pour l'acteur EMS/OEM, les stratégies Flux tiré- Prévisions collaboratives et Flux poussé-Prévisions non collaboratives sont strictement dominées par la stratégie Flux poussé-Prévisions collaboratives. De ce fait, aucune d'entre elles ne serait utilisée par ce premier. Nous éliminons donc ces stratégies du jeu original, le jeu réduit est le suivant :

	Flux OEM +EMS	Poussé
p_{SCS}	Prévision	Echange
50 %	((Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(578 ; 1144)
75 %	((Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(599 ; 1051)
100 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(606 ; 1060)

Tableau 10 : Jeu après le premier tour d'élimination des stratégies dominées (Cas de la décision sous incertitude).

Dans ce jeu réduit, l'acteur SCS évalue ces différentes stratégies et remarque que les stratégies $p_{SCS} = 75\%$ et $p_{SCS} = 100\%$ sont strictement dominées par la stratégie $p_{SCS} = 50\%$. Ainsi, il choisira forcément cette dernière stratégie. L'issue finale du jeu est donc :

	Flux OEM +EMS	Poussé
p_{SCS}	Prévision	Echange
50 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	(578 ; 1144)

Tableau 11 : Jeu après le deuxième tour d'élimination des stratégies dominées (Cas de la décision sous incertitude).

Cette stratégie commune ($p_{SCS} = 50\%$, Poussé-Prévisions collaboratives) est donc un équilibre de Nash.

Etape 5 : Analyser l'efficacité globale de la (les) solution (s)

Considérons maintenant le coût total de la chaîne C pour les différentes stratégies du jeu original pour vérifier si cette stratégie est simplement une « bonne stratégie » ou « la meilleure stratégie » :

	Flux SCS +OEM +EMS	Poussé		Tiré
p_{SCS}	Prévision	Echange	Sans échange	Echange
50 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	1722	25007	3239
75 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	1650	6703	3133
100 %	(Minimax Coûts SCS, Minimax Coûts OEM + EMS)	1666	4298	2967

Tableau 12 : Coûts totaux en fonction des différentes stratégies (Cas de la décision sous incertitude).

Le minimum de C est donné par la stratégie commune ($p_{SCS} = 75\%$, Poussé-Prévisions collaboratives). De ce fait, la stratégie ($p_{SCS} = 50\%$, Poussé-Prévisions collaboratives) n'est la « meilleure stratégie commune » puisqu'elle représente un équilibre de Nash, mais qu'elle ne minimise pas C .

Ainsi, pour que la chaîne soit plus compétitive, le SCS devrait se manifester plus flexible quand aux validations des variations de capacité bien que ceci soit à son détriment. Ceci peut être envisageable dans le cas d'un partage ultérieur des gains qui pourrait récompenser la hausse du coût engagé par le SCS suite à l'application d'un p_{SCS} plus élevé. Pour ce faire, l'EMS/OEM qui

fait un gain de 93 en passant de la stratégie ($p_{SCS} = 50\%$, Poussé-Prévisions collaboratives) à la stratégie doit d'abord restituer 21 au SCS pour que ce dernier retrouve son coût initial moins élevé. Ensuite l'EMS/OEM partage le gain restant $93-21 = 72$ avec le SCS et lui offre ainsi une récompense de 36 pour qu'il accepte d'adhérer à la stratégie ($p_{SCS} = 75\%$, Poussé-Prévisions collaboratives).

✓ Décision sous risque

Etape 1 : Calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération et pour chaque scénario

Comme précédemment (cas de la décision sous risque), les coûts associés à chaque acteur dans le cadre d'une politique de coopération et d'un scénario du marché donné sont évalués en utilisant le modèle de calcul décrit dans la section 7.3.3.1 du chapitre 7. Le tableau donne un exemple d'évaluation, sur l'ensemble des scénarios du marché, des coûts des acteurs dans le cadre d'une politique donnée.

Etape 2 : Choisir un critère de choix et calculer le critère de coût pour chaque politique de coopération

En choisissant de se situer dans un cadre de décision sous risque, les décideurs définissent ensuite le critère de choix à appliquer pour agréger les différents scénarios. Le critère que ces derniers retiennent ici est celui de l'espérance mathématique. Ainsi, le coût d'une politique donnée est déduit à travers le calcul de l'espérance mathématique des différents scénarios. Le tableau suivant est une illustration de cette agrégation des scénarios pour la politique de coopération correspondant à ($p_{SCS} = 100\%$, échange d'information et flux poussé) :

τ	σ	Probabilités subjectives	Coût Total SCS par scénario	Coût Total CM + OEM par scénario
0.1	0	1/44	395	785
0.1	10000	2/44	395	786
0.1	50000	3/44	397	779
0.1	100000	4/44	416	758
0.1	250000	3/44	537	872
0.5	0	2/44	408	795
0.5	10000	3/44	409	794
0.5	50000	4/44	417	783
0.5	100000	5/44	439	773
0.5	250000	4/44	561	940
1	0	1/44	477	795
1	10000	2/44	478	797
1	50000	3/44	485	814
1	100000	4/44	500	839
1	250000	3/44	606	1060
Coût total moyen			$(395*1+395*2+397*3+416*4+537*3+408*2+409*3+417*4+439*5+561*4+417*4+439*5+561*4+477*1+478*2+485*3+500*4+606*3)/44=461$	$(785*1+786*2+779*3+758*4+872*3+795*2+794*3+783*4+773*5+940*4+795*1+797*2+814*3+839*4+1060*3)/44=824$

Tableau 13 : Agrégation des coûts pour les différents acteurs dans le cadre d'une politique de coopération donnée (Cas de la décision sous risques).

Remarque : la distribution des probabilités subjectives utilisée est identique à celle qui a été utilisée dans le cas d'étude 1.

Etape 3 : Construire le jeu dans l'hypothèse de la forme stratégique

En se basant sur les résultats des simulations, nous construisons le jeu sous forme normale suivant :

p_{SCS}	Flux OEM +EMS	Poussé		Tiré
	Prévision	Echange	Sans échange	Echange
50 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(454 ; 825)	(1197 ; 17393)	(341 ; 1808)
75 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(462 ; 821)	(1003 ; 3815)	(474 ; 2138)
100 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(466 ; 826)	(984 ; 1922)	(471 ; 2111)

E.M Coûts : Espérance Mathématique des coûts.

Tableau 14 : Jeu original (Cas de la décision sous risque).

Etape 4 : Chercher et éliminer dans chaque jeu les stratégies strictement dominées et ensuite chercher le ou les équilibres de Nash

Le jeu étant défini, nous procédons dans un premier temps à l'élimination des stratégies dominées :

- pour l'acteur EMS/OEM les stratégies Flux tiré-Prévisions collaboratives et Flux poussé-Prévisions non collaboratives, sont strictement dominées par la stratégie Flux poussé-Prévisions collaboratives. De ce fait, aucune d'entre elles ne serait utilisée par ce premier. Nous éliminons donc ces stratégies du jeu original, le jeu réduit est le suivant :

p_{SCS}	Flux OEM +EMS	Poussé
	Prévision	Echange
50 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(454 ; 825)
75 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(462 ; 821)
100 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(466 ; 826)

Tableau 15 : Jeu après le premier tour d'élimination des stratégies dominées (Cas de la décision sous risque).

Dans ce jeu réduit, l'acteur SCS évalue ces différentes stratégies et remarque que les stratégies $p_{SCS} = 75\%$ et $p_{SCS} = 100\%$ sont strictement dominées par la stratégie $p_{SCS} = 50\%$. Ainsi, il choisira forcément cette dernière stratégie. L'issue finale du jeu est donc :

p_{SCS}	Flux OEM +EMS	Poussé
	Prévision	Echange
50 %	((E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	(454 ; 825)

Tableau 16 : Jeu après le deuxième tour d'élimination des stratégies dominées (Cas de la décision sous risque).

Cette stratégie commune ($p_{SCS} = 50\%$, Poussé-Prévisions collaboratives) est donc un équilibre de Nash.

Etape 5 : Analyser l'efficacité globale de la (les) solution (s)

Considérons maintenant le coût total de la chaîne C pour les différentes stratégies du jeu original :

p_{scs}	Flux SCS +OEM +EMS	Poussé		Tiré
	Prévision	Echange	Sans échange	Echange
50 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	1280	18591	2149
75 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	1284	4818	2613
100 %	(E.M Coûts SCS, E.M Coûts OEM + EMS)	1294	2907	2582

Tableau 17 : Coûts totaux en fonction des différentes stratégies (Cas de la décision sous risque).

Le minimum de C est également donné par la stratégie commune ($p_{scs} = 50\%$, Poussé-Prévisions collaboratives). De ce fait, cette stratégie est la « meilleure stratégie commune », puisqu'elle est à la fois un équilibre de Nash et qu'elle minimise C .

8.3.6 Bilan

Il ressort de l'analyse de ce cas d'étude que :

- une validation systématique des variations de la capacité est loin d'être la meilleure solution pour garantir l'efficacité de la chaîne logistique,
- le choix d'un frein sévère pour la validation des variations de la capacité paraît mieux adapté pour le SCS ($p_{scs} = 50\%$),
- l'intérêt global de chaîne réside dans le choix d'un frein de capacité moins sévère ($p_{scs} = 75\%$).

Ce constat s'est avéré dépendant de la nature de l'indétermination de l'avenir dans lequel se place les décideurs (avenir risqué ou avenir incertain), puisque la stratégie ($p_{scs} = 50\%$, Poussé-Prévisions collaboratives) redevient « la meilleure stratégie commune » dans le cas d'un avenir risqué, c'est-à-dire qu'elle représente à la fois un équilibre de Nash et qu'elle minimise le coût total C .

Dans un point de vue local ou global et quelle que soit la nature de l'indétermination de l'avenir, la stratégie retenue doit être alliée avec une stratégie de gestion des prévisions de type prévisions collaboratives et avec une logique de gestion des flux de type flux poussé.

L'autre point important dans ce cas d'étude est la flexibilité et la bonne adéquation que procure la théorie des jeux pour l'analyse des politiques de coopération et des interactions entre différents acteurs d'une même chaîne logistique. Les concepts qu'apporte ce formalisme pourraient, à notre point de vue, être étendus et appliqués à un grand nombre de problèmes en liaison avec le Supply Chain Management et la problématique de la coordination des acteurs au sein de la supply chain, surtout que ces concepts peuvent permettre au décideur de mener une analyse en se plaçant à la fois dans une perspective globale (l'accent ici est mis sur l'intérêt de la chaîne prise dans sa globalité et dans une perspective locale (l'accent est ici mis sur les intérêts des acteurs pris séparément) afin de déduire l'adéquation des comportements locaux des acteurs sur la compétitivité de la chaîne.

8.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une illustration de la démarche d'aide à la coopération. Pour cela, nous avons montré comment nous utilisons des concepts empruntés à la théorie de la décision pour faire l'analyse des politiques de coopération en un avenir indéterminé dans le cas où l'intérêt global est considéré. Ensuite, dans un deuxième temps, nous avons montré comment nous adaptons des concepts issus de la théorie des jeux pour faire cette analyse dans le cas où seulement les intérêts locaux (intérêts des acteurs) sont pris en compte.

A travers ces cas d'étude à caractère académique inspirés du terrain industriel, nous pouvons constater l'intérêt de la démarche proposée pour l'analyse des politiques de coopération avec une approche par les risques et en considérant différentes perspectives d'évaluation (perspectives locale et globale). Nous nous proposons, dans le chapitre suivant, de valider ce constat sur un cas industriel.

Chapitre 9. Application industrielle

RESUME

En s'appuyant sur une chaîne logistique des télécoms multi-étages et faisant intervenir un produit (téléphone portable) dont les nouvelles générations sont fréquemment introduites dans le marché, nous présentons un cas industriel sur lequel nous bâtissons une application de la démarche d'aide à la coopération proposée. Les politiques de coopération sur lesquelles nous focalisons sont la combinaison d'un côté des politiques de capacité, et d'un autre côté des politiques d'échange de prévisions. L'implémentation de la démarche permettra de conduire une analyse des risques liés à ces politiques dans le cadre de différentes situations relatives à l'évolution du marché et en considérant les perspectives globale et locale.

9.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons montrer comment notre démarche a été appliquée avec notre partenaire industriel. Dans ce cas d'étude, nous nous proposons de faire une évaluation des risques liés au choix de politiques de planification couplant des politiques de gestion de la capacité et des politiques d'échange de prévisions. Nous avons considéré une chaîne logistique des télécoms avec des produits fortement innovants et une diversité en termes de génération de produits (téléphone portable) et qui fait face à un marché dont la demande est irrégulière.

Pour ce faire, nous avons appliqué, en liaison avec notre partenaire industriel, la démarche d'aide à la coopération que nous proposons :

- dans les sections 9.2, nous présentons la première étape de la démarche c'est-à-dire la définition du modèle système étudié,
- dans la section 9.3, l'étape de définition du plan d'expériences des simulations sur lequel nous nous appuyons pour faire l'analyse des risques (étape 2).
- dans la section 9.4, nous avons instancié les paramètres dans l'outil de simulation (étape 3)
- dans la section 9.5, nous avons lancé des simulations (étape 4)
- dans la section 9.6, nous avons mené avec notre partenaire l'analyse des risques (étape 5).

9.2 Définition du modèle du système étudié

9.2.1 Présentation de la chaîne logistique : structure, processus et coûts

La chaîne logistique considérée est la chaîne des télécoms. Les produits sur lesquels nous focalisons sont les produits de la téléphonie mobile (téléphones portables). De tels produits, c'est-à-dire les téléphones portables, possèdent des générations successives qui sont assemblées au départ chez un assembleur (EMS) en utilisant une puce fabriquée chez Freescale (FSC), vendues à un équipementier (OEM) qui leur rajoute un software et les vend sous sa propre marque à un opérateur téléphonique (OT).

La Figure 1 donne une description du processus de transformation sur la chaîne logistique considérée. Apparaissent les quatre acteurs principaux (OT, OEM, EMS et FSC) et pour chacun les ressources principales, les composants utilisés et les produits réalisés. Les acteurs « Autres OEM » et « Autres Marques » représentent d'autres acteurs de ce marché qui vont générer de la charge sur les ressources à considérer chez les acteurs principaux.

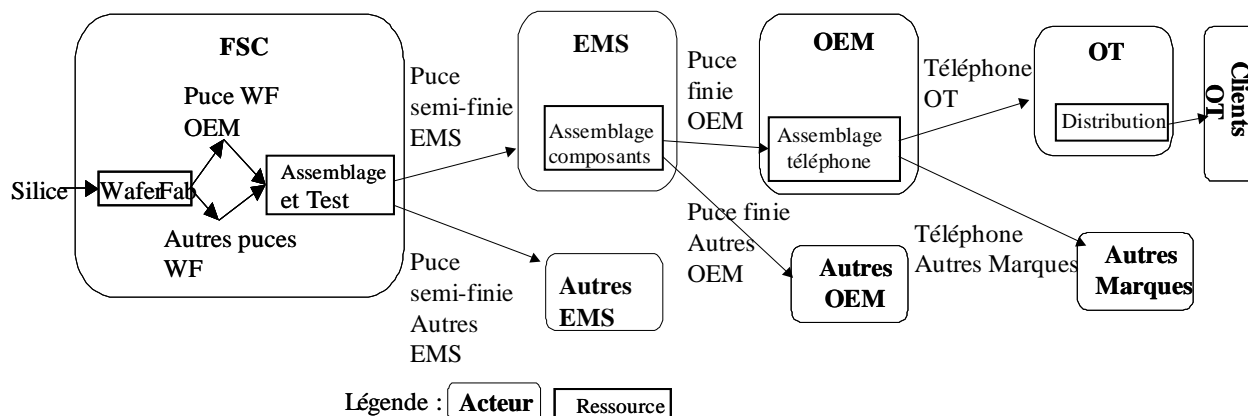


Figure 1 : Description du processus de transformation sur la chaîne logistique.

Dans la figure ci-dessus, nous désignons par :

- Wafer-fab : la ressource principale du processus Front-End chez FSC (voir chapitre 2 pour plus de détails sur le Front-End) qui est responsable de la fabrication des puces. Cette ressource est caractérisée par un délai de production important et constitue la ressource goulot du processus de production chez FSC.
- Assemblage et Test : la ressource principale du processus Back-End chez FSC (voir chapitre 2 pour plus de détails sur le Back-End) qui est responsable de l'assemblage et de test des puces sortant du Wafer-fab. Elle est caractérisée par un délai de production court et des contraintes de capacités faibles.
- Assemblage composants : la ressource qui est en charge de l'assemblage des composants électroniques nécessaires au fonctionnement de la puce issue de FSC.
- Assemblage téléphone : la ressource qui réalise l'assemblage final du téléphone par ajout d'un software et d'un logo caractéristique de la marque de l'OEM.
- Distribution : les ressources nécessaires à la distribution des produits finis, c'est-à-dire les téléphones portables, et leur acheminement jusqu'au client final.

Du côté de FSC, nous supposons que la silice est toujours disponible en quantités suffisantes. Ceci nous permet de borner la chaîne du côté de cet acteur, c'est-à-dire FSC, en supposant que chez celui-ci le stock de silice est infini. Remarquons aussi que la structure en série de la chaîne n'est pas artificielle, puisqu'au stade de la conception des produits, l'OEM choisit ses fournisseurs (l'EMS et le SCS qui est dans notre cas FSC), et met en place une co-conception du produit en question.

Par ailleurs, pour le fonctionnement de l'EMS, deux cas sont possibles :

- o soit l'OEM achète simplement un service à l'OEM et dans ce cas l'EMS planifie sa production, et par conséquent l'EMS peut être représenté comme un acteur dans la chaîne, c'est-à-dire que la représentation des deux acteurs OEM et EMS ferait apparaître les quatre catégories de processus S&OP, MTP, STP, L&IM (voir Figure 2).

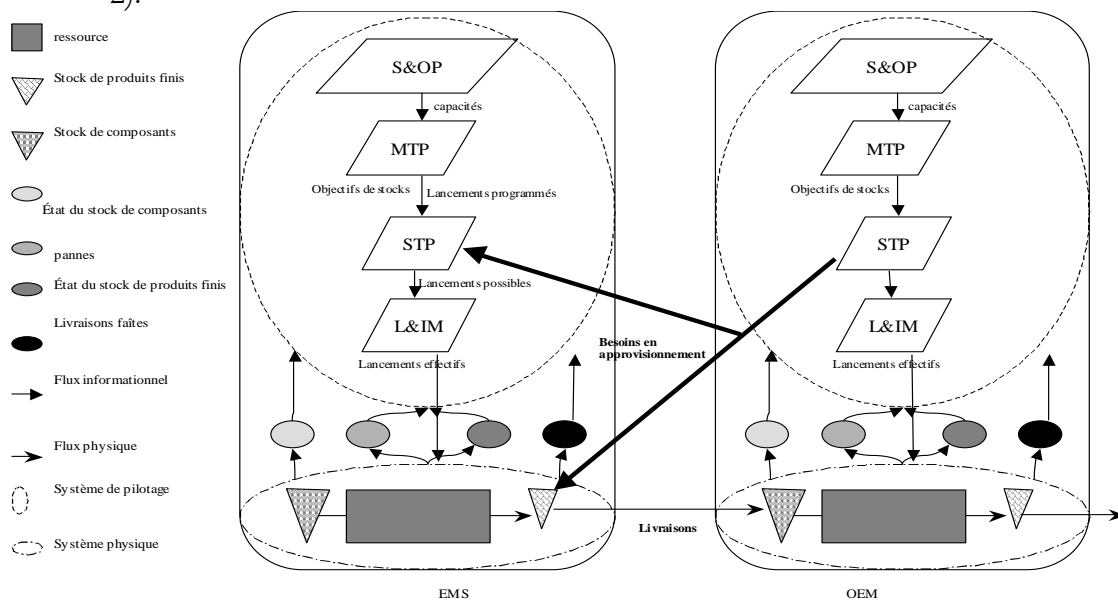


Figure 2 : Modélisation de l'EMS et de l'OEM : première possibilité.

○ Soit l'OEM fait une réservation de capacité chez l'EMS et dans ce cas c'est ce dernier qui est responsable de la planification de la production chez l'EMS (voir Figure 4). Le rôle de ce dernier consiste simplement à faire une gestion du stock du produit dont il dispose pour l'OEM. Dans ce cas, il est possible de déplacer le processus de transformation de matière présent chez l'EMS chez l'OEM. Les délais de production de l'EMS s'ajoutent ainsi à ceux de l'OEM. Par conséquent, une agrégation des deux acteurs OEM et EMS en un acteur OEM-EMS est possible (voir Figure 3).

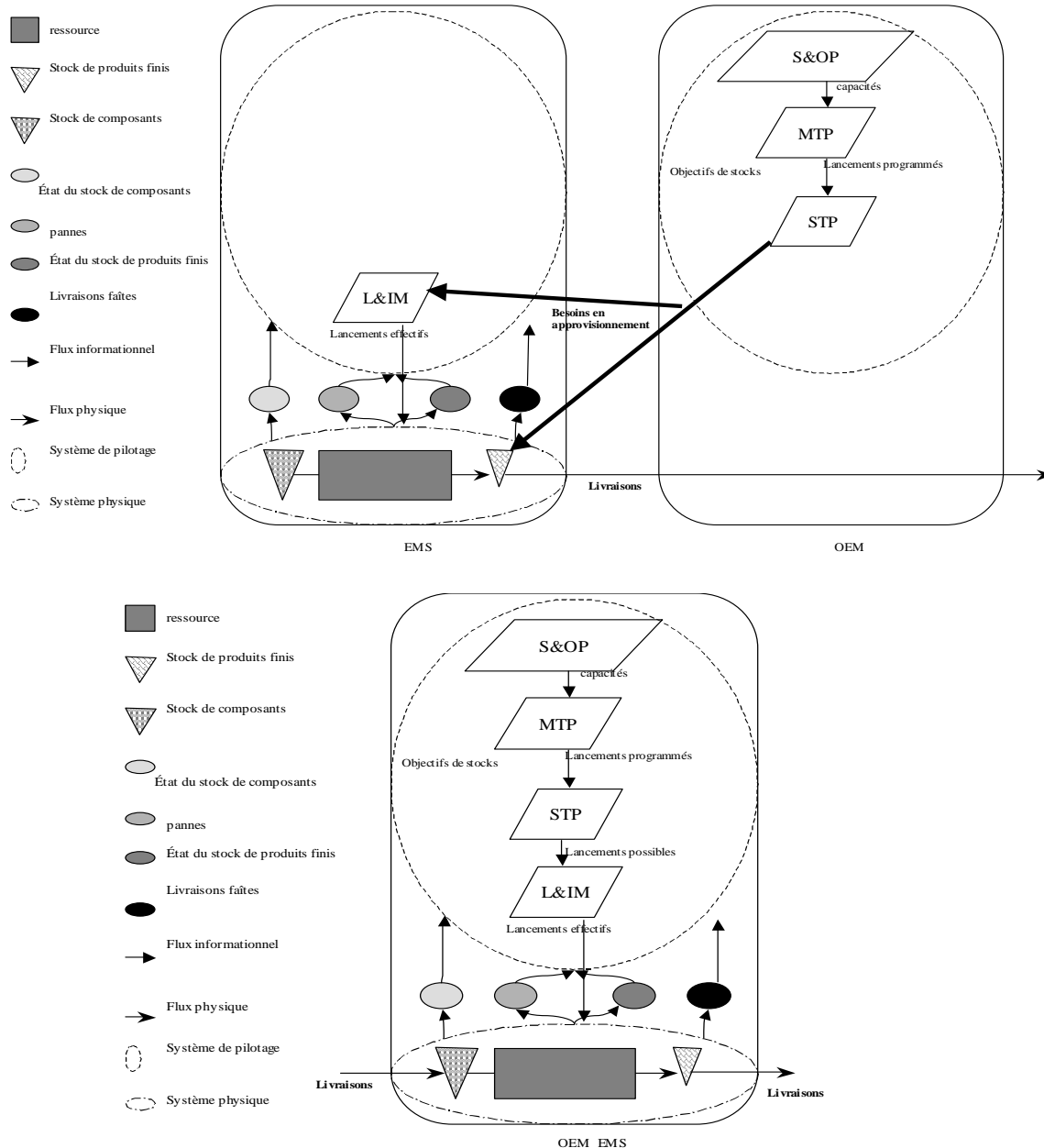


Figure 3 : Modélisation de l'EMS et de l'OEM : deuxième possibilité.

Pour notre étude, nous nous situons dans cette dernière configuration qui correspond à celle retenue et validée par notre partenaire industriel. En outre, nous considérons les simplifications suivantes :

- nous supposons que FSC fait une réservation de capacité pour l'OEM-EMS et que ce dernier, à son tour, fait une réservation de capacité pour l'OT. Ainsi, les seules charges que nous considérons sur les ressources des différents acteurs sont celles de leurs clients « principaux ». De ce fait les flux de matières allant vers les « Autres OEM » et vers les « Autres Marques » (Autres OT) seront ignorés et n'engendrent pas de charges de capacités.
- Le processus d'assemblage et test du FSC a été éliminé en première approximation car il constitue une ressource non goulot dont on peut rapidement adapter la capacité. Il est finalement modélisé comme un délai inclus dans le délai d'approvisionnement entre le stock « Puce WF OEM » chez le FSC et le stock du même nom chez l'OEM-EMS. Toutefois, la demande issue du plan PMT du client OEM-EMS est exprimée comme un besoin de consommation des composants présents chez lui.
- La distinction entre puces sorties du Wafer-fab et puces semi-finies (après assemblage et test) peut être supprimée : le stock stratégique étant effectué à la sortie du Wafer-fab, c'est celui-ci que l'on fait apparaître. Dans le modèle, le stock de puces semi-finies présent chez le FSC a été reporté dans le stock matière première de l'OEM-EMS.
- Le stock chez l'OT est celui des points de ventes et de son réseau de distribution. Il n'y a pas vraiment de problématique de gestion de la capacité liée à la distribution. Le mode de gestion de stock est en flux tiré et vise à laisser un stock de couverture minimal sur les points de vente.

En tenant compte des simplifications énoncées ci-dessus, la Figure 4 donne le modèle que nous retenons pour l'analyse de la chaîne. Les flèches en gras font référence à des processus d'approvisionnement. Les couleurs sur ces flèches ou sur des ressources font référence à des modes de gestion (flux tiré ou flux poussé). Une présentation plus détaillée des processus de planification et des paramètres fixés chez l'ensemble des acteurs considérés est donnée par la Figure 5.

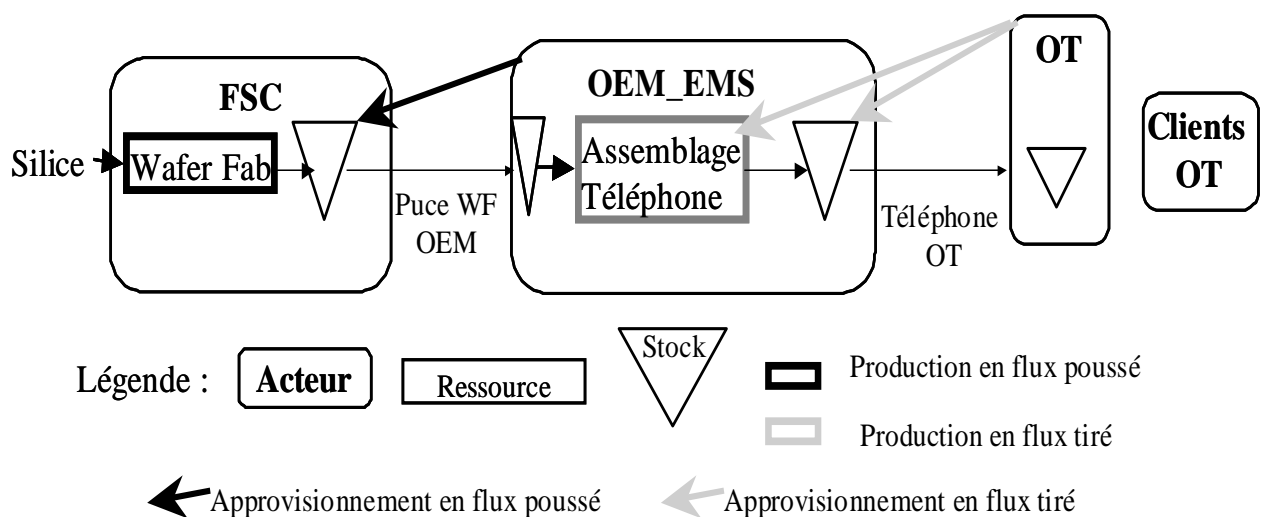


Figure 4 : Modèle de la chaîne logistique à simuler.

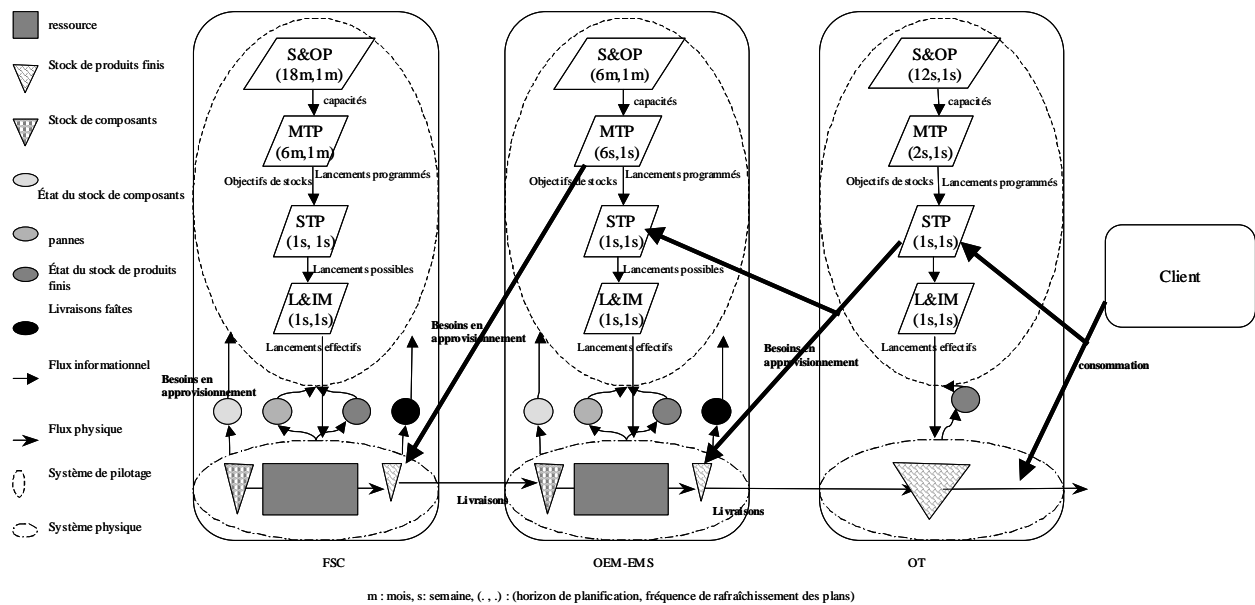


Figure 5 : Modèle de la chaîne logistique à simuler.

Comme nous pouvons le constater dans la Figure 5, les stratégies de gestion des flux, que ce soit pour l’approvisionnement ou la production sont les suivantes :

	FSC	OEM-EMS	OT
Production	Flux poussé	Flux tiré	Flux tiré
Approvisionnement	Flux poussé	Flux poussé	Flux tiré

Tableau 1 : Les stratégies de gestion de flux chez les acteurs.

Les caractéristiques temporelles des processus de planification chez les différents acteurs de la chaîne sont résumées dans le tableau suivant (Tableau 2). Chaque triplet de valeurs donne respectivement l’horizon de planification, la fréquence de rafraîchissement des plans et enfin la granularité.

	FSC	OEM-EMS	OT
S&OP	(18m, 1m, 1m)	(6m, 1m, 1m)	(12s, 1s, 1s)
MTP	(6m, 1m, 1s)	(6s, 1s, 1s)	(2s, 1s, 1s)
STP	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)
L&IM	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)

S : semaine, m : mois, 1m=4s.

Tableau 2 : Les caractéristiques temporelles des processus de planification chez les acteurs.

Les délais de production, de livraison, et de mise en place de nouvelles capacités (exprimés en semaines) sont représentés dans le Tableau 3.

	FSC	OEM-EMS	OT
Délais de mise en place de nouvelles capacités	24s	8s	0s
Délais de production	12s	0s	0s
Délais de livraison	4s	0s	0s

Tableau 3 : Les délais de capacités, de production et de livraisons chez les acteurs.

Enfin, les coûts unitaires (pour une unité de produit finis) chez les différents acteurs sont comme suit :

	FSC	OEM-EMS	OT
Coût matière première (€)/unité de produit	30	100	160
Coût de capacité (€)/unité de produit	25	19	0
Coût de rupture (€)/unité de produit	5	8	20

Tableau 4 : Les coûts unitaires chez les acteurs.

9.2.2 Caractéristiques des produits de la chaîne logistique

Le composant principal dans un produit de téléphonie est la puce qui est fabriquée à base de silice. Un même article puce sert à fournir toutes les marques d'une même génération. La différenciation d'un téléphone par rapport à une marque se fait tardivement durant le processus d'assemblage par le logo de la marque et le software intégré dans les puces. La Figure 6 donne la nomenclature macroscopique d'un produit de téléphonie :

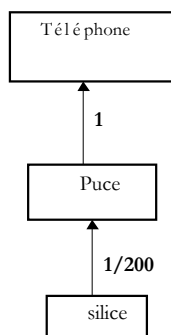


Figure 6 : Nomenclature macroscopique d'un produit.

Dans cette nomenclature, l'article Silice correspond à un kit de Silice nécessaire pour fabriquer un wafer. On considère qu'on peut réaliser 200 puces à partir d'un wafer. Il y a une puce par téléphone.

En plus de la nomenclature décrite ci-dessus, nous prenons compte le fait que :

- si le besoin du consommateur final pour une génération n'est pas satisfait (rupture de stock), les ventes sont perdues. Les ruptures ne sont pas cumulées aux besoins exprimés sur les mois à venir. Par contre, les besoins non satisfaits pour les produits semi-finis dans les autres niveaux de la chaîne seront reportés sur les mois à venir.
- Les acteurs, OEM-EMS et OT ont des besoins en produits et en composants exprimés sous la forme d'une couverture de stock et donc d'un niveau de stock à compléter. Les valeurs de ces couvertures de stocks (exprimées en semaines) pour les produits finis et les matières premières (composants) sont résumées dans le Tableau 7 :

	FSC	OEM-EMS	OT
Couvertures de stock de produits finis	6s	6s	2s
Couvertures de stock de matières premières	0s	4s	2s

Tableau 7 : Les couvertures de stocks de produits finis et de matières premières chez les acteurs.

- Les produits ont une durée de vie très courte (2 ans) et 75 % des besoins d'un produit sont faits sur l'année centrale (1^{ère} année après le lancement du produit sur le marché).
- Les produits sont remplacés rapidement par des produits proches de génération suivante. une génération tous les six mois. A un instant donné deux à trois générations pourront cohabiter.
- Une génération d'un produit peut subir un aléa sur sa date de lancement du fait du design ou du marketing. De ce fait, elle peut être lancée sur le marché en retard ou en avance par rapport à la date prévue à cet effet.
- Une génération de produit possède, en fonction de l'étape dans laquelle elle se situe par rapport à son cycle de vie, une force de pénétration du marché différente allant d'une faible pénétration que ce soit en début ou enfin de son cycle de vie jusqu'à une forte pénétration une fois qu'elle atteint la phase de maturation au milieu de son cycle de vie.

Ces différentes caractéristiques des génération de produit sont intégrées en utilisant la représentation sous forme de courbes en cloches pour chaque génération (voir section 3.2 du Chapitre 6 de la Partie 3 pour plus de détails sur les caractéristiques de ces courbes en cloches).

9.2.3 Caractéristiques du marché global

Pour la prise en compte de la dynamique d'évolution du marché dans sa globalité, c'est-à-dire la dynamique d'évolution du marché sans regarder le mixte de produits, nous considérons que :

- le marché est caractérisé par une croissance annuelle,
- les ventes du mois de décembre représentent 30 % du volume annuel des ventes,
- les prévisions peuvent être alignées par rapport aux demandes, en retard ou en avance par rapport au changement de tendance de la demande.

Ces caractéristiques sont intégrées en adoptant les notations et le principe proposés dans la section 3.1 du chapitre 6 de la Partie 3.

Après avoir décrit, dans les sections précédentes, le modèle du système étudié, nous décrivons dans la section qui suit le problème sélectionné⁵⁵.

9.3 Définition du plan d'expériences des simulations

✓ Les scénarios du marché

Les paramètres caractérisant les scénarios de marché ainsi que leurs valeurs sont comme suit :

- α^1 : coefficient caractérisant la croissance des prévisions et de la demande avant que le marché change de tendance $\alpha^1 = 0$.
- α^2 : coefficient caractérisant la croissance des prévisions et de la demande après que le marché change de tendance $\alpha^2 \in \{-1,0,1\}$
- Λ : le délai Λ caractérisant la façon dont les prévisions s'ajustent par rapport à la demande dans le temps $\Lambda \in \{0,12,24,36,48\}$ (Λ est exprimé en semaines).
- Γ : le délai d'anticipation du lancement d'une génération du produit : nous supposons qu'une seule génération du produit sera lancée avant la date prévue. Les autres seront lancées en respectant leurs dates de lancements prévisionnelles successives. $\Gamma \in \{-24,-12,0,12,24\}$ (Γ est exprimé en semaines).

La figure suivante (Figure 7) donne une illustration des scénarios d'évolution du marché global et de la courbe en cloche de la génération de produit sur la quelle on considère la présence d'un aléa changeant la date de lancement, dans le cas où : $\alpha^1 = 0$, $\alpha^2 = 1$, $\Lambda = 48$ et $\Gamma = -24$.

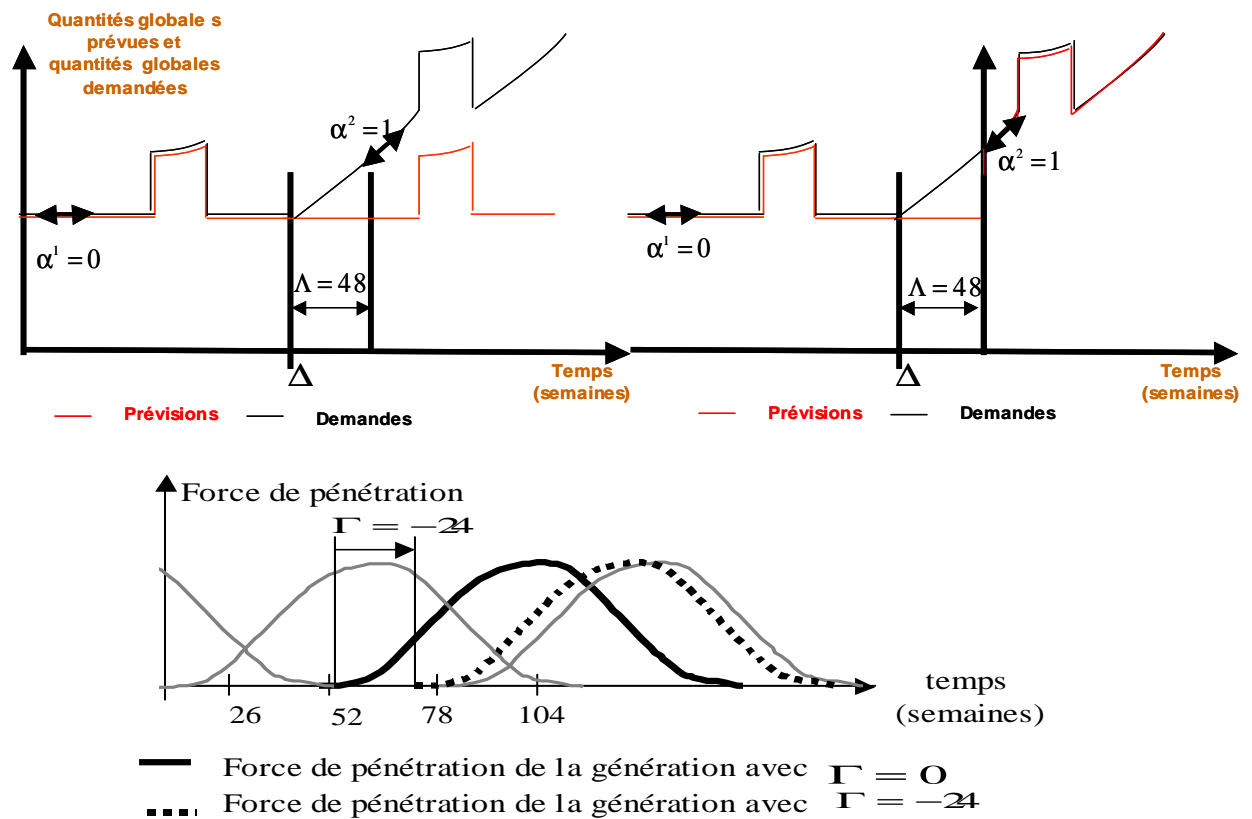


Figure 7 : Un exemple de scénario du marché.

⁵⁵ Il s'agit des variables de décision et du contexte de la décision choisis par notre partenaire industriel.

Rappelons que dans cette figure :

Δ : date à laquelle la tendance du marché change.

✓ Les politiques de coopération

Les politiques de coopération considérées sont la combinaison de :

- politiques de gestion de la capacité : caractérisées à travers un pourcentage p de validation des variations de capacité proposées chez l'acteur FSC : $p_{FSC} \in \{1\%, 10\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%, 90\%, 100\%\}$
- Politiques de gestion des prévisions : deux types de politiques de gestion des prévisions sont simulées. Pour le premier type de politiques, on ne prévoit aucun échange de prévisions et dans ce cas les prévisions sont calculées en internes en se basant sur l'historique des demandes reçues par le passé. Nous appelons ce cas « Prévisions non collaboratives » (voir Figure 8) Quant au deuxième type de politique de prévisions, les prévisions d'un acteur donnée sont calculées en se basant sur les prévisions reçues de la part de son client. Nous appelons ce cas « Prévisions collaboratives » (voir Figure 9). Le choix de l'une de ces deux politiques sera désigné par le paramètre M_{previs} .

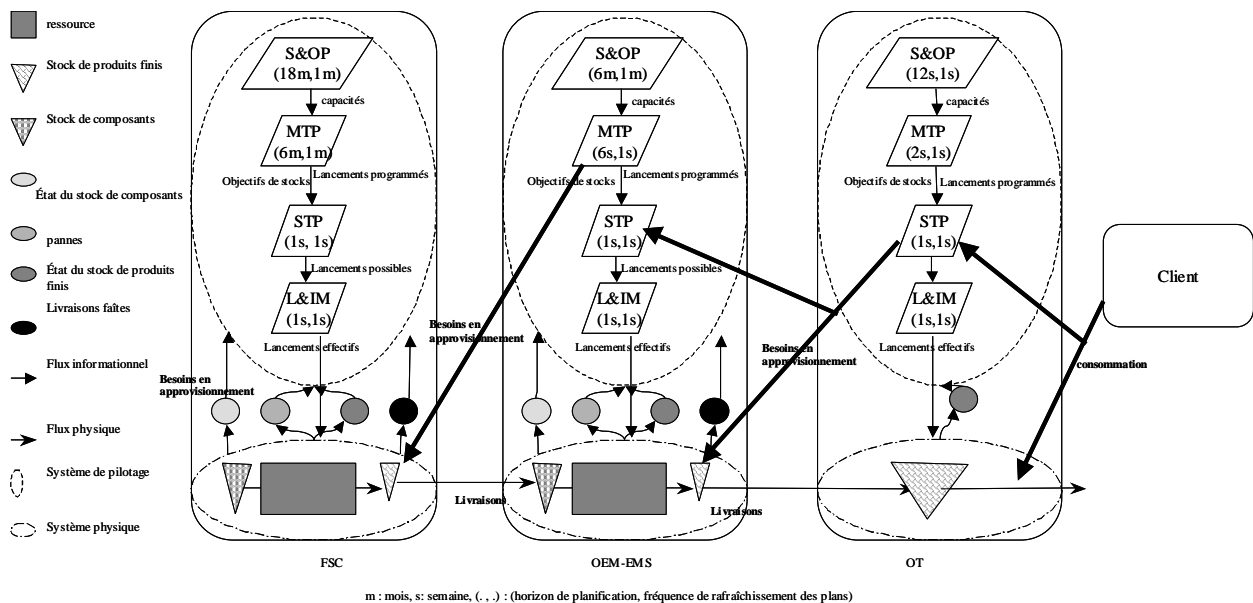


Figure 8 : Cas des prévisions non collaboratives.

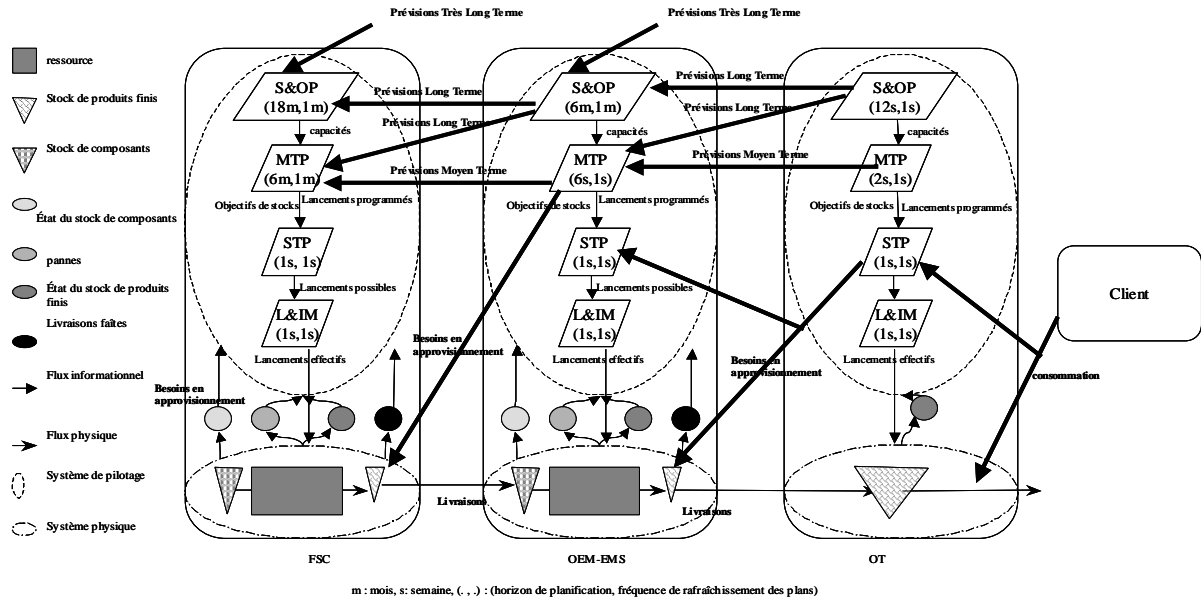


Figure 9 : Cas des prévisions collaboratives.

En prenant en compte les politiques de coopération et les scénarios d'évolution du marché décrit ci-dessus, le problème que les décideurs de la chaîne logistique choisissent pour cette étude est de définir le coefficient de validation des variations de capacité que Freescale (FSC) pourrait appliquer pour déduire les capacités à mettre en place sur la base des nouvelles capacités proposées. Ce coefficient renseigne sur la flexibilité que peut avoir FSC vis-à-vis de la variation de sa capacité : plus ce coefficient est élevé, plus FSC est flexible et vice-versa. Ce problème est abordé en se situant dans un contexte de décision sous incertitude et en considérant différentes expérimentations que nous pouvons résumer comme suit :

Expérimentation 1 :

Dans cette première expérimentation, on suppose :

- que le **marché a une tendance donnée** (marché stable ou en baisse ou en hausse)
- que les **prévisions sont collaboratives**.
- et qu'il n'y a pas d'aléas sur le lancement des générations de produit, c'est-à-dire que toutes les générations de produit sont lancées à temps $\Gamma = 0$,

et on cherche à déterminer le coefficient de validation des variations de capacité. Dans chacun des sous-cas analysés, les scénarios pris en compte pour lesquels **l'ajustement Λ des prévisions par rapport à la demande dans le temps varie** sont résumés dans le tableau suivant :

paramètres	Λ
Numéro scénarios	
1	0
2	12
3	24
4	36
5	48

Tableau 6 : Scénarios pris en compte dans le cas de l'Expérimentation 1.

Expérimentation 2 :

Dans cette expérimentation, on suppose :

- que **le marché a une tendance donnée** (marché stable ou en baisse ou en hausse),
- que **les prévisions sont collaboratives** et qu'elles sont fiables : les prévisions s'ajustent parfaitement par rapport à la demande dans le temps $\Lambda = 0$,

et on cherche à déterminer le coefficient de validation des variations de capacités.

Dans chacun des sous-cas analysés, les scénarios pris en compte pour lesquels le paramètre Γ qui caractérise les retards ou les avances qu'on pourrait avoir par rapport au lancement d'une génération donnée **varie** sont résumés dans le tableau suivant :

paramètres Numéro scénarios	Γ
1	-24
2	-12
3	0
4	12
5	24

Tableau 7 : Scénarios pris en compte dans le cas de l'Expérimentation 2.

Expérimentation 3 :

Dans cette expérimentation, on suppose :

- que **le marché a une tendance donnée** (marché stable ou en baisse ou en hausse),
- que **les prévisions sont non collaboratives**,

et on cherche à déterminer le coefficient de validation des variations de capacités.

Dans chacun des sous-cas analysés, les scénarios pris en compte pour lesquels le paramètre Γ qui caractérise les retards ou les avances qu'on pourrait avoir par rapport au lancement d'une génération donnée **varie** sont résumés dans le tableau suivant :

paramètres Numéro scénarios	Γ
1	-24
2	-12
3	0
4	12
5	24

Tableau 8 : Scénarios pris en compte dans le cas de l'Expérimentation 3.

Expérimentation 4 :

L'intérêt de cette expérimentation est de permettre de définir la ou les politiques (p_{FSC}, M_{prevs}) à déployer en prenant en compte les intérêts individuels des acteurs, donc :

- de vérifier si les intérêts des acteurs sont de rester dans un mode de prévisions non collaboratives ou de migrer vers un mode de prévisions collaboratives,
- et de définir dans le cas du mode de prévisions choisi la valeur du coefficient de validation des variations de capacités à appliquer.

9.4 Instanciation des paramètres dans l'outil de simulation

Sur la base du plan d'expériences défini plus haut, les différents paramètres caractérisant les comportements des acteurs et ceux du marché sont saisis dans l'outil de simulation (voir Annexe pour plus de détails sur les paramètres des simulations).

9.5 Lancement des simulations

Une fois que les paramètres caractérisant les acteurs ont été introduits dans l'outil, les simulations sont ensuite lancées. Vu le nombre élevé de simulations considéré et donc le temps relativement long (48 heures) que nécessite l'exécution de ces simulations, nous avons choisi de distribuer la tâche sur plusieurs machines (15 machines) à l'aide d'un algorithme approprié⁵⁶.

9.6 L'analyse des risques

9.6.1 Prévisions collaboratives dans une perspective globale

Expérimentation 1

L'intérêt de cette expérimentation est d'analyser le choix de politiques de capacités à faire en fonction du délais que mettent les prévisions pour s'ajuster par rapport aux demandes. Pour cela, nous distinguons, comme nous l'avons souligné précédemment, dans cette expérimentation 3 sous-cas :

- marché stable,
- marché en baisse,
- marché en hausse.

✓ **Marché stable**

Afin d'examiner le comportement des différentes politiques de capacités (p_{FSC}) en termes de coûts totaux engagés, considérons les courbes suivantes :

⁵⁶ Les machines sur lesquelles l'algorithme distribue les simulations sont partagées avec un groupe d'utilisateurs. Elles ne sont utilisées que si elles sont libres (aucune autre tâche ne s'exécute). L'algorithme de distribution s'exécute ainsi avec une priorité basse.

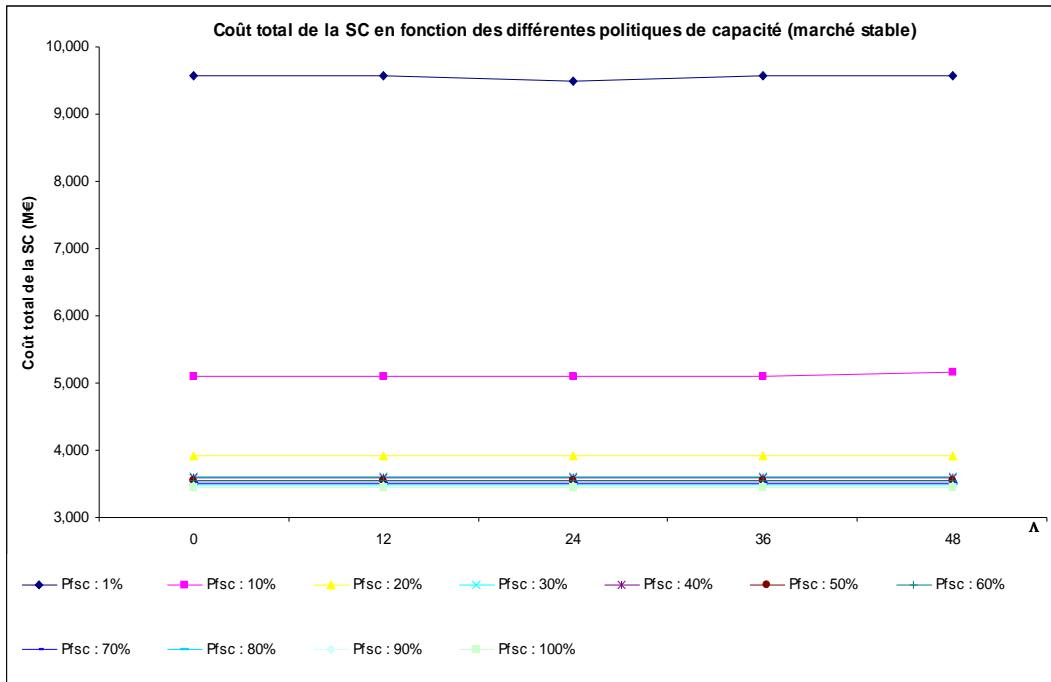


Figure 10 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est stable (Expérimentation 1) (a).

Remarquons d'abord que vu la stabilité du marché, le coût est faiblement dépendant du retard Δ que peuvent avoir les prévisions transmises par l'amont de la chaîne par rapport à la demande. En éliminant ensuite les politiques de capacités qui génèrent des coûts élevés, nous obtenons :

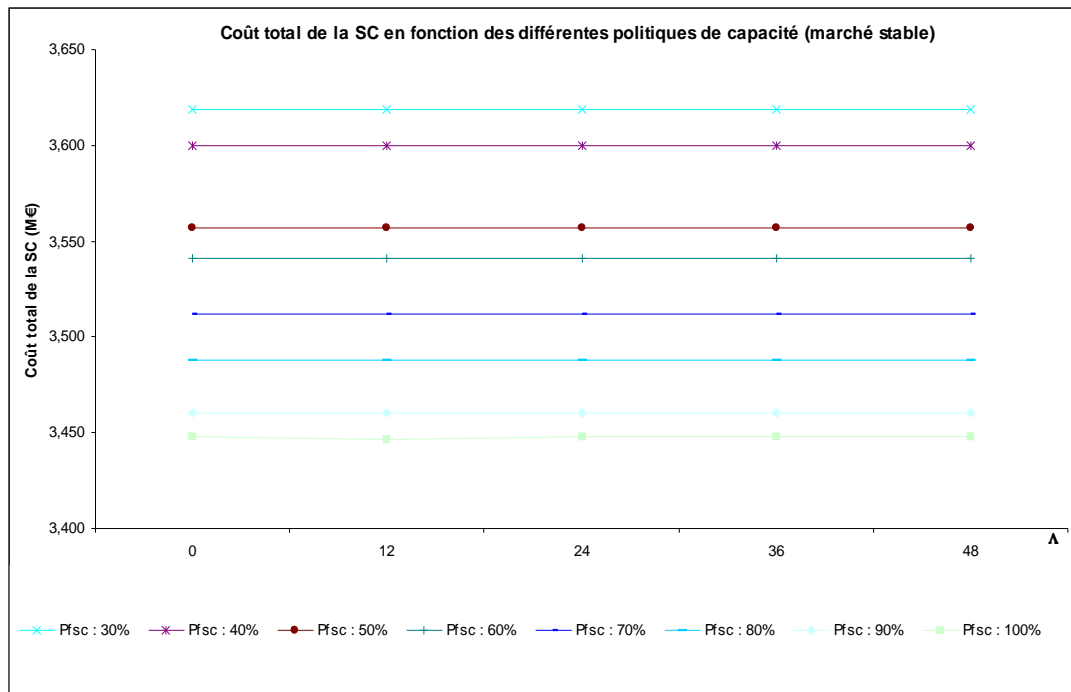


Figure 11 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est stable (Expérimentation 1) (b).

La comparaison des différentes politiques de capacités dans ce nouveau graphique suggère que la politique de capacité qui permet de maîtriser le coût total de la chaîne est celle qui correspond à $p_{FSC} = 100\%$.

✓ **Marché en baisse**

De la même façon que dans le cas précédent, considérons les courbes donnant les coûts engagés dans le cadre des différentes politiques de capacités :

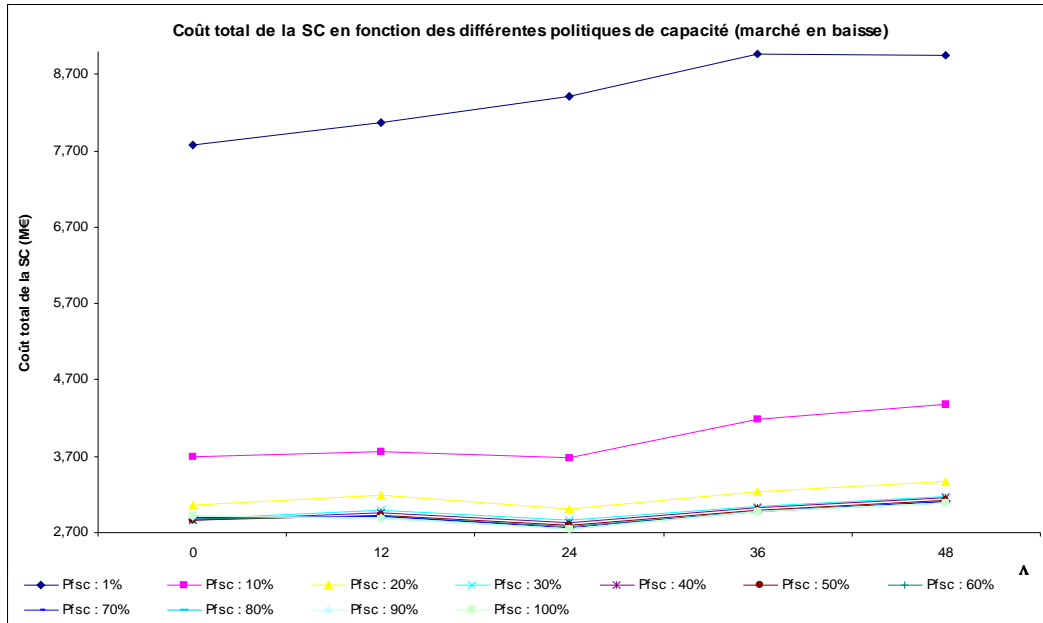


Figure 12 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 1) (a).

Contrairement au cas précédent, le coût est impacté par le retard Λ que peut avoir les prévisions transmises par l'amont de la chaîne par rapport à la demande. D'autre part, la comparaison des différentes politiques de capacités suggère qu'en deçà de $p_{FSC} = 20\%$ les politiques de capacités correspondantes garantissent des coûts très élevés et donc peuvent être éliminées. Après l'élimination de ces politiques, nous obtenons :

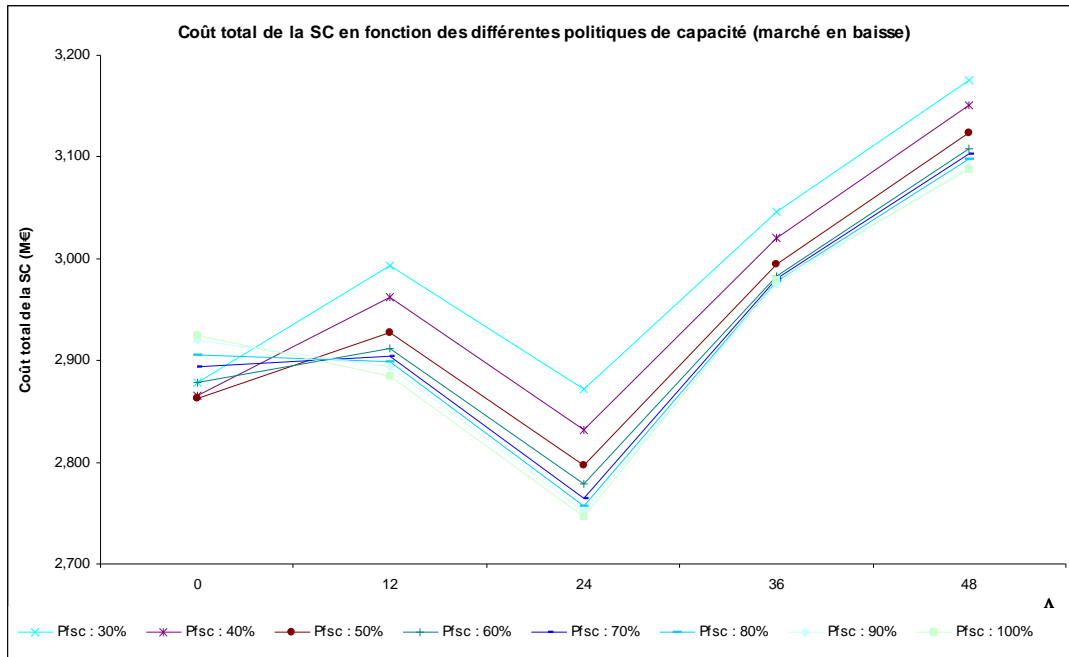


Figure 13 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 1) (b).

Un premier examen du graphique ci-dessus montre que les deux politiques $p_{FSC} = 70\%$ et $p_{FSC} = 100\%$ sont les politiques candidates. Pour pouvoir faire le choix entre ces deux politiques de capacités construisons le diagramme de choix :

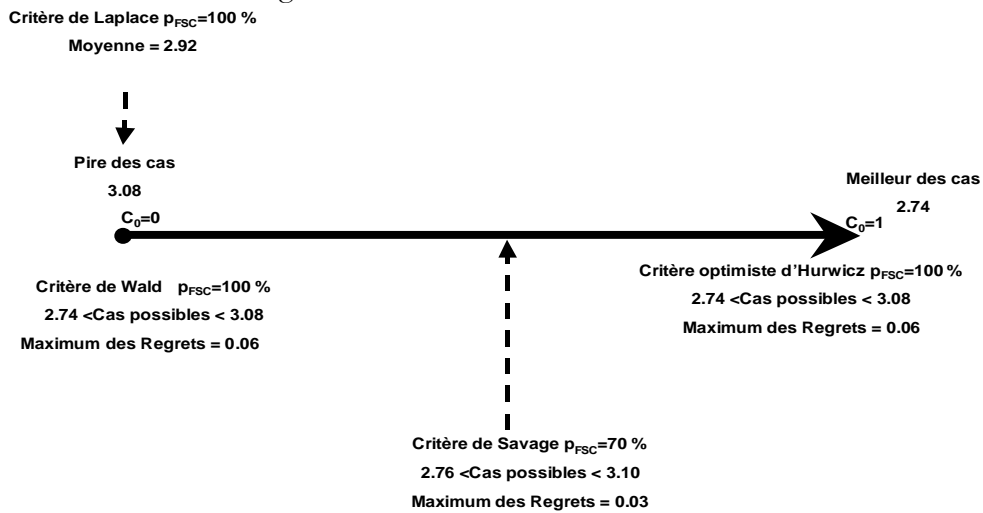


Figure 14 : Diagramme de choix dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 1).

Il ressort de ce diagramme que :

- Dans le cas où le décideur adopte une attitude à caractère optimiste ou une attitude pessimiste, il devrait opter pour une politique de capacité tel que $p_{FSC} = 100\%$,
- par contre, dans le cas où le décideur adopte une attitude prudente, il devrait opter pour un coefficient de validation des variations de capacités qui soit moins important $p_{FSC} = 70\%$. Ce choix garantit à ce dernier d'avoir le minimum de regrets.

✓ Marché en hausse

Dans ce cas, les courbes donnant les coûts associés aux différentes politiques sont comme suit :

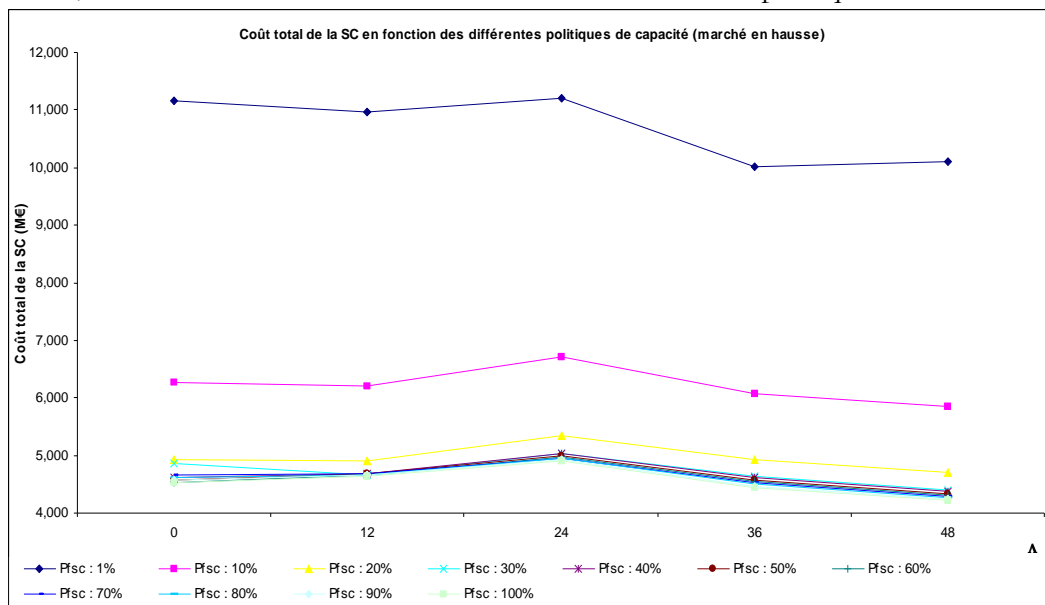


Figure 15 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en hausse (Expérimentation 1) (a).

De ce graphique, nous pouvons conclure aisément qu'en deçà de $p_{FSC} = 20\%$ les politiques de capacités correspondantes génèrent des coûts élevés et donc peuvent être écartées. Après élimination de ces politiques, nous obtenons :

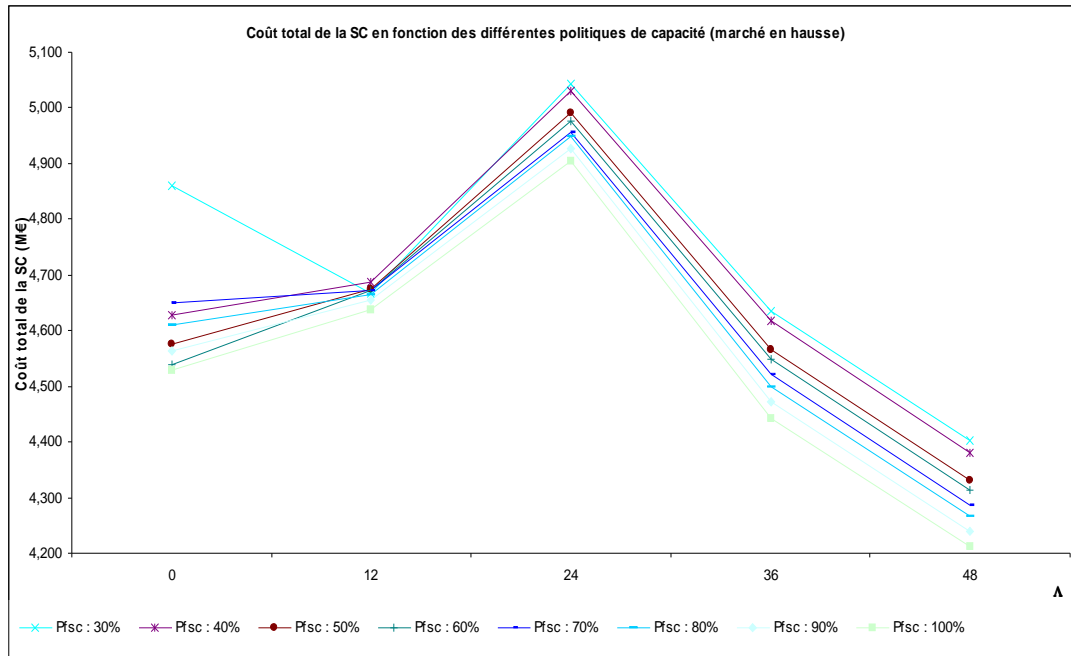


Figure 16 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en hausse (Expérimentation 1) (b).

A partir de ce nouveau graphique, nous pouvons conclure aisément que la politique de capacité qui permet de maîtriser le coût total de la chaîne est celle qui correspond à $p_{FSC} = 100\%$.

✓ Synthèse des résultats de l'Expérimentation 1

En cas d'absence d'aléas sur les lancements des générations de produits et avec des délais d'ajustement Λ des prévisions par rapport à la demande dans le temps tel que $\Lambda \in \{0,12,24,36,48\}$, les résultats obtenus dans l'Expérimentation 1 peuvent se résumer dans le tableau suivant :

Marché	Pourcentage de validation des variations de capacité p_{FSC}	Coût minimum (M€)	Coût maximum (M€)
Stable	100 %	3.44	3.44
En baisse	Attitude optimiste : 100 %	2.74	3.08
	Attitude prudente : 70 % (Regret : 0.03 M€)	2.76	3.10
En hausse	100 %	4.21	4.90

M€: Millions d'euros

Tableau 9 : Synthèse des résultats de l'Expérimentation 1.

Expérimentation 2

L'intérêt de cette expérimentation est d'analyser le choix de politiques de capacités à faire en fonction du retard/avance qu'on pourrait avoir sur le lancement d'une génération de produit. Pour cela, nous distinguons, comme nous l'avons souligné précédemment, dans cette expérimentation trois sous-cas :

- marché stable,
- marché en baisse,
- marché en hausse.

✓ Marché stable

Afin d'examiner le comportement des différentes politiques de capacités (p_{FSC}) en termes de coûts totaux engagés, considérons la courbes suivante :

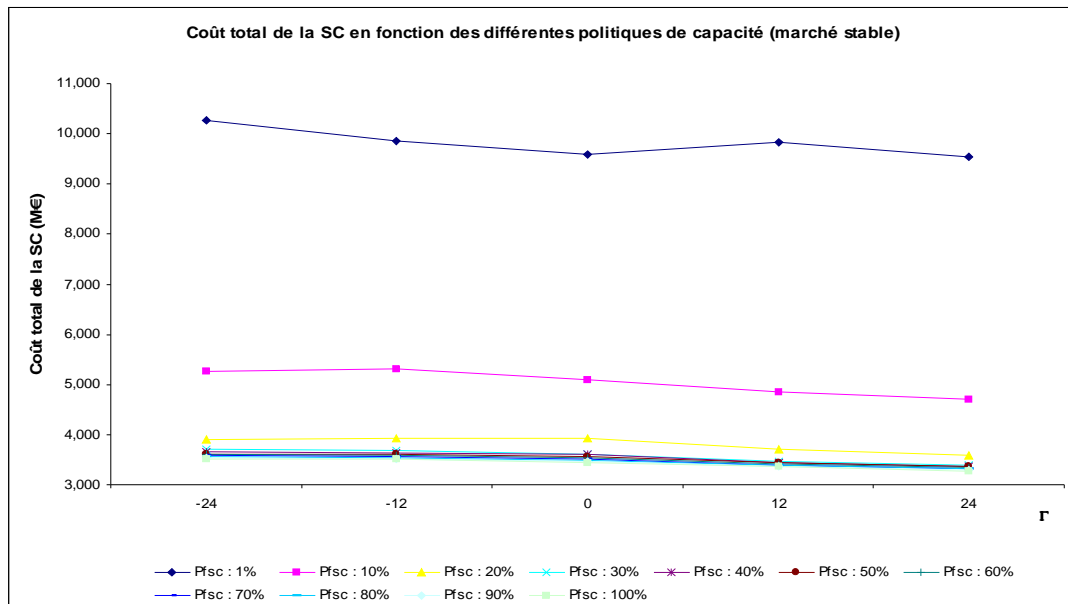


Figure 17 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est stable (Expérimentation 2) (a).

Le graphique ci-dessus nous permet d'écarter les politiques de capacités correspondant à un coefficient de validation de capacité qui soit au-deçà de $p_{FSC} = 20\%$. Après l'élimination de ces politiques, nous obtenons :

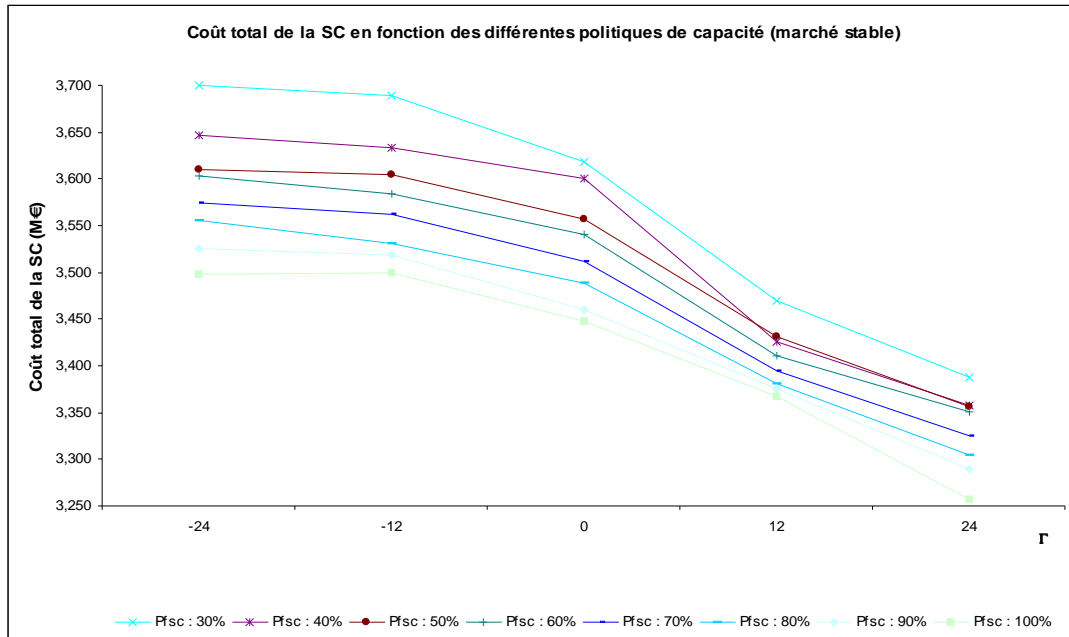


Figure 18 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est stable (Expérimentation 2) (b).

La comparaison des différentes politiques de capacités suggère que la politique de capacité qui permet de maîtriser le coût total de la chaîne est celle qui correspond à $p_{FSC} = 100\%$.

✓ Marché en baisse

De la même façon que dans le cas précédent, considérons les courbes donnant les coûts engagés dans le cadre des différentes politiques de capacités :

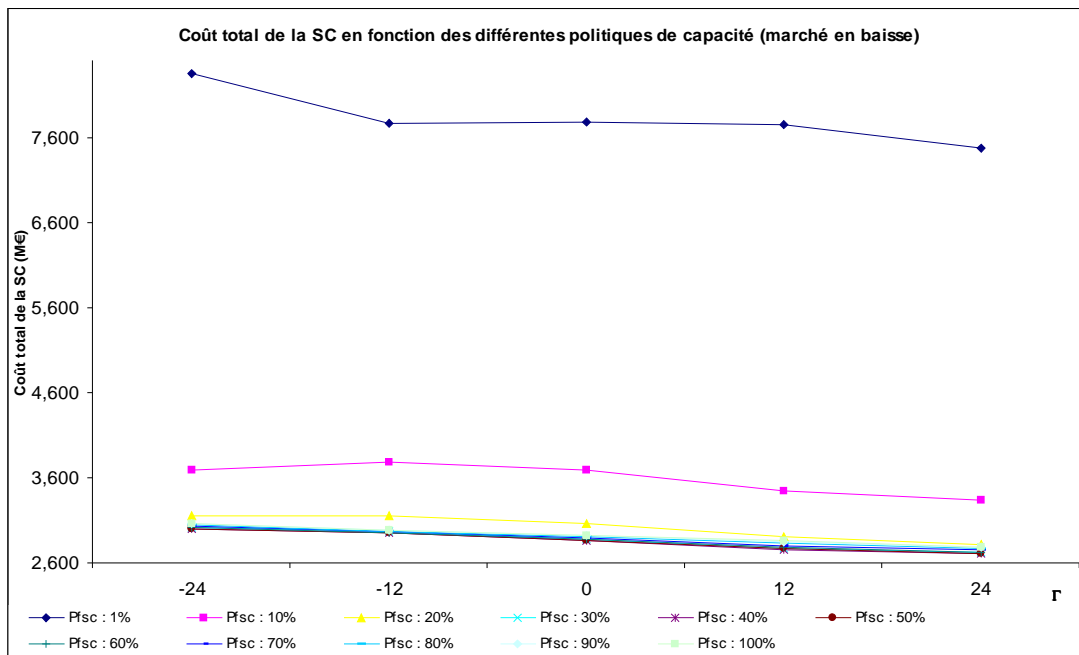


Figure 19 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 2) (a).

Le graphique ci-dessus, nous permet d'écartier les politiques de capacités correspondant à des valeurs du coefficient de validation de variations de capacité qui soient en deçà de $p_{FSC} = 20\%$. En éliminant ces politiques, nous obtenons :

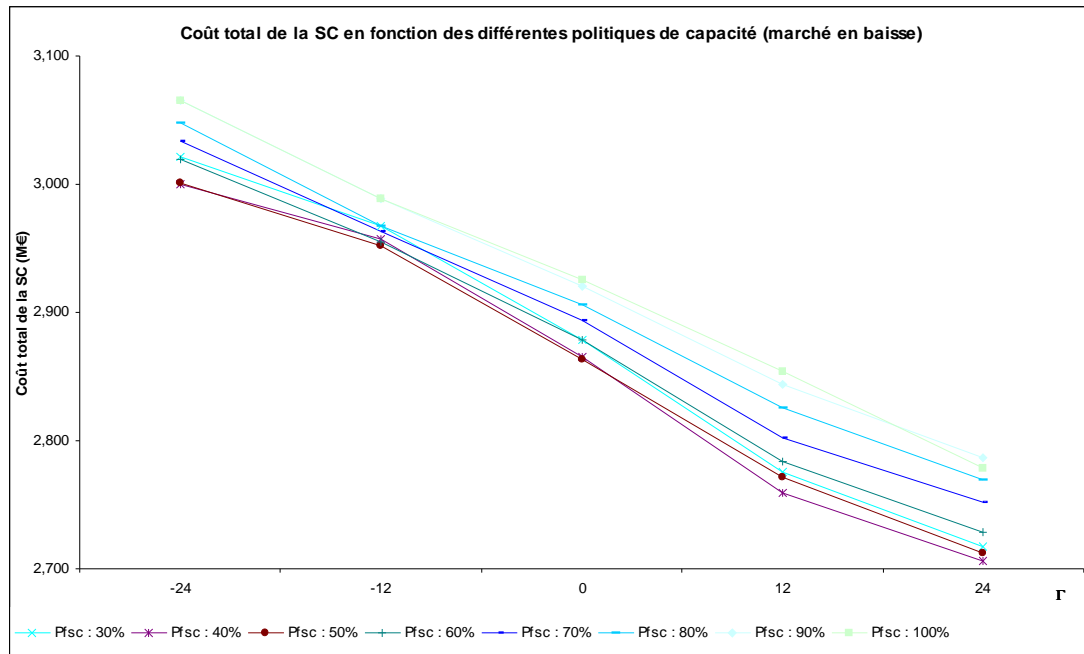


Figure 20 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 2) (b).

A partir de ce graphique, nous pouvons déduire que les politiques de capacités correspondant respectivement à $p_{FSC} = 40\%$ et $p_{FSC} = 20\%$ sont les deux politiques candidates. Pour pouvoir choisir parmi ces deux politiques, construisons le diagramme de choix :

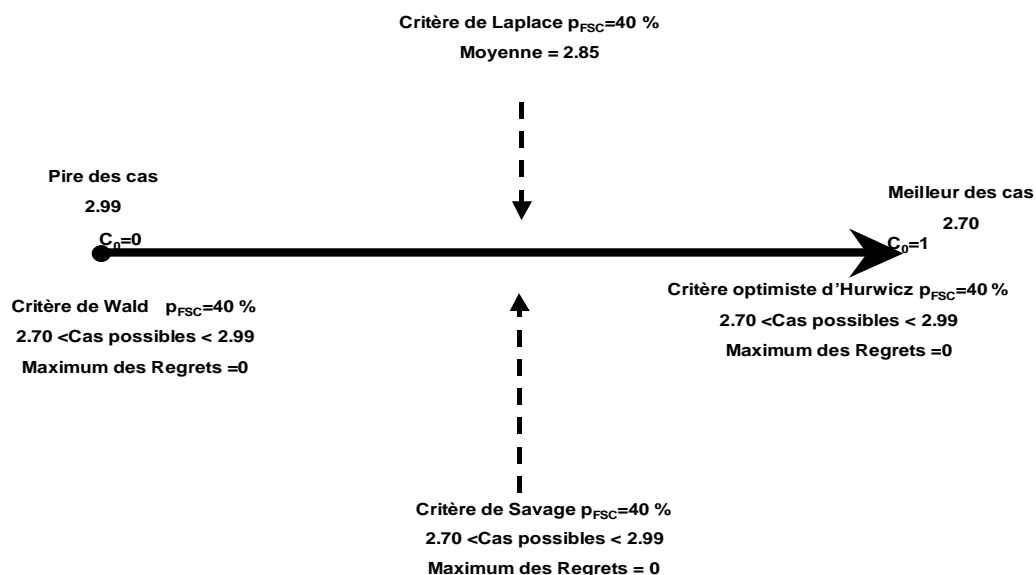


Figure 21 : Diagramme de choix dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 2).

A l'issue de ce diagramme, nous pouvons conclure que la politique de capacité à déployer correspond à $p_{FSC} = 40\%$.

✓ **Marché en hausse**

Dans ce cas, les courbes donnant les coûts associés aux différentes politiques sont comme suit :

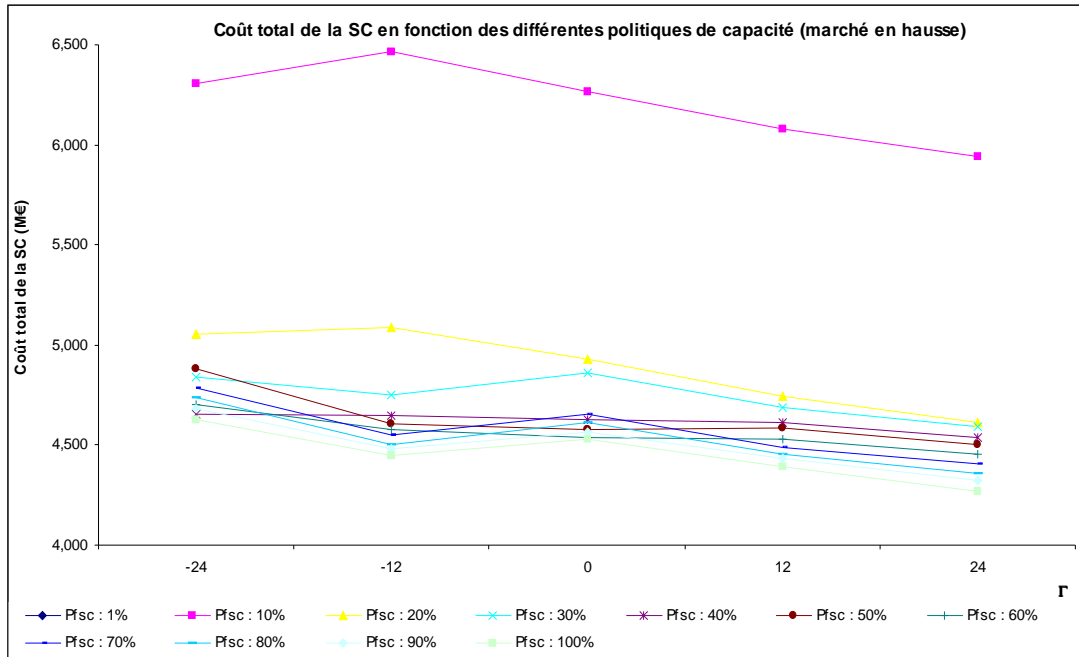


Figure 22 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en hausse (Expérimentation 2) (a).

Les courbes ci-dessus nous permettent d'écartier les politiques de capacités correspondant à des valeurs du coefficient de validation de variations de capacité qui soient en deçà de $p_{FSC} = 30\%$; Ainsi, nous obtenons les courbes suivantes :

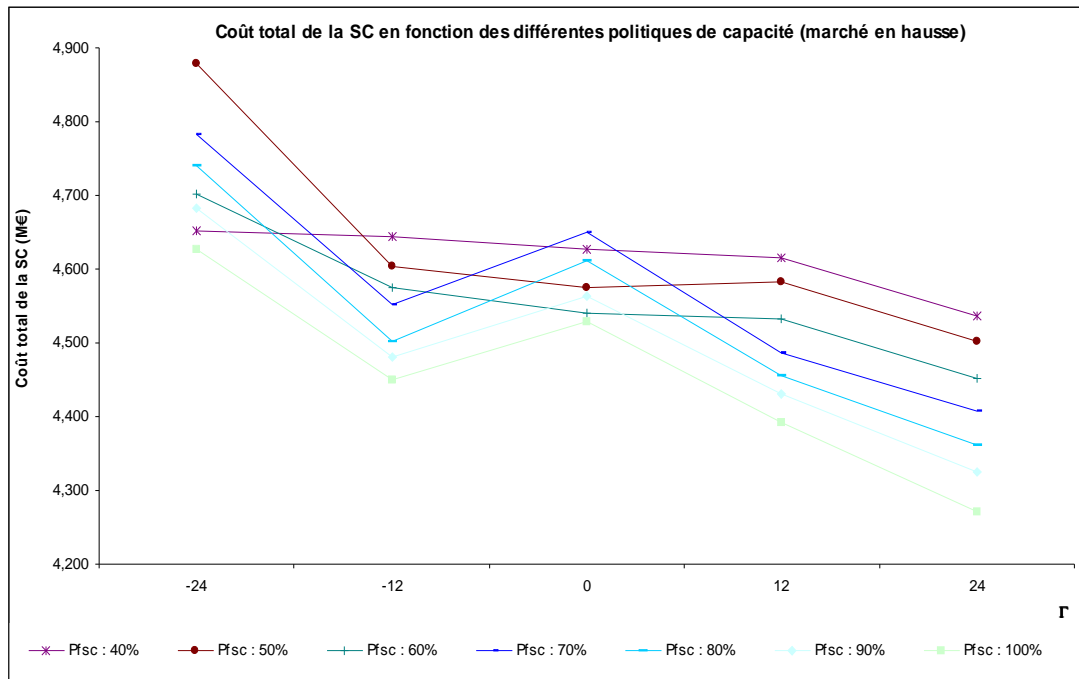


Figure 23 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en hausse (Expérimentation 2) (b).

La comparaison des différentes politiques de capacités suggère que la politique de capacité qui permet de maîtriser le coût total de la chaîne est celle qui correspond à $p_{FSC} = 100\%$.

✓ Synthèse des résultats de l'Expérimentation 2

En cas de prévisions fiables et avec des retards ou avances Γ sur les lancements d'une génération de produits tel que $\Gamma \in \{-24, -12, 0, 12, 24\}$, les résultats obtenus dans l'Expérimentation 2 peuvent se résumer dans le tableau suivant :

Marché	Pourcentage de validation des variations de capacité p_{FSC}	Coût minimum (M€)	Coût maximum (M€)
Stable	100 %	3.25	3.50
En baisse	40 %	2.70	2.99
En hausse	100 %	4.27	4.62

Tableau 10 : Synthèse des résultats de l'Expérimentation 2.

✓ Implications managériales de l'utilisation de prévisions collaboratives dans une perspective globale

Les résultats présentés plus haut nous montrent que l'intérêt de la chaîne logistique dans le cas où les prévisions sont collaboratives est de valider en totalité les variations de capacités proposées lorsque la tendance du marché est à la hausse ou stable. Autrement dit, l'intérêt de la chaîne est que le SCS soit le plus flexible que possible si les prévisions sont collaboratives. Cette logique de gestion de capacités permet à la chaîne de mieux maîtriser les risques liés à la variation de la demande.

Lorsque la tendance du marché est à la baisse :

- si les prévisions s'ajustent avec un délai, il est préférable de modérer cette validation si l'on veut être prudent (70 %), mais si l'on est optimiste, on peut valider cette variation.
- Si une génération peut être lancée en avance ou en retard il est alors préférable de limiter cette validation de manière notable (40 %).

9.6.2 Prévisions non collaboratives dans une perspective globale

Expérimentation 3

L'intérêt de cette expérimentation est d'analyser, dans le cas où les prévisions sont non collaboratives, le choix de politiques de capacités à faire en fonction du retard/avance qu'on pourrait avoir sur le lancement d'une génération de produit. Pour cela, nous distinguons, comme nous l'avons souligné précédemment, dans cette expérimentation trois sous-cas :

- marché stable,
- marché en baisse,
- marché en hausse.

✓ Marché stable

Afin d'examiner le comportement des différentes politiques de capacités p_{FSC} en termes de coûts engagés considérons les courbes suivantes :

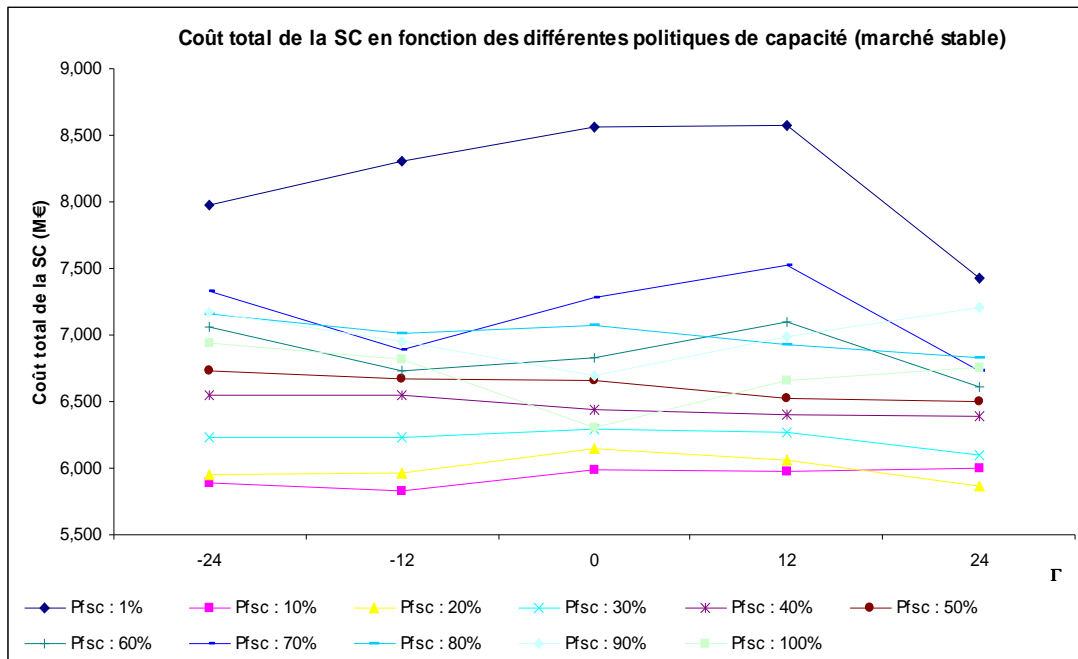


Figure 24 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est stable (Expérimentation 3).

Ce qui ressort de l'analyse des comportements des différentes politiques de capacités décrits dans le graphique précédent, c'est que l'application d'un p_{FSC} faible ($p_{FSC} \in \{10\%, 20\%\}$) permet de bien maîtriser les coûts de la chaîne.

Pour choisir la valeur de p_{FSC} , construisons le diagramme de choix :

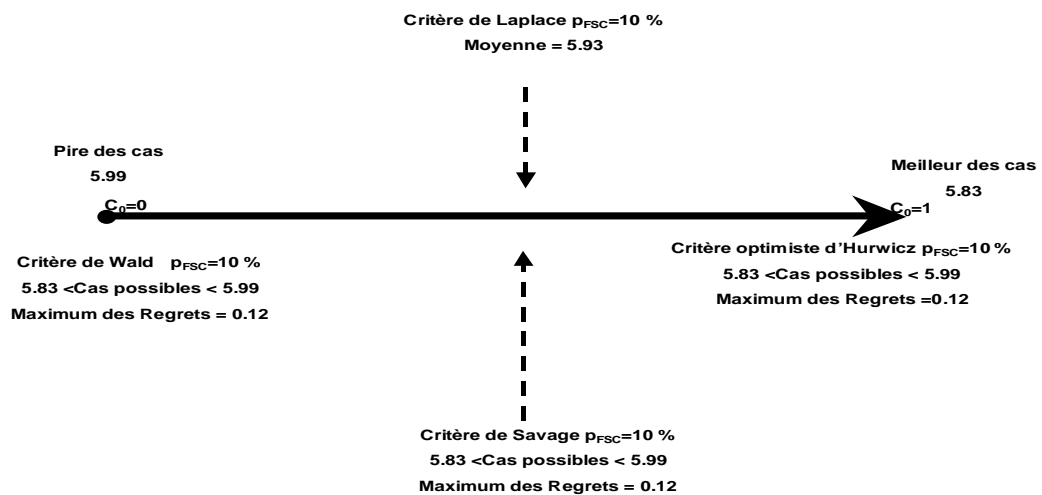


Figure 25 : Diagramme de choix dans le cas où le marché est stable (Expérimentation 3).

A l'issue de ce diagramme, nous pouvons conclure que la politique de capacité à déployer correspond à $p_{FSC} = 10\%$.

✓ Marché en baisse

Afin d'analyser le comportement des différentes politiques de capacités en termes de coûts engagés, considérons les courbes suivantes :

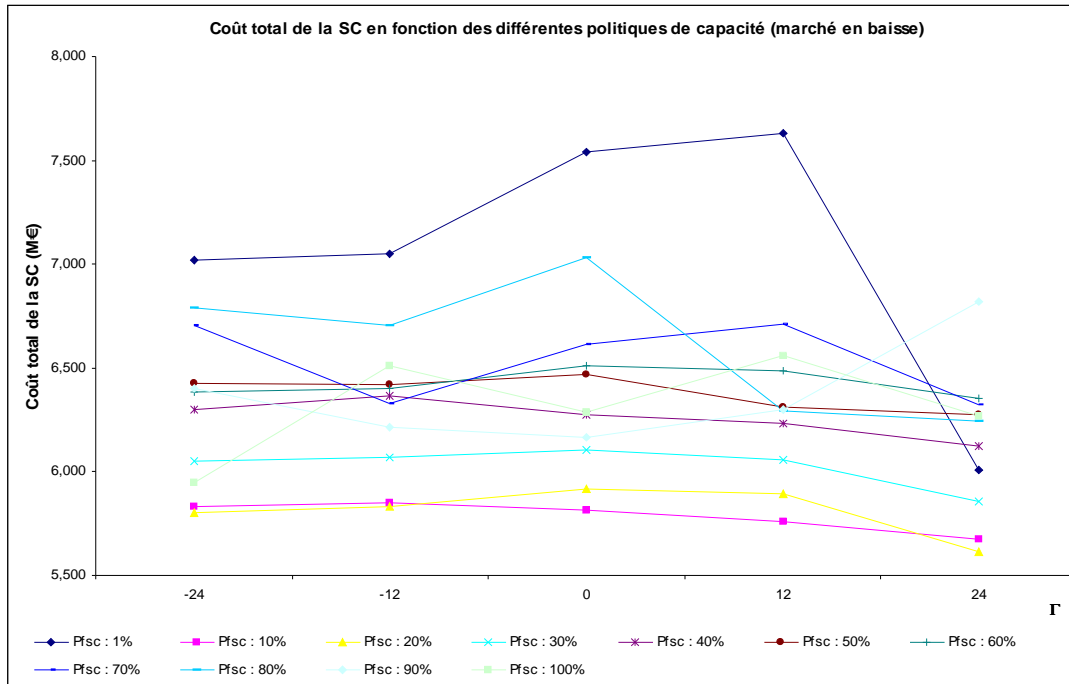


Figure 26 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 3).

Le renseignement que nous apporte l'analyse des coûts associés aux différentes politiques de capacités est que $p_{FSC} \in \{10\%, 20\%\}$.

Pour pouvoir choisir la politique à déployer, construisons le diagramme de choix :

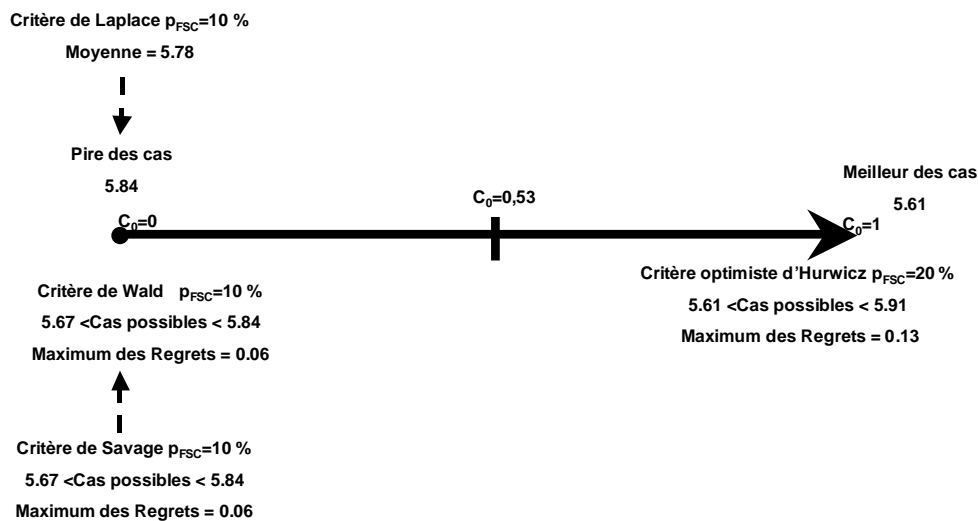


Figure 27 : Diagramme de choix dans le cas où le marché est en baisse (Expérimentation 3).

En fonction de la nature de la perception du risque caractérisant le décideur, deux cas s'imposent :

- si ce dernier croit que la nature lui serait défavorable (attitude pessimiste), il opérerait pour une valeur de $p_{FSC} = 10\%$ et c'est ce qui lui permettrait d'avoir le minimum de regret. Le coût escompté dans ce cas est de 5.84 M€ Au cas où l'avenir ne lui donne pas raison, le meilleur des coûts auquel il pourrait espérer est de 5.67 M€

- Si ce dernier croit à la clémence de la nature à son égard (attitude optimiste), il opterait pour un $p_{FSC} = 20\%$ et le coût escompté dans ce cas serait de 5.61 M€ Au cas où l'avenir ne lui donne pas raison, son coût pourrait atteindre 5.91 M€

✓ **Marché en hausse**

L'examen des courbes décrivant les comportements des différentes politiques de capacités en termes de coûts engagés sont comme suit :

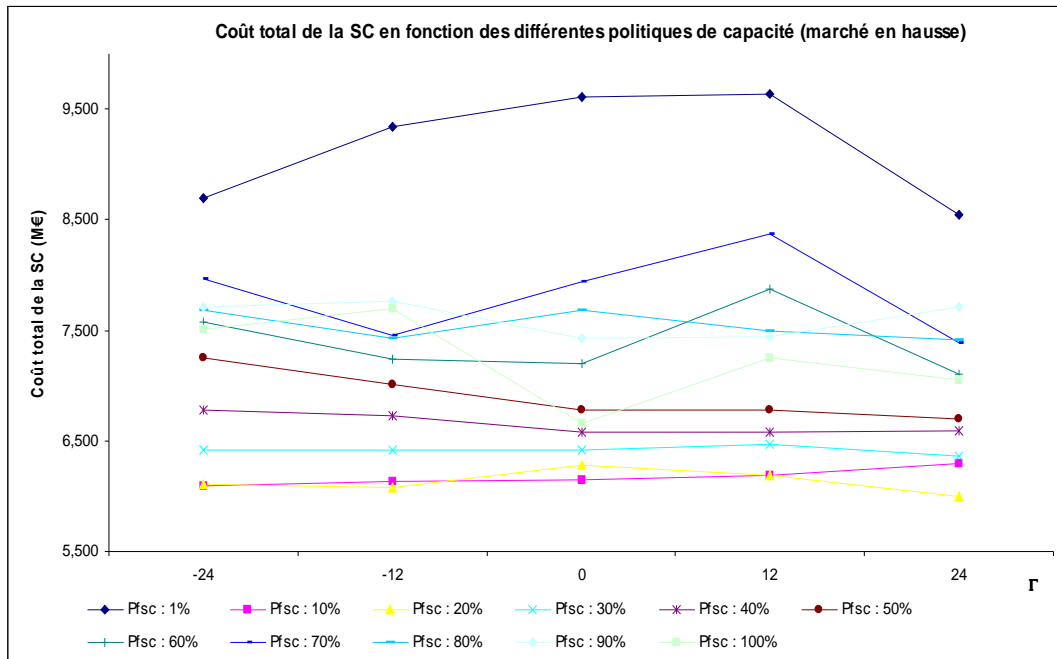


Figure 28 : Coûts totaux des différentes politiques de coopération dans le cas où le marché est en hausse (Expérimentation 3).

L'analyse des coûts associés aux différentes politiques de capacités suggère que $p_{FSC} \in \{10\%, 20\%\}$.

En construisant le diagramme des critères de choix, nous constatons que la politique de capacités capable de mieux maîtriser les risques est celle correspondant à une valeur de $p_{FSC} = 20\%$.

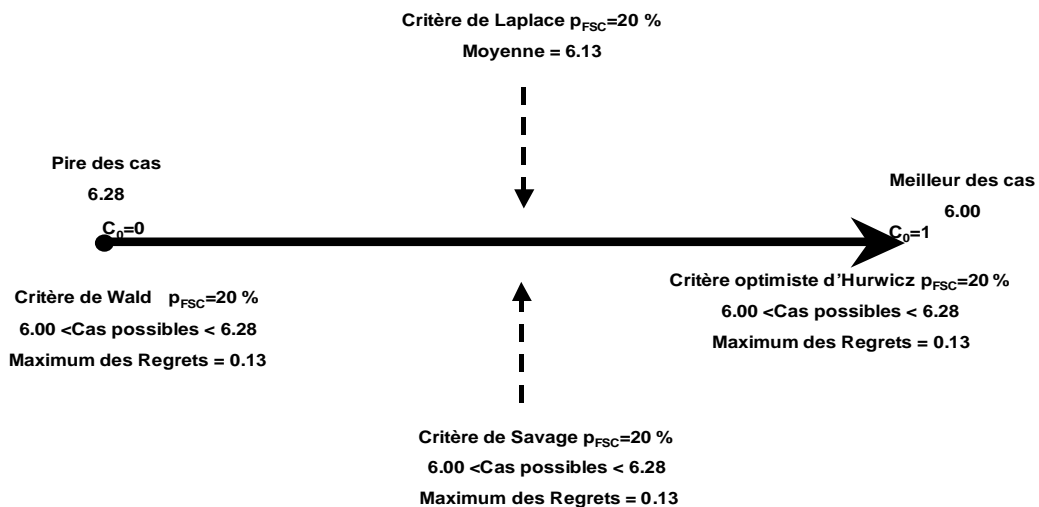


Figure 29 : Diagramme de choix dans le cas où le marché est en hausse (Expérimentation 3).

✓ **Synthèse des résultats de l'Expérimentation 3**

En cas de prévisions non collaboratives et avec des retards ou avances Γ sur les lancements d'une génération de produits tel que $\Gamma \in \{-24, -12, 0, 12, 24\}$, les résultats obtenus dans l'Expérimentation 3 peuvent se résumer dans le tableau suivant :

Marché	Pourcentage de validation des variations de capacité p_{FSC}	Coût minimum (M€)	Coût maximum (M€)
Stable	10 %	5.83	5.99
En baisse	Attitude optimiste : 10 % (Regret : 0.06)	5.67	5.84
	Attitude pessimiste : 20 % (Regret : 0.13)	5.61	5.91
En hausse	20 %	6.00	6.28

Tableau 11 : Synthèse des résultats de l'Expérimentation 3.

✓ **Implications managériales de l'utilisation de prévisions non collaboratives dans une perspective globale**

Les résultats présentés plus haut nous montrent que l'intérêt de la chaîne logistique dans le cas où les prévisions sont non collaboratives est d'appliquer chez le SCS des coefficients faibles de validation des variations de capacités. Autrement, dans le cas où les prévisions sont non collaboratives, l'intérêt de la chaîne est que le SCS soit peu flexible. Cette logique de gestion de capacités permet à la chaîne de mieux maîtriser à l'échelle de la chaîne logistique les risques liés à la variation de la demande.

9.6.3 Définition du mode de prévision et du coefficient de validation des variations de capacités dans une perspective locale

Expérimentation 4

L'intérêt de cette expérimentation est de permettre de définir la ou les politiques (p_{FSC}, M_{prevs}) à déployer en prenant en compte les intérêt individuels des acteurs de la chaîne. Pour cela, comme nous l'avons évoqué dans la section 9.3, nous construisons un jeu dont les caractéristiques sont les suivantes :

- $N = 2$: deux joueurs : joueur J_1 : FSC et joueur J_2 : (OEM-EMS & OT) qui s'affrontent.
- l'ensemble de stratégies R^1 de J_1 correspond à l'ensemble des coefficients p_{FSC} que peut choisir J_1 : $R^1 = \{1\%, 10\%, 20\%, 30\%, 40\%, 50\%, 60\%, 70\%, 80\%, 90\%, 100\%\}$.
- l'ensemble de stratégies R^2 de J_2 correspond à l'ensemble de modes de prévisions M_{prevs} que peut choisir J_2 : $R^2 = \{\text{Pr évisions collaboratives}, \text{Pr évisions non collaboratives}\}$.
- les décideurs pensent qu'il est nécessaire de considérer toutes les situations favorables et défavorables concernant l'évolution du marché, et supposent que toutes ces situations sont possibles. De ce fait, le critère de choix choisi par ces derniers pour l'agrégation des coûts associés aux différentes politiques de coopération dans le cadre des différents scénarios du marché est le critère de Laplace. Les fonctions $C^i : R^1 \times R^2 \rightarrow \mathfrak{R}$ donnant les coûts associés aux joueurs J_i $i=1,2$ sont résumées dans le tableau suivant :

J_1	J_2	M_{prevs}	
	p_{FSC}	Prévision collaborative	Prévisions non collaboratives
	1 %	(3.05 ; 2.49)	(2.47 ; 2.33)
	10 %	(1.96 ; 1.36)	(2.32 ; 2.04)
	20 %	(1.60 ; 1.18)	(2.50 ; 1.99)
	30 %	(1.52 ; 1.16)	(2.71 ; 2.01)
	40 %	(1.50 ; 1.16)	(2.92 ; 2.03)
	50 %	(1.48 ; 1.17)	(3.07 ; 2.04)
	60 %	(1.47 ; 1.18)	(3.26 ; 2.01)
	70 %	(1.46 ; 1.18)	(3.41 ; 1.99)
	80 %	(1.45 ; 1.19)	(3.03 ; 2.10)
	90 %	(1.44 ; 1.19)	(3.21 ; 1.96)
	100 %	(1.43 ; 1.19)	(3.03 ; 1.98)

Tableau 12 : Jeu original du cas d'étude 3.

Pour chercher une issue à ce jeu, nous procédons dans un premier temps à l'élimination des stratégies dominées :

- la stratégie $p_{FSC} = 1\%$ chez J_1 est dominée par la stratégie $p_{FSC} = 10\%$. De ce fait, cette stratégie ne serait pas utilisée par J_1 . Nous éliminons donc cette stratégie du jeu original. Le jeu ainsi réduit est comme suit :

J_1	J_2	M_{prevs}	
	p_{FSC}	Prévision collaborative	Prévisions non collaboratives
	10 %	(1.96 ; 1.36)	(2.32 ; 2.04)
	20 %	(1.60 ; 1.18)	(2.50 ; 1.99)
	30 %	(1.52 ; 1.16)	(2.71 ; 2.01)
	40 %	(1.50 ; 1.16)	(2.92 ; 2.03)
	50 %	(1.48 ; 1.17)	(3.07 ; 2.04)
	60 %	(1.47 ; 1.18)	(3.26 ; 2.01)
	70 %	(1.46 ; 1.18)	(3.41 ; 1.99)
	80 %	(1.45 ; 1.19)	(3.03 ; 2.10)
	90 %	(1.44 ; 1.19)	(3.21 ; 1.96)
	100 %	(1.43 ; 1.19)	(3.03 ; 1.98)

Tableau 13 : Jeu réduit après le premier tour d'élimination des stratégies dominées.

Procédons à un deuxième tour d'élimination des stratégies dominées dans le nouveau jeu :

- la stratégie $M_{prevs} = \text{Pr évisions non collaboratives}$ chez J_2 est dominée par la stratégie $M_{prevs} = \text{Pr évisions collaboratives}$ qui garantit à ce joueur d'avoir une réduction de

ces coûts de 33 % à 43 % quelle que soit la stratégie choisie par J_1 . De ce fait, cette stratégie ne serait pas utilisée par J_2 . Nous éliminons donc cette stratégie et le jeu devient :

J_1	J_2	M_{prevs}
p_{FSC}		Prévision collaboratives
	10 %	(1.96 ; 1.36)
	20 %	(1.60 ; 1.18)
	30 %	(1.52 ; 1.16)
	40 %	(1.50 ; 1.16)
	50 %	(1.48 ; 1.17)
	60 %	(1.47 ; 1.18)
	70 %	(1.46 ; 1.18)
	80 %	(1.45 ; 1.19)
	90 %	(1.44 ; 1.19)
	100 %	(1.43 ; 1.19)

Tableau 14 : Jeu réduit après le deuxième tour d'élimination des stratégies dominées.

Dans ce jeu, J_1 remarque que la stratégie $p_{FSC} = 100\%$ est strictement dominante et il opte donc pour le choix de cette stratégie. L'issue du jeu correspond alors à la stratégie commune ($p_{FSC} = 100\%$, $M_{prevs} = \text{Prévisions collaboratives}$) qui constitue un équilibre de Nash qui est Pareto-efficace puisque aucune amélioration dans le sens de Pareto n'est possible.

En considérant le tableau suivant donnant le coût total chez les deux joueurs, c'est-à-dire le coût total de la chaîne, nous pouvons vérifier que la stratégie commune ($p_{FSC} = 100\%$, $M_{prevs} = \text{Prévisions collaboratives}$) est aussi « la meilleure stratégie », c'est-à-dire qu'outre le fait qu'elle incarne un équilibre de Nash, elle minimise le coût total.

J_1	J_2	M_{prevs}	
p_{FSC}		Prévision collaboratives	Prévisions non collaboratives
	1 %	5.55	4.80
	10 %	3.33	4.37
	20 %	2.79	4.49
	30 %	2.69	4.72
	40 %	2.67	4.95
	50 %	2.66	5.12
	60 %	2.65	5.28
	70 %	2.65	5.41
	80 %	2.64	5.13
	90 %	2.63	5.18
	100 %	2.62	5.02

Tableau 15 : Coûts de la chaîne en fonction des différentes politiques de coopération.

✓ Synthèse des résultats de l'Expérimentation 4

En utilisant une approche locale et en la comparant à une approche globale dans le cas où :

- les prévisions sont non collaboratives ou collaboratives et s'ajustant aux demandes avec un délais $\Lambda \in \{0,12,24,36,48\}$
- une génération de produit est caractérisé dans son lancement sur le marché par un délais d'anticipation ou de retard $\Gamma \in \{-24,-12,0,12,24\}$,

on peut conclure ici qu'il faut :

- choisir des **prévisions collaboratives**
- et accepter les variations de capacités proposées $p_{FSC} = 100\%$.

✓ Implications managériales de l'utilisation de prévisions collaboratives ou non collaboratives dans une perspective locale

Les résultats présentés plus haut nous montrent que l'intérêt de la chaîne logistique et celui des acteurs est de migrer vers un mode de prévisions collaboratives, ceci permettrait d'assurer une meilleure maîtrise des coûts : une réduction de coût allant de 15 % jusqu'à 55 % chez le SCS, une réduction de 33 % à 43 % chez les deux acteurs OEM-EMS et OT, et une réduction de 23 % à 51 % à l'échelle de la chaîne⁵⁷. Dans ce cas de figure, c'est-à-dire en adoptant un mode de prévisions collaboratives, le SCS devrait accepter le plus que possible les variations de capacités proposées. Ce qui implique la nécessité d'un maximum de flexibilité de la part de ce dernier.

9.7 Conclusion générale

L'application industrielle décrite ci-dessus nous a permis de mesurer l'intérêt de l'utilisation de l'outil et de la démarche d'aide à la coopération que nous avons proposés. Les résultats obtenus permettent de confirmer l'impact des comportements plus au moins coopératifs que les acteurs manifestent lors de la planification de leurs activités et notamment par rapport à la planification de leurs capacités, sur les risques encourus.

L'expérimentation 4 montre que d'un point de vue local mais aussi global, la mise en place d'un mode de prévisions collaboratif est plus attractive qu'un mode de prévisions non collaboratif.

D'autre part, les expérimentations 1, 2 et 3 nous conduisent à faire une observation qui est la suivante :

- **Prévisions non collaboratives** : un moyen de réduire l'effet Bullwhip (amplification de la variabilité de la demande le long de la chaîne logistique) est de minimiser la variation des capacités.

Pour mieux appréhender ce résultat, considérons un exemple plus simple dans lequel :

- la chaîne logistique simulée est la même que précédemment (voir Figures 30.a et 30.b), sauf qu'on suppose maintenant que cette chaîne est mono-génération. Les

⁵⁷ Les pourcentages correspondant aux réductions de coût chez un acteur donné sont calculés en considérant comme référence les coûts engagés dans les cas des prévisions non collaboratives. Par exemple dans le cas où $p_{FSC} = 10\%$ un passage des prévisions non collaboratives aux prévisions collaboratives garantit à FSC une réduction de coûts de $((2.32-1.96)/2327)*100=15\%$.

paramètres de caractérisation des acteurs sont supposés similaires que précédemment.

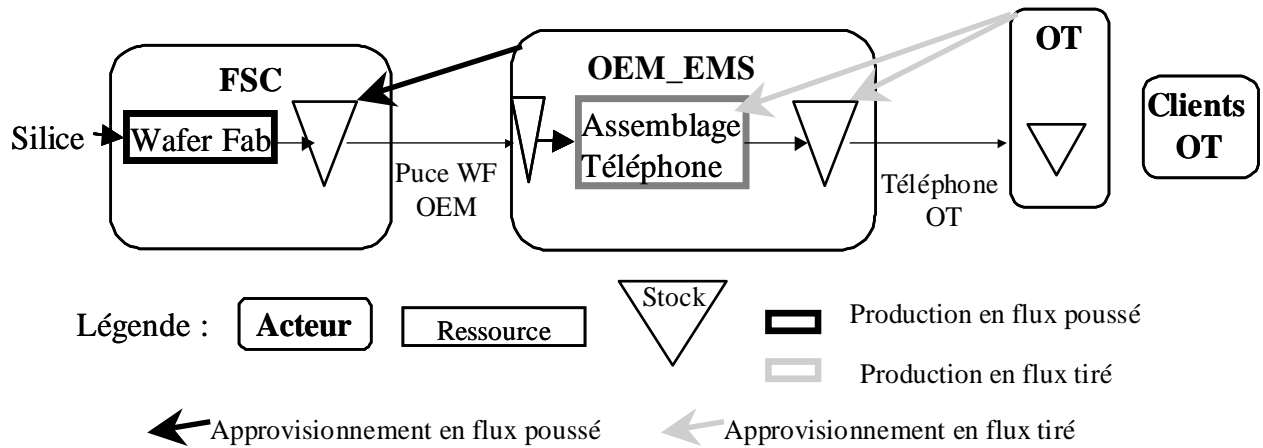


Figure 30.a : Modèle de la chaîne logistique à simuler.

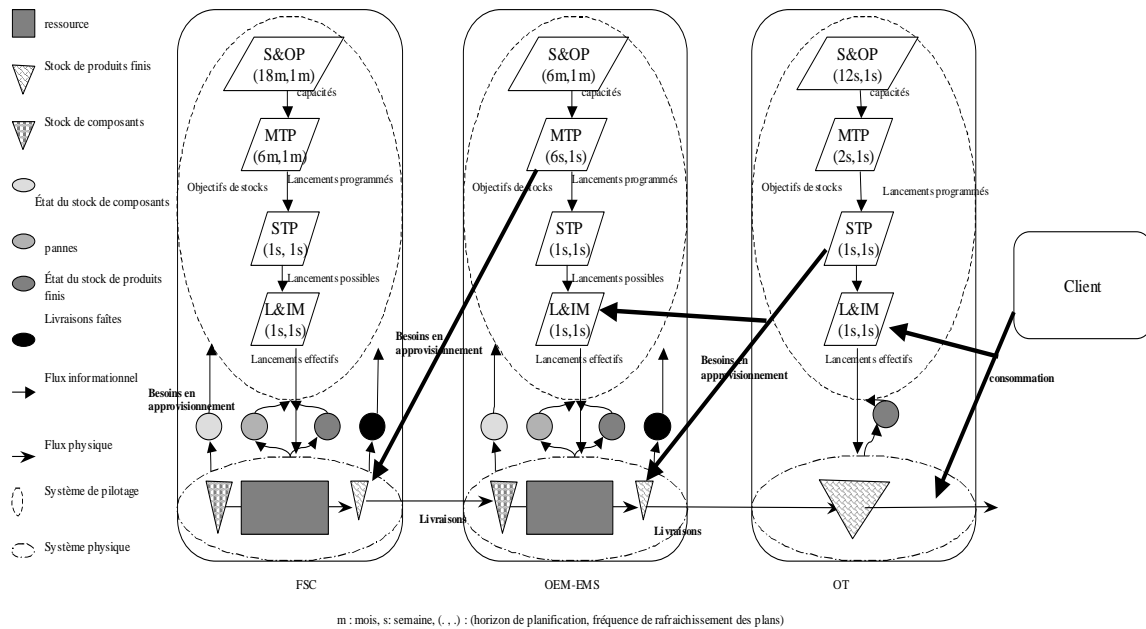


Figure 30.b : Modèle de la chaîne logistique à simuler.

- Nous ne considérons qu'un scénario d'évolution du marché : le marché est stable au départ, mais à partir d'une date donnée Δ (date à laquelle la tendance du marché change) la demande en amont de la chaîne est triplée (voir Figure 31).
- Au niveau des politiques de coopération, nous prenons en compte seulement les politiques de variation de capacité chez Freescale symbolisées par le paramètre P_{FSC} .

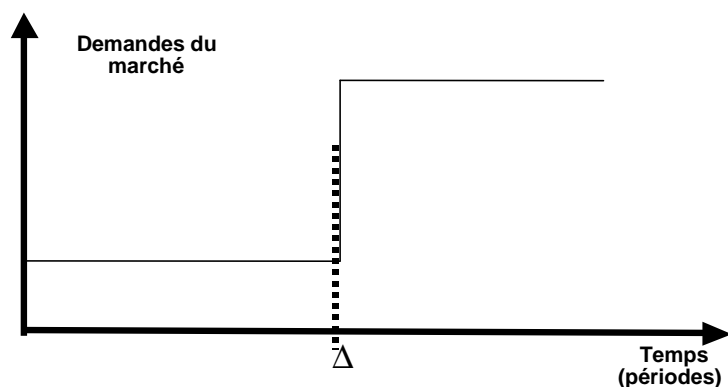


Figure 31 : scénario d'évolution du marché considéré.

L'évaluation des politiques de coopération en terme des coûts et d'amplification de la variabilité de la demande est donnée par le tableau suivant :

p_{FSC}	Coût total (M€)	Amplification de la variabilité de la demande ⁵⁸
1%	15.77	31.44
10 %	16.83	31.80
20 %	17.85	31.87
30 %	18.42	31.94
40 %	18.68	32.02
50 %	18.82	32.07
60 %	18.89	32.10
70 %	19.10	32.11
80 %	19.13	32.11
90 %	19.16	32.11
100 %	19.28	32.11

Tableau 16 : évaluation des politiques de coopération en terme de coûts et d'amplification de la variabilité de la demande : Cas des prévisions non collaboratives.

L'examen du tableau ci-dessus montre que le comportement le plus adéquat pour la maîtrise des coûts est d'avoir un p_{FSC} faible. Ceci peut s'expliquer par le fait que la minimisation des variations de capacité est un moyen de réduire l'effet Bullwhip comme le montre la deuxième colonne du Tableau 16.

Pour réduire l'effet Bullwhip, il est souvent préconisé (voir par exemple [Lee et Whang, 98]) de faire appel à des politiques de coopération basées sur un échange d'informations. En analysant les simulations avec transmission des prévisions (prévisions collaboratives), nous obtenons les résultats du Tableau 17.

⁵⁸ L'amplification de la variabilité de la demande est calculée ici comme le rapport entre l'écart type des demandes reçues en aval de la chaîne (demandes reçues par Freescale) et celui des demandes reçues en amont de la chaîne (demandes reçues par l'OT).

En passant à un mode de prévisions collaboratives, les décideurs pourraient avoir tendance à avoir le même comportement que dans le cas des prévisions non collaboratives, c'est-à-dire mettre en place un p_{FSC} faible. Pourtant, nous constatons ici (voir Tableau 17) que la mise en place d'un mode de prévisions collaboratives :

- a bien l'effet requis de réduire l'amplification de la variabilité de la demande (effet Bullwhip)
- doit amener les décideurs à changer de comportement au niveau du choix du coefficient p_{FSC} et donc de moins minimiser les variations de capacités.

p_{FSC}	Coût total (M€)	Amplification de la variabilité de la demande
1%	16.13	19.70
10 %	16.12	19.67
20 %	16.01	19.73
30 %	15.78	19.84
40 %	15.47	19.86
50 %	15.18	19.91
60 %	14.96	19.95
70 %	14.79	19.94
80 %	14.68	19.94
90 %	14.59	19.94
100 %	14.52	19.94

Tableau 17 : évaluation des politiques de coopération en terme de coûts et d'amplification de la variabilité de la demande : Cas des prévisions collaboratives.

Partie 4 : Conclusion

Dans cette section, nous avons présenté trois exemples de mise en œuvre de la démarche d'aide à la coopération.

Le premier cas d'école nous a permis de montrer que dans le cas d'une chaîne logistique mono-produit, face à une demande stochastique, il est nécessaire d'un point de vue global d'avoir des couvertures de stock faibles avec une flexibilité moyenne ou forte par rapport aux variations de capacités proposées chez les acteurs de la chaîne.

Le deuxième cas d'école nous a permis de montrer que dans le cas d'une chaîne logistique mono-produit, face à une demande stochastique, il est nécessaire d'un point de local et global, d'avoir une stratégie de gestion de flux de type « flux poussé » avec des prévisions collaboratives et avec une flexibilité moyenne ou forte par rapport aux variations de capacités proposées chez le fabricant de semi-conducteurs (SCS).

Le troisième exemple, qui est celui d'une chaîne logistique de Freescale, notre partenaire industriel faisant intervenir des générations de produits régulièrement lancées sur le marché. Il nous a permis de montrer dans le cas de cette chaîne, qu'il est nécessaire d'un point de vue global, dans le cas où les prévisions sont collaboratives, de ne pas minimiser les variations de capacités bien que ce comportement est le plus adapté dans le cadre des prévisions non collaboratives. Enfin, nous montrons qu'une migration vers un mode de prévision collaboratif permet de mieux gérer les risques et ceci autant d'un point de vue local que global.

Conclusion et perspectives

Conclusion

Dans beaucoup de secteurs industriels et notamment celui des télécommunications, les chaînes logistiques sont soumises à des aléas importants (demandes des clients incertaines, cycles économiques incertains, désastres naturels ou causés par l'homme,...) qui menacent leur évolution et dégradent souvent les performances. Dans ce contexte, le domaine de la gestion de la chaîne logistique (SCM) a suscité, ces dernières années, un intérêt grandissant, mais la problématique de gestion des risques dans les chaînes logistiques (SCRM), qui est au centre des préoccupations des industriels, reste encore émergente du point de vue académique.

Les acteurs de la chaîne logistique sont amenés à établir des relations de coopération. Cependant, les outils et les méthodes d'évaluation des relations de coopération en fonction des risques qu'elles comportent sont rares. De ce fait, bien que certains acteurs de la chaîne soient conscients de l'intérêt de la coopération, ils sont souvent démunis pour convaincre les autres partenaires de la chaîne d'adopter une politique de coopération donnée ou une autre. C'est ce qui nous a amené à proposer un outil de simulation dédié, ainsi qu'une démarche d'aide à la coopération pour soutenir les décideurs dans l'évaluation et le choix des politiques de coopération en fonction des risques qui leurs sont associés.

Notre contribution a donc tout d'abord consisté, à partir de l'identification des besoins industriels, à positionner la problématique en termes d'identification et d'évaluation des processus de coopération au niveau de la planification stratégique de la chaîne logistique. Ceci nous a permis de nous orienter vers la spécification d'un outil de simulation qui permet d'évaluer en termes de risques les comportements plus ou moins coopératifs que les acteurs peuvent manifester. C'est ce qui nous conduit à détailler, en s'appuyant sur l'analyse du terrain industriel, les comportements des acteurs : modèles de planification, d'interprétation du comportement, de communication et leur dynamique. Le modèle du système ainsi constitué évolue en suivant les logiques de changement d'états que nous avons associées aux événements discrets de la simulation.

A partir de l'outil de simulation développé, nous avons défini une démarche d'aide au choix de politiques de coopération à mettre en place. Cette démarche fait apparaître deux types de perspectives d'évaluation des politiques de coopération : une perspective globale orientée « chaîne » logistique (pour laquelle nous sommes appuyés sur la théorie de la décision) et une perspective locale orientée « acteurs » (pour laquelle nous sommes appuyés sur la théorie des jeux).

Les apports de la démarche proposée ont pu être mis en évidence sur des cas d'école inspirés du contexte industriel étudié et sur un cas industriel qui nous a permis :

- de montrer les implications en termes de risques de l'échange ou non des prévisions entre les acteurs d'une chaîne logistique des télécoms,
- de déterminer les politiques de capacités à déployer en considérant différentes situations relatives à l'évolution du marché et à l'introduction de nouvelles générations de produits.

La mise en œuvre industrielle a confirmé l'intérêt des acteurs et de la chaîne logistique à migrer vers un système de prévisions collaboratives. De plus Cela nous conforte dans notre approche et nous encourage à donner des suites à ces investigations.

Perspectives

Parmi les pistes de recherches et d'utilisation que suggèrent l'outil, la démarche d'aide à la coopération qu'il supporte, et les modèles sur lesquels ils reposent, plusieurs axes de travail ont pu être identifiés :

- étendre le domaine d'utilisation de l'outil et de la démarche.
- Enrichir les politiques de coopération.
- Développer la dynamique des paramètres.
- Développer la méthodologie de définition des plans d'expériences.

Étendre le domaine d'utilisation de l'outil et de la démarche

L'outil de simulation prévoit des structures de chaînes et de produits autres que celles présentés dans le manuscrit. De ce fait l'extension de son utilisation et celle de la démarche à d'autres secteurs d'activités reste possible en enrichissant les modèles des acteurs. Ceci se fera notamment à travers un projet que nous allons encadrer dans le cadre du Master ISMAG à l'université Toulouse 2 le Mirail et qui devrait nous conduire à établir un partenariat avec des acteurs de la chaîne logistique de l'aéronautique.

Enrichir les politiques de coopération

Les politiques de coopération prises en compte dans notre travail restent relativement « classiques ». Il est donc nécessaire d'identifier d'autres protocoles d'échange/partage des informations (par exemple, protocoles avec un retour d'informations) et d'autres informations à transmettre entre acteurs (par exemple, informations sur les états de stocks, informations sur les capacités, etc.). Nous avons commencé à envisager la conception d'autres politiques de coopération en utilisant une démarche basée sur la méthodologie « point de vue »⁵⁹. Cette approche apporte un formalisme et un support de communication capable de prendre en compte :

- les acteurs impliqués dans la coopération,
- le contexte dans lequel s'exerce la coopération,
- les interprétations des acteurs vis-à-vis des objets sur lesquels porte la coopération.

Développer la dynamique des paramètres :

Pour comprendre la dynamique des processus de coopération, nous avons, dans un premier temps, figer le paramétrage des comportements des acteurs au cours des simulations. L'introduction de la dynamique des paramètres de comportements des acteurs au sein du modèle que nous proposons semble très prometteuse en termes de définition de nouvelles solutions coopératives. Cette extension pourrait être ensuite accompagnée d'une identification des relations entre paramètres, voire entre groupe de paramètres, afin de proposer aux décideurs un paramétrage de comportements types dans le cadre d'un scénario donné du marché.

Développer la méthodologie de définition des plans d'expériences :

Notre travail s'est centré sur une approximation successive de chacun des paramètres intervenant dans les simulations. Elle a pour inconvénient de ne pas quantifier l'importance relative des paramètres sur la performance. L'utilisation d'une méthode systématique de planification

⁵⁹ Un exemple d'illustration de cette méthodologie peut être trouvé dans [Thierry *et al.*, 06].

d'expérimentale (plans factoriels fractionnaires ou plans de Taguchi) pourrait permettre de mieux appréhender les effets et les interactions entre les paramètres et de faciliter encore l'implémentation de la démarche sur le terrain industriel.

Bibliographie

- [Accenture, 02] Accenture, **European CPFR insights**, ECR Europe, 2002.
- [Agrell *et al.*, 04] Agrell P.J, Lindorth R. et Norman A., **Risk, information and incentives in telecom supply chains**, Int. J. of Production Economics, Vol. 90, Iss. 1, pp. 1-16, 2004.
- [Anthony, 65] Anthony R.N., **Planning and control systems : A framework for analysis**, Cambridge/Mass,1965.
- [Artebrant *et al.*, 03] Artebrant A., Jönsson E., Nordhemmer M., **Risks and Risk Management in the Supply Chain flow - a case study based on some of Marsh's clients**, Master of Science in Industrial Management and Engineering, Lund Institute of Technology, 2003.
- [Aso, 06] http://www.aso-organisation.ch/lexique/_lexique/00000003.htm
- [Aviv, 01] Aviv Y., **The effect of collaborative forecasting on supply chain performance**, Management Science, Vol. 47, No. 10, pp. 1326-1343, 2001.
- [Aviv, 02] Aviv Y., **Gaining benefits from joint forecasting and replenishment processes: The case of auto-correlated demand**, Manufacturing & Service Operations Management, Vol. 4, No. 1, pp. 55-74, 2002.
- [Bakir, 03] Bakir S., **Contribution à une démarche d'intégration des processus de gestion des risques et des projets : étude de la fonction planification**, Thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Toulouse - Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2003.
- [Ball, 96] Ball P., **Introduction to Discrete Event Simulation**, University of Strathclyde, 1996.
- [Barbarosoglu G. et Ölgü r, 99] Barbarosoglu G. et Ölgü r D., **Hierarchical design of an integrated production and 2-echelon distribution system**, European Journal of Operational Research, Vol. 118, No. 3, pp. 464-484, 1999.
- [Barratt et Oliveira, 01] Barratt M. et Oliveira A., **Exploring the experiences of collaborative planning initiatives**, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 31, No. 4, pp. 266-289, 2001.
- [Barratt, 04] Barratt M., **Unveiling enablers and inhibitors of collaborative planning**, International Journal of Logistics Management, Vol. 15, No. 1, pp. 73-90, 2004.
- [Beamon, 98] Beamon B.M., **Supply chain design and analysis : Models and methods**, International journal of production economics, Vol. 55 ,pp. 281-294. 1998.
- [Bernard *et al.*, 02] Bernard J.G., Rivard S., et Aubert B., **Le risque : un modèle conceptuel d'intégration**, Centre interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations (CIRANO), 2002.
- [Bhatnagar et Soha, 04] Bhatnagar R., Sohal A.S., **Supply chain competitiveness : measuring the impact of location factors, uncertainty and manufacturing practices**, Article In Press.
www.elsevier.com/locate/technovation.

- [Bougaret, 02] Bougaret S., **Prise en compte de l'incertitude dans la valorisation des projets de recherche et de développement : la valeur de l'information nouvelle**, Thèse de doctorat, Ecole des mines d'Albi-Carmaux, 2002.
- [Bourbonnais et Usunier, 97] Bourbonnais R. et Usunier J.C, **Pratique de la prévision des ventes : conception de systèmes**, Editions ECONOMICA, Paris, 1997.
- [Bourland *et al.*, 96] Bourland K.E., Powell S.G., Pyke D.F., **Exploiting timely demand information to reduce inventories**, European Journal of Operational Research, Vol. 92, Iss. 2, pp. 239-253, 1996.
- [Bözel *et al.*, 03] Bözel S., Lührs J., Rechtsteiner R., Wittig, M., **Turning risks into opportunities – Strategic risk management in turbulent markets**, Roland Berger. http://www.rolandberger.com/expertise/en/html/publications/82publications_sc_turningrisks.shtml [2003-12-12].
- [Brailsford *et al.*, 99] Brailsford S.C., Potts C.N., Smith B.M., **Constraint satisfaction problems: Algorithms and applications**, European Journal of Operational Research, Vol. 119, pp. 557-581, 1999.
- [Bruniaux, 00] Bruniaux R., **Simulation continue de réseaux de sites industriels : application aux chaînes logistiques dans le secteur automobile**, Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand, 2000.
- [Cachon et Fisher, 00] Cachon, G.P., Fisher, M., **Supply chain inventory management and the value of shared information**, Management Science, Vol. 46, No. 8, pp. 1032-1048, 2000.
- [Cachon et Netessine, 04] Cachon G. et Netessine S., **Game Theory in Supply Chain Analysis**, Chapter 2 in D. Simchi-Levi, S. D. Wu, and Z. Shen (Eds.), Handbook of quantitative supply chain analysis : modeling in the e-business era, Kluwer, 2004, March 21.
- [Carluer et Richard, 02] Carluer F. et Richard A., **Analyse stratégique de la décision**, Presses Universitaires de Grenoble, 2002.
- [Chauvel, 00] Chauvel A.M., **méthodes et outils pour résoudre un problème : 45 outils pour améliorer les performances de votre organisation**, Edition Dunod, 2000.
- [Chen *et al.* 00] Chen F., Dresner Z., Ryan J.K., Simchi-Levi D., **Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information**, Management Science, Vol. 46, Iss. 3, pp. 436-443, 2000.
- [Cheyroux, 03] Cheyroux L., **Sur l'évaluation de performances des chaînes logistiques**, Thèse de doctorat INPG, 2003.
- [Christopher, 03] Christopher M., **Understanding Supply Chain Risk: A Self-Assessment Workbook**, Cranfield University, School of Management, Department for Transport. Internet: <http://www.cranfield.ac.uk/som/scr> [2003-12-12].
- [Christopher, 1998] Christopher M., **Logistics and Supply Chain Management—Strategies for Reducing Cost and Improving Service**, second ed. London, 1998.
- [Christopher, 92] Christopher M.L, **Logistics and Supply Chain Management**, PitmanPublishing, London, 1992.
- [CIC, 06] Cambre de Commerce et d'Industries
<http://www.lyon.cci.fr/site/cms/2004120816160394/Developpement---/Partenariat-alliances-et-appels-d-offres/Cooperation-Alliances--mode-d-emploi/Constats-et-definitions/Cooperation-alliances--constats-et-definitions?selectedMenu=20041209023514>, 2006.
- [Cipe 05] Cipe, <http://www.cipe.fr/pages/accueil.html>, 2005.

- [Cohen et Roussel, 05] Cohen S. et Roussel A., **Avantage Supply Chain Les 5 leviers pour faire de votre Supply Chain un atout compétitif**, Editions d'organisation, 2005.
- [Cooper *et al.*, 97] Cooper M.C., Douglas M.L et Janus D.P, **Supply Chain Management : More Than a New Name for Logistics**, The International Journal of Logistics Management, Vol. 8, No.1, pp.1-14.
- [Cooper *et al.*, 97] Cooper M.C., Lambert D.M., Pagh J.D, **Supply chain management: More than a new name for logistics**, International Journal of Logistics Management, Vol. 8, No. 1, pp. 1–13, 1997.
- [Coulon *et al.*, 93] Coulon MF, Mercier M., JP Strobbe, Van Reust B., **Communication et Organisation**, Première STT, Dunod, 1993.
- [Croom *et al.*, 00] Croom S., Romano P., Giannakis M., **Supply chain management : an analytical framework for critical literature review**, European Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. 6, pp. 67-83, 2000
- [Cxp, 05] Cxp, <http://www.cxp.fr>, 2005.
- [Davis, 93] Davis T., **Effective supply chain management**, Sloan Management Review Vol. 34, No 4., pp. 35-46.
- [Dejean, 03] Dejean D., **Supply chain integration**, Séminaire IFI3, Ecole des mines d'Albi-Carmaux, 2003.
- [De Snoo et Wezel, 06] De Snoo C. et Wezel W.V., **Simulation of collaborative planning processes– An agent-oriented approach**, 2006.
<http://www.bdk.rug.nl/organisatie/clusters/PSD/pdf/Euroma2006SnooWezel.pdf#search=%22simulation%20of%20collaborative%20planning%20processes%20an%20agent%20oriented%20approach%22>.
- [Disney et Towill, 03] Disney S.M. et Towill D.R., **The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains**, International Journal of Production Economics, Vol. 85, No. 2, Aug, pp199-216. ISSN 0925-5273, 2003.
- [Domscke et Scholl, 00] Domscke W. et Scholl A., **Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre**, Berlin,, 2000.
- [Dubelcco, 93] Dubelcco P., **Coopération, Concurrence et Coordination Temporelle**, Thèse pour le doctorat de sciences économiques présentée et soutenue en septembre 1993 à l'Université de Nice Sophia Antipolis.
- [Dudek et Stadtler, 05] Dudek G. et Stadtler H., **Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners**, European Journal of Operational Research, 163, pp. 668-687, 2005.
- [Érard et Déguénon, 1996] Érard P.J. et Déguénon P., **Simulation par événements discrets**, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1996.
- [Ertogral et Wu, 00] Ertogral K. et Wu S. **Auction-theoretic coordination of production planning in the supply chain**, IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers), Vol. 32, No. 10, pp. 931-940, 2000.
- [Evans *et al.*, 95] Evans G.N., Towill D.R., et Naim M.M., **Business process reengineering the supply chain**, Production Planning and Control, Vol. 6, No. 3, pp. 227-237, 1995.
- [Fransoo *et al.*, 01] Fransoo J.C., Wouters M.J.F., de Kok T.G., **Multi-echelon multi-company inventory planning with limited information exchange**, Journal of the Operational Research Society, Vol. 52, pp. 830-838, 2001.

- [Fliedner, 03] Fliedner G., **CPFR: an emerging supply chain tool**, Industrial Management & Data Systems, Vol. 103, No. 1, pp. 14-21, 2003.
- [Freescale,06] Freescale,
<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=067147695667350647>, 2006.
- [Ganeshan et Magazine, 99] Ganeshan R. et Magazine M. (Eds.), **Quantitative Models for Supply Chain Management**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 739-759, 1999.
- [Ganeshan, et Harisson, 95] Ganeshan R. et Harisson T., **An introduction to supply chain management**, Penn State University, department of Management Science and Information Systems, 1995.
- [Gavirnenin, 99] Gavirneni S., Kaupscinski R., Tayur S., **Value of information in capacitated supply chains**, Management Science, Vol. 45, No. 1, pp. 16-24, 1999.
- [Génin, 03] Génin P., **Planification tactique robuste avec usage d'un A.P.S. : Proposition d'un mode de gestion par plan de référence**, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 2003.
- [Giard, 03] Giard V., **Gestion de la production et des flux**, ECONOMICA, Paris, 2003.
- [Gourc, 99] Gourc D., **Le management des risques en contexte projet : Quelles problématiques ?**, Ecole d'Été- Gestion scientifique du risque, 6-10 Septembre 1999.
- [Grabot, 02] Grabot B., **The Dark Side of the Moon: Some Lessons from Difficult Implementations of ERP Systems**, Proceedings 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, 2002.
- [Granelle, 69] Granelle J.J., **L'incertitude et la décision d'investissement dans l'entreprise**, Thèse complémentaire, Paris 1969
- [Grosvenor et Austin, 01] Grosvenor F. et Austin A.T., **Cisco's eHub Initiative**, From the July/August 2001 Issue of Supply Chain Management Review.
- [Guillouzo, 96] Guillouzo R., **Les stratégies de coopération dans l'industrie informatique : Une lecture en termes de portefeuilles d'accords**, Thèse pour le doctorat de sciences de Gestion présentée et soutenue en janvier 1996 à l'Université de Rennes 1.
- [Gunasekaran *et al.*, 04] Gunasekaran, Patel C., et McGuaghey R. E., **A Framework for Supply Chain Performance Measurement**, Int. J. Production Economics, Vol. 87, pp. 333-347, 2004.
- [Hallikas *et al.*, 04] Hallikas J., Karvonen I., Pulkkinen U., Virolainen V., **Risk management processes in supplier networks**, Int. J. Production Economics, Vol. 90, pp. 47-58, 2004.
- [Hammer et Champy, 93] Hammer M. et Champy J., **Reengineering the Corporation**, Harper Business, 1993.
- [Hellström, 03] Hellström M., **Requirements for Co-Managed Inventory in the Supplier-Manufacturer Interface**, Master's thesis, Helsinki University of Technology, 2003.
- [Holmström, 98] Holmström, J., **Business process innovation in the supply chain: A case study of implementing vendor managed inventory**, European Journal of Purchasing & Supply Management, Vol. 4, Iss. 2-3, pp. 127-131, 1998.
- [Huang *et al.*, 03] Huang G.Q., LAU J.S.K., et Mak K.L., **The impacts of sharing production information on supply chain dynamics : a review of the literature**, International Journal of Production Research, 2003, Vol. 41, No. 7, pp. 1483-1517. 2003.
- [ICMR, 03] ICFAI Center for Management Research (ICMR), **Cisco systems – the supply chain story**, ICMR case collection, 2003.

- [Infosec, 99] National Information Systems Security (INFOSEC) Glossary, **NSTISSI No. 4009** (Revision 1), January 1999.
- [INERIS, 03] Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques (INERIS), **Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs**, Rapport OMEGA-7, 2003.
- [Jehle et Reny, 00] Jehle G. A. et Reny P.J., **Advanced Microeconomic Theory**, Addison Wesley, 2d Edition, 2000.
- [Jouenne, 00] Jouenne T., **CPFR - Collaborative Planning Forecasting and Replenishment - Concept, Carte Routière et Premiers Pilotes Internationaux**, Edition 2000.
- [Jüttner *et al.*, 03] Jüttner U., Peck H., et Christopher M., **Supply Chain Risk Management: Outlining an Agenda for Future Research**, In: International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 6, No. 4, pp. 197-210, 2003.
- [Kast, 02] Kast R., **LA THEORIE DE LA DECISION**, Collection Repères, Edition La découverte, Paris, 2002.
- [Kirman et Salmon, 95] Kirman A. et Salmon M., eds., **Learning and rationality in economics**, Basil Blackwell, Oxford, pp. 61-101, 1995.
- [Kleijnen, 03] Kleijnen J.P.C., **Supply Chain simulation : A survey**, International Journal of Simulation and Process Modelling, ISSN 1740-2123, 2003.
- [Lang, 03] Lang J., **Contribution à l'étude de modèles, de langages et d'algorithmes pour le raisonnement et la prise de décision en intelligence artificielle**, HDR UPS, 09/2003.
- [La Londe et Masters, 94] La Londe B.J et Masters J.M., **Emerging Logistics Strategies : Blue-print for the next century**, International Journal of Physical distribution and Logistics Management, Vol. 24, No. 7, pp. 35-47, 1994.
- [Landy, 03] Landy G., **AMDEC - Guide pratique**, Edition Afnor, ISBN : 2-12-474055-0, 2003.
- [Lapide, 01] Lapide L., **New developments in business forecasting**, Journal of Business Forecasting Methods & Systems, Vol. 20, Iss. 4, pp. 11-13, 2001.
- [Lauras *et al.*, 03] Lauras M., Telle O., Parrod N., Thierry C., Lamothe J., **Référentiel de l'entente industrielle : 3 approches dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques**, 5ème Congrès International de Génie Industriel, Québec, octobre 2003.
- [Law et Kelton, 91] Law A.M., Kelton W.D., **Simulation, Modelling and Analysis**, McGraw-Hill (second edition), 1991.
- [Law, 06] Law perationnel, <http://www.lawperationnel.com>, 2006.
- [Lee *et al.*, 00] Lee H., So K.C., Tang C.S., **The value of information sharing in a two-level supply chain**, Management Science, Vol. 46, No. 5, pp. 626-643, 2000.
- [Lee et Whang, 98] Lee H. L. et Whang S., **Information sharing in a supply chain**, Research paper No 1549, Graduate school of business, Stanford university, 1998.
- [Lee *et al.*, 97] Lee H.L., Padmanabhan V., Whang S., **The bullwhip effect in supply chains**, Sloan Management Review, Vol. 38, No. 3, pp. 93-102, 1997.
- [Lee et Billington, 93] Lee H.L. et Billington C., **Material management in decentralized supply chain**, Operation Research, Vol. 41, No.5, 1993.

- [Linstone et Turoff, 75] Linstone H.A. et Turoff M, **The Delphi Method: Techniques and Applications**, Addison Wesley, Reading, MA, 620 pages, 1975.
- [Lummus *et al.*,98] Lummus R.R., Vokurka R.J., et Albert K.L., **Strategic Supply Chain Planning**, Production and Inventory Management Journal, Vol. 39, No. 3, pp. 49-58, 1998.
- [Lummus et Vokurka, 04] Lummus R.R. et Vokurka R.J., **Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines**, Industrial Management & Data Systems 11–17, 2004.
- [Mahmoudi *et al.*, 06 a] Mahmoudi J., Lamothe J., et Thierry C., **A simulation model for customer-supplier cooperation in the telecom supply chain**, International Journal of Business Performance Management, 2006 (A paraître).
- [Mahmoudi *et al.*, 06 b] Mahmoudi J., Lamothe J., et Thierry C., **Risk analysis for cooperation policies benefits in reducing the bullwhip effect**, 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 17-19 May, 2006, Saint-Etienne, France.
- [Mahmoudi *et al.*, 06 c] Mahmoudi J., Lamothe J., et Thierry C., **Un modèle de simulation pour coopérer au sein de la chaîne logistique des télécoms**, Conférence Internationale Francophone d'Automatique, CIFA 2006, 30-31 mai et 1er juin 2006, Bordeaux, France..
- [Maria, 97] Maria A., **Introduction to Modeling and Simulation**, In Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.
- [McCarthy et Golicic, 02] McCarthy T. et Golicic S., **Implementing collaborative forecasting to improve supply chain performance**, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 32, No. 6, pp. 431-454, 2002.
- [Mentzer *et al.*, 01] Mentzer J.T, Dewitt W., Keebler J.S., Min S., Nix N.W., Smith C.D., Zacharia Z.G., **Defining the supply chain Management**, Journal of Business logistics, Vol. 22, No.2, 2001.
- [Milnor, 58] Milnor J.L., **Games Against Nature**, In Thrall R.M., Coombs C., Daves R.L, Decision Processes, New York:Wile, 1958
- [Min et Zhou, 02] Min H. et Zhou G., **Supply Chain Modeling: Past, Present, and Future**, Computers & Industrial Engineering, Vol. 43, pp. 231-249, 2002.
- [Mortureux,02] Mortureux Y., **Arbres de défaillance, des causes et d'événement**, techniques de l'ingénieur,2002.
http://www.techniquesingenieur.fr/dossier/arbres_de_defaillance_des_causes_et_d_evenement/SE4050.
- [Moyaux *et al.*, 03] Moyaux T., Chaib-draa B. et D'Amours, S., **Multi-agent coordination based on tokens: Reduction of the bullwhip effect in a forest supply chain**, In Proc. 2nd int. joint conf. on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS), pp. 670–677, Melbourne (Victoria, Australia), 2003.
- [Moyaux, 04] Moyaux T., **Design, simulation and analysis of collaborative strategies in multi-agent systems: The case of supply chain management**, Thèse de doctorat, Université Laval, Ville de Québec, Québec, Canada.
- [Myoung, 03] Myoung P.H, **Decision theory**, 2003.
<http://php.indiana.edu/~kucc625>
- [Nash, 51] Nash J. F, **Non-cooperative games**, Annals of Mathematics, 54:286–295, 1951.
- [Nissen, 01] Nissen M.E., **Agent-Based Supply Chain Integration**, Information Technology and Management, Vol. 2, No. 3 / July, 2001, ISSN1385-951X (Print) 1573-7667, 2001.

- [Norrman et Linroth, 02] Norrman A. et Linroth R., **Supply Chain Risk Management: Purchaser's vs. Planner's Views on sharing capacity investment risks in the Telecom Industry**, Proceedings of the 11th International Annual IPSERA conference, Twente University, March 25-27, pp.577-595, 2002.
- [Norrman, 03] Norrman A., **Supply Chain Risk Management**, Journal of Packaging Science & Technology, Japan , Vol. 12, No. 5, pp. 257-270, 2003.
- [Pandellos *et al.*, 99] Pandellos G., Behrens S., et Murphy R., **Software risk evaluation (sre) team member's notebook (version 2.0)**, Soft-ware Engineering Institute (SEI), page 156, 1999.
- [Paulsson, 03] Paulsson U., **Managing risks in the supply chain, an article review**, Cranfield University, 2003.
- [Peck *et al.*, 03] Peck, H., Abley J., Christopher M., **Creating Resilient Supply Chains: A Practical Guide**, Cranfield University, School of Management, Department for Transport, 2003.
<http://www.cranfield.ac.uk/som/scr.> [2003-12-12].
- [Piacard *et al.*, 80] Picard J.J, Rietsch J.M, Chef J. et Castagné M., **Choix des investissements en avenir risqué, Formalisation d'un modèle de décision, Appréciation et analyse des risques**, chapitre 14 dans : Énergétique industrielle (coordonnateur, Pierre Le Goff), Technique et documentation (Paris), 1980.
- [Pierreval, 06] Pierreval H., **Simulation combinée discret/continu : Etude du cas d'une fonderie**, 6ème Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation - MOSIM'06 - du 3 au 5 avril 2006 – Rabat- Maroc.
- [Poirier et Reiter,01] Poirier C. et Reiter S.E., **La Supply Chain**, Dunod, 2001.
- [Poirier, 99] Poirier C., **Advanced supply chain management: how to build a sustained competitive advantage**, San Francisco, CA: Berrett-Kochler Publishers, 1999.
- [Poudou, 05] Poudou J.C., **Mathématiques de la décision et optimisation**, Rapport interne, Faculté des sciences économiques, université de Montpellier, 2005.
- [PWC, 03] PriceWaterhouseCoopers, <http://www.pwc.fr/>, 2003.
- [Raghunathan, 01] Raghunathan S., **Information sharing in a supply chain: A note on its value when demand is nonstationary**, Management Science, Vol. 47, No. 4, pp. 605-610, 2001.
- [Raghunathan, 99] Raghunathan S., **Interorganizational collaborative forecasting and replenishment systems and supply chain implications**, Decision Sciences, Vol. 30, No. 4, pp. 1053-1071, 1999.
- [Rasmusen, 94] Rasmusen E., **Game and Information - An Introduction to Game Theory**, Blackwell, Cambridge MA & Oxford UK, 1994.
- [Reed, 04] <http://www.reed-electronics.com/semiconductor/article/CA187724>.
- [Rioux, 02] Rioux D., **La collaboration client-fournisseur**, AMETVS-Chronique, Le groupe Créatech, 2002.
- [Rohde *et al.*, 00] Rohde J., Meyr H., Wagner M., **DIE SUPPLY CHAIN PLANNING MATRIX**, in : PPS-Management, Vol. 5, No.1, Berlin, pp. 10-15, 2000.
- [Rota, 98] Rota K., **Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources : Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique**, *Thèse ENSAE*, 1998.
- [Rubinstein, 98] Rubinstein A., **Modeling Bounded Rationality**, MIT Press, 1998.

- [Sandholm, 99] Sandholm T.W., **Distributed rational decision making**. In Weiss, G., editor, **Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**, pp. 201–258, MIT Press, Cambridge (Massachusetts, USA), 1999.
- [Sboui *et al.*, 03] Sboui S., Rabenasolo B., Jolly-Desodt A.M., **Vers un partenariat synergique : une nouvelle méthodologie de mise en place de partenariat**, Revue Française de Gestion Industrielle, Vol. 22, No.1, 2003.
- [SCMIP,05] <http://w3.univ-tlse2.fr/mathinfoLMD/membres/thierry/scmip/>, 2005.
- [Seila, 01] Seila A.F., **Spreadsheet simulation**, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, Peters B. A., Smith J. S., Medeiros D. J., et Rohrer M. W. eds.
- [Sepulveda et Frein, 06] Sepulveda J.P., Frein Y., **Coordination and demand uncertainty in supply chains**, International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS'06), May 15-17, 2006 at Lyon, France.
- [Shapiro, 01] Shapiro J.F., **Modelling the Supply Chain**, Duxbury, Pacific Grove, É.-U., 2001.
- [Shapiro, 98] Shapiro J.F, **Bottom-up versus top-down approaches to supply chain modelling**, In: Tayur, S, Ganeshan, R., Magazine, M. (Eds.) : **Quantitative Models for Supply Chain Management**. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, pp. 739-759, 1998.
- [Sheffi, 01] Sheffi Y., **Supply chain management under the threat of international terrorism**, International Journal of Logistics Management, Vol.12, No.2, pp.1-11, 2001.
- [Simchi-Levi *et al.*, 03] Simichi-Levi D., Kamnisky P., et Simchi-Levi E., **Designing and managing the supply chain : Concepts, strategies and case studies**, McGraw-Hill/ Irwin, New York, second edition, 2003.
- [Smelzer et Silferd, 98] Smelzer L.R., Silferd, S.P., **Proactive supply management: the management of risk**, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 34., No. 1, pp. 38-45, 1998.
- [SEI, 04] Software Engineering Institute : <http://www.sei.cmu.edu>, 2004.
- [Stadtler et Kilger, 00] Stadtler H. et Kilger C., (Eds), **Supply Chain Management and Advanced Planning**, Springer, Heidelberg, Germany, 2000.
- [Stadtler, 02] Stadtler H., **Supply Chain Management - An Overview, in Supply Chain Management and Advanced Planning - Concepts, Models, Software and Case Studies**, Stadtler H and Kilger C. (eds.), Springer, Berlin , 2002.
- [SCC, 04] Supply-Chain Council : <http://www.supply-chain.org>, 2004.
- [Sweetser, 99] Sweetser A., **A Comparison of System Dynamics and Discrete Event Simulation**, 17th International Conference of the System Dynamics Society and 5th Australian & New Zealand Systems Conference, Wellington, New Zealand, The System Dynamics Society, 1999.
- [Tan, 01] Tan K.C., **A framework of supply chain management literature**, European Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. 7, pp. 39-48, 2001.
- [Tayur *et al.*, 00] Tayur S., Ganeshan R., Magazine M., **Quantitative models for supply chain management**, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [Telle, 03] Telle O., **Gestion des chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : aide à la coopération au sein d'une relation donneur d'ordres-fournisseurs**, Thèse de Doctorat de l'ENSAE, 2003.

- [Thierry et al, 06] Thierry C., Lauras M., Lamothe J., Mahmoudi J., Charel P.J, **Viewpoint-centered methodology for designing cooperation policies within a supply chain**, International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain (ILS'06), May 15-17, 2006 at Lyon.
- [Thierry et Bel, 01] Thierry C. et Bel G., **Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : outils d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat**, Revue Française de Gestion Industriel, 2002.
- [Thomas et Griffin, 96] Thomas D.J., Griffin P.M., **Coordinated supply chain management**, European journal of operational research, Vol. 94, pp. 1-15,1996.
- [Tomas, 02] Tomas J.L., **ERP et Progiciels de Gestion intégrés, sélection, déploiement et utilisation opérationnelle**, DUNOD, 2002.
- [Ulieru et Walker, 02] Ulieru M., Brennan R., Walker S., **The Holonic Enterprise – A Model for Internet Enabled Global Supply Chain and Workflow Management**, International Journal of Integrated Manufacturing Systems, No. 13/8, ISSN 0957-6061, 2002.
- [Vernadat, 02] Vernadat F., **Enterprise modelling and integration : Current status and research perspective**, Annual Reviews in Control, Vol. 26, pp. 15-25, 2002.
- [VICS, 99] VICS, **Roadmap to CPFR: The case studies**, 1999.
www.cpfr.org/cpfr_pdf/.
- [Yildizoglu,03] Yildizoglu M., **Introduction à la Théorie des Jeux**, Dunod, Paris (France), 2003.
- [Zhao *et al.*, 02] Zhao, X., Xie, J., et Leung, J., **The impact of forecasting model selection on the value of information sharing in a supply chain**, European Journal of Operational Research, Vol. 142, No. 2, pp. 321-344, 2002.
- [Ziegenbein *et al.*, 03] Ziegenbein, A., Nienhaus, J., Verbeck, A., Alard, R., **Robust Planning Coping with Uncertainty in Production Networks**, Proceedings of the 9th Conference in Manufacturing Excellence, Melbourne, Australia, 2003.
- [Ziegenbein et Nienhaus, 04] Ziegenbein, A., Nienhaus, J.: **Coping with Supply Chain Risks on Strategic, Tactical and Operational Level**, In: Harvey, R.J., Geraldi, J.G., Adlbrecht, G. (Eds.), Proceedings of the Global Project and Manufacturing Management Symposium, pp. 165-180, Siegen, May 2004.
- [Zsidisin, 03] Zsidisin, G.A. : **Managerial Perceptions of Supply Risk**, Journal of Supply Chain Management, Vol. 39, No. 1, pp. 14-25, 2003.

Annexe

Les paramètres communs à toutes les expérimentations présentées dans le chapitre 9 sont détaillés dans les sections suivantes.

1. Paramètres de caractérisation des acteurs de la chaîne logistique simulée

	FSC	OEM-EMS	OT
Production	Flux poussé	Flux tiré	Flux tiré
Approvisionnement	Flux poussé	Flux poussé	Flux tiré

Tableau 1 : Les stratégies de gestion de flux chez les acteurs.

Les caractéristiques temporelles des processus de planification chez les différents acteurs de la chaîne sont résumées dans le tableau suivant (Tableau 2). Chaque triplet de valeurs donne respectivement l'horizon de planification, la fréquence de rafraîchissement des plans et enfin la granularité.

	FSC	OEM-EMS	OT
S&OP	(18m, 1m, 1m)	(6m, 1m, 1m)	(12s, 1s, 1s)
MTP	(6m, 1m, 1s)	(6s, 1s, 1s)	(2s, 1s, 1s)
STP	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)
L&IM	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)	(1s, 1s, 1s)

S : semaine, m : mois, 1m=4s.

Tableau 2 : Les caractéristiques temporelles des processus de planification chez les acteurs.

Les délais de production, de livraison, et de mise en place de nouvelles capacités (exprimés en semaines) sont représentés dans le Tableau 3.

	FSC	OEMEMS	OT
Délais de mise en place de nouvelles capacités	24s	8s	0s
Délais de production	12s	0s	0s
Délais de livraison	4s	0s	0s

S : semaine.

Tableau 3 : Les délais de capacités, de production et de livraisons chez les acteurs.

Enfin, les coûts unitaires (pour une unité de produit finis) chez les différents acteurs sont comme suit :

	FSC	OEM-EMS	OT
Coût matière première	30 €/p	100 €/p	160 €/p
Coût de capacité	25 €/p	19 €/p	0 €/p
Coût de rupture	5 €/p	8 €/p	20 €/p

€/p : euro/unité de produit

Tableau 4 : Les coûts unitaires chez les acteurs.

2. Paramètres de caractérisation des produits

La nomenclature d'un produit de téléphonie est donnée par la figure suivante :

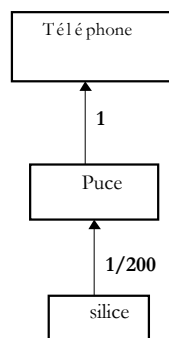


Figure 1 : Nomenclature macroscopique d'un produit.

Les valeurs de ces couvertures de stocks (exprimées en semaines) pour les produits finis et les matières premières (composants) sont résumées dans le Tableau 7 :

	FSC	OEM-EMS	OT
Couvertures de stock de produits finis	6s	6s	2s
Couvertures de stock de matières premières	0s	4s	2s

S : semaine.

Tableau 7 : Les couvertures de stocks de produits finis et de matières premières chez les acteurs.

Les générations sont supposées à durées de vie constantes de 104 semaines (2ans). Par ailleurs nous supposons qu'une nouvelle génération est lancée tous les 26 semaines (6mois). Enfin, les générations de produits considérées sont représentées par des courbes en cloche (voir Figure) dont les paramètres de caractérisation sont donnés par le tableau :

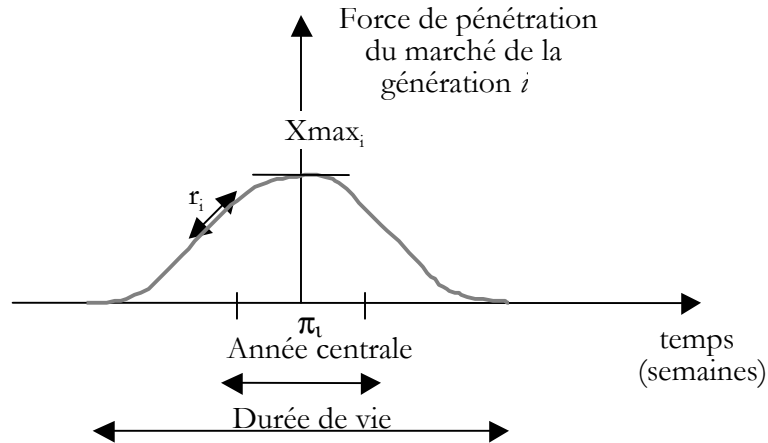


Figure 2 : Courbes en cloches d'une génération de produit.

N_g	14
$Xmax_i$	1
r_i	0.8
π_i	$i * 26 \text{ s}$
a_i	76.6
b_i	$\exp(-45 .41 * r_i^3 + 109 .76 * r_i^2 - 110 .4 * r_i + 44 .921)$

S : semaine.

Tableau 7 : "Paramètres de caractérisation des générations de produits.

Avec :

N_g : nombre de générations de produits fabriquées par la chaîne logistique.

$Xmax_i$: force maximale sur la cloche(seuil de saturation).

r_i : coefficient de montée de la cloche.

π_i : numéro de la semaine sur laquelle est centrée la cloche. Ce paramètre marque aussi la moitié de la durée de vie de la génération que nous supposons ici de 104 semaines (2ans).

$a_i, et b_i$: paramètres qui garantissent le fait que 70% des ventes se font sur l'année centrale.

3. Paramètres de caractérisation du marché global

Nous supposons que le marché est stable jusqu'à une date Δ . A partir de cette date trois scénarios d'évolution sont possibles :

- le marché croît (voir Figure 3),
- le marché décroît (voir Figure 4),
- le marché reste stable (voir Figure 5).

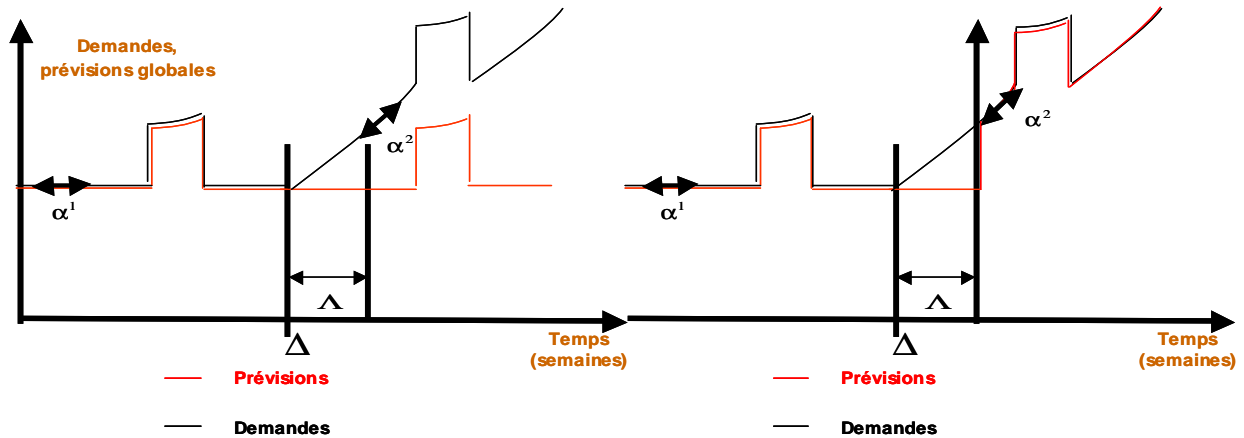


Figure 3 : Le cas où le marché affiche une tendance vers la hausse.

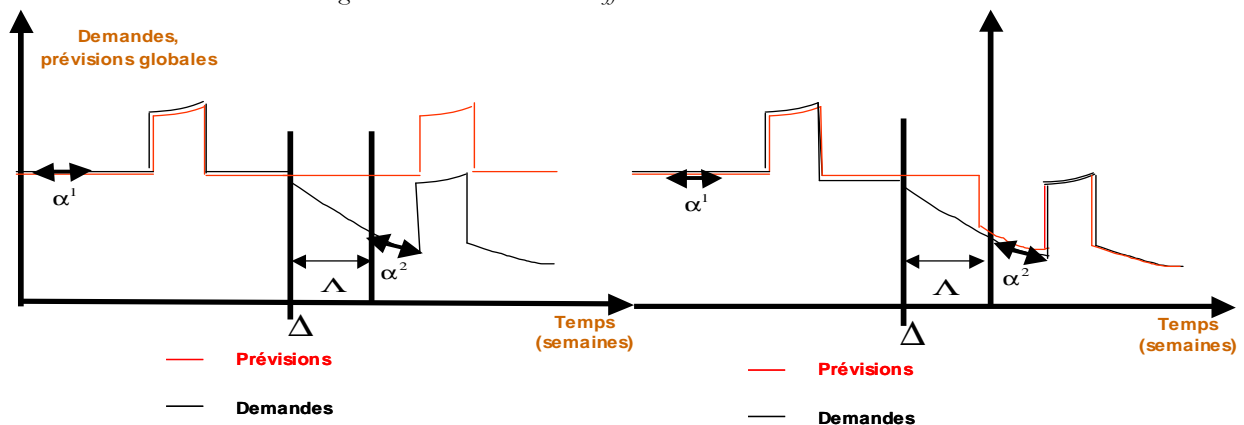


Figure 4 : Le cas où le marché affiche une tendance vers la baisse.

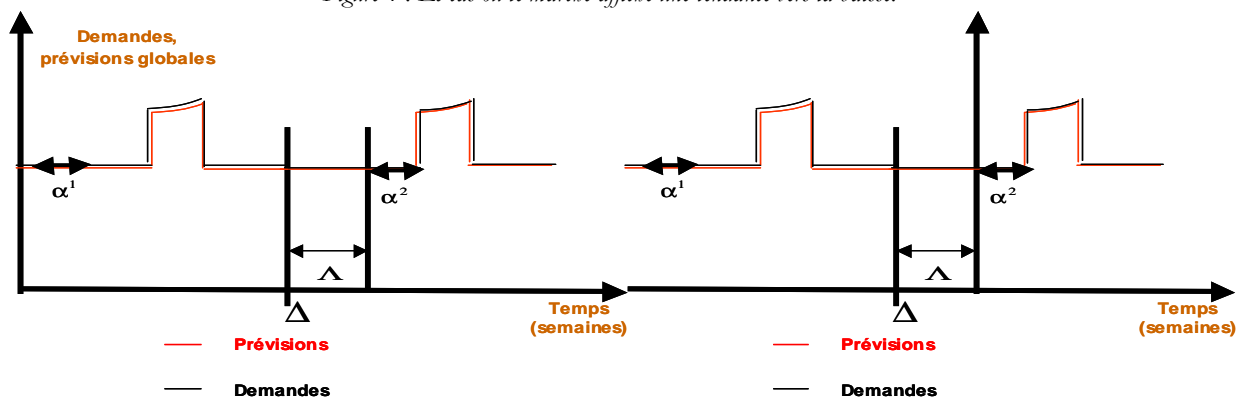


Figure 5 : Le cas où le marché affiche une tendance stable.

Les prévisions du marché sont caractérisées par un délai Δ décrivant le temps qu'elles vont mettre pour s'ajuster par rapport aux demandes du marché après le changement de tendance de ce dernier.

Les paramètres caractérisant les différents scénarios d'évolution du marché sont résumés dans le tableau ci-dessous :

V_{init}	400 p/s
Δ	170 s
T_{saison}	4s
S_p	52s
α	30%
β^1	$\beta^1 = 30 / 70 * \left(\left((1 + \alpha * \alpha^1)^{1/S_p} \right)^{S_p - T_{saison}} - 1 \right) / \left(\left((1 + \alpha * \alpha^1)^{1/S_p} \right)^{T_{saison}} - 1 \right) / \left((1 + \alpha * \alpha^1)^{1/S_p} \right)^{S_p - T_{saison}}$
β^2	$\beta^2 = 30 / 70 * \left(\left((1 + \alpha * \alpha^2)^{1/S_p} \right)^{S_p - T_{saison}} - 1 \right) / \left(\left((1 + \alpha * \alpha^2)^{1/S_p} \right)^{T_{saison}} - 1 \right) / \left((1 + \alpha * \alpha^2)^{1/S_p} \right)^{S_p - T_{saison}}$

S : semaine, p/s : produits/semaine.

Tableau 8 : paramètres de caractérisation de l'évolution du marché.

Avec :

V_{init} : valeur initiale du marché exprimée en nombre de produits par semaine.

Δ : date à laquelle la tendance de la demande réelle change.

T_{saison} : durée de la saisonnalité exprimée en nombre de semaines.

S_p : période de la saisonnalité.

α : croissance annuelle moyenne du marché.

α^1 : coefficient dont les valeurs sont données par le plan d'expériences. Il caractérise la croissance des prévisions et de la demande avant que le marché change de tendance

α^2 : coefficient dont les valeurs sont données par le plan d'expériences. Il caractérise la croissance des prévisions et de la demande après que le marché change de tendance.

β^1 : coefficient à utiliser pour le calcul des prévisions du marché et qui garantit d'avoir 30% du volume annuel de vente pendant la période de saisonnalité. Ce qui constitue une estimation acceptée par les industriels du secteur des télécommunications.

β^2 : coefficient à utiliser pour le calcul des prévisions du marché et qui garantit d'avoir 30% du volume annuel de vente pendant la période de saisonnalité.

Après avoir détailler dans les sections précédentes les paramètres de caractérisations des acteurs de la chaîne logistique, du marché et des générations de produit, nous focalisons dans la section suivante (section 4) sur les paramètres d'initialisation des simulations. La section 5, quant à elle, détaillera les paramètres qui ont servi pour la caractérisation des modèles d'évaluation des coûts.

4. Paramètres d'initialisation des simulations

Les simulations sont faites sur un horizon de 364 semaines (7 ans). Afin de garantir que la chaîne simulée soit débarrassée des effets transitoires qui peuvent apparaître au début de la simulation, nous avons choisis d'initialiser les simulations sur un horizon de 104 semaines (2 ans) avec des valeurs des paramètres de simulation qui font que la demande soit stable au départ, que les capacités mises en place, les stocks, les encours de production, les attendus de livraisons et les ruptures soit bien ajustées. De ce fait, au-delà de cette date (104^{ème} semaine) la chaîne est stable et elle ne subit de perturbation qu'à partir de la date Δ (date à laquelle le marché change de tendance). L'ensemble de ces valeurs d'initialisation est donné par le tableau suivant :

M_{prevs}	Echange des prévisions
H_p^{FSC}	72 s
$H_p^{OEM-EMS}$	72 s
H_p^{OT}	72 s
α^1	0
C_{init}^{FSC}	2800 p/s
$C_{init}^{OEM-EMS}$	2800 p/s
P_{FSC}^{init}	100%
$P_{OEM-EMS}^{init}$	100%

S : semaine, p/s : produits/semaine.

Tableau 9 : paramètres de caractérisation de l'évolution du marché.

Avec :

M_{prevs} : protocole d'interaction entre les acteurs.

H_p^{FSC} : horizon de planification, $p \in \{S\&OP, MTP\}$ chez Freescale.

$H_p^{OEM-EMS}$: horizon de planification, $p \in \{S\&OP, MTP\}$ chez l'OEM-EMS.

H_p^{OT} : horizon de planification, $p \in \{S\&OP, MTP\}$ chez l'OT.

α^1 : coefficient qui caractérise la croissance des prévisions et de la demande avant que le marché change de tendance. La valeur nulle de ce coefficient garantit d'avoir une demande stable.

C_{init}^{FSC} : capacité initiale chez Freescale

$C_{init}^{OEM-EMS}$: capacité initiale chez l'OEM-EMS

5. Paramètres du modèle d'évaluation des coûts

5.1 Choix de la période de temps pour l'évaluation des coûts

Nous mesurons les coûts sur la même période de temps (P_c) quelque soit la variation du comportement du marché étudiée (voir Figure 6 pour un exemple). Cette évaluation commence à la date Δ : (date à laquelle la tendance de la demande réelle change) et s'étend sur une période de 52 semaines (1 année). Le choix de faire l'évaluation des coûts sur cette période et non pas sur tout l'horizon de la simulation qui est de 364 semaines (7 ans), nous permet de mieux déceler l'impact du choix d'une politique de coopération donnée au moment du changement de tendance du marché.

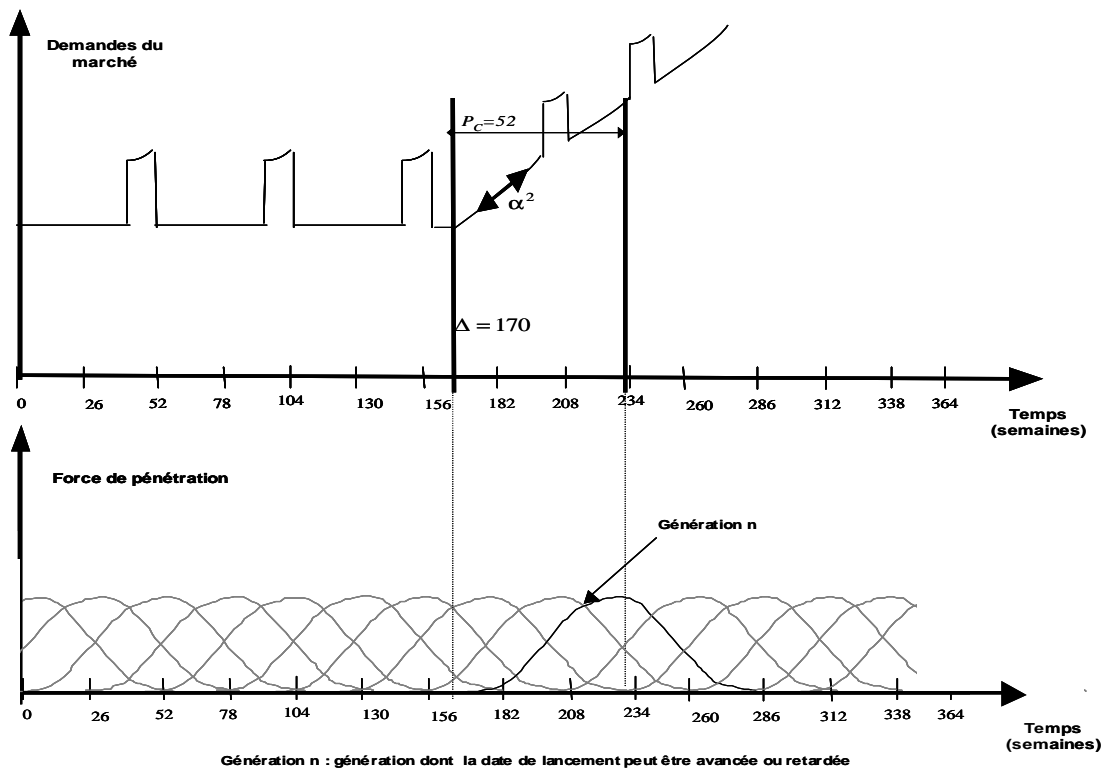


Figure 6 : Exemple d'évaluation des coûts dans le cas où le marché affiche une tendance vers la hausse.

Dans la figure ci-dessus, le changement de tendance se fait à la date 170. Il y a un PIC de saisonnalité entre la date 204 et 208. Les coûts sont mesurés entre la date 170 et la date 222. Selon les valeurs prises par le paramètre Λ (de 0 à 48), les prévisions vont se réaligner sur les commandes réelles entre la date 170 et la date 218.

La génération décalée est normalement lancée à la date 182 et arrive en pleine force à la date $182+52=234$. Selon les valeurs prises par le paramètre Γ (de -24 à +24), le lancement aura lieu entre les dates 148 et 206 sans changer la date de début du déclin de la génération (234).

Remarque : on peut ne pas avoir sur l'horizon évalué une vision complète des phénomènes (dans le cas où $\Lambda = 0$ et $\Gamma = -24$, la génération décalée est lancée à la date 158). Les phénomènes de saisonnalité, du paramètre Λ et du paramètre Γ pourront donc intervenir sur des périodes de temps distinctes ou être simultanés selon les valeurs prises par les paramètres.

5.2 Calcul des coûts

Chez chaque acteur A de la chaîne logistique, l'évaluation du coût total associé à une politique de coopération donnée dans le cadre d'un scénario donné, passe par l'évaluation des coûts élémentaires suivants :

- les coûts de détention des stocks (H_A^+), $A \in \{FSC, OEM-EMS, OT\}$.
- Les coûts d'obsolescence (O_A^+), $A \in \{FSC, OEM-EMS, OT\}$.
- Les coûts de ruptures des stocks (H_A^-), $A \in \{FSC, OEM-EMS, OT\}$.
- Les coûts de capacités (Ac_A) $A \in \{FSC, OEM-EMS\}$.

Le calcul de chacun de ces coûts élémentaires chez un acteur donné A se résume comme suit :

$$H_A^+ = \sum_i \sum_{t < v_i^A} \bar{I}_{i,t} * (a_i^A + c_i^A) * \tau_{ps}^A / N + \sum_j \sum_{t < v_j^A} \bar{I}_{j,t} * a_j^A * \tau_{ps}^A / N$$

$$O_A^+ = \sum_i \bar{I}_{i,t=v_i^A} * (a_i^A + c_i^A) + \sum_j \bar{I}_{j,t=v_j^A} * a_j^A$$

$$Ac_A = \sum_i \sum_t \overline{Capa}_{i,t}^A * c_i^A$$

$$H_A^- = \sum_i \sum_t I_{i,t}^- * b_i^A$$

Avec :

a_i^A : le coût des matières premières du produit i chez l'acteur A .

b_i^A : le coût d'une rupture du produit i chez l'acteur A .

c_i^A : le coût de capacité du produit i chez l'acteur A .

τ_{ps}^A : le taux de possession de stock chez l'acteur A .

N : le nombre de périodes élémentaires de simulations (semaines) considérées dans l'évaluation.

v_i^A (resp. v_j^A) : la date de fin de vie du produit i (resp. du composant j).

$\overline{Capa}_{i,t}^A$: capacité associée au produit i à la date t chez l'acteur A .

$\bar{I}_{i,t}$ (resp. $\bar{I}_{j,t}$) : stock du produit i (resp. du composant j) à la date t chez l'acteur A .

Ainsi, le coût total C_A chez l'acteur pour la politique de coopération et dans le cadre d'un scénario du marché en question, est évalué comme suit :

$$C_A = H_A^+ + O_A^+ + H_A^- + Ac_A$$

Celui de la chaîne C , pour la même politique de coopération et dans le cadre du même scénario du marché, est donné par :

$$C = \sum_A C_A$$

Les valeurs des paramètres intervenant dans le calcul des coûts présenté ci-dessus sont données par le tableau suivant :

a_i^{FSC}	30 €/p	c_i^{FSC}	25 €/p
$a_i^{OEM-EMS}$	100 €/p	$c_i^{OEM-EMS}$	19 €/p
a_i^{OT}	160 €/p	$\tau_{ps}^A, A \in \{FSC, OEM-EMS\}$	25%
b_i^{FSC}	5 €/p	N	52 s
$b_i^{OEM-EMS}$	8 €/p	v_i^A (resp. v_j^A)	$i * 26 + 52$ (resp. $j * 26 + 52$) s
b_i^{OT}	20 €/p		

€/p : euro/unité de produit, s : semaine.

Tableau 10 : paramètres de caractérisation du modèle d'évaluation des coûts.

Résumé :

Dans un contexte économique et industriel changeant rapidement, cette thèse présente une approche d'aide à la coopération pour la planification distribuée des capacités au sein d'une chaîne logistique.

Nous proposons un outil de simulation permettant l'évaluation de comportements de planification des partenaires plus ou moins coopératifs, pour différents scénarios de comportement du marché.

En se basant sur les théories de la décision et des jeux, nous introduisons ensuite une évaluation des risques de chaque partenaire mais aussi de la chaîne dans sa globalité. Son objectif est d'orienter le choix des décideurs en matière de politiques de planification par une gestion coopérative des risques.

Une application industrielle, dans le secteur de l'électronique et des télécommunications, permet de mettre en oeuvre nos propositions.

Mots clés : Chaînes logistiques, Planification, Gestion des risques, Evaluation de performance, Coopération, Simulation.

Abstract:

In a rapidly changing economic and industrial context, this thesis presents a cooperation support approach for the distributed planning of capacities within a supply chain.

We propose a simulation tool allowing the evaluation of planning behaviors of partners acting in more or less cooperation for various scenarios of market behavior.

Applying decision and game theories, we then introduce a risk evaluation of each supply chain partner as well as the supply chain as a whole. Its objective is to direct the choice of the decision makers as regards planning policies using a co-operative risk management.

An industrial application, in the electronics and telecommunications sector, provides an implementation of our proposals.

Keywords: Supply chains, Planning, Risk management, Performance measurements, Cooperation, Simulation.