

N° d'ordre : 2468

THESE

Présentée

pour obtenir

**LE TITRE DE DOCTEUR DE
L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE**

ÉCOLE DOCTORALE : EDSYS
Spécialité : Systèmes industriels

Par : François GALASSO

Titre de la thèse Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible

Soutenue le 23 avril 2007 devant le jury composé de :

M.	Yannick FREIN	Président
M.	Bernard GRABOT	Directeur de thèse
Mme	Colette MERCÉ	Directrice de thèse
M.	Jean-Pierre CAMPAGNE	Rapporteur
M.	André THOMAS	Rapporteur
M.	Jean Paul BOURIÈRES	Membre
Mme	Caroline THIERRY	Membre

Sommaire

Sommaire	3
Remerciements	9
Introduction générale.....	11
Chapitre 1. Généralités et état de l'art.....	17
Introduction au chapitre 1	17
1. La chaîne logistique	18
1.1. Définitions de la chaîne logistique	18
1.2. Essais de définition typologiques	19
1.2.1. Structures typiques de chaînes logistiques	19
1.2.2. Entreprises et chaînes logistiques	20
2. Supply Chain Management	21
2.1. Niveaux décisionnels.....	23
2.1.1. Niveau stratégique.....	23
2.1.2. Niveau tactique.....	24
2.1.3. Niveau opérationnel	24
2.2. La modélisation SCOR.....	25
3. Intégration et collaboration : les supports aux SCM	26
3.1. Intérêt et nécessité de la collaboration	26
3.2. Les processus collaboratifs.....	27
3.2.1. Le processus Plan Industriel et Commercial	27
3.2.2. Efficient Customer/Consumer Response	28
3.2.3. Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment	29
3.2.4. Vendor Managed Inventories	30
3.3. Technologies de l'information pour le SCM.....	30
3.3.1. Les progiciels de gestion intégrés	30
3.3.2. Les nouveaux supports de la gestion de la chaîne logistique	32
Conclusion du chapitre 1	33
Chapitre 2 : Approches pour la planification des chaînes logistiques.....	35
Introduction au chapitre 2	35
1. Les éléments de la planification des chaînes logistiques	36
1.1. Grille de classification de la bibliographie en SCM	37
1.2. Exemples d'application de la grille de classification	39
2. Planification en milieu industriel : études de cas	40
2.1. Contexte de l'étude de cas.....	40
2.2. Observations.....	42
2.2.1. Influence de la taille de l'entreprise	42
2.2.2. Relations centralisées vs. point-à-point.....	42
2.2.3. Informations échangées.....	43
2.3. Bilan des études de cas.....	44
3. Travaux de recherche sur la planification des chaînes logistiques.....	45
3.1. Modèles centralisés	46
3.2. Approches distribuées	46
3.3. Approches hiérarchisées.....	47
3.4. Gestion de l'incertitude sur la demande et réactivité	48
3.4.1. Approches pour la modélisation de la réactivité	48
3.4.2. Introduction de marges dans la planification	49
3.4.3. Prise en compte de l'incertitude par la modélisation de la demande	50
Conclusion du chapitre 2.....	51

Sommaire

Chapitre 3 : Concepts pour la planification dynamique	53
Introduction au chapitre 3	53
1. Intérêts de l'étude	54
1.1. Complexité de la planification	54
1.2. Objectifs de l'étude	54
2. Caractéristiques de l'entité modélisée	55
2.1. Structure générique d'un élément d'une chaîne logistique	55
2.2. Processus et leviers décisionnels considérés	57
3. Analyse des délais limitant la réactivité	59
3.1. Délai d'anticipation	59
3.2. Délais d'obtention	60
4. Processus de planification dynamique	62
4.1. Horizon de planification	62
4.2. Planification à horizon glissant et horizons gelés	62
4.3. Besoin de visibilité sur les demandes clients	64
4.4. Interactions entre décisions	67
Conclusion du chapitre 3	72
 Chapitre 4 : Modélisation et aide à la décision	73
Introduction au chapitre 4	73
1. Modèle de planification	74
1.1. Notations	74
1.2. Modèle de planification M^r	75
2. Simulation du processus dynamique de planification	77
2.1. Contexte de simulation	77
2.2. Fonctionnement général du processus de simulation	79
3. Analyse du processus de planification dans un contexte certain	81
3.1. Données générales liées à l'exemple d'application	81
3.2. Caractéristiques du plan de référence	84
3.3. Visibilité sur la demande	87
3.4. Influence de la périodicité de planification PP	95
Conclusion du chapitre 4	96
 Chapitre 5 : Amélioration de la relation client	97
Introduction au chapitre 5	97
1. Modélisation de la demande incertaine	98
1.1. Nature de la demande client	98
1.2. Formalisation et évolution de la demande client	99
1.3. Principe d'agrégation de la demande client	100
2. Stratégies pour la planification de la demande flexible	103
2.1. Définition des stratégies de planification	103
2.2. Évaluation des stratégies à l'aide du simulateur	104
3. Exemples d'applications de l'outil de simulation	105
3.1. Caractéristiques de l'exemple	106
3.2. Profil de demande	106
3.3. Exemple d'évaluation et de choix de stratégie	108
3.3.1. Évolution des coûts selon la décomposition de l'horizon de planification	108
3.3.2. Évaluation des stratégies sans information sur le contexte	111
3.3.3. Aide au choix d'une stratégie	114
Conclusion du chapitre 5	116

Sommaire

Chapitre 6 : Amélioration des relations avec les fournisseurs	117
Introduction au chapitre 6	117
1. Motivations de l'étude.....	118
1.1. Éléments de problématique	118
1.2. Approche proposée.....	119
2. Modification des contraintes liées au fournisseur.....	120
3. Évaluation de l'introduction d'un horizon flexible pour chaque fournisseur	122
3.1. Analyse dans un contexte à demande client variant faiblement.....	122
3.1.1. Caractéristiques de l'exemple	122
3.1.2. Influence de la réactivité du fournisseur	124
3.1.3. Synthèse	127
3.2. Application aux exemples des chapitres précédents	128
3.2.1. Évaluation de la réactivité fournisseur : stratégie optimiste, pire des cas.....	128
3.2.2. Évaluation de la réactivité fournisseur : stratégie pessimiste, pire des cas	132
3.2.3. Bilan des études avec utilisation des stratégies.....	134
Conclusion du chapitre 6.....	136
Conclusion générale	137
Bibliographie.....	141
Annexes.....	149

Liste des figures :

Figure 1. Représentation d'une chaîne logistique (Lee et Billington, 1993)	18
Figure 2. Différentes structures de la chaîne logistique	20
Figure 3. La « Maison du SCM ».....	22
Figure 4. Les quatre principaux axes de travail de l'ECR	29
Figure 5. Positionnement de l'offre logicielle (source cxp)	31
Figure 6. Matrice du Supply Chain Planning (Stadtler <i>et al.</i> , 2000).....	36
Figure 7. Niveaux décisionnels considérés dans la littérature	39
Figure 8. Processus appréhendés dans les recherches actuelles.....	40
Figure 9. Structure type des chaînes considérées.....	41
Figure 10. Schéma d'une structure générale point-à-point centrée sur une unité au sein d'une chaîne logistique.....	56
Figure 11. Exemple de prise en compte du délai d'anticipation dans l'horizon décisionnel	60
Figure 12. Exemple de cumul du délai d'anticipation et du délai d'obtention	61
Figure 13. Principe du gel et du report des décisions.....	63
Figure 14. Cumul des délais d'anticipation et d'obtention.....	65
Figure 15. Lien entre le gel des décisions et la visibilité sur la demande client	66
Figure 16. Dépendances entre décisions de production, capacité et approvisionnements	68
Figure 17. Positionnement des horizons gelés des différentes décisions	69
Figure 18. Intersection des horizons gelés et des décisions anticipées	70
Figure 19. Principe de création des plans réellement implémentés	78
Figure 20. Cadre de simulation	80
Figure 21. Positionnement de la demande par rapport aux capacités cumulées	83
Figure 22. Positionnement de la demande par rapport aux capacités cumulées	84
Figure 23. Niveau de stock et profil de demande n°1	85

Figure 24. Niveau de stock et profil de demande n°2	85
Figure 25. Production et sous-traitance (profil n°1).....	86
Figure 26. Production et sous-traitance (profil n°2).....	86
Figure 27. Influence de la visibilité sur les coûts des plans implémentés (profil n° 1).....	87
Figure 28. Positionnement des délais et horizons gelés appliqués à l'exemple.....	89
Figure 29. Comparaison des niveaux de stock et de rupture (profil n°1).....	90
Figure 30. Production, sous-traitance et heures supplémentaires (profil n°1)	91
Figure 31. Évolution des achats aux différents fournisseurs (profil n°1).....	91
Figure 32. Répartition des coûts des plans implémentés (profil n° 1)	92
Figure 33. Influence de la visibilité sur les coûts des plans implémentés (profil n° 2).....	92
Figure 34. Répartition des coûts des plans implémentés (profil n° 2)	93
Figure 35. Évolution du niveau de stock (profil n°2).....	93
Figure 36. Évolution des achats aux différents fournisseurs (profil n°2).....	94
Figure 37. Production, sous-traitance et heures supplémentaires (profil n°2)	94
Figure 38. Décomposition de l'horizon de planification	99
Figure 39. Positionnement des capacités cumulées par rapport aux demandes	107
Figure 40. Comparatifs des coûts générés selon la longueur de l'horizon ferme et la stratégie	109
Figure 41. Coûts de ruptures selon la stratégie et la longueur de l'horizon ferme.....	110
Figure 42. Coûts de stockage selon la stratégie et la longueur de l'horizon ferme.....	111
Figure 43. Loi $\beta(2,7)$	112
Figure 44. Loi $\beta(7,2)$	112
Figure 45. Décomposition de l'horizon d'approvisionnement.....	120
Figure 46. Décomposition de l'horizon de planification.....	121
Figure 47. Productions en situation 1 : $T_{FF_1^r} = 6$; $T_{FF_2^r} = 4$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$	124
Figure 48. Achats en situation 1 : $T_{FF_1^r} = 6$; $T_{FF_2^r} = 4$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$	125
Figure 49. Productions en situation 2 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$	125
Figure 50. Achats en situation 2 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$	126
Figure 51. Productions en situation 3 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$	126
Figure 52. Achats en situation 3 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$	127
Figure 53. Positionnement des capacités cumulées par rapport aux demandes	129
Figure 54. Coûts d'approvisionnement du composant C2 pour la stratégie optimiste	131
Figure 55. Coûts d'approvisionnement du composant C2 pour la stratégie pessimiste	134

Liste des tableaux :

Tableau 1. Les processus « niveau 1 » du modèle SCOR.....	25
Tableau 2. Grille de classification de littérature en SCM	38
Tableau 3. Caractéristiques des éléments de production.....	81
Tableau 4. Coûts d'achats, de stockage et de rupture	82
Tableau 5. Profil de demande généré sur <i>HS</i> (profil n° 1)	82
Tableau 6. Demande générée sur <i>HS</i> (profil n°2)	83
Tableau 7. Évolution des coûts des plans selon <i>PP</i> (profil n°1)	95
Tableau 8. Exemple d'agrégation de la demande	102
Tableau 9. Caractéristiques des éléments de production.....	106
Tableau 10. Coûts d'achats, de stockage et de rupture	106
Tableau 11. Paramètres pour la production.....	106
Tableau 12. Demande générée sur <i>HS</i>	107
Tableau 13. Gains obtenus par l'application des différentes stratégies selon le contexte	114
Tableau 14. Identification des gains maximum	115
Tableau 15. Manque à gagner dû au choix d'une mauvaise stratégie.....	115
Tableau 16. Demande générée sur <i>HS</i>	122
Tableau 17. Caractéristiques des éléments de production.....	123
Tableau 18. Coûts d'achats, de stockage et de rupture	123
Tableau 19. Récapitulatif des résultats.....	127
Tableau 20. Paramètres pour l'étude de l'influence de la réactivité (stratégie optimiste)	130
Tableau 21. Coûts des plans obtenus pour chaque cas (stratégie optimiste).....	130
Tableau 22. Paramètres pour l'étude de l'influence de la réactivité (stratégie pessimiste)	132
Tableau 23. Coûts des plans obtenus pour chaque cas (stratégie pessimiste).....	132

Remerciements

En premier lieu je tiens à remercier Monsieur Daniel NOYES, Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes et Directeur de la Recherche au Laboratoire Génie de Production qui y est rattaché pour m'avoir permis d'effectuer la première partie de ces travaux au sein de son établissement. Je remercie Messieurs Malik GHALLAB et Raja CHATILA ancien et actuel directeurs du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes pour m'avoir accueilli au sein de leur laboratoire facilitant ainsi la mise en œuvre du co-encadrement de ma thèse.

Je tiens à remercier Messieurs les Professeurs Jean-Pierre CAMPAGNE et André THOMAS pour avoir accepté de rapporter ce travail. Leurs commentaires avisés et leur vision des problématiques actuelles sont un précieux atout pour la pertinence des résultats proposés. Pour leur présence au sein de mon jury de thèse et leurs questions pertinentes, je tiens à remercier Messieurs les professeurs Jean Paul BOURRIÈRES et Yannick FREIN. C'est un très grand plaisir pour moi d'avoir pu associer ces quatre noms à mes travaux.

Par leurs qualités humaines, leurs compétences, leur enthousiasme, les Professeurs Bernard GRABOT et Colette MERCE m'ont donné une des plus belles images possibles du métier d'enseignant chercheur. Ils ont su me diriger dans ses recherches en me donnant la motivation et l'autonomie nécessaire à sa réalisation. Je ne les remercierai jamais assez pour leurs précieux conseils tout au long de cette thèse.

Cette thèse est née dans le cadre d'une collaboration engageant plusieurs laboratoires. Cette collaboration m'a permis de rencontrer bon nombre de personnes qui ont su à divers moments me poser les bonnes questions et me prodiguer de justes conseils. Je pense tout particulièrement à madame Caroline THIERRY, qui a accepté de participer à mon jury et avec qui j'ai aujourd'hui la chance de travailler à l'université Toulouse 2 « Le Mirail » et à qui j'adresse mes plus sincères remerciements. Aux personnels de l'École des Mines d'Albi-Carmaux, Jacques LAMOTHE, Lionel DUPONT, Hervé PINGAUD, à ceux de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, Daniel NOYES, François MARCOTTE, Laurent GENESTE ainsi qu'au personnel du LAAS-CNRS et particulièrement du groupe MOGISA dans leurs établissements respectifs, Pierre LOPEZ, Gérard FONTAN, Marie-José HUGUET, Marcel MONGEAU, Cyril BRIAND, Patrick ESQUIROL, Jacques ERSCHLER, Jean-Claude HENNET, Christian ARTIGUES, j'adresse mes plus sincères remerciements.

Je place ici une ligne spéciale pour Mesdames, Éliane DUFOUR, Henriette DAI-PRA et Cécile de BARROS dans leurs secrétariats respectifs au LAAS-CNRS et au LGP-ENIT pour avoir facilité mes démarches administratives avec sérieux et volontarisme.

Pour les échanges fructueux que nous avons pu avoir, je remercie mes collègues doctorants Julien FRANCOIS et Jaouher MAHMOUDI. Parmi les doctorants que j'ai pu rencontrer et avec qui j'ai partagé mes joies et peines du quotidien, je remercie Yasemin, Carmen, Emmanuelle, Nabil, Christophe, Mila, Iban, Fernando, Raymond, Roberta, Gabriel, Vincent et bien d'autres encore...

Enfin, mes remerciements s'adressent à mon entourage. Ils ont su me soutenir et m'apporter leur confiance. Mes parents, mes frères, ma sœur, Fanny, Jacques, Jocelyne et mes amis qui sont désormais de brillants industriels, Sébastien, Guillaume (les deux), Arnaud, Pierrot, Julien... Je m'arrêtera ici mais que ceux qui se sentent oubliés me passent un coup de fil pour que je puisse leur exprimer ma gratitude...

Remerciements

Introduction générale

*Cette thèse s'intéresse à la planification à moyen terme de chaînes logistiques et propose une approche permettant d'améliorer les relations interentreprises au sein de la chaîne logistique. Dans cette introduction, nous dressons une rapide revue de **l'évolution du contexte économique** qui a rendu nécessaire la mise en place de démarches collaboratives interentreprises. La partie « **Éléments de problématique** » de cette introduction décrit ce qui a motivé notre approche, résumée dans la partie « **notre vision** ». Enfin, l'architecture générale de ce mémoire est présentée en fin de cette introduction dans la partie « **structure du mémoire** ».*

...Le contexte économique

Depuis les années 1950, la gestion industrielle a subi des profondes mutations modifiant les modes de gestion des entreprises. De 1950 à 1975, l'économie de production, voyant une demande plus forte que l'offre, pousse les entreprises à produire, à moindre coût, des produits peu variés. Depuis 1975, l'économie de production laisse sa place à l'économie de marché dans laquelle l'offre est supérieure à la demande et les prix sont fixés par le marché. A la même époque, au début des années 1980, le concept de chaîne logistique fait son apparition avec un programme menant à une réduction des délais de livraison dans l'industrie textile et d'habillement aux Etats-Unis (Lummus et Vokurka, 1999). L'idée que les entreprises peuvent s'inscrire dans une logique gagnant-gagnant en accroissant leurs efforts dans le partage du travail et de l'information commence à se développer.

Ainsi, l'évolution du contexte économique a fait que l'entreprise s'est vue obligée, dans un climat de concurrence accrue, d'améliorer sa maîtrise des coûts et le contrôle des trois flux caractérisant les relations d'entrepreneuriat : les flux de matières, d'informations et financiers (Stadtler et Kilger, 2000). Pour satisfaire ces « nouveaux » besoins, l'entreprise doit s'ouvrir et se décloisonner, en premier lieu, sur le plan interne, en améliorant sa communication entre services et, éventuellement, entre divers sites. Cela s'est traduit par l'apparition de structures transversales aux fonctions de l'entreprise (i.e. approvisionnements, achats, production...) gérant l'ensemble du cycle de vie du produit. Dans un deuxième temps l'entreprise doit s'ouvrir sur le plan externe au travers des relations avec ses clients et fournisseurs (Eatman et Gargeya, 2002). L'idée de considérer l'intérêt global des différentes entités prenant part au processus complet de réalisation d'un produit ou d'un ensemble de produits semble désormais largement répandue auprès des industriels. En effet, les entreprises sortent d'un paradigme dans lequel les acteurs agissent dans leur seul intérêt pour s'orienter vers une prise de décision pleinement coordonnée. Ainsi, les informations disponibles localement tendent à être mises en cohérences entre les différents acteurs pour atteindre les objectifs du système dans sa globalité (Sahin, 2005).

La recherche de compétitivité s'est de plus traduite par une spécialisation et un recentrage des activités des entreprises sur leur cœur de métier. Ainsi, dans un contexte de globalisation des échanges, cette spécialisation a eu pour effet de multiplier les relations interentreprises. Par conséquent, la coordination des différents acteurs extérieurs, développant des savoir-faire spécialisés, est devenue un défi important pour l'amélioration de la gestion de production des entreprises. Ainsi, les entreprises se sont structurées en réseaux fédérés dans le but de mieux

prendre en compte les besoins du client final à moindre coût, en essayant d'appréhender l'ensemble du processus d'élaboration d'un produit depuis la matière première. Au sein de ces réseaux, appelés chaînes logistiques, des mécanismes de collaboration sont apparus pour faciliter les relations entre un donneur d'ordres et ses sous-traitants ou fournisseurs. Ces pratiques reposent notamment sur une bonne utilisation des informations échangées.

Cette évolution économique s'est inscrite dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication qui ont facilité et favorisé ces échanges (Holland et Light, 1999). Ainsi, entre 1970 et 1975, les premiers ordinateurs permettent le développement de la logique MRP, afin de planifier les approvisionnements. A partir de 1980, les logiciels basés sur la logique MRP2 font leur apparition dans l'entreprise et sont par la suite couplés aux techniques de Juste À Temps (JAT) et de Qualité Totale pour mieux satisfaire les besoins du client. Dans les années 90, les entreprises utilisent des systèmes informatisés pour remplir des fonctions spécifiques de leurs activités (i.e. approvisionnements, production, ventes, ressources humaines, finances...). Elles commencent à s'intéresser au dialogue entre ces fonctions au travers de l'utilisation de progiciels intégrés tels que les *Enterprise Resource Planning* (ERP). L'intégration des données et des systèmes d'information a donc commencé au sein même des entreprises par l'intégration des diverses fonctions. L'étape consistant à étendre l'intégration vers les acteurs extérieurs a été possible grâce à la définition de standards de communication et l'apparition du commerce électronique.

...Éléments de problématique

Si la communication interentreprises a été facilitée par les technologies de la communication, le pilotage de l'ensemble de la chaîne logistique reste complexe. Une des raisons les plus souvent mises en avant lors des études de cas que nous avons menées est l'indépendance juridique et décisionnelle des différentes entreprises composant la chaîne. En effet, une entreprise ne possédant aucun poids hiérarchique sur ses fournisseurs, est a priori dans l'impossibilité d'intervenir dans sa gestion. Nous présenterons, dans ce mémoire, une synthèse d'études de cas pondérant et complétant cette affirmation. L'existence d'un faible couplage entre entreprises rend difficile l'application d'une gestion centralisée qui aurait une visibilité et un contrôle total de la chaîne. Les relations au sein de la chaîne logistique s'apparentent ainsi le plus souvent à un ensemble de relations point-à-point dans lesquelles les entreprises ne dialoguent, au quotidien, qu'avec leurs fournisseurs ou clients directs. Un enjeu de la gestion de la chaîne logistique consiste à établir un compromis entre l'autonomie de gestion des entreprises et la satisfaction d'objectifs globaux et communs (i.e. satisfaction du client, minimisation des stocks sur l'ensemble de la chaîne...). Ce compromis n'est possible que si chaque entreprise accepte un certain niveau de collaboration. Ainsi, l'organisation en chaîne logistique doit permettre, par un jeu de collaborations, de tendre les flux tout en garantissant des niveaux de service élevés. Un haut niveau de collaboration permettra d'accroître la visibilité de chacun sur la demande finale et facilitera une prise de décision réactive face à l'incertitude de la demande.

Pour mieux cerner le clivage important entre le paradigme de la production multi-site et la gestion quotidienne d'une chaîne logistique, nous avons mené un ensemble d'études dans des entreprises impliquées à des niveaux différents dans plusieurs types de chaînes logistiques, principalement dans le domaine aéronautique. Nous avons identifié une gestion essentiellement basée sur des relations point-à-point entre entités indépendantes utilisant un partage partiel de l'information. Cela s'explique par la maturité inégale des entreprises pour initier des processus de collaboration. Les grandes entreprises, souvent en fin de chaîne, ont implémenté des progiciels de gestion et sont conscientes de l'intérêt de collaborer avec leurs fournisseurs. En début de chaîne (i.e. au niveau des grands producteurs de matière première)

la situation est différente. Positionnées sur des marchés en oligopoles, ces entreprises jouissent d'une situation favorable les rendant quasiment incontournables. La difficulté à assurer une coordination et à acquérir une vision d'ensemble de la chaîne est forte plus particulièrement pour les Petites et Moyennes Entreprises (PMEs) qui se trouvent au centre de la chaîne logistique. Elles considèrent souvent que leur savoir-faire et les contraintes techniques sont plus importants que les contraintes liées à la gestion industrielle. Dans ce contexte particulier des PMEs, chaque entreprise possède une vision limitée de la chaîne et manque parfois d'outils efficaces pour analyser et intégrer les informations transmises par les grands donneurs d'ordres. Les décisions prises dans ces structures restent ainsi limitées à une vision locale. Cela pose un double problème de (1) prise en compte de contraintes liées aux autres entreprises (i.e. intégration des prévisions fournies par leurs clients, de délais de réactions de leurs fournisseurs) et (2) de définition de conditions optimales de production en interne (i.e. ajustements de capacité, lissage de charge).

Dans la littérature, de nombreuses approches ont traité du problème de l'optimisation des flux de matière et d'information tout au long de la chaîne logistique. Concernant plus particulièrement la gestion de la chaîne logistique, nous sommes confrontés à deux visions principales. La vision centralisée s'appuie sur des informations en provenance de tous les acteurs de la chaîne. C'est le cas, par exemple, des modèles économiques comme celui de Cachon et Fisher (2000) définissant le niveau de stock, les coûts et la demande globalement pour tous les éléments de la chaîne sans tenir compte des contraintes locales. Une deuxième approche consiste à intégrer un ensemble de centres de décisions distribués. Uliéru et al. (2002) développent ainsi une modélisation par holons qui constituent des entités autonomes organisées pour une gestion optimale de la chaîne. Néanmoins, ce cadre distribué qui introduit des degrés de liberté dans l'organisation de la chaîne, s'éloigne d'une solution d'équilibre optimale pouvant être trouvée grâce à un point de vue centralisé.

Nous constatons ici qu'il existe parfois un décalage important entre *les approches académiques supposant souvent une collaboration forte entre membres de la chaîne logistique et la réalité industrielle principalement orientée vers une gestion "point à point"* telle que nous l'avons perçue lorsque nous avons effectué les études de cas dans le cadre de cette thèse.

...Notre vision

Notre étude vise plus particulièrement les décideurs des PMEs, pour lesquelles nous avons identifié le plus fort besoin en méthodes et outils d'aide à la décision. En effet, ces entreprises souffrent plus particulièrement d'un manque de vision sur leur activité à moyen terme. Ce manque de vision réduit fortement leur capacité d'anticipation. Or, l'anticipation est un point important pour que leurs fournisseurs, dont elles ont la responsabilité devant leurs clients, puissent eux aussi s'organiser et prendre les bonnes décisions. C'est pourquoi notre approche vise le développement d'un *système d'aide à la décision* dans le cadre de *relations point-à-point*, de type client-fournisseur permettant à l'entreprise de simuler et d'évaluer différentes actions planifiées lui donnant ainsi une meilleure visibilité sur son activité.

Par conséquent, le travail présenté dans ce mémoire considère comme élément de base une entreprise qui doit gérer les relations avec ses clients et fournisseurs. Le but de notre approche est de proposer une aide à la décision reflétant le faible couplage entre entreprises mais aussi le besoin de coordination des entreprises d'une chaîne logistique. Pour cela, nous intégrons, dans un outil de simulation, un ensemble de contraintes caractéristiques (1) internes à une entreprise, (2) liées à la demande client et (3) reflétant le besoin d'anticipation nécessaire pour prendre en compte les délais de réactions de l'entreprise et de ses partenaires

amont. Un tel outil a pour vocation de proposer, simuler et évaluer différentes solutions possibles pour (1) l'intégration des contraintes temporelles liées à l'anticipation nécessaire à l'application concrète d'une décision et (2) la prise en compte d'une demande incertaine.

Dans le but de guider le décideur vers les meilleurs choix, nous utilisons une modélisation analytique basée sur un modèle linéaire en variables mixtes multipériode et multiproduit. Ce modèle prend en compte les contraintes et décisions usuelles en gestion de production et planification de la capacité (i.e. quantités produites, stockées, approvisionnées, nomenclatures, capacités limitées, passage en 2*8, heures supplémentaires etc.). Ce modèle a été implémenté avec le logiciel Xpress-MP®, et est utilisé pour la simulation d'un processus de planification à horizon glissant.

Pour l'intégration des contraintes temporelles des éléments de production (i.e. production interne, fournisseurs, sous-traitants), l'originalité de notre approche réside dans la définition d'horizons gelés spécifiques à chaque décision. En effet, les études de cas ont montré qu'un problème récurrent pour les PME est leur difficulté à avoir une vision suffisante pour anticiper leur prise de décision. Dans ce contexte, il nous a semblé judicieux de développer un outil susceptible de guider leur choix en tenant compte des délais nécessaires à la mise en place ou à la modification des décisions.

Nous proposons d'autre part une modélisation de la demande client basée sur les caractéristiques relevées lors des études de cas que nous avons pu mener. Nous définissons les choix possibles quant à l'intégration de cette demande comme des *stratégies* que le décideur pourra mettre en œuvre dans son processus de planification. Ces *stratégies* consistent à intégrer une demande en produits finis pouvant être différente de celle transmise par ses clients. En effet, la demande client est, dans un horizon temporel à moyen terme, empreinte d'incertitude. Le décideur doit pouvoir évaluer quel sera l'impact sur ses moyens et coûts de production d'une variation de cette demande incertaine.

Bâti dans une logique de facilitation de la coopération, notre modèle gère les *relations amont et aval* de l'entreprise considérée. Ainsi, il intègre à la fois les informations en provenance des clients, leur traitement, et la restitution de plans d'approvisionnement vers les fournisseurs. Dans ce cadre de support à la collaboration, nous montrons, aux travers d'exemples, l'intérêt de mieux prendre en compte la demande client et d'ajuster plus finement les capacités de réactions des fournisseurs. Nous dégageons, dans chaque cas, les intérêts de chaque acteur (i.e. clients, entreprise, fournisseurs).

...Structure du mémoire

Ce mémoire est organisé de la façon suivante :

Le premier chapitre présente un état de l'art des définitions de la chaîne logistique et de sa gestion en relation avec notre problématique. Nous en dégageons les principales orientations à donner à notre approche. Nous établissons ensuite une synthèse des principales pratiques industrielles concernant les modes de collaborations interentreprises, qui sont retranscrites dans les recherches académiques.

Le deuxième chapitre aborde plus précisément la planification des chaînes logistiques. Après une structuration des travaux de la littérature, le chapitre est orienté vers un état de l'art de terrain détaillant les points abordés dans cette introduction. Enfin, les problématiques extraites de ces études de cas nous permettent de dresser un état de l'art des recherches académiques pour justifier nos choix en termes de modélisation.

Le troisième chapitre détaille nos hypothèses et choix de modélisation. Les deux premiers paragraphes de ce chapitre présentent les objectifs de notre approche et son positionnement. Ensuite, les aspects liés à la modélisation de la réactivité sont présentés. Le dernier paragraphe de ce chapitre présente comment ces aspects sont introduits dans un processus de planification à horizon glissant.

Le quatrième chapitre présente le modèle développé ainsi que le cadre de simulation dans lequel il sera intégré. Une première application est présentée dans un contexte où la demande client est connue sur un horizon limité.

Le cinquième chapitre propose une extension de notre approche permettant la prise en compte d'une demande client incertaine. Nous montrons comment l'outil développé peut être utilisé pour apporter une aide au choix de stratégies de planification.

Le sixième chapitre présente l'utilisation de notre outil pour la gestion des relations avec les fournisseurs. Nous montrerons, par l'exemple, les avantages qui peuvent être dégagés d'un raccourcissement des délais de réaction des fournisseurs, à la fois pour ces-derniers et pour l'entreprise.

En conclusion, nous dressons un bilan des travaux menés et présentons nos perspectives de recherche.

Chapitre 1. Généralités et état de l'art

Introduction au chapitre 1

Comme nous l'avons souligné dans l'introduction générale de ce mémoire, la coordination des différentes entités de la chaîne logistique constitue un défi actuel majeur. L'axe de recherche que nous avons exposé face à ce problème consiste à définir un outil d'aide à la décision pour la planification, destiné plus particulièrement aux PME. Pour définir précisément notre problématique et les réponses à y apporter, il apparaît nécessaire d'aborder certains points issus à la fois d'un état de l'art des recherches académiques et des pratiques industrielles. Nous aborderons ainsi plus précisément ce que sont les chaînes logistiques, quels sont les principaux concepts guidant leur gestion et quelles démarches collaboratives sont aujourd'hui mises en place par les industriels.

Dans ce chapitre, nous établissons, dans la première partie, une synthèse des définitions principales de la chaîne logistique recensées dans la littérature. Dans l'optique de définir un cadre d'étude pour nos développements, nous nous intéressons aux définitions liées à la structure des chaînes pour dégager, en fin de première partie, quelques structures de réseaux d'entreprises particuliers.

En deuxième partie, nous nous intéressons plus particulièrement à la gestion de la chaîne logistique ou *Supply Chain Management*. Cette partie sera plus particulièrement orientée sur les décisions caractéristiques de la gestion des chaînes logistiques, afin de donner une vision des éléments devant être gérés par notre outil.

En troisième partie, nous aborderons les processus collaboratifs au sein de la chaîne logistique, après un bref résumé sur l'intérêt de la collaboration. Nous présenterons par la suite quelques outils actuels supportant ces processus.

1 La chaîne logistique

De nombreuses définitions ont été proposées pour la chaîne logistique. Dans cette partie, un certain nombre d'entre elles sont dégagées dans le but de rapprocher les points de vues des auteurs et de mettre l'accent sur les éléments clés apportés par chaque définition.

1.1 Définitions de la chaîne logistique

En 2001, Mentzer *et al.*, (Mentzer *et al.*, 2001) proposent une revue des définitions du terme *chaîne logistique* (*Supply Chain*) les plus représentatives dans le monde académique. Cette revue a été complétée par d'autres définitions apparues postérieurement par Mahmoudi, François et Galasso (Mahmoudi *et al.*, 2005) dans le cadre d'une revue de littérature sur la chaîne logistique, effectuée dans le cadre du groupe de recherche SCMIP¹.

Une chaîne logistique peut être vue comme 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 (Lee et Billington, 1993). Cette définition structure la chaîne logistique autour d'un produit fini et de ses composants en se focalisant sur les fonctions nécessaires à sa production. La figure 1 représente une chaîne logistique selon cette vision. Elle montre les différentes fonctions par rapport aux acteurs (fournisseur, producteur, assembleur, distributeur, client) sans pour autant distinguer qui est en charge de la réalisation de chaque fonction.

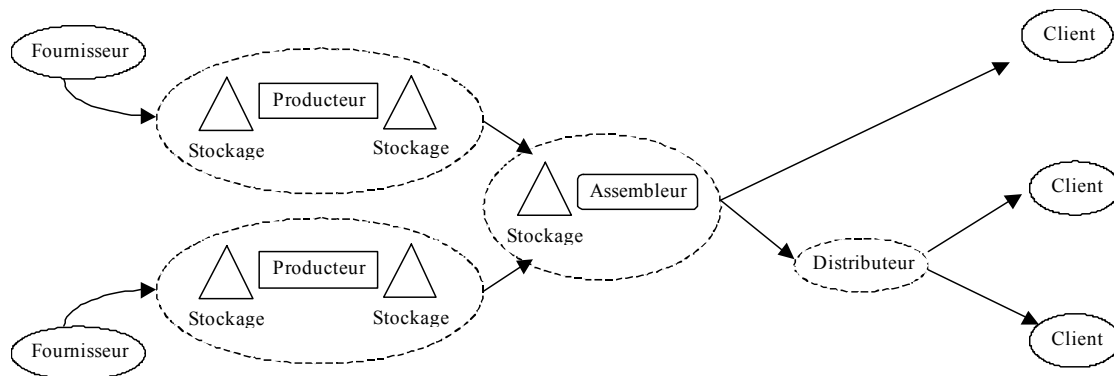


Figure 1. Représentation d'une chaîne logistique (Lee et Billington, 1993)

Un complément peut être apporté à cette définition en notant que les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production (Ganeshan *et al.*, 1995).

Au-delà de l'aspect produit, la chaîne logistique peut être définie comme 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 (Tayur *et al.*, 1999). Cette définition qui conserve les activités liées à l'élaboration des produits fait apparaître la notion de *flux matériel* et de *flux d'information* comme élément reliant les entités constituant la chaîne logistique.

¹ SCMIP : Supply Chain Midi-Pyrénées : Groupement informel de laboratoires de recherche des régions Midi-Pyrénées et Aquitaine de la France abordant les problèmes liés à la chaîne logistique. Quelques-uns des membres actuels sont : l'École de Mines d'Albi-Carmaux ; le CERT, laboratoire de l'ONERA ; le LGP, laboratoire de l'ENIT ; le LAAS, laboratoire du CNRS ; le LAPS, laboratoire de l'Université Bordeaux I.

Plus récemment, Génin (2003) définit la chaîne logistique comme un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la rapidité des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Cette définition met en valeur un point clé dans l'organisation des chaînes logistiques : la dispersion géographique des centres de fabrication de la chaîne logistique. Cette dispersion entraîne des besoins de coopération entre ces sites pour améliorer, de façon globale, l'efficacité de la production.

Bien que ces définitions mettent en évidence une cohérence quant à la finalité de la chaîne logistique (la prise en compte de toutes les étapes de l'élaboration d'un produit), elles se distinguent par leur approche. Dans (Thierry *et al.*, 2001) sont distinguées notamment les approches définissant les chaînes logistiques pour des *produits* de celles définissant les chaînes logistiques des *entreprises*. Les chaînes logistiques orientées produit se basent sur les flux de matière nécessaires à l'élaboration d'un produit ou d'une famille de produits. Les approches considérant la chaîne logistique d'une entreprise considèrent l'entreprise comme élément central, puis l'ensemble des acteurs avec qui elle est en relation.

1.2 Essais de définition typologiques

Les définitions précédentes donnent une vision générale de la chaîne logistique. Elles se situent à un niveau d'abstraction et ont une vision globale qui n'offre pas de détails sur la structuration des éléments qui composent la chaîne. Par exemple, ces définitions ne permettent pas de juger d'aspects dimensionnels tels que la taille ou le positionnement des sites de production, de distribution, etc.

1.2.1 Structures typiques de chaînes logistiques

La définition de structures de chaînes logistiques reflétant l'ensemble des cas réels est difficile tant la variété des types de fabrications et des périmètres de chaînes est grande. Dans le but de définir un cadre à notre étude, il est important de connaître les structures typologiques usuelles rencontrées dans la littérature sur lesquelles sont basées les modélisations existantes. Certains auteurs se sont attachés à extraire des cas réels des typologies caractéristiques (Croom *et al.*, 2000 ; Huang *et al.*, 2003).

Par exemple, Huang *et al.*, (2003) décomposent précisément les structures typiques de chaînes logistiques en : *Série* ; *Divergente* ; *Dyadique* ; *Convergente* et *Réseau* présentées en figure 2. Ces structures typiques ont pour but d'offrir des cadres de modélisation pour l'étude des chaînes logistiques et sont orientées sur des processus spécifiques. La structure *série* correspond à un procédé de fabrication linéaire et vertical. Cette structure peut être utilisée, par exemple, pour étudier l'influence de la propagation de l'information sur l'ensemble de la chaîne. La structure *divergente* permet de modéliser un réseau de distribution avec pour objectif, par exemple, d'étudier la localisation des sites de distribution ou leur dimensionnement. La structure *convergente* représente un processus d'assemblage dans lequel le choix des fournisseurs peut être un sujet d'étude. La structure *réseau* est la composition d'une structure convergente et divergente permettant de prendre en compte des chaînes logistiques plus complexes. Enfin, la structure *dyadique* peut être vue comme un cas particulier d'une chaîne en série limitée à 2 étages. Elle peut servir de base à l'étude de relations client/fournisseur ou donneur d'ordre/sous-traitant.

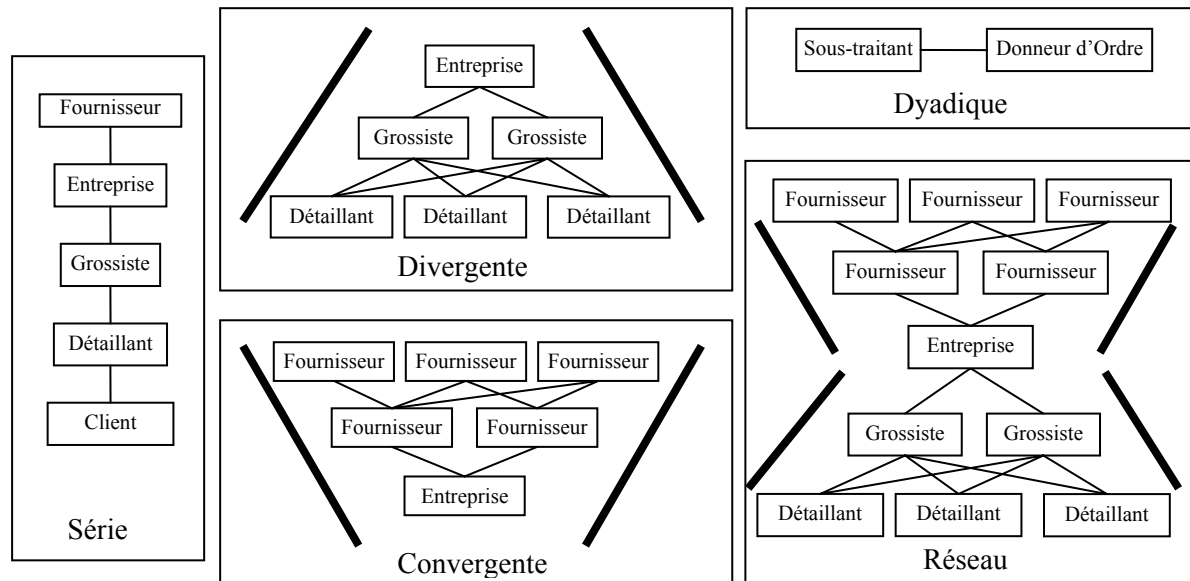


Figure 2. Différentes structures de la chaîne logistique

La principale critique que l'on peut faire de ces structures est qu'elles ne traduisent pas clairement la possibilité pour un élément d'apparaître sur plusieurs rangs de la chaîne. En effet, l'assemblage d'un produit fini peut nécessiter aussi bien des pièces élémentaires standards que des sous-ensembles complexes. Pour leur réalisation, ces sous-ensembles vont nécessiter aussi un ensemble de pièces élémentaires. Ainsi, le fournisseur de ces pièces élémentaires, sera en contact direct avec l'entreprise d'assemblage en fin de chaîne logistique et en contact indirect par l'intermédiaire du fournisseur de sous-ensembles. De même, dans le cadre d'un réseau de distribution, une entreprise peut, dans certains cas, être directement en relation avec des détaillants sans passer par un grossiste. De plus, ni les relations de sous-traitance ni les retours de pièces (chaîne logistique inverse) ne sont décrits.

Dans le cadre de notre étude, il sera nécessaire de proposer un modèle positionnant l'entreprise considérée comme élément central d'un ensemble de fournisseurs, sous-traitants et clients. La structure la plus proche, adoptant une entreprise comme élément central de la chaîne logistique, est la structure réseau. C'est sur la base de cette structure que nous développerons, dans le chapitre 3, une modélisation plus fine du périmètre de notre étude.

1.2.2 Entreprises et chaînes logistiques

Une chaîne logistique peut être composée d'une ou plusieurs entreprises qui peuvent être juridiquement indépendantes. Au-delà des aspects structurels que nous avons évoqués dans la partie précédente, les objectifs liés à la création du réseau donnent lieu à une terminologie particulière. Il est possible de dégager quelques grandes catégories en fonction des objectifs de ces groupements d'entreprises.

On parle d'*entreprise multi-site* lorsque les différentes activités (approvisionnement, production, distribution...) de la chaîne logistique sont effectuées dans des sites géographiquement distribués mais appartenant à la même entreprise, i.e. à la même structure juridique.

Dès lors que la chaîne logistique intègre plusieurs structures juridiquement indépendantes, d'autres termes peuvent être employés.

On appelle *réseau d'entreprises* un ensemble d'entreprises entrant en communication pour répondre à un besoin précis. Les réseaux d'entreprises se distinguent d'une chaîne logistique car ils ne sont pas obligatoirement orientés sur le processus d'élaboration complet d'un produit fini donné. En effet, un partenariat horizontal (entre entreprises de même activité) est par exemple possible autour de l'échange de bonnes pratiques. Cette terminologie est très générale et peut inclure les chaînes logistiques.

Une *entreprise étendue* correspond à un réseau d'entreprises différentes mais partageant un système de gestion de manière plus ou moins complète dans le sens où il peut s'agir du système de gestion en tant que tel ou d'un standard commun permettant l'interopérabilité des systèmes de gestion des entreprises impliquées. Le partenariat entre les différentes entreprises est considéré de manière pérenne.

L'*entreprise virtuelle* est considérée comme une organisation temporaire dans laquelle un ensemble de partenaires industriels forme un réseau collaboratif pour atteindre un objectif précis auquel ils n'auraient pu répondre seuls. Kim *et al.*, (2006) reprenant les travaux de Camarinha-Matos et Afsarmanesh (2003) présentent un ensemble de mots-clés caractérisant les entreprises virtuelles :

- Organisation en réseau ou distribuée
- Coopération et complémentarités
- Organisation temporaire
- Infrastructure supportant les interactions

Il semble intéressant de rajouter à cette définition que ces entreprises virtuelles se constituent, avec reconfiguration possible, autour d'un projet à durée de vie limitée. L'intérêt de ces entreprises virtuelles est de pouvoir cumuler les savoir-faire spécifiques des entreprises pour gérer la totalité du cycle de vie du projet (en incluant les phases de définition, conception, fabrication/réalisation, commercialisation, marketing...) (Nayak *et al.*, 2001).

2 Supply Chain Management

S'il existe un grand nombre de définitions pour caractériser la chaîne logistique, il en existe sûrement autant pour définir le *Supply Chain Management* (SCM), ou *gestion de la chaîne logistique intégrée*. Le SCM peut être vu comme un concept développé par les entreprises pour apporter une réponse à une demande client personnalisée en termes de qualité et de service (Müller, 2003). Ainsi, le SCM a pour premier objectif d'éliminer les barrières qui limitent la communication et la coopération des différents membres d'une chaîne logistique (Fawcett, 2000 ; Müller, 2003).

Reprenant ce principe de mieux coordonner les différentes entités de la chaîne afin d'offrir une meilleure réponse aux besoins des clients, Stadtler *et al.* (2000) définissent le SCM comme la tâche d'intégrer les unités organisationnelles tout au long de la chaîne logistique et de coordonner les flux de matière, d'information et financier dans le but de satisfaire la demande du client (final) en ayant pour but d'améliorer la compétitivité de la chaîne dans son ensemble.

Les différents aspects du SCM présentés dans la définition de Stadtler sont rassemblés pour former ce qu'il appelle la « Maison du SCM », présentée en figure 3.

Le toit de cette « maison » correspond aux objectifs du SCM en termes de réponse aux *besoins des clients* et de *compétitivité* de la chaîne logistique. Ces objectifs reposent sur deux

pilliers qui sont, d'une part l'*intégration* du réseau formé par les différents partenaires de la chaîne et, d'autre part, la *coordination* des différents acteurs du réseau.

Le pilier de l'*intégration* concerne la création de la chaîne logistique et des partenariats entre les différents acteurs. La première étape est donc de *choisir les partenaires* qui apporteront des savoir-faire permettant d'une part de satisfaire les contraintes techniques et économiques pour la fabrication des produits mais apportant d'autre part un potentiel d'évolution leur permettant de s'inscrire dans une vision moyen terme, avec des perspectives d'amélioration de compétitivité. La deuxième étape est l'organisation du réseau et l'organisation collaborative. Cela consiste à établir des relations entre entités juridiquement indépendantes mais liées économiquement. La relation collaborative et notamment la définition de stratégies gagnant-gagnant doit être instaurée pour qu'aucun partenaire ne se sente lésé et menace la viabilité de la chaîne. Des stratégies incluant des compensations financières peuvent théoriquement être instaurées dans ce sens, bien que de telles pratiques semblent rares dans la réalité. Enfin, la *conduite et l'animation* de la chaîne concernent la prise de décisions la concernant dans sa totalité. Ces décisions peuvent être prises soit par une entreprise qui justifierait d'une influence majeure au sein du réseau, soit par un comité de pilotage. Ces décisions peuvent concerner l'introduction ou l'éviction d'un partenaire, ou encore la définition d'une stratégie commune aux différents acteurs.

Le pilier *coordination* concerne la gestion des trois flux matière, information et financier.

Cette coordination repose sur l'utilisation des nouvelles *technologies de l'information et de la communication* qui permettent de véhiculer et de traiter l'information sur des sites distants. L'*orientation processus* a pour but d'améliorer l'ensemble des activités liées à la fabrication et à la commercialisation des produits. Enfin, la planification avancée (au moyen d'un APS par exemple, *Advanced Planning System*) introduit une hiérarchisation des étapes de planification selon l'horizon temporel considéré (long-terme, moyen-terme et court-terme).

Les fondations reprennent globalement les différents aspects de la gestion industrielle qui vont favoriser le développement du SCM.

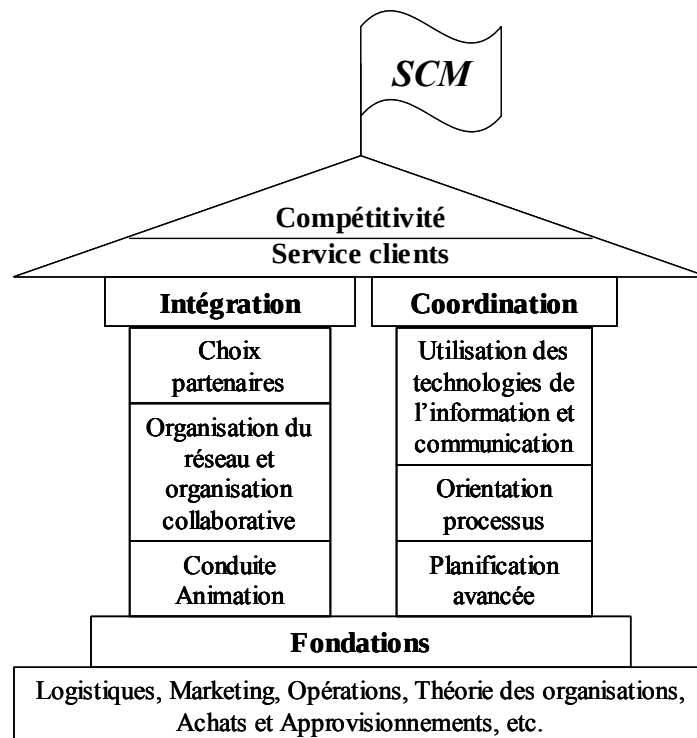


Figure 3. La « Maison du SCM »

La vision présentée par Stadtler *et al.*, (2000) donne les grandes orientations de ce que peut être le *Supply Chain Management* ainsi que de ses implications pour les entreprises. Néanmoins, comme nous l'avons évoqué en introduction générale et comme nous le développerons dans le chapitre 2, tous ces concepts ne sont pas réellement appliqués au même niveau par les entreprises. Beaucoup de facteurs peuvent en effet entrer en jeu pour freiner leur acceptation d'une vision orientée *Supply Chain Management*.

Pour chaque élément présenté dans cette « maison du SCM », des décisions servant à coordonner les différentes actions devront être prises. Ces décisions auront des portées différentes selon le niveau décisionnel auquel elles se rapportent. En paragraphe 2.1., nous présentons quelques décisions caractéristiques pour la gestion de la chaîne logistique.

2.1 Niveaux décisionnels

Dans le cadre de la gestion des chaînes logistiques, et plus largement des systèmes industriels, trois niveaux de décisions sont généralement définis (Anthony, 1965). Il s'agit des niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Ces niveaux sont repris par un grand nombre d'auteurs (Ganeshan, 1999 ; Shapiro, 1999 ; Huang *et al.*, 2003 ...).

2.1.1 Niveau stratégique

Ganeshan (1999) décompose le niveau stratégique suivant les problèmes étudiés dans cet article, à savoir : (1) la définition d'objectifs communs pour l'ensemble des acteurs de la chaîne, (2) la conception ou structure physique de la chaîne (choix des partenaires, délocalisation,...), (3) la relance de la compétitivité, par exemple par la planification stratégique, et (4) l'évolution de la nature stratégique du management de la chaîne logistique.

D'après Miller (2001), les décisions de planification de la chaîne logistique concernant le niveau stratégique sont les suivantes :

- Localisations, missions et relations des usines et entrepôts. (i.e., conception des infrastructures et réseaux),
- Positionnement des nouvelles usines et fermetures de sites,
- Positionnement de nouveaux entrepôts et fermetures,
- Niveaux de capacité des usines et entrepôts,
- Acquisitions de biens technologiques et d'équipements pour usines et entrepôts,
- Conception d'usines et d'entrepôts,
- Répartition entre biens achetés et utilisation de ressources d'un tiers (par ex. décisions de sous-traiter),
- Réseaux de transports et prestataires de transport,
- Choix du type de gestion de production (par ex. fabrication à la commande, fabrication sur stock).

Ces décisions sont de première importance pour l'entreprise et concernent une vision à long terme. Ainsi, compte tenu de l'évolution rapide des marchés, ces décisions vont nécessiter une grande prise de risque de la part de l'entreprise. En effet, le choix d'accroître ou non sa capacité de production en installant une nouvelle usine sera réellement judicieux si la demande, au moment où l'usine sera en fonctionnement, correspond à celle prévue au moment de la prise de décision.

2.1.2 Niveau tactique

Le niveau décisionnel tactique va s'intéresser aux décisions à moyen et long terme qui devront être mises en application pour développer la stratégie décidée par l'entreprise.

D'après Miller (2001) les décisions de planification de la chaîne logistique concernant le niveau tactique sont les suivantes :

- Affectation des capacités de production aux familles de produits par usine, souvent en considérant des périodes temporelles de taille « moyenne » (par exemple, trimestriellement),
- Taux d'utilisation des capacités planifiées en fabrication, par usine et au niveau du réseau,
- Besoins en main d'œuvre (niveaux nominal et d'heures supplémentaires),
- Allocation des sources d'approvisionnement aux usines, centres de distribution et détaillants par région ou pays,
- Gestion des transferts intersites (par ex. entre centres de distribution),
- Plans d'investissements et de déploiement des stocks,
- Modes de transports et choix des transporteurs.

L'ensemble de ces décisions ne représente qu'une partie de toutes les décisions pouvant être prises au niveau tactique. Il est toutefois possible de dégager un certain nombre de caractéristiques communes entre ces décisions comme, par exemple, la portée temporelle donnée à chacune de ces décisions qui est d'environ 12 mois et qui peut s'étendre jusqu'à 2 ans. Elle tient compte essentiellement des délais liés au cycle complet de fabrication, englobant le délai maximum d'approvisionnement, de production, et de mise sur le marché.

2.1.3 Niveau opérationnel

Les décisions prises au *niveau opérationnel* auront une portée plus limitée dans l'espace et dans le temps. A ce niveau, les décisions tactiques vont être déclinées de manière à ce qu'elles soient applicables au niveau d'un site de fabrication ou, plus vraisemblablement, d'un atelier. De plus, Giard (2003) inclut dans le cadre des décisions opérationnelles les décisions liées au suivi de la production en *Temps Réel*. Ces décisions concernent l'évolution, le suivi et le contrôle d'éléments du système de production jouissant d'une certaine autonomie, tels que des magasins automatiques, des machines outils à commande numériques etc.

De manière plus exhaustive, Miller (2001) propose l'ensemble de décisions associées au niveau opérationnel suivant :

- Ordonnancement quotidien et hebdomadaire au niveau des unités de stockages (*Stock Keeping Units, SKU*) incluant la gestion des priorités,
- Equilibrage et correction des stocks à court terme,
- Traitement et ordonnancement des commandes clients,
- Ordonnancement et gestion des entrepôts,
- Ordonnancement de la main d'œuvre pour la fabrication et l'entreposage,
- Ordonnancement des tournées de véhicules,
- Sélection des transporteurs pour les chargements non groupés,
- Supports logistiques pour les lancements individuels (par ex. lancements d'approvisionnements directs spécifiques).

Au regard de ces différentes décisions, notre problématique nous porte vers le niveau décisionnel tactique. Ainsi, nous considérons, d'une part, que la structure du réseau est définie

en excluant les problèmes liés aux positionnements des sites et, d'autre part, nous excluons de notre étude les décisions opérationnelles liées à la gestion fine des ordres de fabrication.

2.2 La modélisation SCOR

On trouve également dans la littérature d'autres définitions, centrées sur une entreprise donnée (Kearney 1994 ; Poirier *et al.*, 2001). Ces définitions cherchent à caractériser la gestion de la chaîne logistique par une analyse des processus principaux qui vont cadrer leur fonctionnement. Dans ce cas, il ne s'agit plus d'aborder la chaîne logistique d'un produit donné, mais d'adopter le point de vue d'une entreprise qui doit gérer un ensemble de fournisseurs et de clients.

Dans cette optique, des modèles de chaîne logistique sont proposés. Le modèle le plus largement répandu pour répondre à cette définition orientée entreprise est le « *Supply Chain Operations Reference model* » (SCOR)², développé par le *Supply Chain Council* (SCC), organisation à but non lucratif rassemblant des entreprises et organisations désireuses d'apporter des avancées et d'appliquer l'état de l'art sur la gestion de la chaîne logistique et ses pratiques.

Le modèle SCOR a pour but de prendre en compte l'ensemble des interactions avec le client, toutes les transactions liées au produit et à la compréhension du marché grâce à une bonne interprétation de la demande agrégée jusqu'à la bonne réalisation des commandes. Pour cela, un ensemble de processus de référence est proposé, auxquels sont associés des indicateurs de performances permettant à l'entreprise de s'évaluer.

Pour réaliser leur évaluation, les entreprises peuvent utiliser les processus standard de SCOR. Ces processus, dont le « niveau 1 » est présenté et défini dans le tableau 1, peuvent être décomposés sur trois niveaux de détails modélisant de manière de plus en plus précise le fonctionnement de l'entreprise.

SCOR Process	Définitions
<i>Plan</i>	Processus permettant d'équilibrer la demande agrégée et les approvisionnements pour développer un plan d'actions qui prend au mieux en compte les approvisionnements, la production et les besoins en livraisons
<i>Source</i>	Processus permettant l'approvisionnement des biens et services pour satisfaire la demande prévisionnelle ou actuelle
<i>Make</i>	Processus de transformation des produits à un état fini pour satisfaire la demande prévisionnelle ou réelle
<i>Deliver</i>	Processus qui fournissent des produits finis ou services pour satisfaire la demande réelle ou prévisionnelle en incluant typiquement, la gestion des commandes, la gestion du transport et la gestion de la distribution
<i>Return</i>	Processus associés au retour ou à la réception de produits retournés pour diverses raisons. Ces processus s'intègrent au service après-vente

Tableau 1. Les processus « niveau 1 » du modèle SCOR

La gestion des retours (processus « *return* ») constitue une problématique particulière que nous excluons volontairement de cette thèse. Ce processus est lié à des contraintes légales définissant le contexte environnemental pour la gestion des déchets et des produits en fin de vie (Houé et Grabot, 2006). Le lecteur souhaitant plus d'informations sur ce sujet peut se référer à Lambert et Riopel (2006) pour une modélisation mathématique de la gestion des retours de déchets associée à un réseau de distribution ; ou Prahinski et Kocabasoglu (2006)

² source : <http://www.supply-chain.org/>

pour une revue étendue de la problématique de la chaîne logistique inverse, incluant notamment des opportunités de recherche vis-à-vis des problématiques actuelles.

3 Intégration et collaboration : les supports aux SCM

3.1 Intérêt et nécessité de la collaboration

Les dictionnaires proposent une définition générique du terme "collaborer" qui résume la collaboration au fait de participer à une entreprise commune. Au-delà de la collaboration, on retrouve un certain nombre de termes qui nuancent cette notion, tels que coopération, communication, coordination ou partenariat. Apparemment synonyme de coopération, la collaboration, s'en distingue par la réalisation d'un travail commun (du latin « *laborare* ») au lieu de la réalisation d'une opération (du latin « *operare* »). La mise en communication de deux acteurs, la coordination ou le partenariat présentent néanmoins quelques nuances vis-à-vis de la collaboration en fonction de la périodicité des échanges et les entités échangées.

Au-delà de ces mots aux significations proches, la définition même de la collaboration évolue selon le contexte dans lequel se positionnent les différents acteurs. Dans son mémoire de thèse, Olivier Telle (2003) a mis en exergue les différentes déclinaisons qui peuvent être réalisées à partir de cette définition. Par exemple, et sans but d'exhaustivité, il cite Maggi (1996) qui, dans une approche Sciences Humaines et Sociales, définit la collaboration comme des actions collectives finalisées et développées pour dépasser les propres limites individuelles. Dans Erschler *et al.* (1993) la collaboration est vue comme une (re)négociation de contraintes entre différents centres de décisions.

Le bon fonctionnement de la collaboration est lié à l'attitude des personnes impliquées dans le processus de partage de l'information. Ainsi, Kolekofski et Heminger (2003) montrent que les convictions (i.e. appréhension, craintes ou au contraire, considération) au regard du type d'information échangé, des relations interpersonnelles, de facteurs organisationnels au niveau de l'entreprise et de la pertinence des tâches demandées vont influencer la propension à échanger de l'information.

Comme cela a été évoqué, la mise en place de systèmes d'information peut viser le découplage interne des entreprises pour améliorer leur possibilité de collaboration. Les aspects humains peuvent constituer un frein majeur à la mise en commun des applications cherchant à développer et à faciliter les échanges intra entreprises (Al-Mashari et Zairi, 2000). Par exemple, Lothia et al., (2004) mettent en évidence dans une enquête menée au Japon que la réussite d'un projet de mise en place de l' *Efficient Customer Response*, (ECR, que nous détaillerons dans le chapitre suivant), méthodologie recherchant l'optimisation et la maîtrise des coûts et délais dans la chaîne logistique, dépendra fortement de l'implication des fournisseurs, sous-traitants et distributeurs en relation avec l'entreprise. De plus, ils décomposent les facteurs d'échec d'une implémentation des principes de l'ECR en deux grandes catégories. La première concerne un manque d'aptitudes, à la fois sur le plan des compétences humaines et des capacités techniques. La deuxième regroupe les problèmes relatifs à l'attitude de méfiance des intervenants, qui concernent aussi bien des collaborateurs tels que les fournisseurs ou les distributeurs que les personnels internes à l'entreprise.

Cette nécessité de convaincre de l'utilité de la mise en place de processus collaboratifs montre bien l'importance d'acquérir une vision claire des concepts que l'on veut mettre en pratique pour le développement de la chaîne logistique. Chaque interlocuteur doit avoir conscience des gains attendus et doit pouvoir s'impliquer de manière cohérente par rapport

aux objectifs globaux d'amélioration (Campagne et Sénéchal, 2002). Ce besoin de rendre compte de l'intérêt de la collaboration nous conforte dans notre approche de créer un outil d'aide à la décision pour la planification de la chaîne logistique.

Dans la partie 3.2, nous proposons un récapitulatif des principaux processus collaboratifs utilisés dans la gestion de la chaîne logistique.

3.2 Les processus collaboratifs

Dans cette partie, nous abordons les méthodes développées pour favoriser la collaboration entre clients et fournisseurs, et appliquées dans l'industrie. Cette partie débutera par un processus collaboratif concernant les relations internes à l'entreprise : le processus visant à établir le Plan Industriel et Commercial, dans lequel il va falloir aussi tenir compte des caractéristiques des fournisseurs et de l'incertitude sur les commandes client. D'autres processus plus particuliers, l'*Efficient Customer Response* (ECR), le *Collaborative Planning, Forecasting and replenishment* (CPFR) et le *Vendor Managed Inventory* (VMI), seront ensuite abordés pour réorienter l'étude sur des processus collaboratifs interentreprises.

3.2.1 Le processus Plan Industriel et Commercial

Le Plan Industriel et Commercial (PIC) est défini par l'*American Production and Inventory Control Society* (APICS) comme suit :

« C'est un processus qui permet aux décideurs de gérer leur entreprise stratégiquement, de manière à tirer un avantage compétitif sur une base d'amélioration continue en intégrant des *plans marketing* centrés sur le client pour des produits nouveaux et existants au *Supply Chain Management*. Ce processus rassemble tous les plans de l'entreprise (ventes, marketing, développement, production, approvisionnement et financier) dans un ensemble de plans intégrés. Le processus doit réconcilier les plans d'approvisionnement, de demande et d'introduction de nouveaux produits aux niveaux à la fois agrégés et détaillés et être lié au plan d'activités de l'entreprise. Il s'agit donc d'établir des plans à court et moyen termes qui couvrent un horizon suffisant pour planifier les ressources et appuyer le processus de planification annuel de l'entreprise. »

Le PIC est un nouvel enjeu pour les entreprises car il constitue un point essentiel pour l'élaboration de leur stratégie. Le PIC est le point d'entrée de la prise en compte de la demande client. Son objectif principal est de combiner la stratégie de développement de l'entreprise et les prévisions pour dimensionner la chaîne logistique par famille de produits à fabriquer dans les mois à venir.

Des techniques sont possibles pour diminuer l'erreur sur les prévisions :

1. Grouper les produits par famille,
2. Tenir compte des données les plus proches de l'instant « t »,
3. Les associer à un suivi d'erreur et les recalculer régulièrement.

Le PIC va donc assurer le rôle d'interface entre la fonction financière et la production. En effet, il est important de valuer le niveau de stock et de le comparer à la capacité financière de l'entreprise.

Cette interface se fera en fonction :

1. De la demande du marché,
2. Des prévisions de ventes,
3. Des capacités de production évaluées en grandes masses sur un fournisseur de manière agrégée ou sur des postes goulots.

C'est la prise en compte de toutes ces données qui permettra le dimensionnement de la chaîne logistique. Ce dimensionnement permettra d'ajuster le système que constitue la chaîne logistique au plus près de la réalité. Associé à une vision à plus long terme, « l'effet *bullwhip* » (Forrester, 1961 ; Angerhofer *et al.*, 2000) générant des impulsions et un phénomène de création de commandes supplémentaires en réponse à ces impulsions pourra être diminué.

Il n'existe pas de modèle général pour établir le PIC. Chaque entreprise définit son propre mode de fonctionnement pour l'établir et choisir les acteurs qui seront pris en compte dans cette réflexion. Un PIC se bâtit avec un horizon à long terme (environ 18 mois) avec une période gelée de l'ordre de 2 mois. Chaque entreprise va définir d'après son expérience l'intérêt qu'elle aura à adopter une vision à terme plus ou moins long. En effet, plus on s'éloigne de l'instant « t » plus les prévisions seront imprécises. Certaines entreprises vont donc préférer réduire leur champ de vision. Cela est valable aussi du point de vue du fournisseur, qui aura des prévisions sur les commandes passées par le donneur d'ordre à horizon variable.

3.2.2 Efficient Customer/Consumer Response

L'objectif principal de l'ECR est d'offrir un cadre de travail collaboratif pour permettre de mieux satisfaire les besoins du client ou du consommateur tout en améliorant la rapidité de réponse et en réduisant les coûts.

L'ECR est apparu au milieu des années 1990 avec l'émergence de principes de management collaboratifs des chaînes logistiques liés à l'objectif de mieux satisfaire le client. Ce sont les avancées dans les technologies de l'information, la compétition accrue, les structures d'entreprises globales et la demande de plus en plus personnalisée des clients, ciblée et d'un haut niveau de qualité qui sont le cœur de l'ECR. L'évolution des marchés a donc nécessité l'introduction de nouveaux moyens pour livrer les bons produits au meilleur prix. Selon Le Run (2003) « l'ECR répond à la nécessité d'une chaîne logistique communicante qui doit garantir les liens et les enchaînements entre production, gestion des stocks, distribution et processus en contact avec le client de manière totalement continue. ». La figure 4 présente les éléments clés de la démarche ECR (source : www.ecrnet.org).

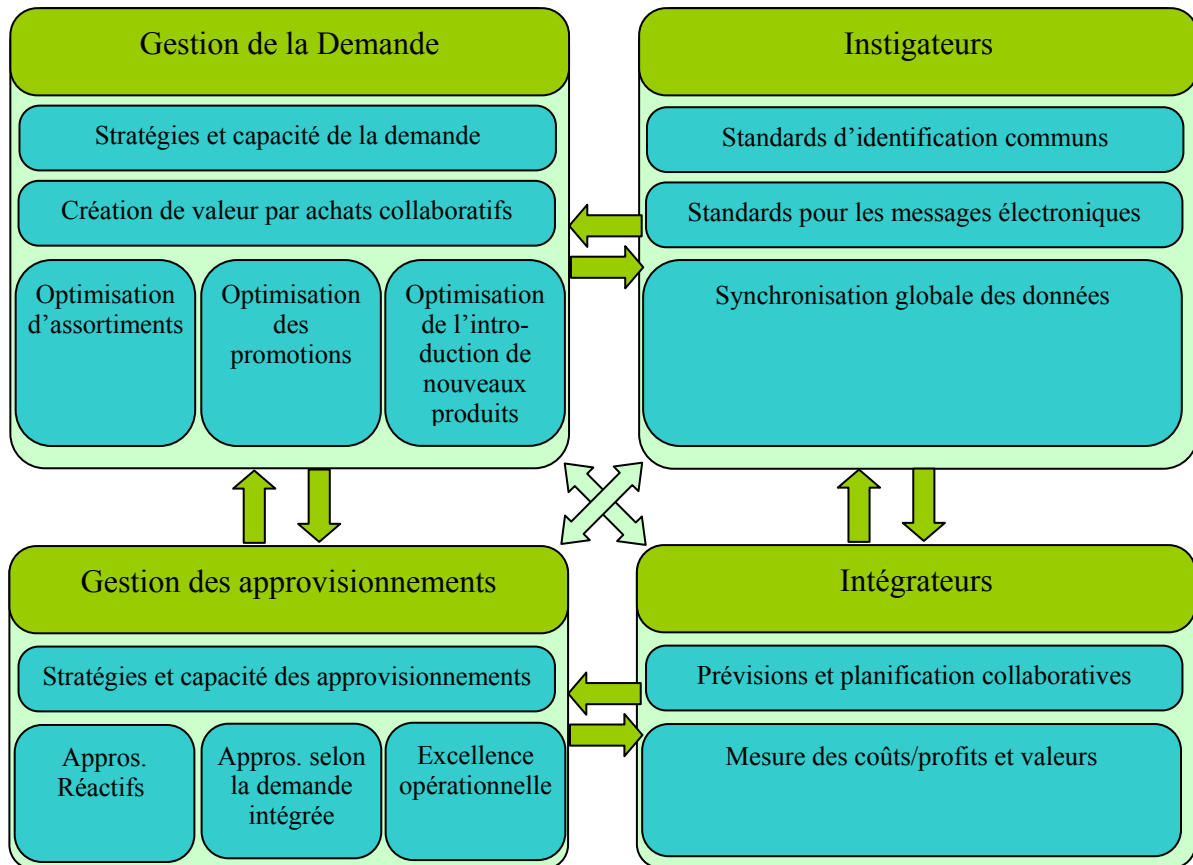


Figure 4. Les quatre principaux axes de travail de l'ECR

L'axe *Gestion de la Demande* de l'ECR est dédié à la compréhension et à la gestion de la demande en produits et services.

Les *instigateurs* sont focalisés sur le développement des éléments nécessaires à l'identification des produits, à la gestion et au traitement des données permettant une communication fiable ainsi qu'au suivi du flux matière entre les partenaires.

Les concepts contenus dans la partie *Gestion des Approvisionnements* de l'ECR ont pour objectif d'apporter une réponse aux besoins de réaliser des approvisionnements rapides et fiables en considérant l'ensemble de la chaîne logistique.

Le dernier domaine de l'ECR concerne la partie *Intégrateurs* qui rassemble les concepts liés à l'intégration des processus d'échanges d'informations entre partenaires au sein de la chaîne logistique. Les deux principaux concepts inclus dans ce domaine sont d'une part le *CPFR* et les relations *E-business* qui vont modifier profondément les relations interentreprises et que nous détaillerons dans les sous-parties suivantes.

3.2.3 Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment

Le *Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment* (CPFR) a été publié pour la première fois en 1998 (www.cpfr.org) par la *Voluntary Interindustry Commerce Standards* (VICS), association à but non lucratif dont l'objectif est de définir des standards et bonnes pratiques pour la collaboration interentreprises.

L'objectif du CPFR est de conduire les partenaires d'une chaîne logistique à partager leurs informations pour définir des plans qui peuvent tenir compte d'informations détenues localement. En effet, le partage de l'information est un facteur important pour l'efficacité de la chaîne logistique (Gavirneni, 2001 ; Thonemann, 2002). Il est notable que le partage d'information permet de réduire les coûts mais aussi l'effet *Bullwhip* (Fu et Piplani, 2004).

Néanmoins, il est important de souligner que le CPFR n'est pas limité à l'échange de politiques de réapprovisionnement mais concerne des liens plus profonds, dans l'optique d'établir des prévisions uniques qui prennent en compte quatre tâches principales :

- Exécution : gestion collaborative des transactions,
- Gestion de la demande et des approvisionnements : gestion collaborative de la chaîne logistique,
- Stratégie et planification : planification des ventes et opérations promotionnelles collaborative,
- Analyse : collaboration perspicace et développement de produits collaboratif.

3.2.4 Vendor Managed Inventories

Le *Vendor Managed Inventories* (VMI) est un concept issu du CPFR. Avec le VMI, les relations dans la chaîne logistique sont un peu inversées. En effet, c'est le producteur ou le fournisseur qui gère les stocks de produits chez le distributeur ou le client. Par conséquent, les décisions de réapprovisionnement sont prises par le fournisseur et non plus par le client (Chopra et Meindl 2001). Néanmoins, cela suppose que les fournisseurs aient un accès aux niveaux de stocks et aux prévisions de ventes chez le client pour pouvoir définir une politique de réapprovisionnement cohérente vis-à-vis de la consommation (Rohde, 2000).

3.3 Technologies de l'information pour le SCM

La globalisation des échanges et le besoin de réactivité accrue ont rendu nécessaire l'adaptation des entreprises à des modes de gestion de l'information facilitant sa mise à disposition et accélérant son flux sur l'ensemble de la chaîne. Nous avons évoqué dans le paragraphe 3.1 que les aspects humains sont de première importance pour que la collaboration se déroule dans de bonnes conditions. Néanmoins, l'implémentation d'outils supports à la collaboration ne doit pas être négligée pour favoriser une collaboration efficace. Les technologies de l'Information (IT) et les Systèmes d'information (IS) associés ont fortement influencé l'évolution des entreprises dans cette direction (Gunasekaran *et al.*, 2006). Cette sous-partie a pour but de présenter un bref état de l'art sur les systèmes d'information qui supportent le travail des entreprises au quotidien.

3.3.1 Les progiciels de gestion intégrés

La figure 5 présente une répartition de l'offre logicielle couvrant la majeure partie des besoins de l'entreprise. Cette figure montre un rapprochement entre les différents progiciels et les niveaux décisionnels considérés.

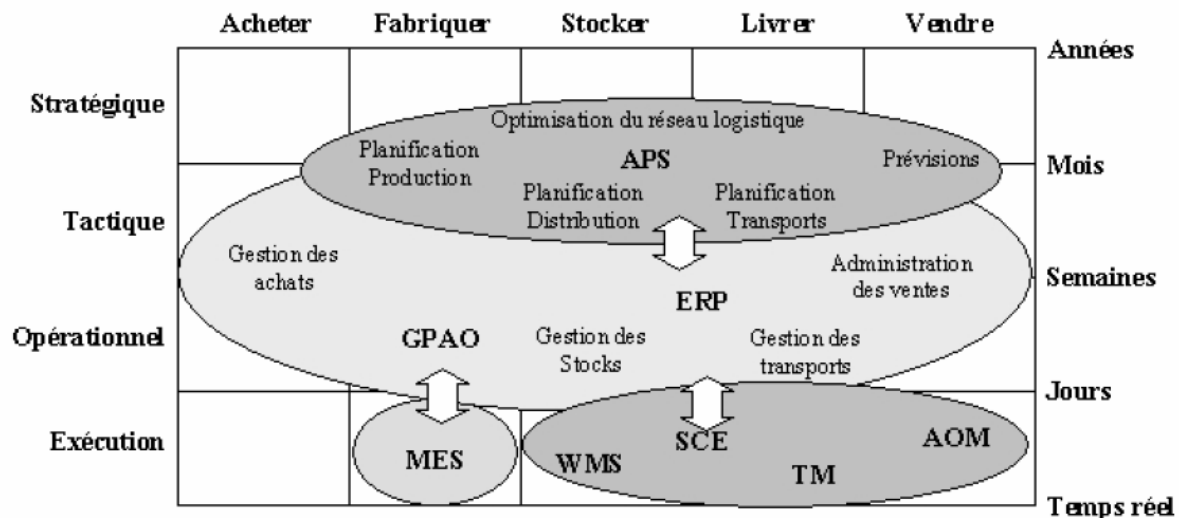


Figure 5. Positionnement de l'offre logicielle (source exp)³

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 (Lummus et Vokurka, 1999).

On y trouve :

- Les APS (*Advanced Planning Systems*) permettent l'optimisation du flux matière pour des sites de productions distants (Stadtler *et al.*, 2005). L'utilisation des outils de planification avancée pourrait laisser croire qu'il est aisé d'intégrer les décisions de chacune des entités de la chaîne. Néanmoins, l'optimisation, qui se veut être un point fort de ces outils, nécessite un contrôle et une connaissance accrue de tous les éléments composant le réseau. En pratique, cette coordination globale ne laisse que peu d'autonomie à chaque entité de la chaîne et n'est en pratique possible que lorsque ces entités appartiennent au même groupe industriel. (Kok et Fransoo, 2003).
- Les ERP (*Enterprise Resource Planning*) sont focalisés sur la gestion interne de l'entreprise et de ses interfaces avec les fournisseurs / distributeurs. Leur couverture fonctionnelle est vaste et au-delà des activités représentées dans la figure 5. Ils couvrent aussi les ressources humaines, la gestion financière etc...
- 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 intègrent au système d'information.
- Les WMS (*Warehouse Management Systems*) sont des logiciels permettant la gestion et l'optimisation de l'entrepôt.
- Les TM (*Transport Management*) sont des logiciels de gestion du transport.
- Les AOM (*Advanced Order Management*) sont des logiciels de gestion avancée des commandes.
- Les CRM (*Customer Relationship Management*) sont associés à la fonction vendre et permettent une meilleure connaissance des besoins du client en facilitant notamment le suivi des prévisions de ventes. Même s'ils ne sont pas représentés en figure 5, ils restent des outils répandus dans les entreprises.

³ <http://www.exp.fr>

Dans un contexte "chaîne logistique", les différentes fonctions présentées dans la figure 5 peuvent être réalisées par des entités juridiquement séparées. Cela montre bien les interconnexions nécessaires au fonctionnement d'une chaîne logistique. Construire ces connexions tout en assurant l'indépendance de chacun des maillons à moindre coût est un enjeu majeur de la gestion industrielle actuelle, pour lequel les technologies de l'information basées sur Internet ont joué un rôle primordial.

Le chapitre suivant présente un bref état de l'art des technologies de l'information qui ont eu un impact sur les modes de fonctionnement des entreprises dans un contexte chaîne logistique.

3.3.2 Les nouveaux supports de la gestion de la chaîne logistique

Pour faciliter l'application des différents concepts de collaborations (VMI, ECR etc.) et rendre la chaîne logistique communicante et collaborative, il est nécessaire de développer des outils capables d'être vecteur d'informations tout en étant déployés à moindre coût et faciles d'utilisation. Les applications basées sur Internet ont joué un rôle important dans la diffusion de tels systèmes. Ces outils, regroupés sous le terme « e-Business », peuvent être groupés en quatre catégories (Rohde, 2000) :

- Business-to-Business (B2B),
- Business-to-Consumer (B2C),
- Business-to-Administration (B2A),
- Consumer-to-Administration (C2A).

Les applications B2B et B2C sont souvent implémentées au moyen des modules *e-Business* des APS. Les différentes commandes peuvent être passées en ligne par les clients, traitées par le système de planification de l'entreprise et générer des ordres d'approvisionnement auprès des fournisseurs. Après des débuts marqués par une certaine défiance des entreprises, due en majeure partie à un manque de connaissance des technologies supportant le commerce électronique (Witsa, 2000), ces applications ont eu un fort impact ces dernières années avec une très grande progression du nombre de transactions. Cependant, cette croissance semble quelque peu fléchir. Cela peut s'expliquer par l'arrivée du marché à un certain niveau de maturité (35% de croissance en 2005 contre 40% en 2004 source : <http://www.journaldunet.com/0512/051216bilanecom.shtml>).

Désormais, les entreprises tendent non plus à développer l'intégration de différents systèmes, mais à s'orienter vers des solutions plus souples basées sur l'interopérabilité des systèmes. L'interopérabilité peut être définie comme la capacité de plusieurs systèmes, unités ou organismes dont les structures, les procédures et les relations respectives autorisent une aide mutuelle qui les rend aptes à opérer de conserve. Pour être établie entre les systèmes d'entreprises concurrentes, cette interopérabilité nécessite l'émergence de différents standards. On peut citer parmi les plus courants les standards définis par l'organisation *Odette* (www.odette.org) dans le cadre de l'industrie automobile. D'une manière générale, ces standards sont souvent basés sur le langage de programmation XML et proviennent d'organisations formellement définies et regroupées par métiers comme *RosettaNet* (www.rosettanet.org) dans le cadre du secteur d'activité des semi-conducteurs (Nurmilaakso *et al.*, 2006).

Conclusion du chapitre 1

Dans cette partie, nous avons pu voir que la gestion de la chaîne logistique est un ensemble de processus dont la mise en œuvre implique que les différents acteurs de la chaîne communiquent et collaborent pour améliorer les performances industrielles. La collaboration interentreprises peut être positionnée sur différents niveaux décisionnels avec des échéances à plus ou moins long terme dans l'application et la portée des décisions. C'est plus particulièrement au niveau tactique que cette thèse est dédiée.

La mise en place de processus collaboratifs est soutenue par des applications (APS, ERP, e-business) adaptées aux différents niveaux décisionnels (i.e. stratégique, tactique et opérationnel). De plus, un certain nombre de méthodologies (ECR, VMI...) sont apparues pour offrir des cadres à la mise en place de processus collaboratifs et des applications associées. Ces méthodologies visent à améliorer les processus décisionnels de la chaîne. Ainsi, la planification, que ce soit dans le cadre du contrôle de la chaîne ou dans sa définition (implantation des sites de production et/ou distribution), apparaît comme un des éléments essentiels d'une bonne gestion, apte à assurer la coordination de chaque entité.

Cependant, il semble nécessaire d'évaluer de manière plus approfondie comment ces méthodes et outils sont réellement appliqués au sein d'une chaîne logistique. En effet, ce chapitre laisse en suspens un certain nombre de questions :

La mise en place de ces processus collaboratifs concerne t-elle la totalité ou une partie seulement de la chaîne logistique ?

Est-ce que toutes les entreprises ont le potentiel pour mettre en œuvre ces démarches ?

Comment ces nouvelles pratiques industrielles sont-elles appréhendées par la recherche académique ?

...

Le chapitre suivant a pour but de positionner et de détailler les différentes approches pour la planification des chaînes logistiques. Ce positionnement sera cadré par une structuration de l'état de l'art général sur la chaîne logistique et sa gestion. Ensuite, une synthèse d'études de cas nous permettra de positionner une revue de l'état de l'art de la littérature scientifique.

Chapitre 2 : Approches pour la planification des chaînes logistiques

Introduction au chapitre 2

La partie précédente a mis en avant les besoins en termes de collaboration et d'échanges d'informations entre les entreprises d'une chaîne logistique. Néanmoins, chaque entité de la chaîne reste responsable de son fonctionnement et se doit de prendre de « bonnes décisions » tant pour satisfaire des critères locaux (par exemple de rentabilité et de marges bénéficiaires) que pour prendre en compte des objectifs globaux au niveau de la chaîne (par exemple disponibilité des produits pour le client final, minimisation globale des stocks).

Déterminer les « bonnes décisions » repose sur différentes étapes de planification qui seront facilitée par une bonne collaboration entre les partenaires de la chaîne.

Dans ce chapitre, nous dressons un premier bilan structuré des approches pour la planification, présenté sous la forme d'une grille de classification. Ensuite, nous verrons, au travers d'études de cas, quelles sont les pratiques industrielles actuelles et les difficultés associées. Enfin, un état de l'art des études menées en recherche et focalisé sur les problématiques issues des études de cas est présenté.

1. Les éléments de la planification des chaînes logistiques

Nous avons pu voir dans la partie précédente que la planification des chaînes logistiques est un domaine vaste qui dépend du processus considéré (approvisionnement, production, distribution ou vente) mais aussi de l'horizon temporel auquel on se réfère. Une typologie des décisions que l'on peut retrouver selon le processus et le niveau décisionnel considéré est donnée par Stadtler *et al.*, (2000) dans la figure 6.

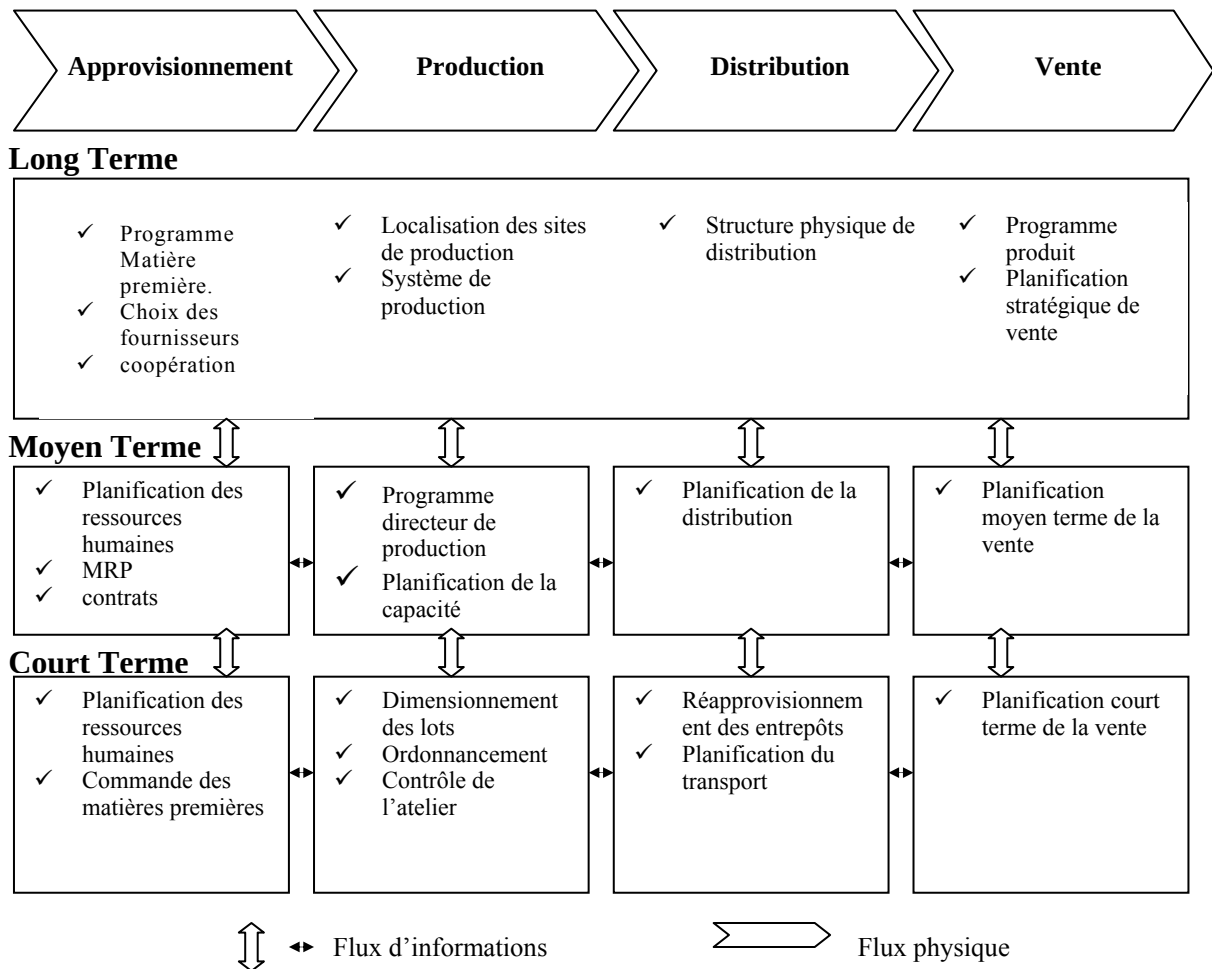


Figure 6. Matrice du Supply Chain Planning (Stadtler *et al.*, 2000)

Cette matrice montre les liens complexes entre les décisions prises à chaque niveau pour la gestion du flux physique d'approvisionnement, de production, de distribution et de vente. Chacune de ces décisions est source d'une littérature abondante en recherche. Dans ce chapitre, une taxonomie de la littérature et une analyse basée sur un ensemble représentatif de revues bibliographiques sont développées sous la forme d'un grille de classification. A partir de cette grille, une synthèse est élaborée pour donner un aperçu agrégé de l'état de l'art en planification des chaînes logistiques. Cette synthèse permettra, dans la suite de ce chapitre, de mieux orienter notre état de l'art par rapport à une étude de terrain.

3.4 Grille de classification de la bibliographie en SCM

Dans le cadre de cette thèse et du groupe de recherche SCMIP, nous avons pu mener une première synthèse bibliographique sur les regards portés sur le *Supply Chain Management* dans la littérature. Cette synthèse a conduit à une grille de classification (cf. tableau 2) qui met en évidence les orientations prises par les différents auteurs en termes de niveaux décisionnels, de processus, de point de vue porté sur la chaîne logistique, de modélisation et d'échanges d'informations. Il est à noter que cette grille a été élaborée à partir de revues de l'état de l'art. Cela constitue à la fois un inconvénient, car ces papiers offrent des visions moins précises que des contributions de recherches, et un avantage, car elle offre une vision plus exhaustive des pratiques de recherche.

Cette grille est constituée d'un ensemble de champs (i.e. catégories) représentant un ensemble significatif de mots clés liés à l'étude des chaînes logistiques. Plusieurs champs de la grille peuvent être couverts par une même publication. Par exemple, elle pourra être positionnée sur les niveaux décisionnels stratégiques et tactiques et aborder la chaîne logistique sous des points de vue ou "regards" gestion des stocks, gestion des risques et évaluation de performance etc.

Nous ne détaillerons pas ici les différents champs de cette grille. Le lecteur peut se référer à l'article de SCMIP (2005) pour de plus amples informations. La grille est composée de quatre grandes parties.

1. La première partie (i.e. aspects démographiques ; type d'ouvrage ; type de publication) concerne les caractéristiques d'identification de la publication sur des critères typologiques : est-ce un article, un livre ? Les thèmes abordés sont-ils une contribution de recherche ou un état de l'art ? etc.
2. La deuxième partie (i.e. niveau de décision ; processus ; regard ; structure de la chaîne) concerne plus particulièrement la description de la chaîne logistique considérée ainsi que l'approche choisie par l'auteur de la publication.
3. La troisième partie (i.e. nature du modèle ; caractéristique du modèle ; méthode utilisée ; outil utilisé) permet de caractériser la mise en application des principes décrits par l'auteur.
4. La quatrième partie (i.e. fréquence des échanges ; nature des échanges) est orientée sur les modes de collaboration intra ou interentreprises.

Chapitre 2. Approches pour la planification des chaînes logistiques

Aspects démograph.	Titre	Auteur(s)	Journal	Volume	Année	Livre/Recueil	Origine géographique	Ville					
Type d'ouvrage	Livre	Publication livre	Publication journal	Publication conférence	Thèse	Rapport interne	Presse	www					
Type de publication	Contribution de recherche	Survey	Typologie	Etude de cas	Concepts généraux	Discussion	Best practices						
Niveau de décision	Stratégique	Tactique	Opérationnel	Temps réel									
Processus	Approvisionnement	Production	Distribution	Vente	Logistique inverse								
Regard	Conception chaîne	Planification des activités	Gestion stocks	Gestion transports	Gestion risques	Evaluation de performances	Système d'information	Modélisation d'entreprise	Coopération	Aspects socio.	Aspects économ. & financier	Offre logicielle	
Structure de la chaîne	Dyadique	Convergente	Divergente	Série	Réseau	Intra-entreprises	Inter-entreprises						
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	Théorie des jeux	Jeux d'entreprises	Enquête	Simulation continue	Simulation discrète	Multi-agents				
Outil utilisé	Logiciel non dédié	Logiciel spécifique	Simulateur	Solveur générique	Jeux de plateau	Jeux informatiques	Tableur						
Fréquence des échanges	Ponctuel	Partage en accès libre	Processus d'échange										
Nature des échanges	Données	Traitement	Données et traitements										

Tableau 2. Grille de classification de littérature en SCM

Plusieurs utilisations de cette grille sont possibles. La première a déjà été évoquée et permet de positionner des travaux de recherches pour définir rapidement le sujet traité. Dans cette optique, il est possible de positionner cette thèse, dont le but est de fournir une aide à décision pour la planification en réponse à une demande client incertaine. Par rapport à la grille, cette étude est inscrite dans le *niveau décisionnel tactique* et aborde principalement les processus d'*approvisionnement* et de *production*. Le regard avec lequel est abordé la chaîne logistique concerne essentiellement la *planification des activités*, la *gestion des stocks* et la *coopération* interentreprises pour améliorer les relations d'une entreprise avec ses clients et fournisseurs. Les champs liés aux modèles utilisés (partie 3 de la grille) seront définis et détaillés dans le cadre de cette thèse après avoir présenté dans ce chapitre un état de l'art qui guidera nos choix méthodologiques et techniques.

Outre ses possibilités de classification, cette grille permet aussi d'établir une synthèse statistique sur les recherches actuelles en gestion de la chaîne logistique.

3.5 Exemples d'application de la grille de classification

Nous donnons ci-dessous, à titre d'exemple, deux analyses tirées de (SCMIP, 2005) portant sur les niveaux décisionnels (figure 7) et les processus étudiés (figure 8).

En 1999, Shapiro (1999) faisait remarquer que le niveau tactique avait été largement ignoré. Or, la figure 7 indique que les articles considérés plus récemment (de 1999 à 2005) sont principalement focalisés sur les niveaux stratégiques et tactiques, ce qui indiquerait un changement de tendance dans les niveaux décisionnels considérés en recherche. Cela peut s'expliquer par le point de vue global de certains états de l'art. En effet, dans un souci d'abstraction et de prise de recul, les auteurs ne sont pas entrés dans certains aspects particuliers propres à chaque entreprise liés à leur gestion opérationnelle.

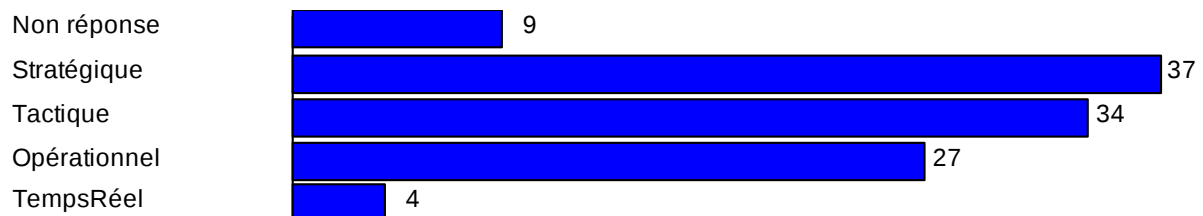


Figure 7. Niveaux décisionnels considérés dans la littérature

Un autre exemple d'utilisation de la grille concerne la répartition des différentes revues en termes de processus qui est présenté en figure 8. Nous pouvons voir ici que les trois processus les plus étudiés sont les approvisionnements, la production et la distribution. On peut expliquer cette constatation par la relative jeunesse des études menées sur les approvisionnements et la distribution. En effet, si l'on prend pour référence la naissance du MRP dans le milieu des années 60, publiée par Orlicky en 1975, l'arrivée et l'expansion des progiciels de gestion intégrée orientés chaîne logistique apparaît comme récent puisqu'apparues dans le courant des années 1990.

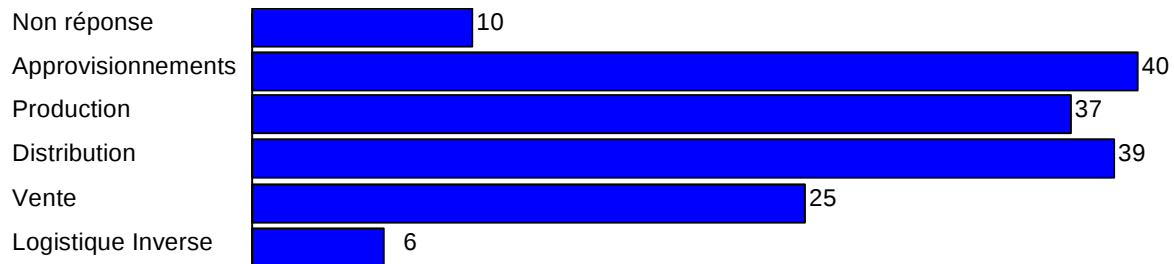


Figure 8. Processus appréhendés dans les recherches actuelles

En ce qui concerne la troisième partie de la grille, l'échantillon de publications qui a été considéré (dont nous rappelons qu'il est constitué surtout de revues de l'état de l'art) n'a pas permis d'obtenir de résultats significatifs. Dans le but de définir un état de l'art, une vision à la fois industrielle et académique des pratiques en planification de la chaîne logistique est présentée ci-dessous.

4 Planification en milieu industriel : études de cas

Pour confronter les études académiques au contexte industriel actuel, un ensemble d'études de cas ont été menées dans le cadre de l'EPML PIChaLog⁴. Les études de cas ont été menées au travers d'entrevues avec des décideurs responsables logistiques. Au préalable, un récapitulatif des différents points à aborder avait été préparé pour pouvoir, au besoin, réorienter et alimenter les discussions. Ce récapitulatif est présenté en annexe 1. Ces entrevues étaient basées sur une discussion informelle durant laquelle le(s) responsable(s) présentait(ent) le fonctionnement de leur entreprise du point de vue de sa logistique amont et aval.

Les entrevues ont été conduites dans 10 entreprises (3 grandes entreprises et 7 PME) appartenant pour la plupart à des chaînes logistiques croisées (i.e. réalisation de différents produits finis pour des clients distincts).

Après avoir défini le contexte de ces études de cas, une synthèse des points les plus marquants de ces entrevues sont détaillés ci-dessous.

4.1 Contexte de l'étude de cas

Une limite à notre étude de cas est qu'elle a été principalement menée dans le sud-ouest de la France, où un grand nombre d'entreprises travaillent dans l'industrie aéronautique. La dizaine d'entreprises étudiées est ainsi principalement issue du milieu aéronautique. Ce nombre est, à notre sens, un échantillon suffisant pour dégager un ensemble d'observations et d'éléments clés généraux pour les processus de planification. Eisenhardt (1989) montre qu'un nombre d'études de cas compris entre 4 et 10 peut être suffisant pour dégager quelques concepts génériques.

Les principales différences que l'on peut dégager entre l'industrie aéronautique et d'autres industries comme l'industrie du semi-conducteur, de l'agro-alimentaire ou de l'automobile résident dans les caractéristiques des produits. En effet, les produits manufacturés sont

⁴ EPML PIChaLog : Équipe Projet Multi-Laboratoire « Pilotage Intégré de la Chaîne Logistique » visant le développement de méthodes, modèles et outils d'aide à la décision et à la négociation intégrant la nature distribuée de centres de décision associés à des entités coopératives et concurrentielles. Laboratoires concernés : le CERTOP, laboratoire du CNRS rattaché à l'université Toulouse 2 Le Mirail ; le LAAS, laboratoire du CNRS ; le LAPS, laboratoire du CNRS ; le LGP, laboratoire de l'ENI de Tarbes.

complexes et possèdent une forte valeur ajoutée. De plus, les temps de cycles sont généralement longs. La demande en produits finis ne concerne que de petites quantités et est assez stable dans le temps. Dans ce contexte, la plus grande partie de l'incertitude sur la demande subie par une entreprise de la chaîne logistique est liée aux aléas de production des différents maillons, amonts comme aval, et pas directement à la demande client finale. L'effet Bullwhip constitue un exemple caractéristique des perturbations pouvant survenir dans ce secteur industriel. Un autre aspect remarquable des chaînes logistiques du secteur aéronautique est que la valeur ajoutée est principalement obtenue dans les maillons aval qui réalisent les assemblages des produits finis. Ainsi, les entreprises positionnées sur les maillons amonts sont plutôt des PME, hormis pour la matière première contrôlée par l'industrie sidérurgique.

Comme le montre la figure 9, les structures de chaînes rencontrées s'apparentent à des structures convergentes où le flux de matière se concentre vers un assembleur au rang 0, qui livre le produit fini au client.

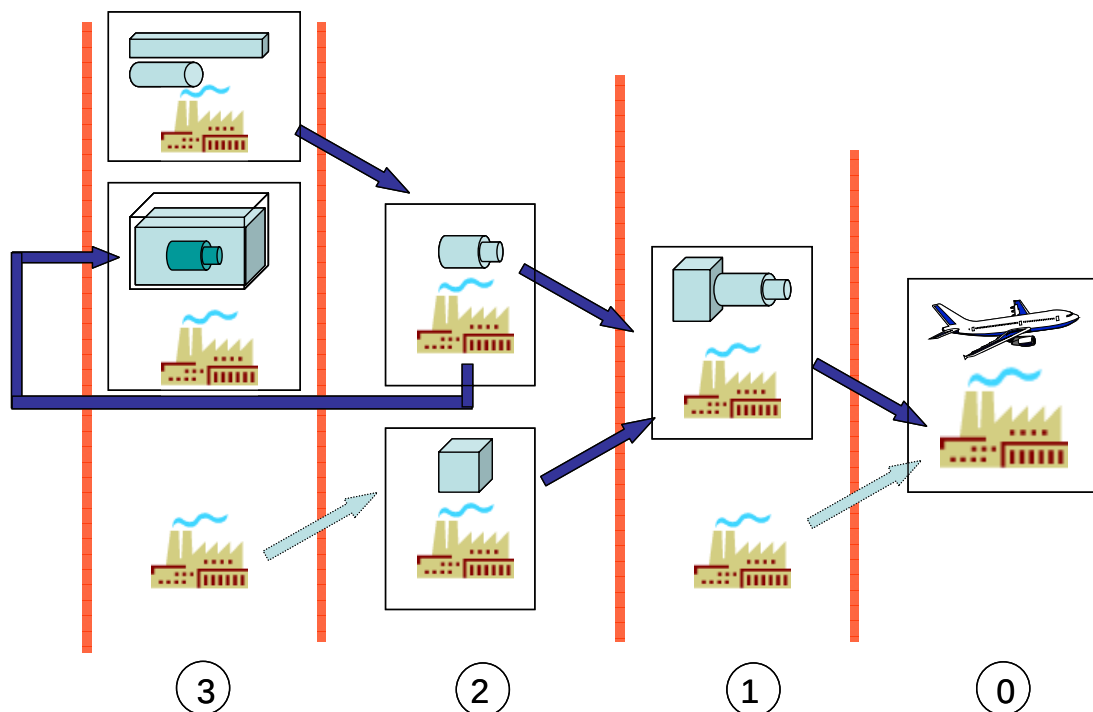


Figure 9. Structure type des chaînes considérées

Dans ces chaînes logistiques, l'assembleur, qui assure aussi la plus grande partie de la conception des produits finis, est souvent une grande entreprise. Le rang 1 est aussi composé de grandes entreprises chargées de réaliser, en collaboration avec le rang 0, les différents sous-ensembles (moteurs, trains d'atterrissage, systèmes de conditionnement d'air etc.) qui composeront le produit fini.

Au rang 2, des entreprises, souvent PME, réalisent des pièces en sous-traitance principalement pour le rang 1 mais parfois aussi pour le rang 0. Les pièces réalisées nécessitent des savoir-faire que l'on retrouve dans ces entreprises spécialisées (tôlerie fine, usinages de précision etc.). Dans leurs processus de fabrication, ces entreprises peuvent sous-traiter une partie de leur fabrication au rang 3, notamment en ce qui concerne les opérations de traitement de surface ou traitement thermique. Le rang 3 est donc composé d'entreprises spécialisées mais aussi de fournisseurs de matière première.

Cette structure simplifiée est rendue plus complexe par le fait que des entreprises peuvent être positionnées à plusieurs rangs. Par exemple, des entreprises de rangs 0 et 1 peuvent aussi avoir recours à des sous-traitants spécialisés positionnés sur la figure 9 au rang 3. Ainsi, ces entreprises spécialisées constituent des ressources partagées par des entreprises de différents niveaux, ce qui peut être une source de conflits

4.2 Observations

4.2.1 Influence de la taille de l'entreprise

Un premier point important est qu'il y a une certaine corrélation entre la taille de l'entreprise et sa maturité au niveau des technologies de l'information et des techniques de gestion de production qu'elle utilise.

Les plus petites entreprises (10 à 30 personnes) ont souvent été créées en se positionnant sur un marché de niche qu'elles ont pu conserver grâce à leur savoir-faire spécialisé. Ces entreprises, appartenant plus particulièrement aux rangs 2 ou 3, ont pour premier objectif de conserver leur avance technologique et de fournir des produits de qualité. Elles ne sont que peu sensibles aux contraintes liées à la gestion de production que souhaiteraient leur imposer leurs donneurs d'ordres. Les problèmes de management, comme un contrôle strict des encours, un suivi et une réaction immédiate en cas de dérive de l'état de production courant par rapport aux plans de production, ne sont pas perçus comme prioritaires. De ce fait, les investissements sont souvent réalisés au niveau de l'outil de production au détriment d'outils de management. Une seule des PME visitées (la plus grande, avec plus de 100 employés) pouvait être considérée comme travaillant avec les processus de gestion de production usuels. Parmi ces processus, on peut citer la création d'un plan de production à moyen terme étayé par une étude de faisabilité sommaire, l'utilisation du MRP (Material Requirement Planning), la réalisation d'un plan de charge détaillé et un suivi strict des ordres de fabrication.

Dans la plupart des PME utilisant des outils de gestion de production du marché (3 sur 7), ceux-ci étaient principalement utilisés pour rassembler les commandes clients, sur la base du planning de livraison, ou pour gérer des données techniques (nomenclatures et gammes de fabrication). Pour diverses raisons, les ordres de fabrication étaient toujours extraits des outils de gestion de production pour être mis en forme grâce à des développements spécifiques sous Excel® ou Access®. Ainsi, les capacités des outils de gestion de production n'étaient que partiellement utilisées, notamment en ce qui concerne la vérification des ratios charge/capacité et les modules de suivi de production. La gestion de production à court terme faisait appel essentiellement à l'expérience du personnel pour définir des actions correctrices mais laissant peu de place à l'anticipation. Dans certains cas, toute la gestion de production était réalisée en utilisant des développements spécifiques, souvent sous Excel®, ce qui se traduisait par les mêmes problèmes de manque de visibilité.

Au regard de ce retard relatif des PME vis-à-vis des grandes entreprises, se pose la question de savoir dans quelle mesure les grandes entreprises pourraient intervenir dans la gestion des PME. En effet, par effet de taille, ces grandes entreprises sembleraient capables de mettre à profit leur savoir-faire pour imposer des modes de fonctionnement optimisés. La sous-section suivante décrit le point

4.2.2 Relations centralisées vs. point-à-point

Dans le cadre de l'industrie aéronautique, une optimisation globale de la chaîne nécessiterait un contrôle total de la part de l'assembleur final, proche du client final.

D'après les grandes entreprises étudiées, cette idée de gestion globale va à l'encontre des relations classiques client/fournisseur. Dans ce type de relations, le fournisseur est responsable de la gestion des activités amont de la chaîne logistique.

En effet, la responsabilité des fournisseurs pour leurs propres fournisseurs ou sous-traitants ne permet pas d'ingérence des clients finaux dans leurs relations. Ces mêmes clients ne peuvent donc pas, a priori, influencer la gestion de leurs fournisseurs et par extension, des fournisseurs de rang 2. De plus, une autre explication, plus pragmatique, a été soulignée par certains responsables logistiques : une telle coordination serait trop complexe pour être gérée de manière efficace. Il n'y a donc pas d'intérêt à ce qu'un assembleur final ou une grande entreprise de rang 1 intervienne dans la gestion quotidienne de ses fournisseurs. La gestion de la chaîne logistique est donc essentiellement composée d'un ensemble de relations point-à-point, dans lesquelles chaque partenaire prend en compte la demande de ses clients directs et répercute cette demande vers ses fournisseurs directs. Pour accélérer le flux d'information et améliorer la coordination de ces entités, les entreprises essaient de développer des modes de partage et d'échanges de données par l'intermédiaire de systèmes d'informations basés sur Internet. Pour cela, on utilise souvent un progiciel de gestion intégré (*Enterprise Resource Planning*, ERP) qui assure le support des différentes activités de l'entreprise. Un des inconvénients majeurs de ces systèmes est qu'ils n'offrent que peu de possibilités pour gérer l'incertitude sur la demande. Ainsi, elle est intégrée principalement au travers de marges introduites au niveau des stocks ou des délais de fabrication et d'approvisionnement. Ces solutions pour pallier l'incertitude nuisent à la flexibilité de la chaîne comme à la minimisation des coûts.

Il existe néanmoins une exception pour laquelle une grande entreprise peut intervenir en lieu et place de ses fournisseurs. Cette exception concerne les approvisionnements en métaux, en lien avec la crise actuelle du marché. Dans ce cas, l'assembleur final peut apporter son appui à ses sous-traitants de rangs 2 ou 3 pour faciliter leurs approvisionnements en matière première. Ces grandes entreprises peuvent utiliser leur poids dans les négociations sur les délais, et avoir une influence sur les fournisseurs qui n'est pas à la portée d'une PME.

Quand on regarde les disparités liées à la taille des entreprises et le caractère point-à-point du fonctionnement de la chaîne logistique, on peut remarquer qu'un problème majeur se pose au niveau des rangs 2 et 3 du fait d'une gestion des flux assez lâche. Les difficultés des entreprises positionnées sur ces rangs à maîtriser leurs flux internes accroissent leurs difficultés à garder un contrôle sur leurs propres sous-traitants, qu'ils parviennent difficilement à alimenter en prévisions fiables. La sous-section suivante détaille et caractérise le flux d'information dans la chaîne.

4.2.3 Informations échangées

Les grandes entreprises situées en fin de chaîne travaillent principalement sur la base de programmes représentant les quantités d'un type de produits finis (i.e. gamme d'avion...) à réaliser. Ces programmes ont des quantités fluctuantes en fonction de l'évolution du marché (après une période difficile il y a 5 ans, le marché est par exemple actuellement à la hausse). *Sur la base de ces programmes, les entreprises peuvent construire des plans d'approvisionnement pour chaque fournisseur et sous-traitant, en incluant des marges pour faire face aux aléas.* Le résultat est un planning prévisionnel de livraison pouvant aller jusqu'à 2 à 3 ans, contenant les quantités à livrer par mois ou, dans certains cas, par jours. Ces plannings sont réactualisés tous les mois pour tenir compte des variations mineures de chaque programme.

En général, un plan généré par les grandes entreprises en fin de chaîne est décomposé selon plusieurs horizons temporels :

- **un horizon ferme**, habituellement de 15 jours à 1 mois, durant lequel les commandes transmises aux sous-traitants ou fournisseurs restent inchangées sauf dans le cas de problèmes majeurs,
- **un horizon flexible**, (généralement de quelques mois), durant lequel les commandes peuvent être modifiées à l'intérieur de limites préétablies (par exemple avec une variation tolérée de 50%),
- **un horizon libre**, transmis uniquement à titre d'information.

Chacun de ces horizons est délimité par contrat entre le donneur d'ordre et ses fournisseurs.

Il est intéressant de remarquer que les grandes entreprises ont souvent une bonne compréhension des contraintes des PME. Dans le secteur aéronautique, trouver et qualifier un nouveau sous-traitant ou fournisseur prend un temps relativement long (i.e. environ une année) et est assez coûteux. Le partenariat est donc un mode relation privilégié. Concrètement, cela peut se traduire par une prise de risque de la part d'une grande entreprise qui va accepter un certain niveau de stock dans le but de limiter les variations des commandes passées à court terme à ses fournisseurs, plus fragiles. L'horizon ferme pour un fournisseur peut donc être plus long que celui de son entreprise cliente. Dans le même esprit, lors d'augmentations ou de diminutions important des quantités à livrer prévues, l'entreprise peut chercher à lisser cette variation pour ne pas déstabiliser son sous-traitant. Dans d'autres cas, l'entreprise cliente garantit par contrat que la quantité globale demandée à son fournisseur dans l'horizon flexible sera acceptée. Ce cas s'applique pour un horizon ne dépassant pas trois mois et ce même dans le cas où le donneur d'ordre n'a plus de besoin pour les composants demandés. Néanmoins ce partenariat peut être remis en question par l'entreprise cliente qui peut changer de fournisseur à tout moment au profit d'un autre moins cher ou plus fiable. Cette dualité de la relation client/fournisseur se traduit par des cas de figures différents avec par exemple : (1) une des grandes entreprises étudiée appliquant un programme d'externalisation vers des pays à bas coûts dans le sud-ouest asiatique et (2) une autre qui préfère s'orienter vers de la sous-traitance locale. Ces orientations ne sont pas indépendantes car les externalisations ont souvent abouti à des problèmes de qualité des produits qui ont nécessité des actions de reprises urgentes. Ces actions, réalisées par des sous-traitants locaux, ont eu souvent une influence déstabilisatrice sur leur production.

Ces quelques exemples montrent que les informations échangées au sein d'une chaîne logistique vont au-delà de simples plans de productions se répercutant de proche en proche de l'aval vers l'amont. La taille des entreprises et leur capacité à assurer un traitement de l'information efficient (gestion des prévisions et des contingences, suivi de production...) rendent nécessaires des ajustements de capacités et des adaptations de la charge. Cela se traduit par la présence de stocks intermédiaires et donc, un fonctionnement sous optimal de la chaîne.

4.3 Bilan des études de cas

Le problème majeur soulevé par les grandes entreprises est qu'en dépit de leurs efforts pour faciliter le travail des fournisseurs ou sous-traitants plus petits, leur visibilité à moyen terme reste pauvre. Cela s'explique par une mauvaise utilisation et intégration des prévisions qui leur sont transmises. De plus, les difficultés de suivi de leurs activités quotidiennes ne leur permettent pas toujours d'identifier les problèmes à l'avance. Cette exploitation incomplète des données transmises aux rangs 1 ou 2 provoque un manque de visibilité empêchant souvent la prise de bonnes décisions pour gérer au mieux les aléas. La conséquence directe de ce

manque de visibilité est la nécessité de réagir rapidement à des problèmes inattendus, ce qui entraîne à la fois une déstabilisation de leur production et de celle de leurs propres sous-traitants (l'effet Bullwhip en est un exemple). De plus, ce manque de visibilité et cette incapacité de réaction se répercutent ensuite sur les éléments aval de la chaîne logistique qui doivent entreprendre des actions en urgence pour respecter les dates de livraisons des produits finis.

Le milieu aéronautique constitue un cas d'étude particulier car, si la demande-client finale est assez stable (malgré des augmentations et diminutions régulières), des problèmes peuvent survenir en raison du manque de coordination entre les partenaires. Pour assurer une meilleure coordination, une approche centralisée semble difficilement envisageable, non seulement en raison d'un manque d'outils de type APS mais surtout en raison de l'indépendance juridique des entreprises et de leurs responsabilités vis-à-vis de leurs propres fournisseurs.

Dans le contexte actuel d'augmentation de la charge, le contrôle et la réduction des temps de cycle est un enjeu essentiel. Pour améliorer l'efficacité globale de la chaîne, une attention particulière peut être portée sur les maillons possédant le moins de moyens organisationnels, souvent les plus petites entreprises.

Au regard des études de cas, les contrats définis entre les partenaires de la chaîne semblent suffisants pour apporter une réponse cohérente aux besoins de planification dans une situation nominale. Néanmoins, et principalement au niveau des sous-traitants, un apport semblerait important pour (1) détecter à l'avance les problèmes et (2) trouver des solutions compatibles avec le temps disponible pour résoudre le problème.

Sur la base de ces affirmations, un état de l'art sur la planification des chaînes logistiques et des problèmes de coordination qu'elle soulève est proposé dans la partie suivante.

5 Travaux de recherche sur la planification des chaînes logistiques

Le caractère distribué des chaînes logistiques a été souligné dans les définitions présentées au chapitre 1 (Lee et Billington 1993 ; Tayur *et al.*, 1999 ; Génin 2003). Néanmoins, la centralisation des décisions au sein d'une entité hiérarchiquement supérieure possédant une vision totale des informations circulant dans la chaîne peut apporter des gains en termes de coordination des différents sites de production. Un champ de recherche en gestion de production et de la chaîne logistique s'intéresse ainsi au développement de *modèles centralisés* que nous détaillerons dans la section 3.1. D'un autre côté, l'importance des contraintes de terrain liées à l'autonomie décisionnelle des éléments d'une chaîne logistique a fait apparaître d'autres approches, que nous rassemblerons sous l'appellation *approches distribuées*. Entre ces deux types de modélisations se positionnent des approches intermédiaires qui introduisent une part de hiérarchisation. Dans ces *approches hiérarchisées* sont inclus à la fois l'état de l'art lié à une synthèse des décisions dans des entités hiérarchiquement supérieures mais aussi les études liées aux mécanismes d'agrégations et de désagrégations des décisions au sein d'une même entité décisionnelle.

Enfin, les études de cas ont montré que l'un des points les plus importants pour l'amélioration de l'efficacité de la chaîne concerne le manque de visibilité des maillons amont de la chaîne. Un état de l'art sur la prise en compte de l'incertitude sur la demande et des capacités de réaction des éléments amont en planification de la chaîne logistique sera présenté.

5.1 Modèles centralisés

En dépit du caractère distribué des chaînes logistiques, l'idée de gérer le flux de matière sur l'ensemble de la chaîne a motivé un grand nombre d'études dans les ouvrages de recherche et plus particulièrement à la fin des années 90. Cela a été notamment souligné par Christopher (1992), Lee et Ng (1997) et Stock *et al.*, (1998). Beamon (1998) a, par exemple, présenté une revue sur les techniques de modélisation de la chaîne logistique en la considérant dans son ensemble. Utilisant différents modèles, déterministes, stochastiques, économiques ou de simulation, les problèmes de gestion et de planification de la chaîne logistique sont pris en compte grâce à l'ajustement ou l'optimisation de variables de décisions pour résoudre des problèmes d'ordonnancement, de taille de lots ou d'affectation de stocks. Une revue de l'état de l'art focalisée sur les problèmes d'optimisation est donnée par Geunes et Pardalos (2003).

Adopter une vue centralisée sur la gestion de la chaîne logistique nécessite un partage d'information entre les partenaires pouvant rendre possible l'optimisation du réseau, qui peut permettre une diminution de l'effet bullwhip (Huang *et al.*, 2003). Les effets du partage d'information dans le cadre de modèles centralisés sont aussi analysés dans, entre autres, les travaux de Cachon et Fisher (2000) et Thonemann (2002). Ce dernier prend en compte dans sa modélisation l'introduction d'une demande client incertaine.

5.2 Approches distribuées

Contrairement aux approches centralisées, une communauté de chercheurs approche la gestion des chaînes logistiques en considérant la nature distribuée des centres de décisions dans la chaîne. Cette approche correspond à un point de vue « bottom-up » c'est-à-dire, un problème de coordination d'entités indépendantes. Ce problème de coordination consiste à assurer la satisfaction d'objectifs globaux au niveau de la chaîne logistique, tels que la satisfaction du client ou la réduction des coûts globaux, tout en prenant en compte des objectifs locaux et l'autonomie des entreprises. Ce point de vue « bottom-up » peut donc être résumé par l'analyse des interactions interentreprises à un bas niveau décisionnel pour adopter un point de vue global sur les mécanismes dirigeant le fonctionnement de la chaîne dans son ensemble.

Kok et Fransoo (2003) mettent bien en avant le caractère distribué de la gestion des chaînes logistiques, tout en soulignant l'importance de développer et d'utiliser des modèles distribués. En effet, ces modèles permettent d'une part, de diminuer les quantités de données à traiter dans chaque processus de résolution et d'autre part, de préserver les contraintes d'autonomie locales qu'un modèle centralisé peut enfreindre en rassemblant les données de différents acteurs. Ainsi, le problème de gestion de la chaîne logistique est, actuellement, de plus en plus appréhendé par la recherche d'un bon compromis entre centralisation et coopération. Une illustration de cette volonté de compromis est donnée par Chan *et al.*, (2004), qui définissent un modèle d'optimisation multicritère basé sur des algorithmes génétiques, permettant de comparer une gestion centralisée, dans laquelle les commandes sont envoyées au premier fournisseur disponible, à un mode de fonctionnement collaboratif.

Orienté sur les processus de collaboration interentreprises et dans un souci d'aide à la décision, un champ de recherche a mis en avant la création d'outils pour initier le dialogue et la collaboration entre clients et fournisseurs (i.e. dans le cadre de relations point-à-point). L'utilisation de la simulation offre des possibilités d'anticipation tout en améliorant la prise de conscience des contraintes des autres acteurs (fournisseurs ou donneur d'ordres) (Telle 2003 ; Parrod 2005). Dans ce contexte point-à-point, la capacité de visualisation des plans de production possibles et des marges de manœuvre disponibles au niveau des quantités et délais permet de faciliter la prise de décision collaborative (Despontin, 2005).

Pour mieux intégrer le caractère distribué de la chaîne logistique, un certain nombre de chercheurs ont suggéré une implémentation du paradigme de la coordination par la négociation en s'appuyant sur des systèmes multi-agents (SMA).

Un SMA peut être défini comme « un réseau faiblement couplé de manière asynchrone d'algorithmes de résolutions qui travaillent ensemble pour résoudre des problèmes au-delà de leurs capacités individuelles » (O'Hare et Jennings, 1996). Cette définition met en avant la nécessité de collaboration pour dépasser les capacités individuelles de chaque agent (e.g. connaître les répercussions d'une modification de planning sur l'ensemble de la chaîne) et l'aspect asynchrone de la prise de décision.

Une illustration de ce paradigme sur l'ensemble des activités de production est donnée par Uliuru et al., (2002). Leur étude se base sur le concept des holons (Koestler, 1967) et un SMA pour instancier des méthodes de coordination sur différents niveaux décisionnels de la gestion d'un atelier flexible. Au-delà du cadre intra-entreprise, Nissen (2001) présente une fédération d'agents d'une chaîne logistique principalement orientés sur deux processus clés de la gestion de la chaîne logistique : les achats clients et la réalisation des ordres de ventes. Un point de vue distribué est adopté par Archimède *et al.*, (2003) pour l'ordonnancement et le suivi de production multi-site. Ils proposent un SMA dans lequel les agents communiquent au travers d'échanges de messages contenant les informations sur les quantités à produire. Les agents possèdent une certaine autonomie pour modifier localement les ordonnancements transmis, dans la mesure où cela n'impacte pas les autres agents. Pour assurer le respect de contraintes globales et résoudre les conflits, un superviseur est introduit.

Au-delà des approches précédemment citées, il existe d'autres techniques prometteuses basées sur l'intelligence artificielle dont certaines mettent de nouveau en avant la nature distribuée des centres de décisions. Silva *et al.*, (2002) utilisent ainsi un algorithme basé sur les colonies de fourmis pour générer un ordonnancement. Les résultats obtenus par rapport à l'utilisation d'heuristiques définissant des listes d'ordres de fabrication ordonnés améliorent à la fois le nombre de retards et les délais de fabrication. L'utilisation des réseaux neuronaux est aussi un axe de recherche prometteur, dont l'utilisation est relativement récente dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique, comme l'indique Leung en 1995. On retrouve un certain nombre d'applications dans les travaux de Cesarotti (Cesarotti *et al.*, 1999), Wu (1999) et Rabelo (Rabelo *et al.*, 2004). Les premiers définissent un processus de planification pour répartir les composants en catégories présentant des prévisions de demande d'approvisionnement similaires tandis que Wu (1999) utilise les réseaux neuronaux pour étudier l'asymétrie créée par les informations retardées dans une chaîne logistique. Rabelo *et al.* (2004) utilisent aussi les réseaux neuronaux pour identifier et étudier des changements de comportements de la chaîne logistique pour en améliorer sa performance.

5.3 Approches hiérarchisées

Les approches distribuées permettent l'étude de relations entre entités autonomes et distinctes. Cependant, dans la réalité, les entités appartenant à une chaîne logistique doivent toujours composer avec des relations de pouvoir relevant d'un caractère hiérarchique. Pour rendre compte de ces relations hiérarchisées, une approche multi-niveau peut être adoptée. Lecompte-Alix (2001) et Bourrières et al., (2001) présentent une caractérisation formelle de ces relations en distinguant relations coopératives et relations hiérarchiques avec des clients et fournisseurs, la réalisation des produits s'appuyant sur des ressources internes. La formalisation de ces relations s'appuie sur un modèle de décision générique pouvant être dupliqué au niveau de chaque centre décisionnel. Cette approche est similaire à celle que nous développerons dans notre modélisation car elle permet de bien cerner les frontières de chaque centre de décision.

Une vision plus globale peut être adoptée en cernant l'ensemble du réseau. C'est le cas notamment des travaux menés par Le Quéré *et al.*, (2003) qui présentent trois types de modélisations d'un système décisionnel (1) hiérarchique, (2) coordonné, (3) hétérarchique. Le système hiérarchisé possède un centre de décision qui coordonne et assure la consistance des décisions prises sur l'ensemble du réseau. Le modèle coordonné possède des centres de décisions qui ne voient le réseau que partiellement et communiquent entre eux pour assurer la cohésion des décisions. Enfin, le modèle hétérarchique repose sur des relations directes entre centres de décisions, ce qui a pour effet d'accroître la réactivité du réseau, car il n'y a pas besoin de se référer à un centre de décision hiérarchiquement supérieur. Cette approche pénalise toutefois la coordination des décisions, toujours prises avec un point de vue local. Une décomposition similaire, indiquant des degrés divers dans la hiérarchisation, est proposée par François *et al.*, (2006) en application directe au pilotage des chaînes logistiques. Cette approche se distingue néanmoins de celle de Le Quéré en mettant l'accent sur le besoin d'établir des mécanismes d'agrégations et de désagrégations des informations véhiculées entre les centres de décisions locaux et hiérarchiquement supérieurs. Les mécanismes d'agrégation et de désagrégation d'informations représentent un problème important pour les modélisations hiérarchisées (Miller, 2001 ; Fontan *et al.*, 2005).

Les observations issues de nos études de cas nous laissent penser qu'une structure de type hétérarchique (i.e. sans coordination globale ou partielle) semble être la plus usuelle dans le cas d'entreprises juridiquement indépendantes. En effet, nous n'avons jamais identifié dans les chaînes logistiques sur lesquelles a porté notre étude de leader qui assumerait un rôle de gestion pour l'ensemble du réseau, totalement ou même partiellement. Les seules interventions d'une entreprise dans la gestion d'une autre étaient en effet réservées à des actions ponctuelles (approvisionnements de matières premières). Pour autant, les entreprises sont conscientes des contraintes de leurs fournisseurs. Compte tenu de cela, il semblerait intéressant de pouvoir concilier la prise en compte de la réactivité de la chaîne (i.e. des contraintes fournisseurs) dans le processus de planification et un faible couplage entre les entreprises de la chaîne. Dans le but de proposer notre modélisation, la partie suivante présente un état de l'art sur la prise en compte de la réactivité dans les processus de planification.

5.4 Gestion de l'incertitude sur la demande et réactivité

Incertain et besoin de réactivité sont étroitement liés. En effet pourquoi serait-il nécessaire d'avoir besoin de réagir vite en l'absence d'aléas ? Or, nous avons vu que le manque de visibilité crée de l'incertitude sur la demande et induit des difficultés à prendre en compte les capacités de réactions des autres maillons, ce qui pénalise fortement les conditions de production. Dans cette partie, un état de l'art sur la prise en compte de la réactivité et de la demande incertaine dans un processus de planification est présenté.

5.4.1 Approches pour la modélisation de la réactivité

La réactivité peut être vue comme un concept multidimensionnel (Le Quéré *et al.*, 2003) :

- C'est le temps total entre la détection d'un événement inattendu (panne d'une ressource, identification d'une nouvelle tâche, modification d'une durée, etc.) et le temps pour appliquer la modification adéquate.
- Il est aussi important de prendre en considération la qualité de la modification appliquée en terme de temps d'immobilisation du système.

Dans le but de prendre en compte la réactivité de la chaîne, Zhao et Xie (1998) développent un modèle intégrant, dans leur programme directeur de production, une demande client variable. Le processus de planification suggéré dépend des temps de cycle sur la base d'un processus de planification à horizon glissant. Ils montrent que la longueur de l'horizon gelé (non modifiable) a à la fois un impact sur les coûts globaux issus de la planification et sur la stabilité de la chaîne. Telle (2003) met aussi en évidence l'importance des horizons gelés dans la planification. Ainsi, il montre, dans le cadre d'une relation dyadique client-fournisseur qu'à partir d'une visibilité suffisante sur la demande, ces horizons ne perturbent plus la chaîne.

En résumé, deux concepts vont guider notre modélisation de la réactivité. D'une part, un moyen de mesure pour la réactivité va être le temps nécessaire à un fournisseur, un sous-traitant ou une ressource interne pour pouvoir appliquer une modification. D'autre part, une chaîne sera réactive si les modifications nécessaires pour pallier un événement imprévu entraînent des variations mineures dans les coûts des plans résultants. Une modélisation plus fine de ces concepts sera présentée dans les chapitres suivants.

Dans cette partie, nous avons donné quelques lignes guides pour modéliser la réactivité de la chaîne logistique. Les parties suivantes présentent une description de méthodes pour intégrer une demande incertaine dans le processus de planification.

5.4.2 Introduction de marges dans la planification

Pour se prémunir contre les variations de la demande, un ensemble d'approches préconisent l'introduction de marges dans la planification. Ces approches portent sur différents domaines, par exemple l'amélioration du dimensionnement des marges temporelles (Whybark et Williams 1976), des stocks de sécurité (Grasso et Taylor 1984), (Krupp 1997), des stocks de sécurité et de la politique de lotissement (Bodt et Van Wassenhove 1983), (Ho et Ireland 1998), (Brennan et Gupta 1993), ou en utilisant seulement différentes politiques pour la définition des tailles de lots (Johansen 1999). Un état de l'art sur le dimensionnement des stocks de sécurités dans un contexte MRP peut être trouvé par exemple dans (Guide et Srivastava, 2000), concluant qu'aucune méthode ne surpasse de manière tangible les autres. Il est néanmoins intéressant de constater que l'évolution de la demande et la standardisation des composants peuvent diminuer l'impact d'une augmentation du niveau de stocks. En effet, les surstocks créés ponctuellement par rapport à une commande donnée peuvent être écoulés sur d'autres commandes même dans le cas d'une demande irrégulière (Bartezzaghi et Verganti 1995 ; Gupta et Maranas, 2003).

Dans un contexte de produits de plus en plus spécialisés, l'introduction de stocks de sécurité n'est pas possible. Les décideurs doivent improviser des solutions basées sur leur expérience pour anticiper d'éventuelles perturbations, telles que des augmentations inattendues de la demande client ou des retards de livraison de composants. Une meilleure capacité d'anticipation de ces perturbations et une meilleure quantification de leurs conséquences constituent, selon notre opinion, un élément clé pour être capable d'établir un ensemble de décisions adéquates en avance.

Ainsi, les méthodes précédentes constituent de bons outils pour pallier l'incertitude sur la demande. Néanmoins, elles n'offrent pas la possibilité d'intégrer cette incertitude au processus de planification pour réduire au mieux l'introduction des marges aussi bien temporelles que sur les stocks. D'autres méthodes sont apparues plus récemment et ont pour but de tenir compte de l'incertitude pour fournir des plans adaptés sur lesquels les décideurs pourront s'appuyer pour prendre leurs décisions.

5.4.3 Prise en compte de l'incertitude par la modélisation de la demande

La gestion de l'incertitude peut être vue comme un processus global dans lequel l'étape primordiale constitue la bonne compréhension de ce que sera la demande client finale (Bartezzaghi et Verganti 1995). Une première forme de prise en compte de la demande incertaine est de la modéliser par une distribution de probabilité. L'utilisation de modèles stochastiques constitue un champ important de recherche. En liaison avec la planification des chaînes logistiques, Srinivasa Raghavan et Viwanadham (2002) mettent en avant cinq techniques : les graphes série-parallèle, les chaînes de Markov, les réseaux de files d'attente, les réseaux de Petri et les modèles de dynamique des systèmes (Angerhofer et Angelides, 2000).

Un autre type d'approches pour la modélisation de la demande est l'utilisation de la théorie des possibilités et de la logique floue (Zadeh, 1978 ; Dubois et Prade, 2004) pour la propagation d'une demande incertaine tout au long d'un processus de planification MRP (Grabot *et al.*, 2005). Cette méthode permet d'obtenir une planification des besoins et un plan de charge flous qui peuvent aider un gestionnaire à évaluer la charge à laquelle il sera susceptible de faire face. Fargier et Thierry (2000) proposent une représentation de l'imprécision sur les quantités commandées propagée dans le processus de planification dans le but de déterminer la demande globale correspondant à un ensemble de commandes. Ce type d'approche, permettant une modélisation plus souple que l'utilisation de lois de probabilités apporte un formalisme pour traiter des données imprécises et incertaines. La demande propagée dans l'horizon flexible telle que nous avons pu le voir dans nos études de cas contient ces deux aspects d'imprécision et d'incertitude. En effet, dans l'horizon flexible, la demande peut évoluer entre deux niveaux et donc possède un certain degré d'imprécision. De plus, on ne peut dire, a priori, quelle sera sa valeur finale et est, de ce fait incertaine.

Les prévisions peuvent être aussi gérées dans le processus de planification par l'intermédiaire d'un rafraîchissement et d'une actualisation périodique des plans. Van Landeghem et Vanmaele (2002) présentent une revue des sources d'incertitudes qui peuvent être étudiées par une analyse des risques. Cette analyse a pour but d'améliorer la compréhension des phénomènes apportant de l'incertitude dans la gestion de la chaîne logistique et d'y apporter une réponse. Ainsi, en réduisant les causes d'incertitude, la périodicité des réactualisations des plans pourra être réduite de sorte à correspondre à la baisse des variations sur les données de la planification. Dans une approche similaire, Génin (2003) a développé une méthode pour la planification tactique, basée sur un plan de référence pour la définition de la périodicité de planification. Il montre que sa méthode a un impact important sur la réduction de l'effet Bullwhip et améliore la stabilité de la chaîne.

En modélisant une demande incertaine et en l'incluant dans le processus de planification, ces approches permettent au décideur d'utiliser son expérience et d'adapter les prévisions provenant de ses clients ou de ses services commerciaux.

Nos entrevues ont mis en évidence une demande client incertaine dont les variations bornées sont définies par contrat. Cette caractérisation de la demande se rapproche des modélisations floues ou possibilistes dans le sens où la demande peut prendre un ensemble de valeurs dans un intervalle donné. Par contre, la définition de possibilités ou de probabilités sur une valeur finale de la demande semble, compte tenu du contexte, difficile. Cela exclut, dans notre approche, l'utilisation de modèles stochastiques. En outre, cette étude s'orientera vers un processus de planification périodique pour l'actualisation des plans, comme nous le détaillerons dans le chapitre suivant.

Conclusion du chapitre 2

Dans ce chapitre, à partir d'une étude visant à apporter une classification des publications sur la gestion de la chaîne logistique, nous avons pu positionner cette thèse dans le *niveau décisionnel tactique* en abordant principalement les processus *d'approvisionnement* et de *production*. Le regard avec lequel est abordée la chaîne logistique concerne essentiellement la *planification des activités*, la *gestion des stocks* et la *coopération* interentreprises pour améliorer les relations d'une entreprise avec ses clients et fournisseurs.

Une étude du milieu industriel a été présentée. Cette étude montre les difficultés pour les PME du milieu aéronautique pour (1) intégrer les prévisions fournies par leurs donneurs d'ordres (2) assurer un suivi efficace de leur production (3) prendre en compte les éléments amonts de la chaîne pour connaître leurs capacités de réaction. A partir de ces hypothèses, notre approche a pour but : 1) de fournir au décideur une bonne vision de la situation de son entreprise vis-à-vis de l'incertitude sur la demande et 2) de lui montrer quelles sont les décisions qu'il peut prendre dans le temps dans le but de pallier l'incertitude. A chaque étape, son choix se résume à prendre une décision en avance ou prendre le risque d'attendre jusqu'à ce que la demande devienne précisément connue. Dans le premier cas, sa décision peut se révéler sous-optimale si la demande change. Dans le second, les options (décisions) possibles pour le manager risquent de se voir réduites et, en cas de changement trop brutal dans la demande, de ne pouvoir s'adapter. Dans chaque cas, nous pensons que donner une bonne illustration des conséquences du processus décisionnel construit à chaque maillon de la chaîne logistique est un axe d'étude plus prometteur que la construction de plans optimaux qui peuvent être rapidement remis en question (Génin et al., 2005), et ne permettent pas au manager d'utiliser son expérience.

Un état de l'art sur les différents types de modélisations (i.e. centralisées, distribuées, hiérarchisées) de la chaîne logistique oriente notre étude vers une solution autorisant un faible couplage entre les entités de la chaîne tout en assurant une certaine coordination. Ainsi, dans le chapitre suivant, une modélisation basée sur une approche locale générique d'un élément d'une chaîne logistique sera proposée. Cette modélisation pourra être instanciée au niveau de chaque maillon de la chaîne. La coordination sera assurée par, d'une part, la prise en compte, côté client, d'une demande incertaine et d'autre part, par une modélisation de la capacité de réaction des fournisseurs. Dans le chapitre suivant, les caractéristiques détaillées de cette modélisation seront présentées.

Chapitre 3 : Concepts pour la planification dynamique

Introduction au chapitre 3

Les deux premiers chapitres de ce mémoire ont permis de dégager un certain nombre d'orientations pour notre recherche :

- Positionnement de l'entreprise comme élément central de notre approche,
- Adoption d'une vision locale des processus décisionnels de planification,
- Prise en compte dans un même modèle des relations clients et fournisseurs,
- Définition de moyens de prise en compte de l'anticipation nécessaire à la prise de décision,
- Modélisation de la demande incertaine selon différents horizons temporels.

Dans ce chapitre, nous abordons plus précisément les concepts permettant la définition du processus de planification dynamique d'une entité de la chaîne logistique. Principalement, ce sont les caractéristiques du système que nous étudions, sous l'angle de la réactivité et du besoin de visibilité sur la demande client.

Ce chapitre est organisé de la façon suivante. Tout d'abord, nous récapitulons brièvement dans le paragraphe 1 les points clés et les objectifs de notre étude. Ensuite, en nous basant sur ces objectifs, nous définissons dans le paragraphe 2, la structure étudiée et les décisions qui y sont associées. Dans le paragraphe 3, les délais limitant la réactivité de la chaîne sont précisés dans le but de mettre l'accent sur le besoin de visibilité des différents acteurs. Enfin, dans le paragraphe 4, nous décrivons les principales étapes d'un processus de planification dynamique à horizon glissant et mettons en évidence les problèmes liés aux interactions entre les différentes décisions.

1. Intérêts de l'étude

5.5 Complexité de la planification

Les études de cas que nous avons menées ont mis en avant un certain nombre de points clés qu'il est nécessaire d'intégrer dans la tâche de planification de la chaîne logistique.

En premier lieu, la chaîne logistique s'assimile plus fréquemment à un ensemble de relations point à point qu'à un véritable réseau complètement coordonné par une entité supervisant l'ensemble du processus d'élaboration du produit. Cette supervision peut néanmoins se retrouver dans quelques cas particuliers, comme celui des entreprises multi-site (coordination des différents sites de l'entreprise) ou des entreprises virtuelles pour lesquelles la coordination reste restreinte au cadre d'un projet ou d'un produit à durée de vie limitée. Ainsi, le pilotage point à point domine mais nécessite malgré tout l'intégration des principales caractéristiques des maillons voisins (caractéristiques agrégées) si l'on veut assurer une gestion cohérente de la chaîne. La prise en compte des besoins du client et des délais imposés par les fournisseurs sont par exemple primordiaux pour établir des plans fiables.

Les cas industriels étudiés ont montré que la planification (lorsqu'elle existe) met généralement en œuvre un grand nombre de décisions de natures variées (e.g. répartition des quantités à produire entre la production interne et les sous-traitants, définition des niveaux de capacités adéquats, approvisionnements auprès de différents fournisseurs, etc.) soumises à de nombreuses contraintes (e.g. capacités de production, satisfaction des clients, prise en compte des coûts, délais de production, délais d'approvisionnement, etc.). Il est difficile pour un décideur de maîtriser l'ensemble de ces leviers décisionnels et des contraintes associées.

De plus, les décisions ont des caractéristiques temporelles spécifiques conférant une certaine inertie au système. Or, nous avons vu dans nos études de cas que les clients réclament aux entreprises de pouvoir s'adapter de plus en plus rapidement à des variations de la demande. Pour pallier ce problème, un affinement progressif des informations (i.e. des demandes) transmises par le client est réalisé dans le cadre d'un processus de planification à horizon glissant. Les plans doivent être périodiquement remis en cause pour intégrer ces nouvelles informations et, à chaque nouvelle planification, tenir compte des décisions déjà engagées et de la capacité de réaction du système. Il faut ainsi assurer une certaine réactivité tout en limitant la nervosité des décisions. Dans ce contexte, la planification est une tâche difficile pour laquelle les décideurs ont besoin de support et d'outils d'aide à la décision. Les PME que nous avons étudiées souffrent d'un manque d'outils adaptés leur permettant de mieux cerner et gérer le processus de planification dans toute sa complexité.

Face à ces points durs de la planification, nous définissons dans le paragraphe 1.2 les objectifs généraux de notre étude et développons dans la suite du chapitre les différents concepts de modélisation introduits dans notre travail.

5.6 Objectifs de l'étude

La complexité du processus de planification brièvement présentée dans le paragraphe 1.1 met en évidence le besoin d'apporter une aide aux décideurs. Il s'agit d'aider le responsable d'une unité à satisfaire au mieux la demande client finale, tout en planifiant sa production et ses approvisionnements en matières premières et composants. Il est aussi important d'aider ce décideur à évaluer à moyen terme les conséquences de ses choix, en lui donnant la possibilité de simuler plusieurs étapes du processus de planification.

Cet outil d'aide à la planification moyen terme doit intégrer au mieux les besoins et contraintes industriels mis en évidence lors de nos entretiens, soulignés dans les chapitres précédents. Plus précisément, il doit permettre de :

- détecter de manière anticipée les problèmes pouvant survenir dans l'unité de production (e.g. augmentation imprévue de la demande client, rupture dans les approvisionnements, manque de capacité, etc.),
- définir les meilleures décisions compte tenu de la réactivité du système, des coûts, des fluctuations de la demande, etc. Par conséquent, cela va entraîner le besoin de gérer les degrés de liberté à disposition du décideur, tels que la définition des quantités à produire en interne ou à sous-traiter, les ajustements de capacités, les quantités à approvisionner, etc.,
- prendre en compte lors de toute planification, les décisions déjà prises et engagées,
- faciliter le processus décisionnel par simulation et évaluation de politiques globales de planification, basées sur une prise en compte totale, partielle ou sur la non prise en compte de la demande incertaine dans le processus de planification,
- proposer un support pour guider les clients/fournisseurs en mettant en exergue et en évaluant des actions d'améliorations (e.g. réduction des temps de cycle, amélioration de la flexibilité, etc.).

Un des objectifs de cette étude est donc de proposer un modèle de planification qui explicite les relations d'une entreprise avec ses fournisseurs, clients et sous-traitants et qui prend en compte les caractéristiques temporelles liées à la prise de décision. Si ce modèle est suffisamment générique, il pourra être dupliqué et utilisé par chaque partenaire de la chaîne logistique. Un tel modèle sera résolu dans le cadre d'un processus de planification dynamique à horizon glissant. Ce cadre permettra de mettre à jour périodiquement la demande client et de réagir à ses fluctuations.

6 Caractéristiques de l'entité modélisée

Dans cette partie, nous présentons les hypothèses qui constituent les fondements de la modélisation analytique présentée dans le chapitre 4 de ce mémoire. Ces hypothèses sont issues des études de cas que nous avons menées. Elles portent principalement sur deux aspects :

- d'une part, la structure étudiée et modélisée. Cette structure doit posséder une certaine genericité, tout au moins par rapport à un type de production donné.
- d'autre part, les types de décisions et d'informations traitées par cette structure. Il s'agit notamment de justifier le choix des leviers décisionnels considérés au regard des études de cas menées et dans la perspective d'une planification à moyen terme.

6.1 Structure générique d'un élément d'une chaîne logistique

Les études de cas ont surtout mis en avant le caractère point à point des relations interentreprises. Nous avons choisi de considérer comme élément central de notre modélisation un maillon générique au sein d'une chaîne logistique. Nous nous centrons donc sur une entreprise en relation directe avec ses clients, fournisseurs et sous-traitants (cf. figure 10). Le processus de planification de l'entreprise est forcément impacté par tous les acteurs de cette figure.

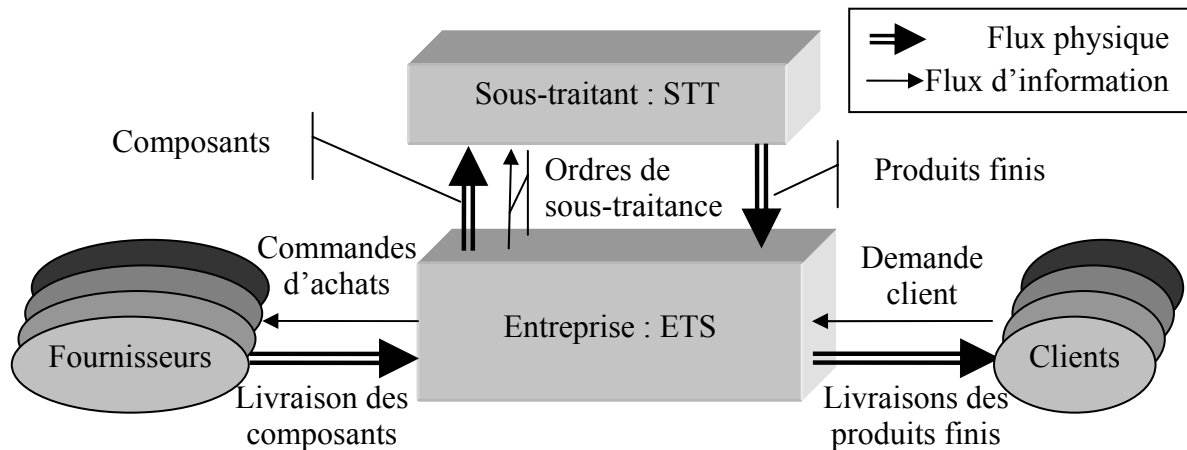


Figure 10. Schéma d'une structure générale point-à-point centrée sur une unité au sein d'une chaîne logistique

Comme dit précédemment, cette structure se limite volontairement à des relations point à point. Nous adoptons donc ici le point de vue de l'entreprise qui doit assurer le lien entre ses clients, ses sous-traitants et ses fournisseurs, en cohérence avec ses activités internes.

La figure 10 résume les informations et matières échangées avec les entités connectées à l'entreprise. En ce qui concerne le flux d'information, les clients transmettent leurs demandes à l'entreprise qui se charge de les agréger (i.e. d'en faire la somme selon le produit fini considéré) pour déterminer les quantités à livrer par période. Ce processus d'agrégation des données client est détaillé dans le chapitre 5, consacré plus précisément à la gestion de la relation client. Les demandes en produits finis génèrent des besoins dépendants en composants. L'entreprise transmet ses commandes à ses fournisseurs en regroupant, grâce à la planification, les besoins provenant de différents produits finis. Pour assurer une certaine généricité à la modélisation, nous considérons que les composants peuvent être approvisionnés auprès de différents fournisseurs possédant des caractéristiques différentes en termes de coûts et de délais.

Un deuxième aspect générique est introduit par la présence de sous-traitants, qui n'ont pas les mêmes relations qu'un fournisseur avec l'entreprise. La première différence se fait au niveau des produits échangés, standards ou particularisés dans le cas du fournisseur, spécifiques dans le cas du sous traitant. Une deuxième distinction peut parfois se faire au niveau du flux matériel : la relation de sous-traitance peut en effet introduire un flux de composants de l'entreprise vers le sous-traitant qui n'existe pas entre l'entreprise et le fournisseur. Les fournisseurs sont en effet responsables de leurs propres approvisionnements alors que l'entreprise peut fournir à son sous-traitant les matières ou composants dont il a besoin pour la fabrication. Dans ce cas, il est donc nécessaire pour l'entreprise de gérer les approvisionnements destinés au sous-traitant. Ce fonctionnement se retrouve notamment dans le secteur aéronautique où la rareté de certaines matières premières comme le titane peut pousser les clients à globaliser leurs besoins pour obtenir de meilleurs tarifs ou des délais acceptables. Ainsi, ces derniers se substituent à leurs sous-traitants et se chargent de gérer les approvisionnements de ces matières à leur place.

Au sein de cette structure, le rôle du maillon central (appelé ici « entreprise ») est de gérer au mieux les informations et contraintes transmises par les acteurs avec lesquels il est en relation, ainsi que ses propres contraintes. En fonction de cela, il doit assurer la satisfaction de ses clients (objectifs globaux) et sa propre pérennité (objectifs locaux). Pour cela, l'entreprise

dispose des différents degrés de libertés que lui offrent les leviers décisionnels décrits dans le paragraphe ci-dessous.

6.2 Processus et leviers décisionnels considérés

La demande provenant des clients est agrégée selon chaque produit fini dans le but de générer les quantités devant être produites à chaque période d'un horizon de planification donné. Cette demande peut être satisfaite grâce à la *production interne* ou à la *sous-traitance*. Les cycles de fabrication, internes ou utilisés pour la sous-traitance, associés à chaque type de produit, ne sont pas considérés dans leur détail et sont représentés sous la forme d'une activité de production « agrégée ». Cette activité est caractérisée par un « délai d'obtention » global qui représente le temps s'écoulant entre le lancement de la production et la mise à disposition des produits lancés. Ce temps de cycle inclut les délais de production, de transport, de tests de qualité, etc. (cf. paragraphe 3.2. de ce chapitre). Des délais d'obtention différents sont cependant associés à la fabrication interne ou à la sous-traitance et sont caractéristiques de chaque type de produit.

La description de l'activité de fabrication interne est complétée par un besoin en heures de travail proportionnel à la quantité produite (charge).

Cette représentation *agrégée* de l'activité de production sous la forme d'un délai et d'une charge est une hypothèse raisonnable au niveau tactique, compte tenu de la granularité des informations classiquement prises en compte ; elle est de plus cohérente avec la discrétisation de l'horizon de planification en périodes.

En ce qui concerne les relations vers les fournisseurs, un ensemble de commandes d'achats est transmis par l'entreprise et indique quelles seront les quantités à livrer par période. Contrairement aux sous-traitants, dont les approvisionnements sont quelquefois gérés par l'entreprise, les fournisseurs sont habituellement responsables de leurs propres fournisseurs. L'entreprise n'a donc de visibilité ni sur leur stratégie d'approvisionnement ni sur les capacités qu'ils vont allouer à la fabrication. Comme nous l'avons précisé dans nos études de cas, ce mode de fonctionnement est à la fois voulu par le fournisseur qui souhaite conserver son indépendance et par l'entreprise qui ne souhaite pas assumer la gestion de ses approvisionnements. L'autonomie des fournisseurs se traduira sous la forme d'un simple délai qui matérialise le temps entre la passation d'une commande et la livraison des produits demandés. Nous détaillons ce point dans la partie 3 de ce chapitre.

La capacité de l'entreprise et la capacité du sous-traitant sont définies de manière globale pour chaque période de l'horizon de planification mais de façon différente : la capacité de l'entreprise est définie sous la forme d'un nombre d'heures de travail disponibles et celle du sous-traitant comme un nombre de produit maximum par période. En effet, le sous-traitant transmet habituellement une information sur un délai de production global et s'engage sur un certain volume de pièces qu'il peut produire. Le volume horaire qui sera réellement affecté à l'élaboration des produits demandés est du ressort de sa propre organisation. Ainsi, le sous-traitant possède une autonomie lui offrant des degrés de libertés pour ajuster sa production. Il peut, par exemple, sous-traiter, sous sa responsabilité, une partie de la charge transmise par l'entreprise. Par contre, en ce qui concerne la production interne à l'entreprise, il est nécessaire de connaître le volume horaire que représente la charge de travail pour envisager l'adaptation des temps d'ouvertures (i.e. le passage en 2*8) pour ajuster la capacité à la charge demandée. L'utilisation d'une telle capacité agrégée (en volume horaire comme en nombre de produits par période) est valable pour un niveau de planification tactique et permet de représenter les problèmes de répartition de la capacité entre familles de produits se partageant un même groupe de ressources. Des familles de produits ne partageant pas les mêmes ressources peuvent être planifiées de manière découplée.

La capacité interne de l'entreprise peut être ajustée en fonction des besoins. On suppose qu'elle est d'abord positionnée selon une cadence de fabrication prédéfinie. Cela correspond à la définition d'un régime de fonctionnement nominal pour l'entreprise (par exemple avec un temps d'ouverture de 7 heures par jour et une seule équipe de travail). Ce fonctionnement nominal peut être adapté par l'utilisation de différents leviers décisionnels. On pourra notamment avoir recours à l'utilisation d'heures supplémentaires ou d'équipes de travail additionnelles etc. On peut noter qu'il y a bien une distinction entre ces deux éléments. En effet, les heures supplémentaires payées sont celles qui sont effectivement travaillées. Lors d'un passage en 2*8, un volume horaire global est affecté et payé même s'il n'est pas consommé entièrement. Déterminer s'il est souhaitable d'effectuer un passage en 2*8 ou de réaliser un certain nombre d'heures supplémentaires est habituellement lié à la durée du besoin de capacité supplémentaire. En effet, le passage en 2*8 est plus lourd à mettre en place que l'utilisation d'heures supplémentaires et doit être suffisamment anticipé. Cette anticipation introduit le risque de déstabiliser la production si toutes les mesures (i.e. approvisionnements) ont été prises pour ce passage en 2*8 et que finalement, une diminution de la demande rend cette décision inutile. D'un autre côté, l'utilisation d'heures supplémentaires requiert en général moins d'anticipation mais peut occasionner un surcoût élevé si le volume d'heures est important. De plus, leur volume reste limité et n'offre pas le même accroissement de capacité que le passage en 2*8.

Dans ce contexte générique, le responsable de la planification a plusieurs degrés de libertés à sa disposition pour réagir aux fluctuations de la demande et adapter la charge et la capacité :

1. lisser la production interne et générer des stocks,
2. accroître temporairement sa capacité interne par recours aux heures supplémentaires, par embauche d'intérimaires ou par changement des rythmes de production,
3. sous-traiter une partie de sa charge,
4. tolérer des retards dans les livraisons de produits finis.

Les aspects financiers apparaissent ici de manière sous-jacente. En effet, c'est en termes de coûts qu'une solution (i.e. un ensemble de décisions) est considérée comme plus favorable qu'une autre. Bien entendu, la solution adoptée pourra être un compromis dans l'utilisation de différents leviers décisionnels. Nous introduisons donc dans notre modélisation un coût adapté à chaque type décision. De plus, d'autres coûts liés aux éléments dépendants de ces décisions, comme les niveaux de stocks ou de rupture, sont intégrés à notre modélisation pour pouvoir mieux mesurer l'impact de chaque décision. Par exemple, si les coûts de sous-traitance et de rupture sont très élevés, et que d'un autre côté, la production interne et le stockage sont peu coûteux, on peut supposer que le décideur choisira de lisser sa production interne et de créer du stock pour produire et satisfaire la demande à moindre coût. Néanmoins, cela suppose que le décideur ait suffisamment de capacité en interne pour, par exemple, absorber un surcroît de demande ponctuel. Il sera d'autant plus facile pour lui de trouver cette capacité s'il connaît la demande à l'avance.

Dans le but d'apporter une définition aux concepts liés à la dimension temporelle de la planification, le paragraphe suivant décrit comment la prise de décision est contrainte dans le temps.

7 Analyse des délais limitant la réactivité

En pratique, une décision ne peut être appliquée instantanément car il est souvent nécessaire de mener des actions préparatoires à son application. D'autre part, une décision mise en œuvre pendant une période donnée peut avoir un impact différé sur l'état du système (Galasso *et al.*, 2005). La compréhension et la prise en compte de ces mécanismes temporels, qui limitent la réactivité, sont fondamentales pour définir des processus de planification dynamiques réalistes. Dans cette partie, nous définissons plus précisément ces concepts.

7.1 Délai d'anticipation

Nous proposons d'appeler *Délai d'Anticipation* d'une décision le temps minimum nécessaire entre le moment où cette décision est prise et le moment où elle peut effectivement être mise en application.

Par exemple, l'augmentation du temps d'ouverture d'un atelier de une à deux équipes doit être décidée et préparée suffisamment à l'avance pour permettre de gérer au mieux le changement d'organisation (i.e. réorganiser les équipes, mettre en place les procédures administratives nécessaires, effectuer éventuellement des embauches d'intérimaires complémentaires etc.). Ce besoin d'anticipation se retrouve notamment dans le recours à la sous-traitance. En effet, il est nécessaire de sélectionner un sous-traitant compétent et de le prévenir à l'avance pour qu'il puisse organiser sa production et intégrer les éventuelles modifications de sa demande. Ce délai d'anticipation sera peut-être moins grand pour ce qui est de la production interne : toutes les informations étant connues de l'entreprise, il est habituellement plus facile de gérer des aléas rapidement au niveau de l'atelier.

Ainsi, pour être applicable à une période donnée t , une décision caractérisée par un délai d'anticipation de DA périodes doit être prise au plus tard à la période τ avec $\tau \leq t - DA$.

Ce délai d'anticipation inhérent à la prise de décision est une source d'inertie et limite la réactivité du système à s'adapter à des changements. La figure 11 présente une application de ce mécanisme. Le type de décision considéré dans l'exemple concerne la cadence de production. On suppose qu'une modification de cadence nécessite un délai d'anticipation de 3 périodes. La cadence de production initiale est fixée à 25 produits par période.

En début de période 0, le responsable de la production doit fixer les cadences sur un horizon temporel donné ; il souhaite augmenter cette cadence à 50 produits par période le plus rapidement possible pour faire face à une augmentation imprévue de la demande. A l'instant $\tau = 0$ où il doit élaborer sa décision (τ est la période de prise de décision), il est trop tard pour modifier la cadence des trois premières périodes qui sont incluses dans le délai d'anticipation. La modification de cette cadence ne peut donc s'effectuer qu'à partir de la période 3 et ce, pour les périodes 3, 4, 5 et 6 de l'horizon sur lequel le décideur effectue sa planification.

Ainsi, la cadence sur les trois premières périodes est gelée (non modifiable) ; ces trois périodes correspondant au délai d'anticipation sont, par exemple, nécessaires à la préparation d'une nouvelle équipe pour doubler la capacité de production à partir de la période 4.

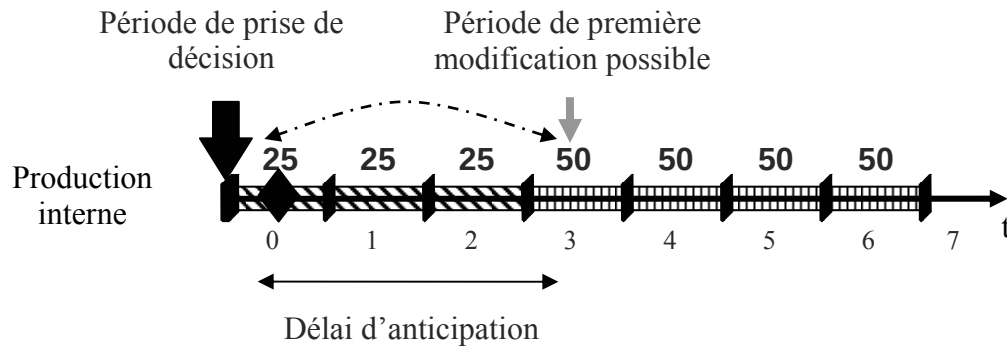


Figure 11. Exemple de prise en compte du délai d'anticipation dans l'horizon décisionnel

Une originalité de notre approche concernant la prise en compte de ces délais d'anticipation est qu'ils sont adaptés et définis pour chaque type de décision (contrairement aux approches développées par, par exemple, Zhao et Lam (1997) où le gel porte sur le programme directeur de production ou Rota (1998) où le gel est appliqué à la production et aux approvisionnements). En effet, le délai d'anticipation dépend de la nature de la décision : par exemple, on peut supposer que si le passage du fonctionnement d'un atelier en 2*8 nécessite 3 périodes d'anticipation, l'utilisation d'heures supplémentaires, plus faciles à mettre en œuvre, n'en nécessitera qu'une.

Dans notre approche, chaque type de décision est donc caractérisé par un coût et un délai d'anticipation.

Cette double caractérisation enrichit les capacités de modélisation. Elle offre la possibilité de lier les coûts et la réactivité demandée à un élément de la chaîne logistique. Dans le cadre des relations avec les fournisseurs, elle permet par exemple de représenter plusieurs types de partenariats. Ainsi, il est possible de modéliser le fait qu'un fournisseur propose à ses clients plusieurs tarifs d'approvisionnement en fonction de différents délais d'anticipation. En effet, des modifications tardives engendrent un besoin de réactivité qui peut se traduire, pour le fournisseur, par l'utilisation de moyens de production introduisant un surcoût par rapport à sa planification habituelle (e.g. utilisation d'une autre ligne de fabrication, heures supplémentaires etc.). Les coûts associés à ces décisions d'urgences peuvent être intégrés dans la planification de l'entreprise et se justifier par la nécessité d'avoir les pièces au bon moment en tolérant le surcoût ponctuel d'approvisionnement. D'autre part, une augmentation du délai d'anticipation favorisera l'organisation du fournisseur et pourra correspondre à une diminution du prix d'achat des composants. Ce genre d'approches peut apporter un complément à ce que nous avons vu dans nos études de cas où certaines grandes entreprises soutiennent l'activité des PME en acceptant certaines commandes même si le besoin final a évolué.

7.2 Délais d'obtention

Une fois qu'une décision a été prise, sa mise en application peut débuter après le délai d'anticipation nécessaire à sa préparation. Il est alors possible que sa réalisation ne soit pas instantanée mais dure pendant un certain nombre de périodes. C'est, par exemple, le cas pour une décision de production. Les produits lancés en production à une période t donnée peuvent ne pas être disponibles immédiatement pour expédition au client ou stockage, mais seulement au bout d'un nombre de périodes correspondant au cycle de production (si ce cycle est supérieur à une période).

Nous proposons d'appeler ici le temps qui sépare le début de l'application de la décision et sa fin (disponibilité du résultat) le *délai d'obtention*.

Ces délais d'obtention concernent plus particulièrement les décisions liées à la production. En effet, les décisions organisationnelles comme l'utilisation d'heures supplémentaires ont un effet immédiat (e.g. augmentation de la capacité de production). Leur application est possible dès lors que la préparation de leur mise en œuvre a été correctement anticipée.

En ce qui concerne les décisions d'approvisionnement, on considère que le *délai d'obtention propre au fournisseur est inclus dans le délai d'anticipation* qu'il communique à ses clients. En effet, nous considérons que l'entreprise n'a pas de visibilité sur les temps de cycle des fournisseurs et leurs processus d'organisation internes. De ce fait, l'entreprise ne voit que le temps entre la passation d'une commande d'approvisionnement transmise par l'entreprise à son fournisseur et la livraison des produits par le fournisseur. Ainsi, le délai d'anticipation demandé par le fournisseur inclut à la fois les délais nécessaires à son organisation propre et à l'élaboration des composants.

Pour toutes les autres décisions, il est important de remarquer que délai d'anticipation et délai d'obtention se cumulent, augmentant l'inertie du système et limitant sa réactivité à mettre en place les changements.

La figure 12 présente ce cumul dans le cas de la production interne. Ce cas peut être étendu à la production sous-traitée. Dans cet exemple, la période de prise de décision (pendant laquelle la planification est effectuée) est la période 0. Le délai d'anticipation est de 3 périodes et le délai d'obtention de 2 périodes. Comme dans l'exemple précédent, le manager souhaite augmenter sa production de 25 à 50 unités. Compte tenu du délai d'anticipation, une décision d'augmentation de cadence prise en période 0 conduira à une modification effective au plus tôt en période 3. Compte tenu du délai d'obtention, les produits issus de la nouvelle cadence de fabrication (50 unités) ne seront disponibles pour utilisation qu'en période 5.

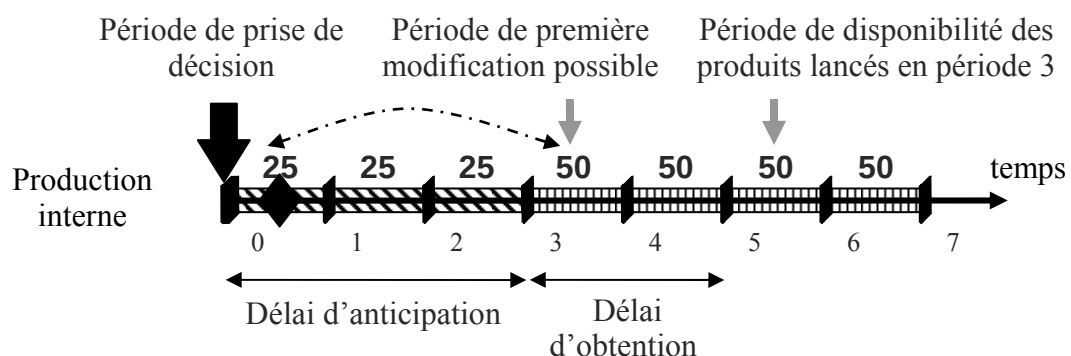


Figure 12. Exemple de cumul du délai d'anticipation et du délai d'obtention

Dans ce cas de figure, les premières décisions de modification du volume de production (i.e. à partir de la période 3) ont des répercussions en période 5. Ainsi, la prise de décision effectuée en période 0 permet au mieux d'agir sur la satisfaction de la demande des périodes 5 et au-delà. Cela se traduit concrètement pour le décideur par un besoin de visibilité sur la demande client qui doit aller au-delà de la période 5 ; ceci donne une première indication sur la relation entre le potentiel réactif d'un système de production et la visibilité qu'il doit avoir sur la demande client.

8 Processus de planification dynamique

Le besoin d'anticipation et de réactivité dépend de la visibilité que l'entreprise a sur la demande client. Dans le but de limiter l'influence de l'incertitude sur les données, le processus de planification est conduit sur les bases d'un rafraîchissement périodique de la demande. Cela signifie qu'à chaque pas de planification, les décisions seront remises en question en fonction de la demande client connue et des délais associés à chaque décision.

8.1 Horizon de planification

Nous définissons l'*Horizon de Planification* comme *l'ensemble des périodes sur lesquelles la demande client est prise en compte dans la planification*.

La demande client sur cet horizon de planification peut être connue avec certitude (i.e. demandes fermes) ou de manière incertaine (i.e. commandes en cours de négociation, commandes ouvertes, etc.). La longueur de l'horizon de planification dépend de la visibilité dont on dispose sur la demande client, qu'elle soit ferme ou prévisionnelle. Dans le contexte aéronautique, nos études de cas ont fait apparaître, au niveau tactique, des longueurs d'horizons dépendant des clients et pouvant varier entre 12 et 36 mois avec des périodes allant de la semaine au mois.

T représente le nombre de périodes constituant l'horizon de planification.

Les clients affinent leur demande au fur et à mesure que le temps s'écoule et communiquent régulièrement à l'entreprise ces nouvelles informations. Pour actualiser les plans en conséquence, la planification est périodiquement rafraîchie selon un processus dynamique à horizon glissant. Avec une *périodicité de planification* donnée notée PP (par exemple, tous les 2 mois), une nouvelle planification est effectuée sur un nouvel horizon de T périodes. La période à laquelle s'effectue chaque nouvelle planification dépendante de PP est notée τ . C'est dans cette période τ que les décisions sont prises sur l'ensemble de l'horizon de planification. Cette période sera appelée *période de référence* pour une planification donnée.

L'*Horizon de Planification* correspondant à la planification ayant τ comme période de référence est noté HP^τ et est, de ce fait, défini comme suit :

$$HP^\tau = \{ \tau, \tau + 1, \dots, \tau + T - 1 \}.$$

Dans le paragraphe suivant, le lien entre ce processus de planification à horizon glissant et la prise en compte des délais est présenté.

8.2 Planification à horizon glissant et horizons gelés

A chaque pas de planification, la demande externe est mise à jour et des plans sont générés dans le but de réagir aux fluctuations de cette demande. Néanmoins, une décision relative à une période t ne peut pas être modifiée au pas de planification τ si t est dans le délai d'anticipation (i.e. si $t \leq \tau + DA - 1$). Les décisions relatives à des périodes appartenant au délai d'anticipation résultent nécessairement de planifications antérieures. Elles doivent être prises plus tôt (i.e. lors d'un pas de planification précédent) et sont nécessairement « gelées » au pas de planification τ . Par conséquent, à chaque pas de planification et pour chaque type de décision, l'horizon de planification peut être décomposé en deux sous-horizons :

- Un *horizon gelé* HG^t correspondant au délai d'anticipation de la décision considérée ($HG^t = \{t, t+1, \dots, t+DA-1\}$). Sur cet horizon, les *décisions* prises lors des pas de planification précédents ne peuvent être modifiées ; elles sont reportées sans modifications et sont donc « gelées ».
- Un *horizon libre* dans lequel les décisions peuvent être adaptées librement dans le but de réagir aux incertitudes et aux changements.

Il est important de noter que les périodes de l'intervalle $[t+DA-1, t+DA+PP-1]$ appartiendront à l'horizon gelé de la planification suivante. Les décisions qui s'y rapportent sont « libres » pour la planification t mais définitives : elles ne pourront pas être remises en cause par les planifications suivantes.

L'évolution du processus de planification est décrite dans la figure 13 pour un type de décision donné. Dans cet exemple, $T = 7$, $PP = 2$ et la décision considérée possède un délai d'anticipation DA de 3 périodes. Comme on peut le voir dans la figure 13, les décisions concernant les périodes 3 et 4, prises librement lors du premier pas de planification, sont gelées et reportées sans modifications dans le second pas. Les décisions relevant de la période 5 et au-delà restent libres dans le second pas de planification.

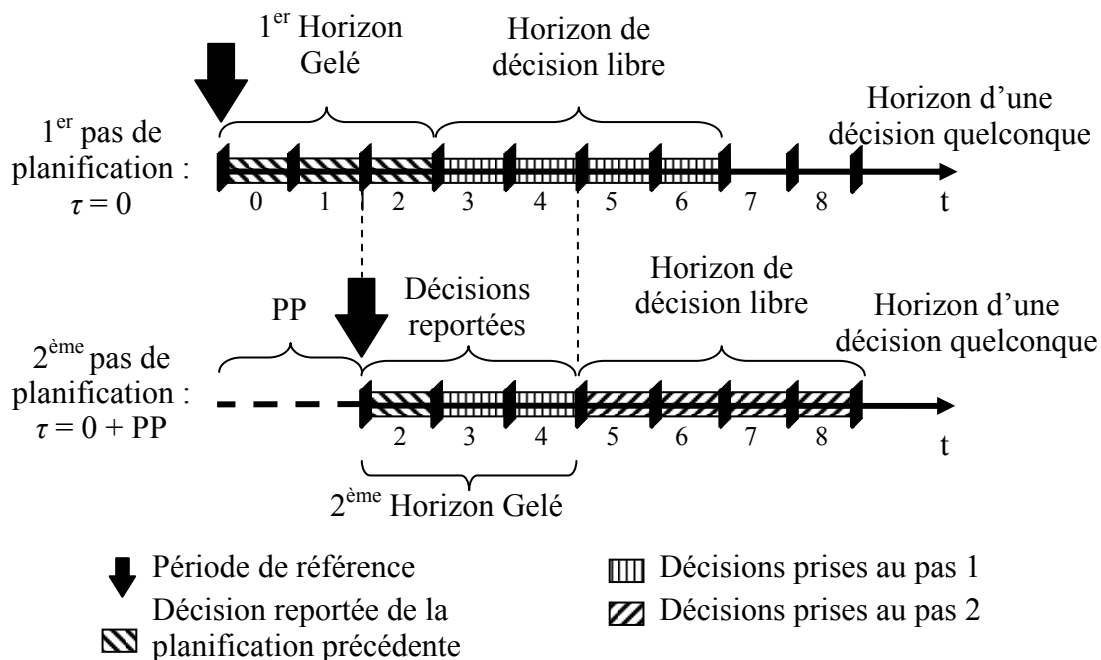


Figure 13. Principe du gel et du report des décisions

Les délais d'anticipation et par conséquent les horizons gelés introduisent de la *stabilité* dans les plans en empêchant la réalisation de modifications tardives (quelle qu'en soit la raison, administrative ou liée à des contraintes techniques ou organisationnelle de production). Néanmoins, la contrainte de ne pouvoir appliquer les modifications qu'après un certain délai risque d'engendrer des *corrections relativement fortes* pour pallier la dégradation des conditions de production (ceci est par exemple une des causes du "Bullwhip effect"). Au-delà des délais d'anticipation, le choix de la *périodicité de planification* est un facteur important pour établir un compromis entre la stabilité de la planification et l'actualisation des données et donc des plans. Une périodicité de planification longue entraîne le gel de décisions lointaines (jusqu'à la période $t=t+DA+PP-1$) assurant ainsi la stabilité des plans, mais les répercussions d'une modification de la demande ne se feront sentir que plus tardivement sur les autres acteurs de la chaîne. Une périodicité moins longue permet des remises en causes plus fréquentes des plans. Dans ce cas, il est nécessaire de s'assurer que les autres acteurs de

la chaîne pourront prendre en compte ces réactualisations et s'adapter aux nouvelles décisions. C'est précisément l'objet de notre étude que de donner des moyens d'évaluer à partir de quel moment cette recherche de stabilité peut pénaliser la production.

Finalement, seules les décisions prises à la période 5 et au-delà lors du premier pas de planification restent libres au deuxième pas et pourront être réévaluées. Il est important de noter que les décisions prises dans les périodes 3 et 4, c'est-à-dire entre $\tau+DA-1$ et $\tau+DA+PP-1$ seront appliquées sans modification, même si entre ces deux pas de planification, l'évolution de la demande les a rendues incohérentes. Il peut s'agir, par exemple, de demandes d'approvisionnement établies selon des prévisions qui ont été annulées entre les pas de planification 1 et 2. Dès lors, l'entreprise aura un stock de composants élevés qui pourra soit être écoulé dans les futures commandes soit aboutir à des produits obsolètes. Il en résulte que les décisions pour les périodes 4 et 5 doivent être prises dans les meilleures conditions possibles. Pour cela, le décideur doit avoir une visibilité suffisante sur une demande client ferme qui n'évoluera pas entre deux pas de planification.

8.3 Besoin de visibilité sur les demandes clients

A chaque pas de planification, les décisions libres mais définitives (puisque gelées dans la planification suivante) doivent être prises dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire, par exemple, sur la base de demandes client fermes (qui n'évolueront donc pas entre deux pas de planification).

Lorsqu'il s'agit de décisions de production (en interne ou sous-traitée), le besoin de visibilité peut être encore plus marquant en raison des délais d'obtention LP (production interne) ou LS (sous-traitance) (i.e. délais nécessaire entre le lancement en production et la mise à disposition des produits) Ainsi, les périodes à disposition du décideur vont être limitées par ces délais, que nous noterons L suivi de P s'il s'agit de la production interne (LP) ou de S s'il s'agit de la sous-traitance (LS). Ainsi, les lancements en production devront s'effectuer en avance selon le nombre de périodes correspondant au délai d'obtention. Le décideur aura donc $T-L$ périodes pour déterminer sa planification.

Deux points méritent d'être notés et sont illustrés par la figure 14.

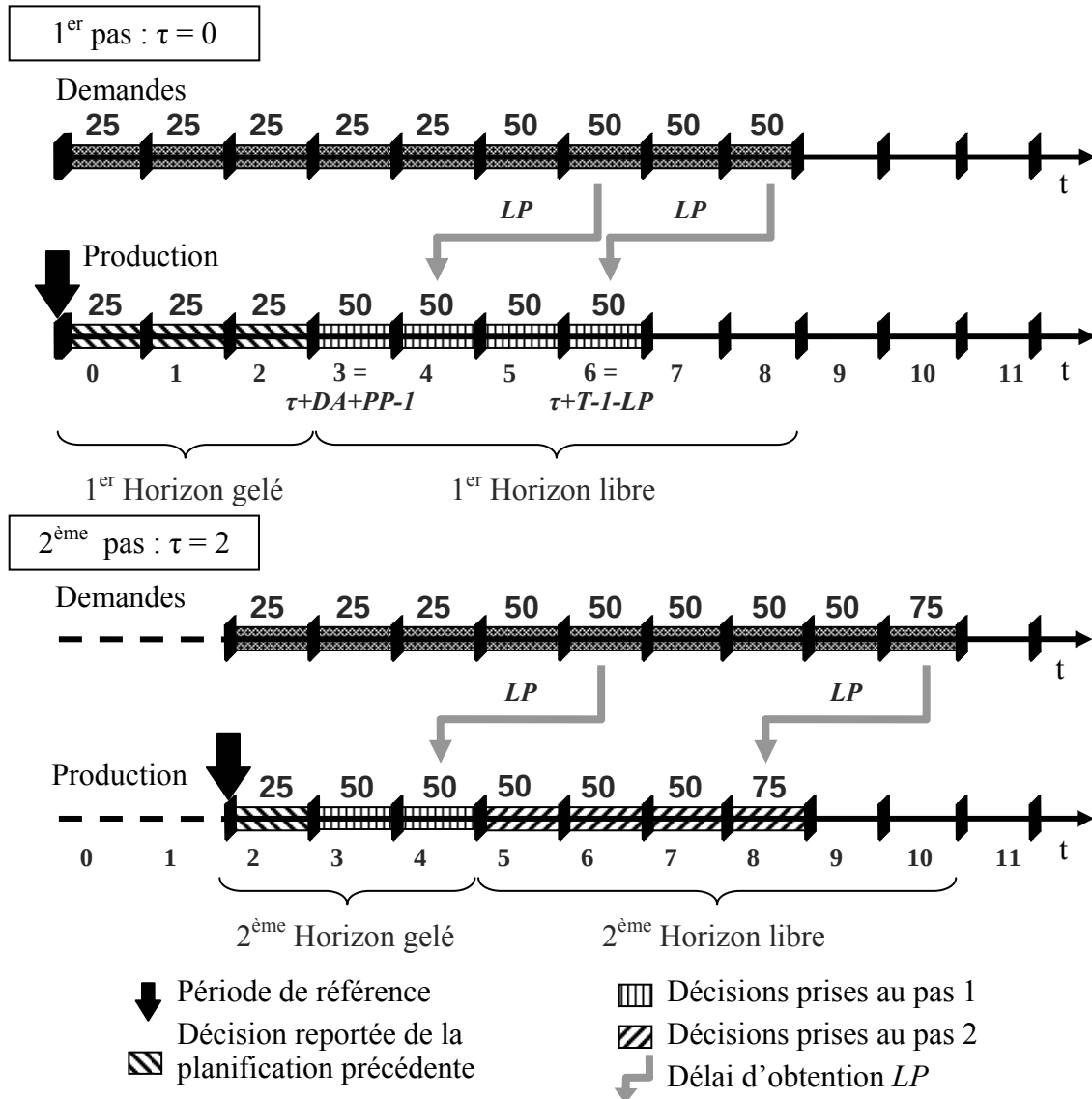


Figure 14. Cumul des délais d'anticipation et d'obtention

D'une part, le lancement en production de produits destinés à satisfaire la demande sur la dernière période de l'horizon de planification $\tau+T-1$ se fera au plus tard LP périodes avant, c'est-à-dire en $\tau+T-1-LP$. L'horizon relatif aux lancements en production est donc plus court que l'horizon de planification.

D'autre part, comme le montre la figure 14, le lancement en fabrication dans la période $t=\tau+DA+PP-1$ correspond à une décision libre mais définitive, compte tenu des paramètres PP , DA , et LP . Ce lancement permet de satisfaire la demande au plus tôt relative à $t=\tau+DA+PP+LP-1$. Cette décision gelée restera cohérente dans la prochaine étape de planification si la demande n'est pas modifiée, c'est-à-dire si la demande est elle-même ferme et définitive. Cela implique que pour le type de décision considéré, la visibilité minimale sur la demande client ferme doit s'étendre au-delà de $\tau+DA+LP+PP-1$. On doit avoir : $T > DA+LP+PP-1$

Ce besoin de visibilité peut être accru dans le cas où il est nécessaire de lisser la charge (cf. chapitre 4).

L'exemple illustré par la figure 15 montre que si la visibilité sur les demandes fermes n'est pas suffisante (les demandes sur l'horizon varient entre 2 pas de planification), la planification dynamique n'est pas en mesure d'éviter les ruptures. L'exemple décrit par cette figure est construit sur la base d'un type de décision, la production interne, soumise à un délai d'anticipation $DA = 3$ périodes et à un délai d'obtention $LP = 2$ périodes. On suppose que la capacité de production maximale est de 100 produits par période. Comme condition initiale, il est supposé que la demande pour les périodes 0 et 1 est satisfaite par l'en-cours de production (i.e. production pour les périodes -2 et -1). L'horizon de planification comporte 9 périodes.

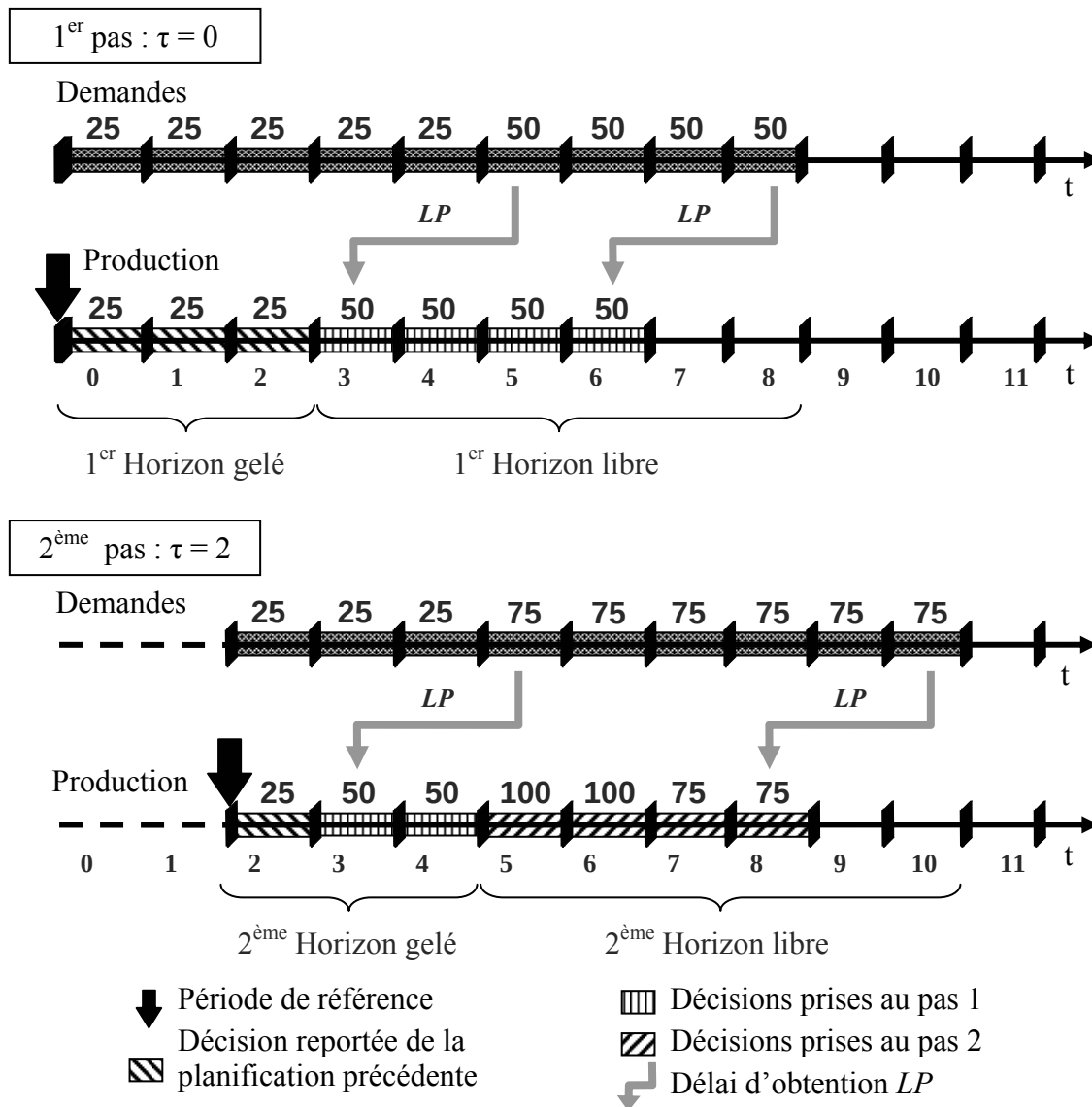


Figure 15. Lien entre le gel des décisions et la visibilité sur la demande client

Au premier pas de planification, le décideur détermine un plan de production pour satisfaire les demandes clients, telles qu'elles sont connues à la période de référence $\tau = 0$. L'augmentation de la demande de 25 unités à 50 pour les périodes 5 et 6 est satisfaite par une augmentation des quantités lancées en production dans les périodes 3 et 4, qui se situent au-delà de l'horizon gelé.

Au deuxième pas de planification, on dispose de nouvelles informations sur la demande. La demande client pour les périodes 5 et 6 a augmenté au-delà des valeurs connues lors de la planification précédente, et est passée de 50 à 75 unités par période. Or, les quantités de production planifiées précédemment pour les périodes 3 et 4 sont désormais gelées et ne correspondent plus à la nouvelle valeur de la demande client. Dans cet exemple, le décideur choisit de combler au plus tôt les ruptures occasionnées par cette modification de la demande en fixant à 100 les quantités planifiées pour les périodes 5 et 6.

Cet exemple met en avant un ensemble de problématiques importantes pour la planification de la chaîne logistique. *Tout d'abord, le cumul des différents délais freine la capacité de l'entreprise à prendre en compte des modifications de la demande.* En effet, les premières modifications ne peuvent être effectuées qu'après l'horizon gelé. Compte tenu de la périodicité de planification, les décisions suivant l'horizon gelé devront compenser l'effet des modifications tardives sur la demande. Dans notre cas, cela se traduit par l'impossibilité de satisfaire la demande des périodes 5 et 6, car la production correspondante est gelée à 50 produits. Ces ruptures sont compensées par la production de 100 unités en périodes 5 et 6. Cela peut se traduire concrètement par des conditions de production plus difficiles (e.g. heures supplémentaires, cadences plus élevées, réallocation de charge etc...) et donc plus coûteuses.

Ensuite, compte tenu du délai d'obtention, le décideur ne peut définir une production en réponse à la demande sur la totalité de l'horizon de planification. En effet, ne connaissant pas la demande au-delà de l'horizon de planification, toute valeur positionnée sur les périodes comprises entre $\tau + T - LP$ et $\tau + T - I$ le serait arbitrairement. Si l'horizon de planification est suffisamment long (i.e. supérieur à $\tau + DA + LP + PP - I$) l'impact de l'absence de ces décisions sur les dernières périodes de l'horizon est limité car elles ne seront pas gelées lors de la planification suivante. Par contre, si l'horizon de planification n'est pas suffisant long, il sera impossible de « rattraper » la décision qui n'a pas été prise. Ce raisonnement peut amener le décideur à augmenter sa visibilité par l'utilisation de prévisions basées sur l'historique des différentes demandes.

Nous souhaitons rappeler et mettre en avant ici que l'horizon gelé est dépendant de chaque type de décision, au lieu d'être un paramètre constant dans le processus de planification, tel que c'est usuellement le cas au niveau tactique dans le cadre d'une planification de type MRP.

Le raisonnement ci-dessus est construit en ne considérant qu'un seul type de décision (i.e. la production interne) et en ignorant les autres types de décision qui lui sont liés (e.g. approvisionnement, ajustement de capacité). Il apparaît intéressant de montrer comment les décisions peuvent s'influencer au travers des délais qui leurs sont associés.

8.4 Interactions entre décisions

Dans cette partie, nous montrons à travers un exemple comment la combinaison des différentes décisions que doit prendre un décideur génère une certaine complexité dans la planification. Cette complexité est accrue lorsque l'on s'inscrit dans un cadre dynamique de planification. Les capacités de réactions de l'entreprise sont réduites au fur et à mesure que certaines décisions deviennent gelées.

L'exemple choisi est volontairement simple. La figure 16 présente le positionnement au plus tard des différentes décisions (production interne, heures supplémentaires, approvisionnements) liées à l'apparition d'une demande à satisfaire en période 11. Pour

simplifier le raisonnement, nous nous plaçons dans le cas d'une production à la commande (i.e. avec un niveau de stock nul en fin de chaque période).

En raison du délai d'obtention de 2 périodes nécessaire à la réalisation des produits, la quantité devant être lancée en production doit être positionnée au plus tard en période 9. Il faut, pour cette même période, ajuster la capacité et choisir d'effectuer des heures supplémentaires ou non. Pour pouvoir réaliser la production, il est nécessaire de planifier la livraison des composants en période 8 afin qu'ils soient disponibles pour utilisation en période 9.

On suppose que les délais d'anticipation sont de 2, 3 et 4 périodes pour, respectivement, la production interne, les heures supplémentaires et les approvisionnements. Ainsi, au plus tard, la décision sur les quantités à produire doit être prise en période 7. La décision sur le nombre d'heures supplémentaires à effectuer doit être prise en période 6. Les approvisionnements doivent être décidés en période 4.

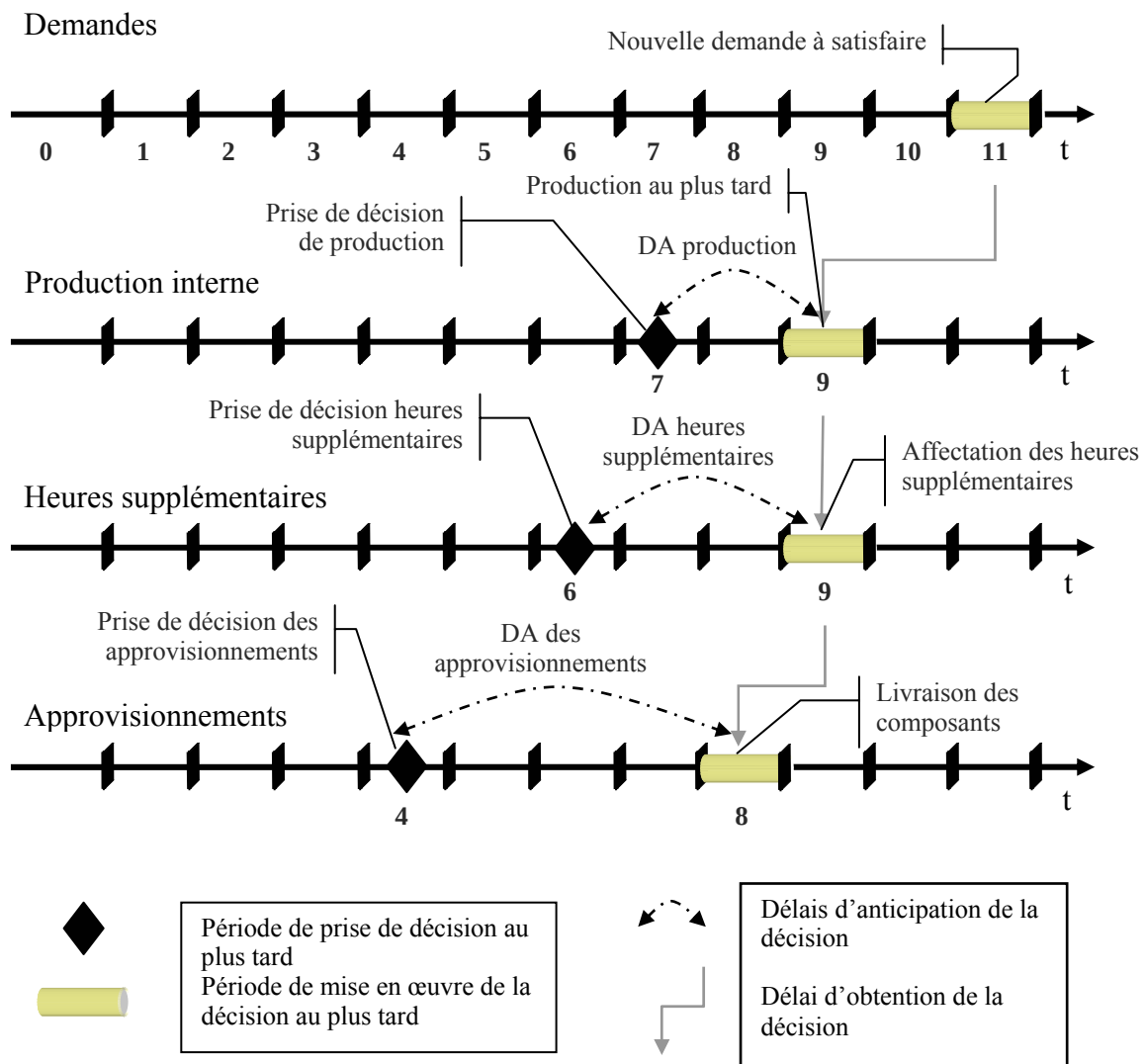


Figure 16. Dépendances entre décisions de production, capacité et approvisionnements

Dans ce contexte, deux situations de planification sont étudiées ; elles se distinguent par la période de référence considérée pour la planification. Dans les deux cas, la période 11 fait partie de l'horizon de planification. On montre à travers ces exemples que la capacité de réaction pour la prise en compte de la demande de la période 11 varie selon la période de référence.

La figure 17 se place dans le cas où la planification s'effectue à la période 0. Cette figure introduit les différents horizons gelés induits par les délais d'anticipation. Dans ce cas, on constate que toutes les décisions liées à la demande en période 11 sont libres. De ce fait, le décideur a la possibilité de déterminer sa production avec ou sans heures supplémentaires et de prévoir les approvisionnements en conséquence.

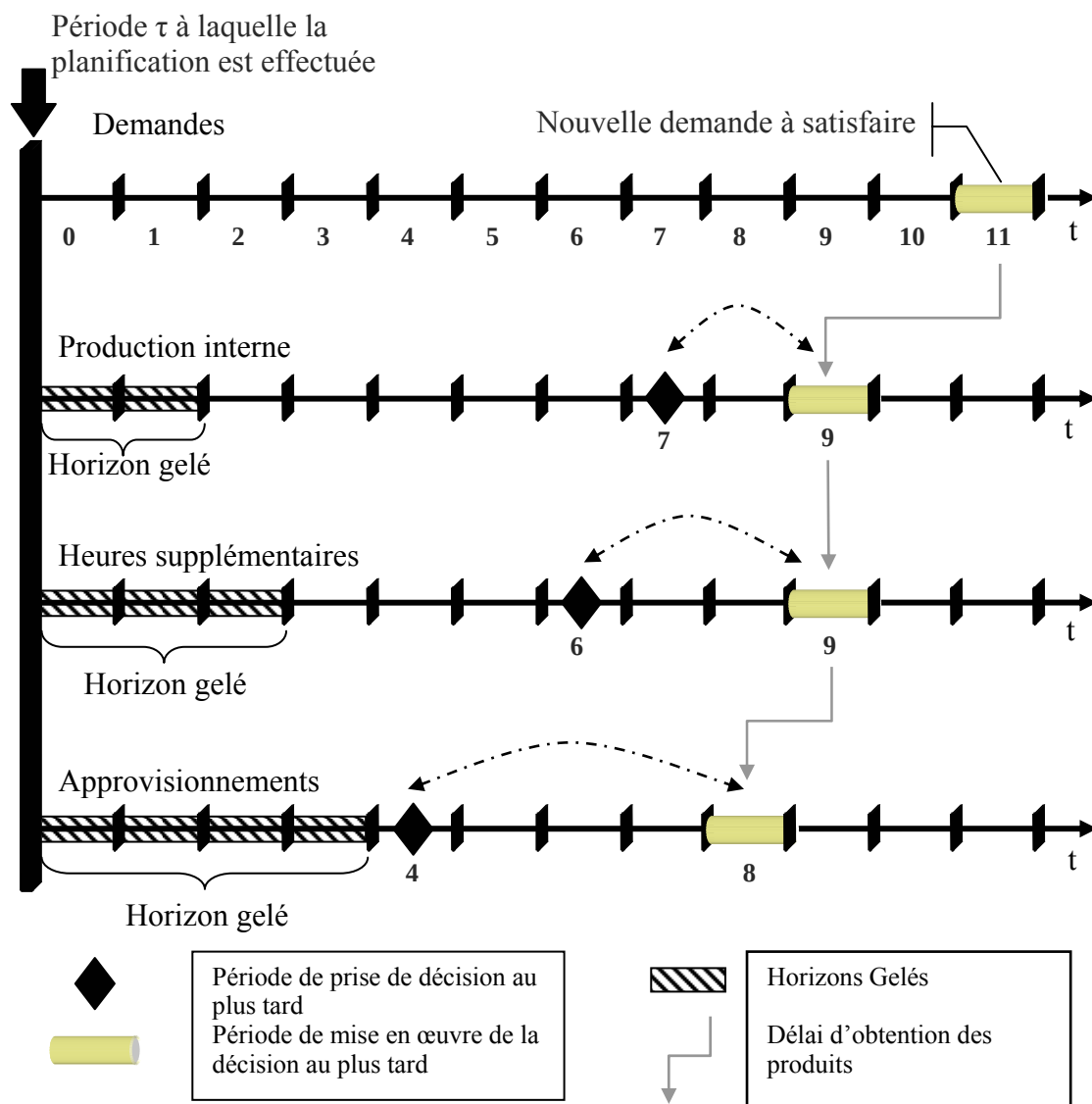


Figure 17. Positionnement des horizons gelés des différentes décisions

La figure 18 présente le positionnement des différents horizons gelés lorsque la période de référence est la période 5. Dans ce cas, la décision liée aux approvisionnements est gelée. Les autres décisions (la production interne et les heures supplémentaires) peuvent être encore modifiées. Le problème soulevé ici est que les décisions concernant les heures supplémentaires ou la production interne doivent être prises en fonction des

approvisionnements déjà définis et gelés. Or, ce cas de figure est différent du cas précédent dans lequel une certaine logique était respectée. En effet, les approvisionnements pouvaient être décidés en fonction des quantités à produire.

Si entre ces deux pas de planification (à la période 0 et à la période 5) la demande prévue en période 11 a été augmentée, les approvisionnements ne seront pas suffisants pour faire face à cette hausse. Dans ce cas, l'entreprise risque d'être en rupture vis-à-vis de ses clients. Par contre, si cette demande a diminué, le décideur pourra encore annuler les heures supplémentaires qu'il a pu prévoir et réduire ses quantités à produire. Ce deuxième point risque de générer des surstocks de composants. En effet, les approvisionnements étant gelés, l'entreprise doit accepter les livraisons de ses fournisseurs. Comme ces approvisionnements sont toujours définis en fonction du besoin en production incluant les quantités à produire en heure supplémentaire, ils seront surdimensionnés par rapport à la nouvelle demande.

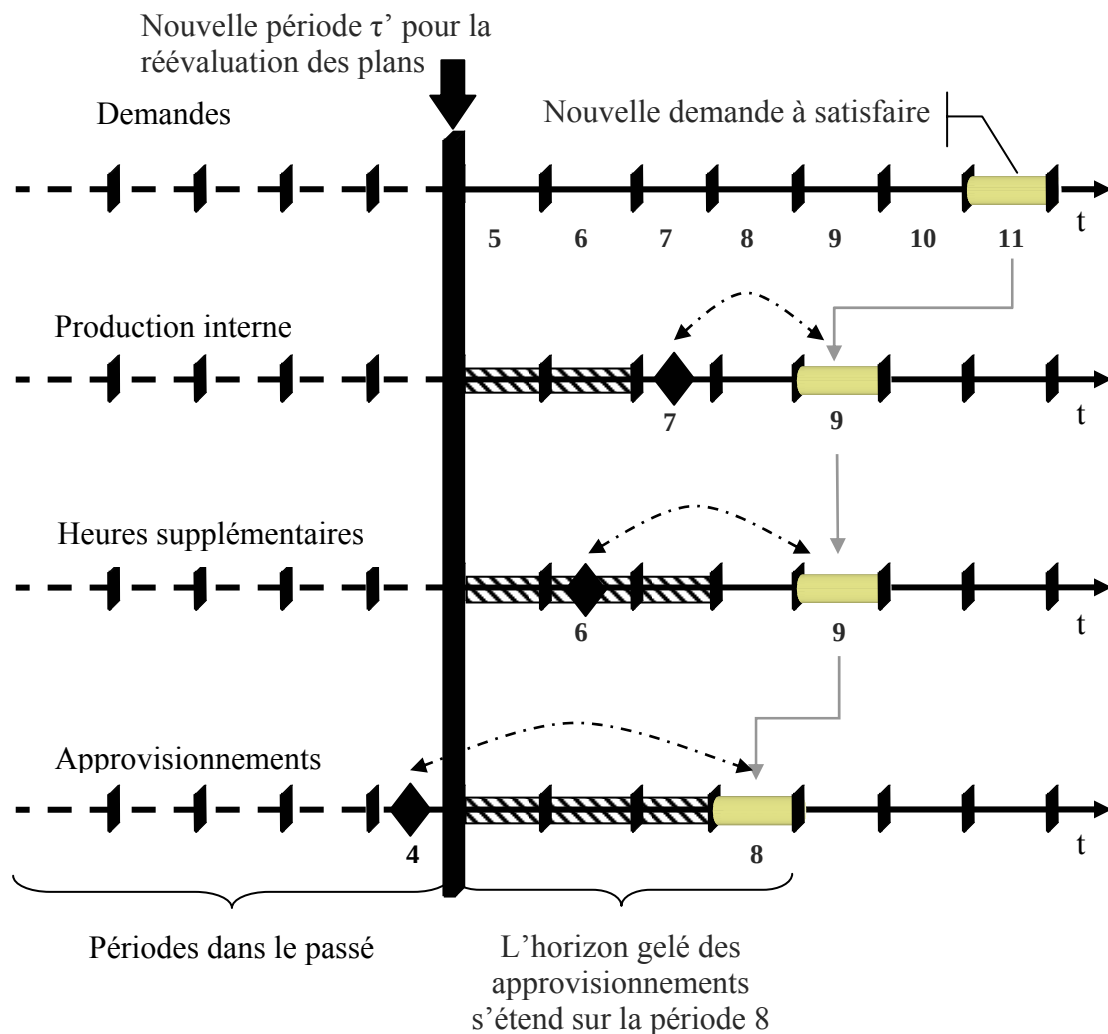


Figure 18. Intersection des horizons gelés et des décisions anticipées

Ainsi, les interactions entre les types de décision, les différents délais et la périodicité de planification entraînent une certaine inertie de l'appareil de production en réduisant son aptitude à réagir et absorber les aléas et variations de la demande. Cela montre le besoin de connaître la demande client suffisamment à l'avance pour pouvoir l'anticiper. L'horizon de planification T doit être aussi long que le permet la connaissance sur les demandes client. De

Chapitre 3. Concepts pour la planification dynamique

plus, la réactivité sera améliorée si les délais d'anticipation et, de ce fait, les horizons gelés, sont aussi courts que possible.

Le processus de planification est complexe car d'une part, les décisions de production peuvent être contraintes par des décisions d'approvisionnement gelées et d'autre part, le décideur peut arbitrer entre des décisions peu réactives avec des coûts pouvant être moins élevés que ceux de décisions plus réactives. Ainsi, dans l'exemple que nous venons de donner, les approvisionnements sont gelés lors du deuxième pas de planification (cf. figure 18). Une option, pour le décideur, serait d'utiliser un fournisseur plus réactif mais plus cher. Une telle utilisation dépendra de l'évolution de la demande et est sujette à un compromis entre les surcoûts liés à des approvisionnements « d'urgence » et des ruptures ponctuelles.

Pour gérer cette complexité, une modélisation analytique, qui permet de déterminer de manière optimale les décisions à prendre à chaque pas de planification est proposée dans le chapitre suivant.

Conclusion du chapitre 3

Dans ce chapitre, nous avons posé les bases de notre modélisation analytique, en cohérence avec les observations faites sur le terrain et rapportées dans le chapitre 2. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux différents délais qui vont limiter la réactivité de la chaîne logistique. Ces délais rendent nécessaire le fait d'avoir une visibilité suffisante sur la demande pour assurer une planification cohérente.

Nous avons introduit deux délais caractéristiques pour modéliser chaque type de décision : le *délai d'anticipation* et le *délai d'obtention*. L'intégration de ces délais dans un processus de *planification à horizon glissant* est complexe, du fait des *dépendances entre les décisions*. Ainsi, la capacité du décideur à anticiper les différentes décisions et à utiliser pleinement les décisions possibles est réduite par le *gel d'une partie de ces décisions* anticipées. Le décideur se retrouve partagé entre le besoin d'anticiper les différentes décisions, avec le risque qu'elles ne soient plus cohérentes vis-à-vis d'une demande client en évolution, et l'envie d'attendre le « dernier moment » pour prendre ses décisions, quitte à disposer d'un ensemble de leviers plus réduit ou plus coûteux.

Pour l'aider dans ce choix, nous définissons dans le chapitre suivant un *modèle analytique* et un *cadre de simulation* permettant l'évaluation de politiques de planification. Ces politiques intégreront par la suite, la gestion d'une demande client incertaine sous forme de stratégies de planification.

Chapitre 4 : Modélisation et aide à la décision

Introduction au chapitre 4

A chaque étape du processus de planification, le décideur doit prendre les meilleures décisions parmi un vaste ensemble de possibilités. La détermination des quantités à produire en interne, des quantités à sous-traiter, des quantités de composants à commander aux fournisseurs, le lissage de la charge ou l'utilisation d'équipes de travail supplémentaires, etc. constituent les points principaux à aborder. La complexité de la tâche de planification est de gérer l'ensemble de ces décisions tout en prenant en compte les décisions déjà prises et désormais gelées, impactant les coûts, les délais etc.

Dans ce chapitre, nous proposons un programme linéaire pour modéliser le problème de planification défini dans le chapitre précédent. Ce modèle peut être utilisé à chaque étape d'un processus de planification à horizon glissant. Un tel processus permet une actualisation périodique de la demande client et des plans. Pour permettre l'évaluation globale des plans construits progressivement par le décideur, nous proposons d'intégrer ce modèle à un cadre de simulation du processus de planification complet.

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons la formulation mathématique du modèle de planification. Nous abordons dans la deuxième partie l'intégration de ce modèle dans un cadre de simulation. Enfin, une mise en œuvre de cette simulation est décrite sur un exemple simple. Elle permet d'évaluer l'influence de différents paramétrages temporels (horizon de planification, délais d'anticipation et d'obtention, périodicité de planification, etc.) sur la qualité du plan finalement implémenté.

1. Modèle de planification

Dans cette partie, nous introduisons les notations utilisées et proposons notre modèle de planification. Les caractéristiques prises en compte dans le modèle permettent de répondre aux différents besoins énoncés dans le chapitre précédent.

8.5 Notations

Le modèle M^τ correspond au problème de planification à résoudre au pas de planification τ , sur l'horizon de planification HP^τ . Dans ce modèle déterministe, la demande est supposée connue sur l'ensemble de l'horizon de planification et est mise à jour à chaque pas de planification.

Le modèle M^τ est basé sur les notations suivantes :

Ensembles et paramètres temporels :

$\{p\}$ et $\{c\}$: ensemble des produits finis p et composants c approvisionnés auprès de fournisseurs extérieurs

$\{s\}$: ensemble des fournisseurs

$\{a\}$: ensemble d'actions qui peuvent être lancées pour ajuster la capacité de l'entreprise (i.e. passage en 2 ou 3*8).

T : nombre de périodes dans l'horizon de planification

HP^τ : horizon de planification au pas de planification τ ; $HP^\tau = \{\tau, \tau+1, \dots, \tau+T-1\}$

HG_k^τ : horizon gelé au pas τ associé à la décision k (k représente tout type de décision mentionnée ci-dessous) ; $HG_k^\tau = \{\tau, \tau+1, \dots, \tau+DA_k-1\}$ où DA_k est le délai d'anticipation de la décision k

PP : périodicité de planification

Paramètres statiques (indépendants du pas de planification τ) :

LP_p, LS_p : délais d'obtention du produit fini p lorsqu'il est respectivement fabriqué en interne ou sous-traité

C_t : capacité de production interne (nombre d'heures de travail disponibles)

$N_{p,t}$: volume de production en sous-traitance du produit p en période t exprimé en nombre de produits

κ_a : supplément de capacité introduit par le recours à l'action a exprimé en heures

ρ_p : nombres d'heures de travail consommées par la fabrication d'une unité de produit p en interne

$\alpha_{p,c}$: coefficients de nomenclatures reliant les produits finis p et les composants c .

Paramètres dynamiques (mis à jour à chaque pas de planification τ) :

$\hat{D}_{p,t}^\tau$: demande globale (déterministe) du produit fini p pour la période t résultant de tous les clients.

Variables représentant les décisions prises au pas de planification τ :

$X_{p,t}^\tau$: quantité de produits p lancée en production interne à la période t ,

$S_{p,t}^\tau$: quantité de produits p lancée en sous-traitance à la période t ,

E_t^τ : nombre d'heures supplémentaires utilisées à la période t ,

$B_{a,t}^\tau$: variable binaire = 1 si l'action a pour augmenter la capacité est active à la période t , 0 sinon,
 $I_{p,t}^\tau, G_{p,t}^\tau$: niveaux de stock et de rupture en fin de période t pour le produit fini p ,
 $J_{c,t}^\tau$: niveau de stock du composant c à la fin de la période t ,
 $A_{s,c,t}^\tau$: quantité de composants c devant être livrés par le fournisseur s à la période t .

Coûts unitaires associés aux décisions :

i_p : coût unitaire de stockage pour le produit fini p ,
 j_c : coût unitaire de stockage pour le composant c ,
 g_p : coût unitaire de rupture pour le produit fini p ,
 x_p : coût unitaire de fabrication d'un produit fini p ,
 s_p : coût unitaire de sous-traitance de la fabrication d'un produit fini p ,
 $a_{s,c}$: coût unitaire d'approvisionnement du composant c auprès du fournisseur s ,
 b_a : coût d'utilisation de l'action a d'augmentation de la capacité,
 e : coût d'utilisation d'une heure supplémentaire.

8.6 Modèle de planification M^τ

Le modèle de planification est défini comme suit :

$$\min \sum_{t=\tau}^{\tau+T-1} \left[\sum_p i_p I_{p,t}^\tau + \sum_c j_c J_{c,t}^\tau + \sum_p g_p G_{p,t}^\tau + \sum_p x_p X_{p,t}^\tau + \sum_p s_p S_{p,t}^\tau + \sum_s \sum_c a_{s,c} A_{s,c,t}^\tau + \sum_a b_a B_{a,t}^\tau + e E_t^\tau \right] \quad (1)$$

sous les contraintes :

$$I_{p,t}^\tau - G_{p,t}^\tau = I_{p,t-1}^\tau - G_{p,t-1}^\tau + X_{p,t-LP_p}^\tau + S_{p,t-LS_p}^\tau - \hat{D}_{p,t}^\tau \quad \forall p \quad \forall t \in HP^\tau \quad (2)$$

$$\sum_p \rho_p X_{p,t}^\tau \leq C_t + \sum_a (B_{a,t}^\tau \times \kappa_a) + E_t^\tau \quad \forall t \in HP^\tau \quad (3)$$

$$S_{p,t}^\tau \leq N_{p,t} \quad \forall p \quad \forall t \in HP^\tau \quad (4)$$

$$J_{c,t}^\tau = J_{c,t-1}^\tau - \sum_p \alpha_{p,c} (X_{p,t}^\tau + S_{p,t}^\tau) + \sum_s A_{s,c,t}^\tau \quad \forall c \quad \forall t \in HP^\tau \quad (5)$$

$$\sum_p [\alpha_{p,c} (X_{p,t}^\tau + S_{p,t}^\tau)] \leq J_{c,t-1}^\tau \quad \forall c \quad \forall t \in HP^\tau \quad (6)$$

$$E_t^\tau \leq E_{\max} \quad \forall t \in HP^\tau \quad (7)$$

$$X_{p,t}^\tau = X_{p,t}^{\tau-PP} \quad \forall p \quad \forall t \in HG_X^\tau \quad (8)$$

$$S_{p,t}^\tau = S_{p,t}^{\tau-PP} \quad \forall p \quad \forall t \in HG_S^\tau \quad (9)$$

$$A_{s,c,t}^\tau = A_{s,c,t}^{\tau-PP} \quad \forall s \quad \forall c \quad \forall t \in HG_{A_s}^\tau \quad (10)$$

$$B_{a,t}^\tau = B_{a,t}^{\tau-PP} \quad \forall a \quad \forall t \in HG_{B_a}^\tau \quad (11)$$

$$E_t^\tau = E_t^{\tau-PP} \quad \forall t \in HG_E^\tau \quad (12)$$

La fonction objectif (1) a pour but de minimiser le coût global du plan calculé comme la somme des coûts de stockages des produits finis et composants ; des coûts de ruptures en produits finis ; des coûts de production, des coûts de sous-traitance ; des coûts d'approvisionnement ; des coûts d'utilisation d'une action visant à augmenter la capacité et des coûts d'utilisation des heures supplémentaires.

L'équation (2) relie les quantités produites (en interne ou sous-traitées) et les niveaux de stocks ou de rupture en produits finis. Nous pouvons noter que, en raison des délais d'obtention, les quantités de produits p lancées en périodes $t-LP_p$ ou $t-LS_p$ seront disponibles en période t .

La production est limitée par la capacité de production allouée à chaque période (cf. contrainte (3)). Cette capacité est modélisée comme la somme d'une capacité standard C_t disponible à chaque période, d'une capacité additionnelle κ_a et des heures supplémentaires E_t^τ . La capacité additionnelle κ_a est spécifique aux actions définies dans l'ensemble $\{a\}$. Ces actions $\{a\}$ sont cumulatives et sont activées par les variables binaires $B_{a,t}^\tau$. Les valeurs associées à κ_a indiquent l'apport de capacité introduit par chaque action à la capacité existante. Les heures supplémentaires E_t^τ sont allouées par période. La contrainte (3) exprime le partage des ressources pour la fabrication des différents produits. Le respect du volume de production maximal du sous-traitant est assuré par la contrainte (4).

Dans l'équation (5), les stocks de composants sont calculés en fonction des besoins générés par la production interne ou la sous-traitance (prise en compte des coefficients de nomenclatures $a_{p,c}$) et des livraisons prévues.

La contrainte (6) limite l'assemblage des produits finis en période t par le stock de composants disponible à la fin de la période $t-1$.

Les heures-supplémentaires E_t^τ ne peuvent excéder une valeur maximale E_{max} (cf. contrainte (7)). Le processus permettant de déterminer la valeur maximale des heures supplémentaires pouvant être affectées à chaque période n'est pas pris en considération dans le cadre de cette étude. On se restreint au cas où cette limite E_{max} a été préalablement établie.

Les contraintes 8 à 12 formalisent la cohérence de chaque type de décision entre deux pas de planification successifs. L'application de ces contraintes est limitée aux horizons gelés respectifs de ces décisions.

Le plan P^τ est l'ensemble des décisions prises à la date τ et obtenues en résolvant M^τ sur HP^τ . Il prend en compte l'état initial du système (niveaux de stocks et de ruptures, production et sous-traitance en cours), les décisions prises lors de la planification précédente (en $\tau-PP$) et gelées dans la planification en cours (contraintes 8 à 12) ainsi que la demande sur l'horizon de planification. Ce plan procure une connaissance sur ce que le manager peut décider de manière optimale, compte tenu des informations disponibles (notamment sur la demande) et des contraintes techniques, temporelles et financières qu'il souhaite prendre en compte.

Dans ce contexte, le modèle M^τ fournit une aide au décideur pour planifier ses décisions « localement », à chaque étape du processus de planification. Néanmoins, cela ne constitue qu'une première étape d'aide à la décision. En effet, il peut être intéressant d'offrir au décideur la possibilité d'évaluer à plus long terme les conséquences des décisions prises à chaque étape de la planification. Ceci peut être fait en simulant le processus complet de planification et en dégagant les indicateurs pertinents pour évaluer à la fin du processus les décisions réellement prises, la capacité à s'adapter à des variations de la demande, etc.

C'est à partir de ce constat que nous avons développé un cadre permettant de simuler le processus de planification.

9 Simulation du processus dynamique de planification

La résolution du modèle M^t dans la période de référence τ donnée permet au décideur d'obtenir les décisions « optimales » par rapport à la demande considérée sur l'horizon HP^τ . Pour tenir compte de nouvelles informations sur la demande qui deviennent disponibles au fur et à mesure que le temps s'écoule, un processus de planification à horizon glissant est généralement mis en œuvre. C'est ce processus que nous souhaitons simuler. Dans cette partie, nous présentons les principes et le fonctionnement général de cette simulation.

9.1 Contexte de simulation

Le processus de planification dynamique complet est simulé sur un horizon de simulation HS . Cet horizon de simulation est bien plus long que l'horizon HP^τ pour permettre la simulation de plusieurs pas de planification. M^t est résolu à chaque pas de planification sur HP^τ en prenant en compte la demande déterministe $\hat{D}_{p,t}^\tau$ qui est ensuite décalée de la période de planification donnée pour couvrir, pas à pas, l'ensemble de l'horizon de simulation. Ainsi, les décisions de planification sont construites progressivement à chaque pas de planification τ en résolvant le modèle M^t .

Les plans résultant des planifications précédentes sont utilisés pour générer les décisions gelées, les différents en-cours, les niveaux de stocks, etc. nécessaires au pas de planification τ courant.

A la fin de la simulation, les décisions réellement implémentées sont rassemblées pour construire le plan réellement implémenté, noté P^i . La construction progressive de ce plan est schématisée dans la figure 19. Dans cette figure, on suppose un horizon de simulation de 8 périodes et un horizon de planification de 5 périodes. A chaque pas de planification, l'horizon gelé associé à la décision considérée (i.e. la production interne) est de 3 périodes. La périodicité de planification est de 2 périodes. Lors de nos différentes simulations, les itérations pour la résolution du modèle de planification s'effectueront jusqu'à ce que les décisions gelées couvrent la totalité de l'horizon de simulation. Le plan réellement implémenté P^i est donc la concaténation des décisions qui se sont retrouvées dans le passé à chaque nouveau pas de planification. On peut constater que certaines décisions (par exemple pour la période 4) ont évolué entre 2 pas de planification.

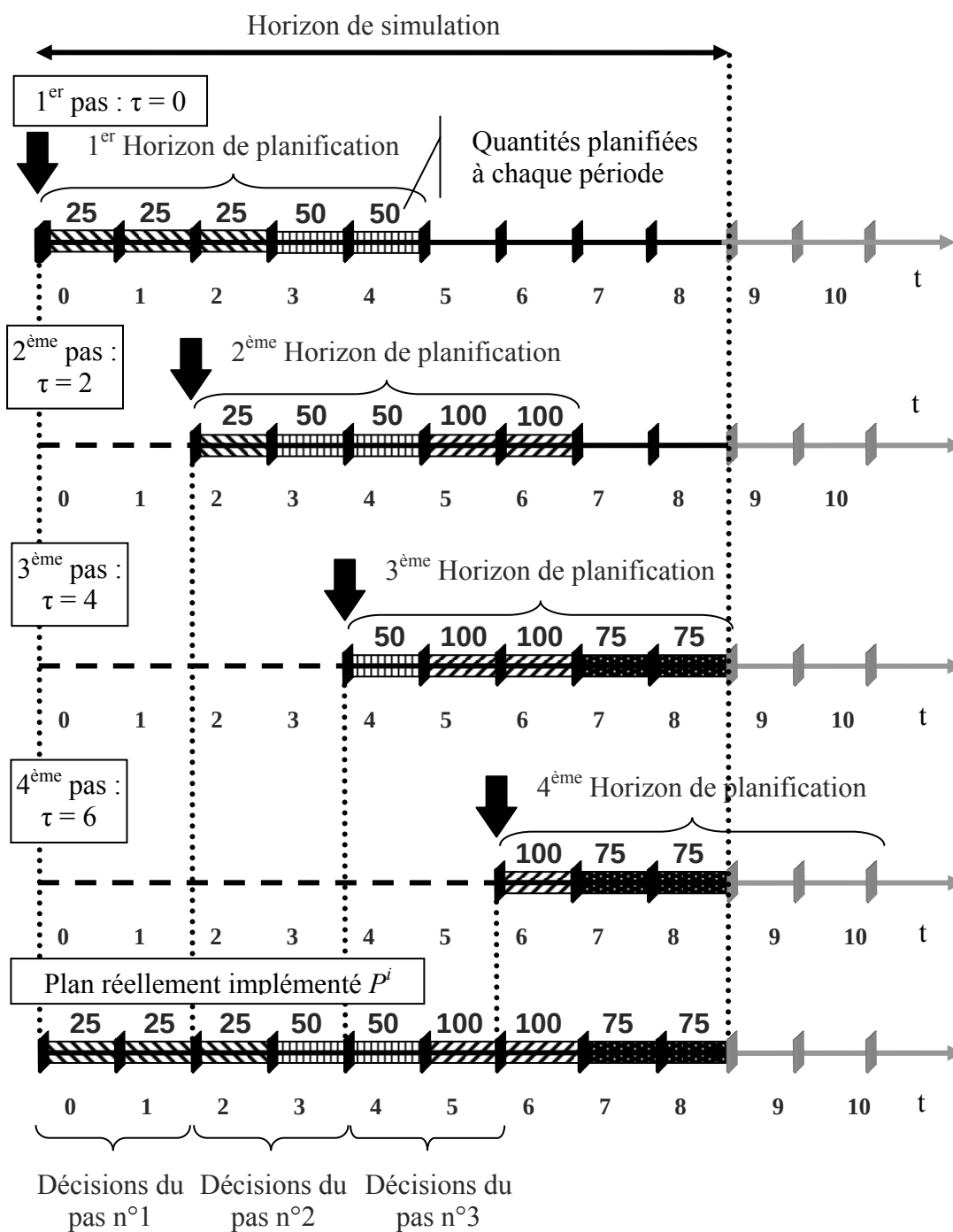


Figure 19. Principe de création des plans réellement implémentés

Il est possible d'obtenir un « plan de référence » noté P^{ref} en supposant que la demande sur l'horizon HS est entièrement connue au premier pas de planification. Le plan P^{ref} est alors obtenu en une étape en résolvant le modèle M^0 sur l'horizon de planification $HP^0 = HS$. Cette hypothèse est, bien sûr, peu réaliste à moins que l'on ne travaille à partir d'un historique des données. Néanmoins, cette supposition permet l'élaboration du plan optimal issu d'une connaissance parfaite de la demande. Ce plan est utilisé par la suite comme référence. Ainsi, les plans issus du processus dynamique de planification pour différents paramétrages seront comparés à ce plan de référence.

La comparaison des plans peut s'effectuer sur différents aspects. Le premier critère de comparaison est le coût global résultant du processus de simulation complet. Comme le montre le critère (1) ce coût tient compte de toutes les décisions intervenant dans le processus de planification. Les différentes composantes d'un plan peuvent aussi être évaluées : niveaux des stocks et des ruptures pour matérialiser la satisfaction du client, répartition des approvisionnements entre les différents fournisseurs, modalités d'ajustement de la capacité, etc.

A chaque pas de planification, notre modèle requiert l'intégration de nouvelles demandes déterministes sur HP^r . Dans le cadre de nos simulations, nous avons choisi de générer a priori les demandes client $D_{p,t}$ sur l'ensemble de l'horizon de simulation (un autre mode de fonctionnement aurait pu être de ne générer $D_{p,t}$ que sur HP^r à chaque pas de planification). Néanmoins, le décideur ne connaît que la demande correspondant à son horizon de planification. Ainsi, à chaque pas de planification, les demandes déterministes $\hat{D}_{p,t}^r$ sont issues du profil de demandes $D_{p,t}$ sur l'horizon de planification.

9.2 Fonctionnement général du processus de simulation

Le fonctionnement général du processus de simulation est donné par la figure 20. La phase 1 du processus concerne l'initialisation et la préparation de la simulation. La phase 2 est le déroulement de la simulation avec la résolution itérative du modèle. La phase 3 consiste à construire les plans réellement implémentés et les indicateurs associés.

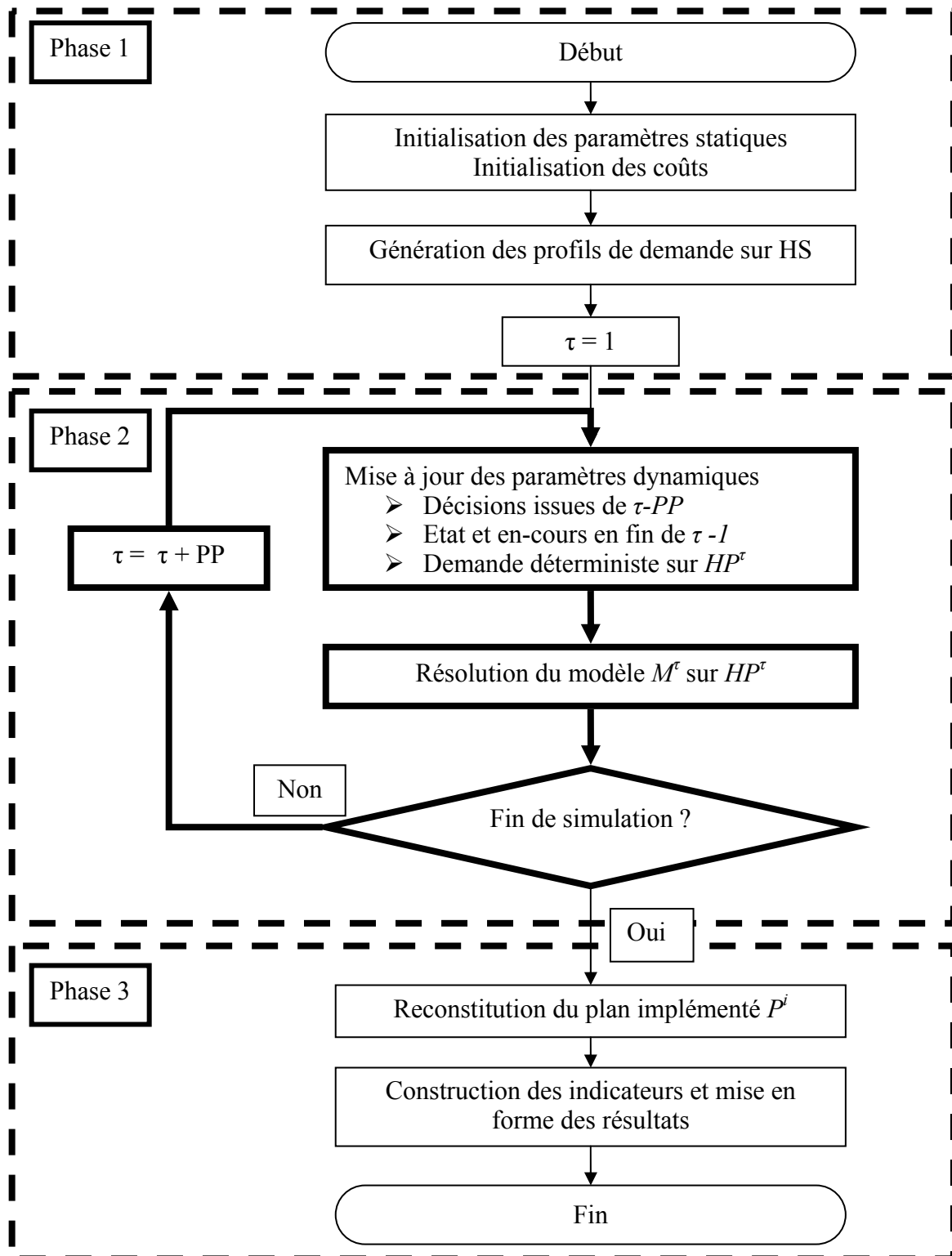


Figure 20. Cadre de simulation

Un tel outil de simulation est intéressant car il permet une comparaison entre les plans P^i obtenus selon différentes configurations de la chaîne logistique et différents profils de demande. Ces comparaisons peuvent être effectuées pour différentes valeurs de T et PP , en liaison avec les délais d'obtention et d'anticipation, dans le but d'étudier l'impact de la visibilité d'une entreprise sur la demande client.

Ce cadre de simulation présente un intérêt essentiel pour la prise en compte de l'incertitude. Nous montrerons dans le chapitre 5 de ce mémoire comment différentes stratégies de planification liées à l'intégration de la demande incertaine peuvent être évaluées dans ce cadre. Avant de développer une modélisation dans ce but, la partie 3 de ce chapitre présente des possibilités d'utilisation de notre cadre de simulation pour l'aide à la décision. Ces différentes simulations portent sur un contexte dans lequel la demande client est déterministe.

10 Analyse du processus de planification dans un contexte certain

Dans ce paragraphe, des exemples d'utilisation de notre outil de planification et de simulation sont présentés. L'objectif de cette partie est de montrer l'influence des caractéristiques temporelles du processus de planification sur les plans obtenus. Chaque exemple d'utilisation de ce cadre de planification dynamique est défini dans un contexte déterministe. La demande transmise par le client sur l'horizon HP^r est supposée connue avec certitude.

10.1 Données générales liées à l'exemple d'application

Pour donner un échantillon des résultats pouvant être obtenus grâce à l'utilisation de notre modèle, nous devons définir un premier jeu de paramètres. Bien entendu, ce paramétrage dépend du cas étudié. Dans ces exemples, nous nous restreignons volontairement au cas d'une usine d'assemblage qui s'intéresse plus particulièrement à la gestion d'un produit fini donné. La nomenclature de ce produit est simple puisque qu'elle n'inclut que deux composants au premier niveau. Ainsi, le produit fini P nécessite 2 composants de type 1 « C1 » et 1 composant de type 2 « C2 ». Ces composants peuvent être approvisionnés auprès de 2 fournisseurs qui se distinguent par les tarifs qu'ils pratiquent et leurs délais d'anticipation. Le fournisseur 1 est le moins cher des deux et a la plus faible réactivité, c'est à dire le plus long délai d'anticipation. En introduisant ces deux fournisseurs, nous abordons la problématique du choix d'un fournisseur en y intégrant les contraintes induites par les délais.

Le tableau 3 donne les délais d'anticipation, d'obtention et les coûts unitaires associés aux décisions de production (interne ou sous-traitée) et d'affectation d'heures supplémentaires.

Type de décision	Délai d'anticipation	Délai d'obtention	Coût unitaire
Production interne	0	0	5
Sous-traitance	2	2	30
Heures supplémentaires	1	0	55

Tableau 3. Caractéristiques des éléments de production

Le tableau 4 présente les coûts d'achat des composants associés aux deux fournisseurs ainsi que les délais d'anticipation. Les coûts unitaires de stockage des composants et du produit fini et le coût de rupture pour le produit fini sont également fournis dans cette table.

Nous ne prenons pas en considération les coûts de rupture pour les composants. En effet, ces coûts sont liés à la gestion propre du fournisseur et n'interviennent pas dans la planification de notre entreprise.

	Fournisseur 1			Fournisseur 2			Stockage			Rupture
	Achats C1	Achats C2	DA	Achats C1	Achats C2	DA	C1	C2	P	P
Coûts unitaires	0,5	0,1	6	2	1	3	0,05	0,01	4	100

Tableau 4. Coûts d'achats, de stockage et de rupture

Les différentes durées de fabrication et capacités des éléments de production sont définies ci-dessous :

- $\rho = 2$: la fabrication du produit fini P en interne nécessite 2 unités de temps (ut.),
- $C_t = 130$: le volume horaire alloué pour la production par période est de 130 ut.
- $E_{max} = 30$: un contingent maximum de 30 heures supplémentaires peut être affecté par période.
- $N_{p,t} = 60$: le volume de production maximal du sous-traitant est de 60 produits par période (rappel : ne connaissant pas les conditions exactes de production du sous-traitant, nous ne pouvons définir un délai pour la fabrication des produits).

Compte tenu de ces conditions, le nombre maximal de produits qu'il est possible de produire par période est de $130/2 + 30/2 + 60 = 140$ produits

Dans un souci de simplification et de clarté de l'exemple proposé, nous n'intégrons pas d'actions a d'augmentation de la capacité (i.e. passage en $2*8$ etc.). Les raisonnements mis en œuvre pour choisir entre l'utilisation d'heures supplémentaires ou de sous-traitance et une production anticipée qui crée du stock peuvent s'étendre sans difficultés à l'utilisation des actions a .

Les conditions initiales sur les stocks qui permettent d'engager la première étape de notre processus de simulation sont les suivantes :

- les stocks et ruptures initiaux en produits finis P sont nuls,
- les niveaux de stocks initiaux en composants C1 et C2 pour permettre la production à la période 1 sont respectivement de 200 et 150 produits.

Ces différents paramètres sont appliqués à deux simulations basées sur des « profils » de demande client différents définis sur HS .

Le premier profil de demande client $D_{p,t}$ défini sur HS est donné par le tableau 5 :

Période n° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demande	60	50	50	55	55	56	50	55	50	55	150	145
Période n° :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Demande	155	152	155	152	50	45	55	50	50	50	50	50

Tableau 5. Profil de demande généré sur HS (profil n° 1)

Ce profil de demande introduit un « pic » de demande sur les périodes 11 à 16. La figure 21 présente le positionnement de cette demande par rapport aux capacités cumulées autorisées par la production interne, l'utilisation des heures supplémentaires et le recours à la sous-traitance.

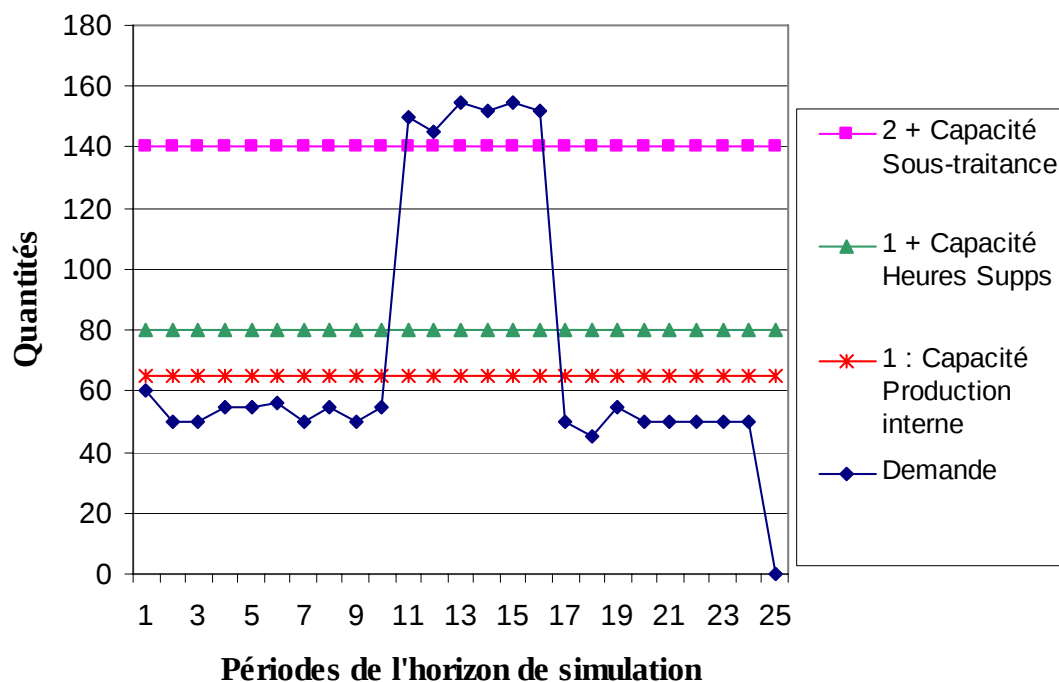


Figure 21. Positionnement de la demande par rapport aux capacités cumulées

On constate sur cette figure que le pic de demande se situe sur les périodes 11 à 16 au dessus de la capacité cumulée totale du système (i.e. 140 produits p par période). Ainsi, le modèle de planification et le processus de simulation nous donnent une indication sur la façon optimale de traiter ce problème de sous-capacité. Vraisemblablement, il s'agira d'anticiper ce pic en produisant à l'avance (dans la mesure des capacités disponibles) et en créant du stock. Dans une situation complexe (de nombreux produits, des pics multiples, etc.), il n'est pas facile de déterminer sans outil d'aide les décisions les plus adaptées pour ajuster la charge et la capacité.

Le deuxième profil de demande client $D_{p,t}$ défini sur HS est donné par le tableau 6 :

Période n° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demande	60	50	50	55	55	56	50	55	50	55	110	120
Période n° :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Demande	100	80	100	110	50	45	55	50	50	50	50	50

Tableau 6. Demande générée sur HS (profil n°2)

Ce profil de demande (cf. figure 22) comporte un pic beaucoup moins important : il ne dépasse pas les capacités cumulées de production. En utilisant un tel profil, nous souhaitons mettre en évidence le lien entre le besoin d'anticipation et la demande client. Ainsi, on peut s'attendre à observer une création de stock moindre que pour satisfaire le profil de demande n°1.

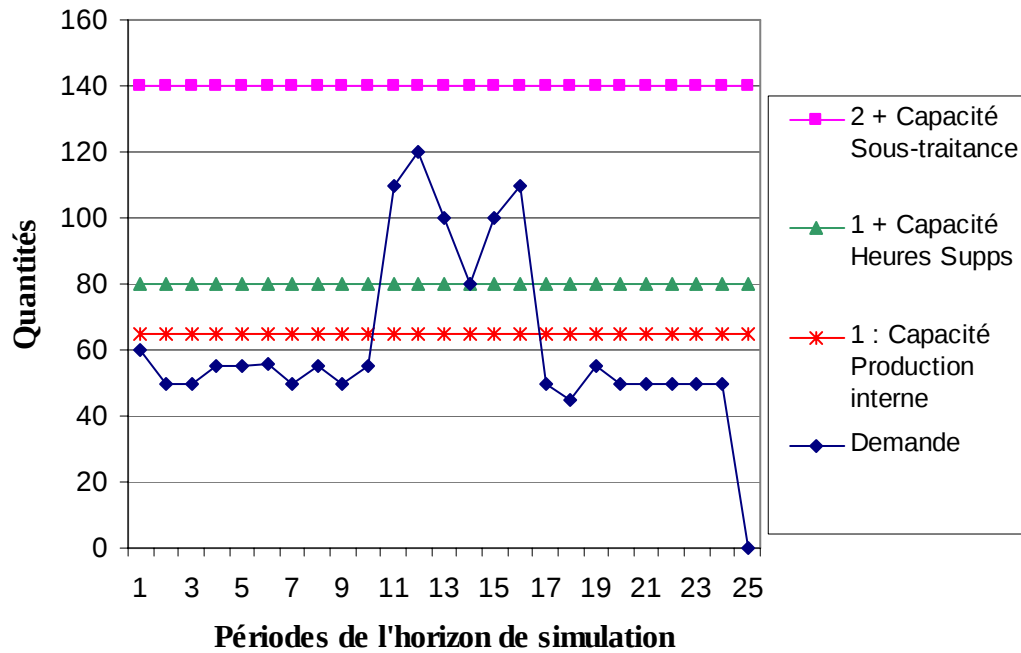


Figure 22. Positionnement de la demande par rapport aux capacités cumulées

À partir des différents profils de demande et des caractéristiques de notre exemple, nous avons réalisé différentes simulations pour étudier l'influence de la longueur de l'horizon de planification sur les plans obtenus. Ces considérations ne seront bien entendues valables que pour le paramétrage décrit ci-dessus, et ne visent qu'à illustrer la capacité d'analyse procurée par le modèle.

Les résultats sont analysés dans les sections suivantes de ce chapitre. Dans un premier temps, les caractéristiques du plan de référence sont présentées. Ce plan rassemble les décisions optimales lorsque l'entreprise a une connaissance totale sur la demande client ferme. Ce plan est comparé, dans un deuxième temps, aux plans P^i obtenus avec différentes « visibilités » sur la demande client.

10.2 Caractéristiques du plan de référence

Un premier exemple d'utilisation de notre modèle est la création du plan de référence P^{ref} . En supposant que les demande définies dans les tableaux 5 et 6 soient connues dès la période 1 et jusqu'à la période 24, nous établissons un premier plan optimal.

Les coûts globaux obtenus pour la réalisation de ces plans sont de 26605,3uc pour le premier profil de demande et de 14572,6uc pour le deuxième. Ces coûts sont calculés à partir de la fonction objectif du modèle analytique (cf. équation (1)).

Les différentes figures de ce paragraphe montrent sous forme de courbes les décisions associées à chaque période dans le plan de référence P^{ref} . Par souci de lisibilité, seule la partie la plus représentative des courbes est présentée. Par exemple, dans les plans P^{ref} associés aux deux profils de demande, les *niveaux de rupture* et d'utilisation des *heures supplémentaires* sont égaux à 0 sur l'ensemble de l'horizon. Il n'est donc pas nécessaire de les faire figurer ici.

L'axe des abscisses des différentes figures de ce paragraphe correspond aux périodes de l'horizon de simulation et celui des ordonnées aux quantités associées à chaque type de décision. Les figures 23 et 24 présentent le niveau de stock en produit fini et la demande de chaque période pour les deux profils de demande. On peut constater que le niveau de stock est

beaucoup plus élevé pour le profil de demande n°1 (cf. figure 23) que pour le profil de demande n°2 (cf. figure 24). Compte tenu des valeurs relatives des paramètres de coût, quel que soit le profil de demande, la solution proposée par la simulation consiste à favoriser une anticipation de la production et donc le stockage, pour satisfaire le pic de la demande client. Ces résultats sont logiques car les coûts de stockage sont bien plus faibles que les coûts de rupture.

Dans le profil n°2, le pic est moins marqué : le stock d'anticipation est donc moins important.

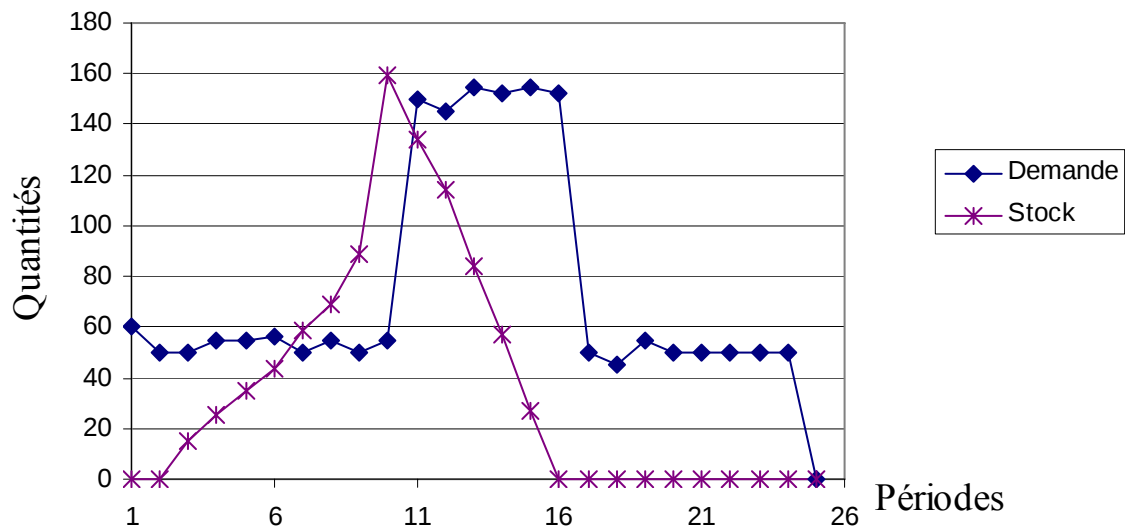


Figure 23. Niveau de stock et profil de demande n°1

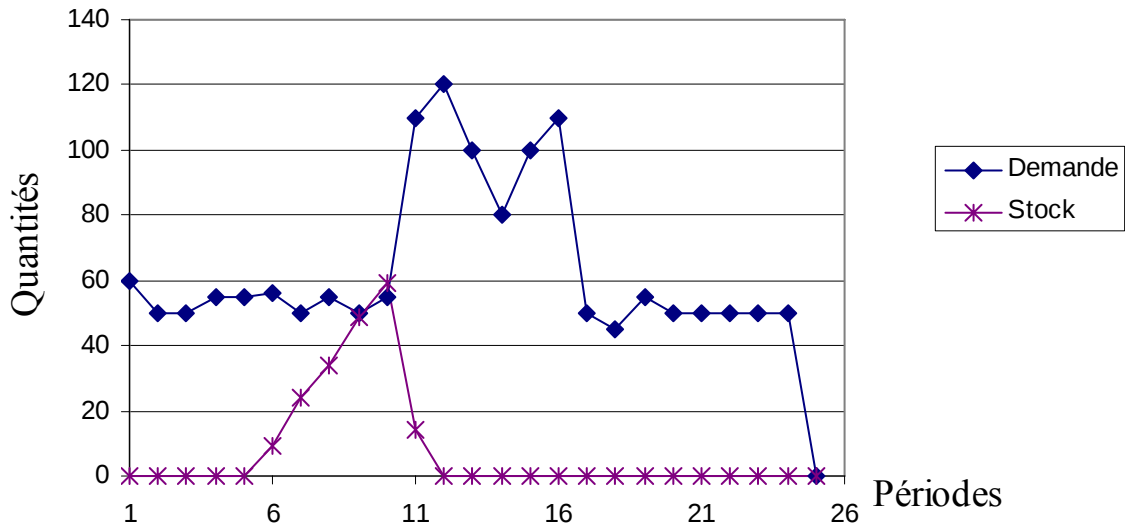


Figure 24. Niveau de stock et profil de demande n°2

L'anticipation de la demande étant le moyen privilégié par la simulation, il est intéressant de définir quels leviers décisionnels ont été utilisés au cours du processus de planification pour permettre cette anticipation.

La figure 25 montre les quantités produites (i.e. en interne) et sous-traitées du produit fini p . On peut constater dans la figure 25 que la production interne est utilisée au maximum de sa capacité (65 produits par période) dès la période 3. La sous-traitance débute à la période 7. Un compromis est effectué entre le stockage des pièces produites en interne (et en avance) et la sous-traitance plus tardive d'une partie de la production. En effet, la charge de la

production interne pour les périodes 1 et 2 n'est pas maximale. Le modèle aurait pu suggérer d'utiliser ces périodes pour fabriquer des produits en interne à moindre coût par rapport à des produits sous-traités, cependant, le stockage des produits fabriqués durant les périodes 1 et 2 est plus onéreux que de sous-traiter une partie de la production plus tardivement. Cet exemple est une illustration des compromis auxquels peut être confronté un décideur. Le modèle permet ici d'apporter un élément de réponse en préconisant l'utilisation du sous-traitant en complément d'une anticipation de la production interne.

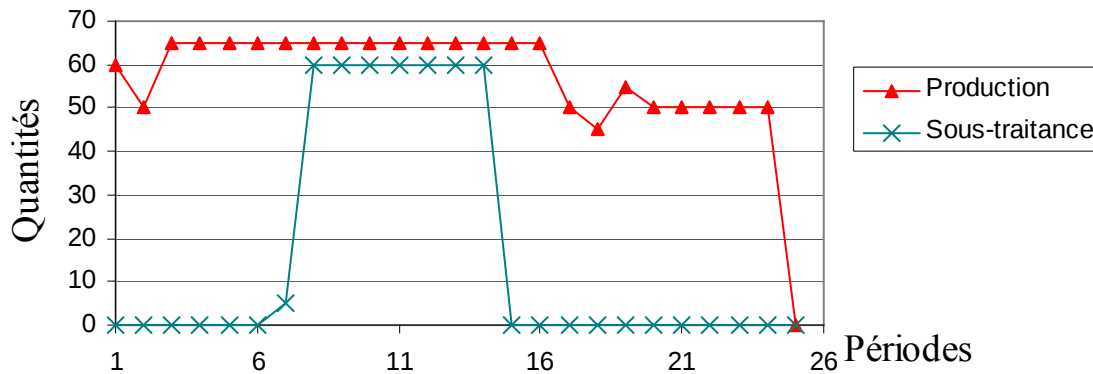


Figure 25. Production et sous-traitance (profil n°1)

La figure 26 présente ces mêmes courbes dans le cas du second profil de demande. Comme nous pouvions nous y attendre, l'utilisation de la production interne à pleine capacité se fait plus tardivement. Cette moindre anticipation de la demande induit un niveau de stock moins élevé dans le cas n°2 que dans le cas n° 1. Là encore, le lissage de la charge de la production est limité et le modèle fait appel à la sous-traitance pour combler le manque de capacité de production et faire face au pic de demande réduit des périodes 11 à 16.

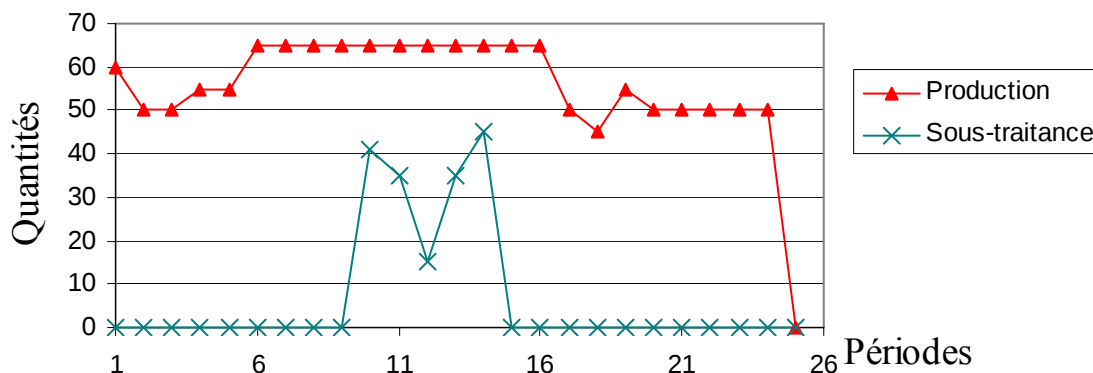


Figure 26. Production et sous-traitance (profil n°2)

Nous venons d'analyser les plans de référence obtenus en supposant une parfaite et totale visibilité sur la demande pour l'ensemble de l'horizon de planification, dès le premier pas de planification. Comme nous l'avons déjà souligné, dans un contexte industriel, l'entreprise ne dispose que d'une visibilité limitée sur la demande. Nous étudions, dans le paragraphe 3.3, l'impact d'une planification à horizon glissant pour différentes longueurs de cet horizon. L'horizon de planification considéré correspond à la visibilité qu'a l'entreprise sur la demande client.

10.3 Visibilité sur la demande

Cette partie est consacrée à l'étude de l'influence de la visibilité sur les coûts des plans générés par résolution itérative du modèle. Pour cette étude, notre modèle permet de tenir compte des paramètres caractérisant l'entreprise et ses relations avec les autres acteurs (délais de production et sous-traitance, délais d'anticipation, etc.). Les différentes simulations sont menées en faisant varier T , et par conséquent l'horizon de planification HP^T . Chaque simulation conduit à un plan P^i (obtenu par concaténation des décisions gelées à chaque étape du processus de planification). Les composantes du coût de ce plan sont présentées dans les différentes figures de ce paragraphe.

Le processus de planification périodique est mené avec une périodicité de planification de 2 périodes. Pour chaque longueur de l'horizon de planification (T varie de 8 à 16), l'écart de coût entre les plans P^i résultant de la planification à horizon glissant et le plan de référence est porté artificiellement sur la figure (P^{ref} ne dépend pas de T). Ainsi, pour chaque longueur, on peut évaluer le surcoût introduit par le manque de visibilité sur la demande. On peut constater que le surcoût global est très élevé (environ 92% de plus que le coût du plan de référence) lorsque l'horizon de planification est le plus court (mais ceci est dû au système de coût choisi). Plus l'horizon de planification s'allonge, plus le surcoût diminue. Lorsque l'horizon de planification est de 16 périodes, on retrouve le coût donné par le plan de référence. Cela signifie qu'à partir de 16 périodes, l'entreprise dispose de suffisamment de visibilité pour faire face à la demande en lissant sa charge de manière optimale, en fonction des temps de réaction définis dans l'exemple.

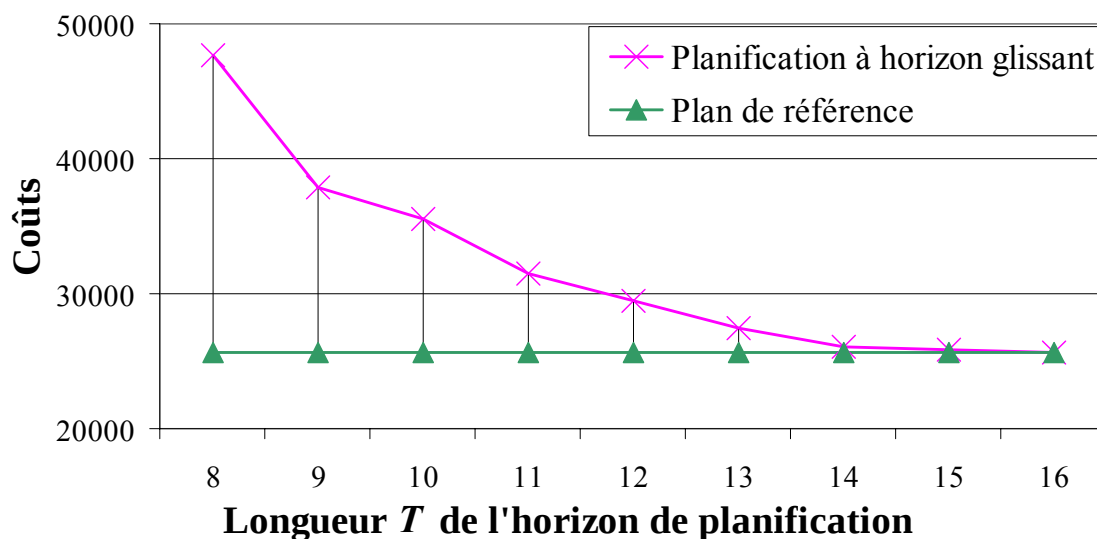


Figure 27. Influence de la visibilité sur les coûts des plans implémentés (profil n° 1)

Les résultats donnés par la figure 27 confirment dans le cadre de cet exemple le bon sens de l'hypothèse qu'une augmentation de la visibilité dans le processus de planification conduit à une diminution des coûts globaux. Néanmoins, la longueur de l'horizon de planification nécessaire pour cela est supérieure au maximum des cumuls des délais d'anticipation et d'obtention. Ces différents délais sont positionnés dans la figure 28. Cette figure montre le positionnement au plus tôt des différents types de décisions en faisant en sorte qu'elles soient toutes libres. Les décisions les moins réactives sont les achats au fournisseur 1 (délai d'anticipation de 6 périodes) et l'utilisation de la sous-traitance (2 périodes de délai d'anticipation et 2 de délai d'obtention). Le cumul des délais associés aux différents types de décisions montre que si l'on veut décider librement des approvisionnements pour la sous-

traitance en utilisant le fournisseur 1 (le moins cher mais aussi le moins réactif), il est nécessaire d'avoir une visibilité minimale de 10 périodes. C'est le cumul maximal des délais d'anticipation et d'obtention dans notre exemple. Compte tenu de la périodicité de planification de 2 périodes, l'horizon de planification minimum doit donc être de 12 périodes. Le fait que l'optimum ne soit atteint que pour $T = 16$ périodes est lié à la limitation des capacités de production qui impose un lissage de la charge et donc une production anticipée pour satisfaire le pic de demande.

Notre outil de simulation offre donc une aide importante en permettant au décideur d'apprécier, au-delà du positionnement théorique des différents délais, quelle visibilité lui permettrait d'améliorer les coûts liés à sa chaîne logistique. Cette réduction des coûts peut constituer un argument fort de l'entreprise pour inciter ses clients à lui offrir une meilleure visibilité.

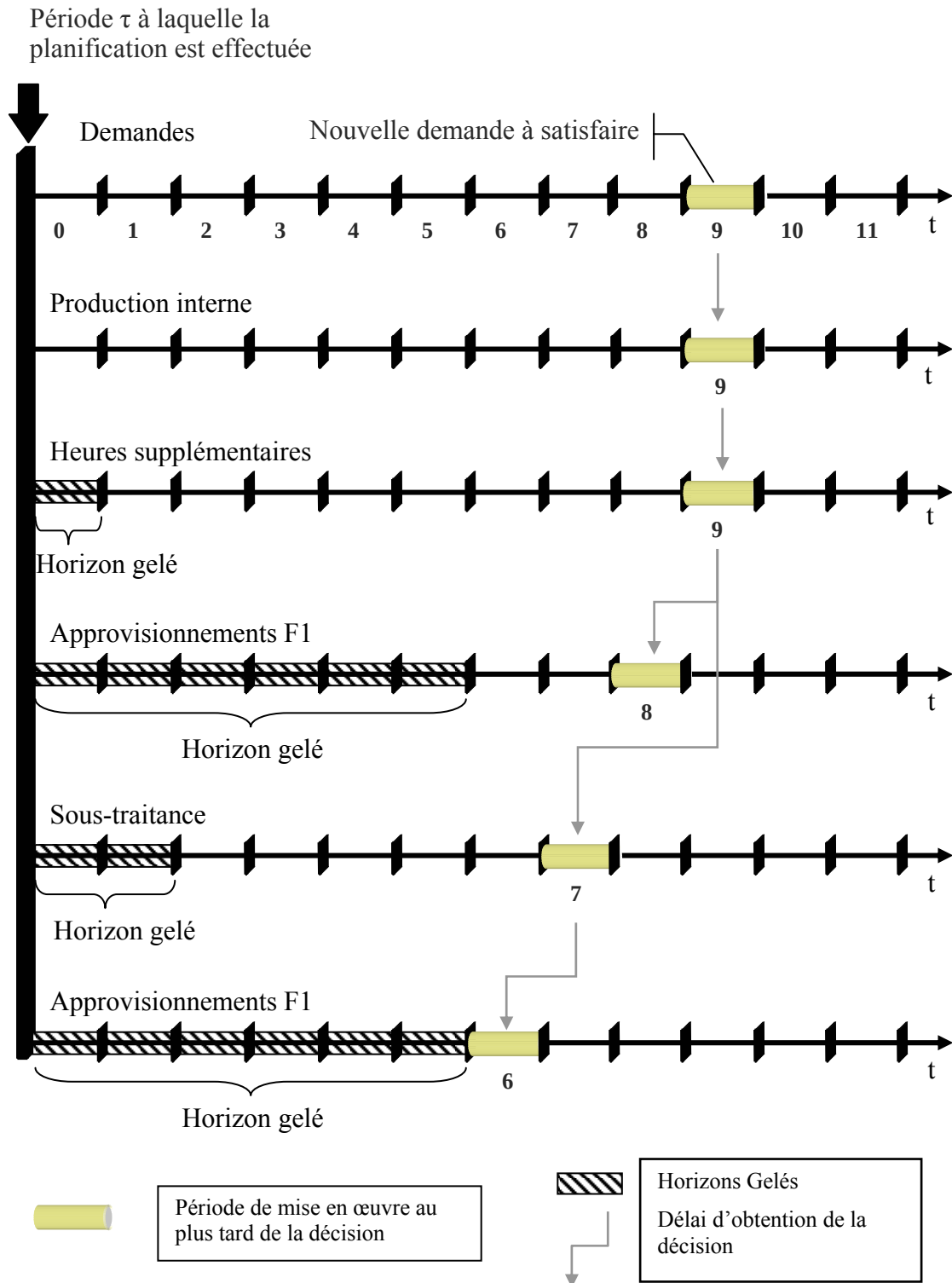


Figure 28. Positionnement des délais et horizons gelés appliqués à l'exemple

Les figures 29, 30, 31 et 32 présentent l'évolution des coûts des différents types de décisions en fonction de la visibilité sur la demande client pour le profil n°1.

La figure 29 permet de comparer les coûts de stockage et de rupture pour différentes valeurs de T . De manière globale, l'évolution que l'on retrouve dans cette figure est une forte diminution des coûts de rupture et une augmentation des coûts de stockage lorsque la

visibilité augmente. Une visibilité suffisante permet bien évidemment d'éviter complètement les ruptures par anticipation du pic ; le surplus de demande est produit à l'avance et stocké.

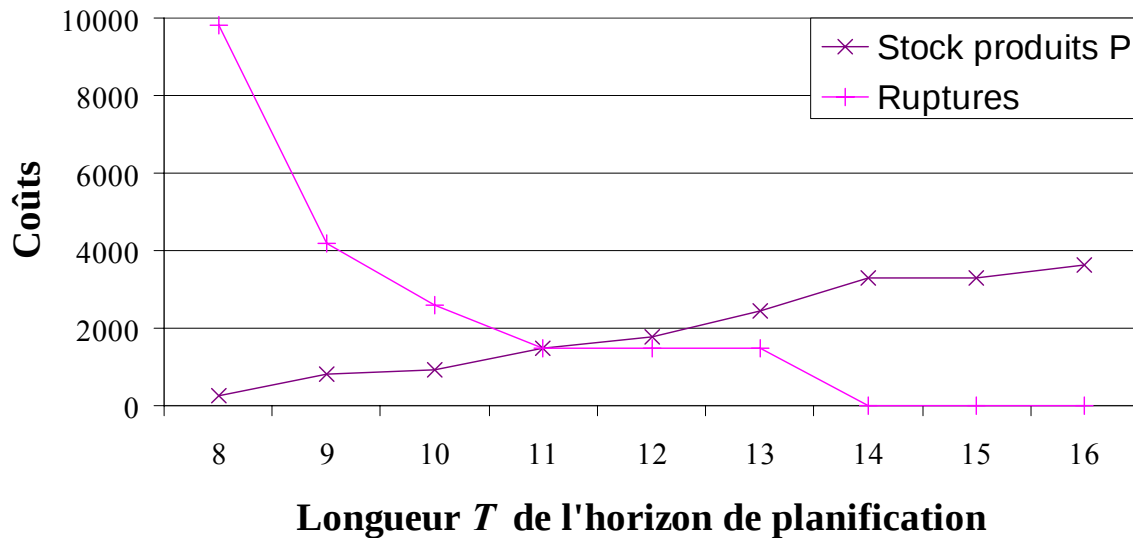


Figure 29. Comparaison des niveaux de stock et de rupture (profil n°1)

La figure 30 présente les coûts associés aux décisions de production, sous-traitance et heures supplémentaires. Si l'évolution des coûts liés aux heures supplémentaires est très marquée et montre une forte diminution après un palier pour T variant entre 8 et 10 périodes, les coûts liés à la production et à la sous-traitance subissent des variations qui alternent augmentation et diminution. Il est délicat d'expliquer ces évolutions uniquement à partir de ces courbes : elles sont en effet issues de la combinaison des délais d'anticipation, des coûts associés aux décisions et de la présence des deux fournisseurs, ce qui nécessite de réaliser des compromis complexes.

Les trois premières simulations (pour $T = 8, 9$ et 10) montrent bien ce phénomène. Sur les deux premières simulations, les décisions les plus coûteuses (i.e. sous-traitance et heures supplémentaires) diminuent au profit d'une anticipation par production interne. L'accroissement de la visibilité permet de mieux anticiper la demande et donc de mieux utiliser la production interne. Par contre, lors de la simulation avec $T = 10$, les heures supplémentaires, bien que plus coûteuses, augmentent. Cela est lié à l'utilisation du premier fournisseur qui permet des approvisionnements moins chers mais avec moins de réactivité. La visibilité étant désormais suffisante pour affecter au fournisseur 1 les approvisionnements rendus nécessaires par les heures supplémentaires à ce fournisseur, la production interne est donc augmentée en utilisant les heures supplémentaires. Par contre, compte tenu des délais d'anticipation, il n'est pas encore possible à ce stade de prévoir suffisamment à l'avance les quantités sous-traitées et les approvisionnements correspondants issus du premier fournisseur. Le modèle propose donc l'utilisation d'une décision coûteuse, les heures supplémentaires, avec des approvisionnements auprès du premier fournisseur.

Par la suite, l'augmentation de la visibilité fait apparaître le pic de demande suffisamment à l'avance et permet de créer de l'anticipation en augmentant le niveau de sous-traitance, tout en diminuant les heures supplémentaires utilisées. Ainsi, la courbe de production montre une légère décroissance correspondant aux quantités fabriquées en heures supplémentaires. Enfin, pour les dernières valeurs de T , la visibilité est suffisante pour utiliser la production interne longtemps à l'avance, ce qui entraîne une légère baisse des coûts de sous-traitance.

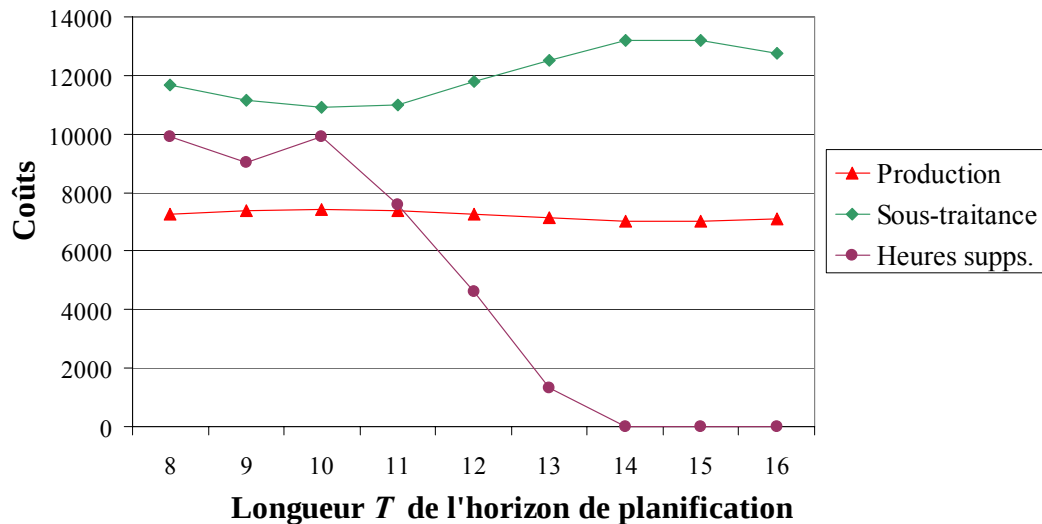


Figure 30. Production, sous-traitance et heures supplémentaires (profil n°1)

La figure 31 complète la figure précédente et montre l'évolution dans le recours aux deux fournisseurs. On constate évidemment que plus la visibilité est importante, moins le recours à des solutions réactives (i.e. le fournisseur 2) est nécessaire. Le gain rendu possible au niveau des approvisionnements par une augmentation de la visibilité matérialise les bénéfices induits par celle-ci et peut constituer un argument de négociation auprès des clients de l'entreprise.

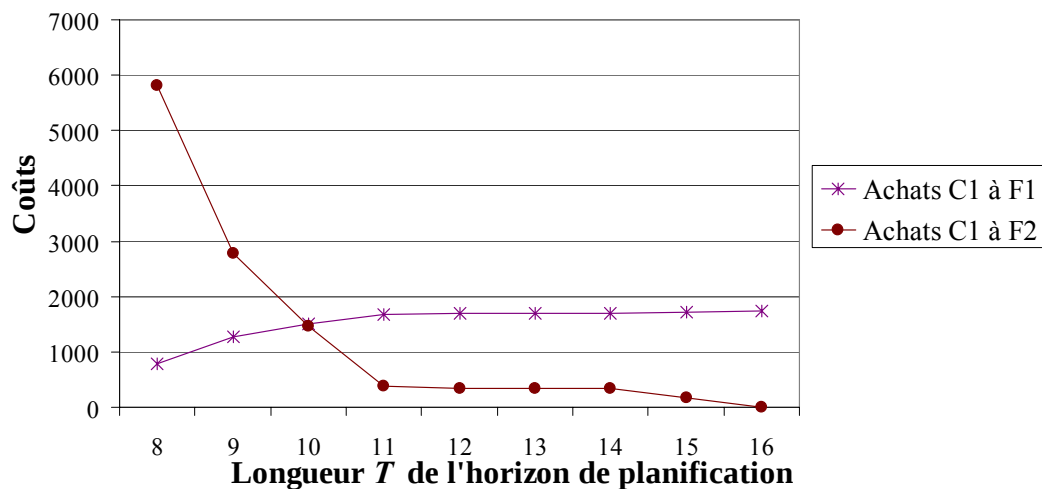
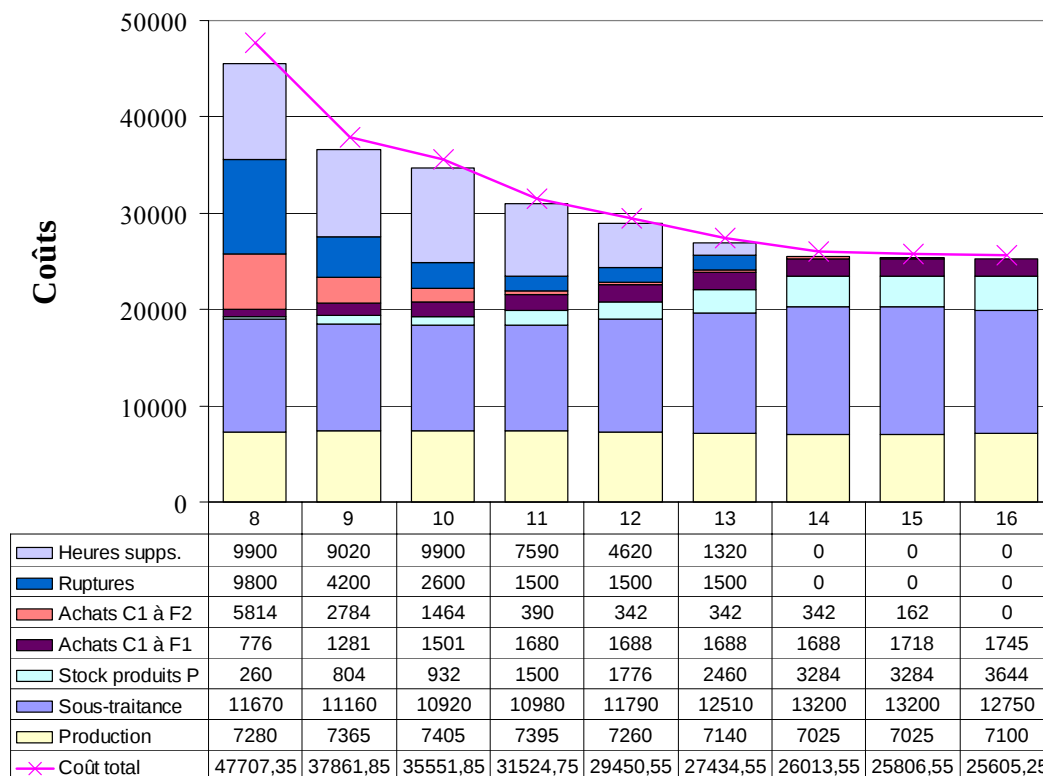


Figure 31. Évolution des achats aux différents fournisseurs (profil n°1)

La figure 32 présente un récapitulatif des différents coûts pour chaque longueur de l'horizon de planification considéré. Une partie des coûts (achats du composant C2 et coût de stockage des composants) a volontairement été écartée de cette courbe par souci de lisibilité, ce qui se traduit par l'écart entre l'histogramme et la courbe représentant le coût total.

La majeure partie des coûts est liée à la production et à la sous-traitance. Lors des simulations à faible visibilité, les ruptures et heures supplémentaires contribuent pour une part significative au coût total.



Longueur T de l'horizon de planification

Figure 32. Répartition des coûts des plans implémentés (profil n° 1)

Les simulations menées avec le second profil de demande font apparaître un besoin de visibilité moins important. La figure 33 montre l'évolution du coût total des simulations par rapport au plan de référence obtenu avec le profil de demande n°2. Dans ce cas, l'optimum est atteint pour $T = 12$. Ce résultat correspond à la somme des différents délais et de la périodicité de planification.

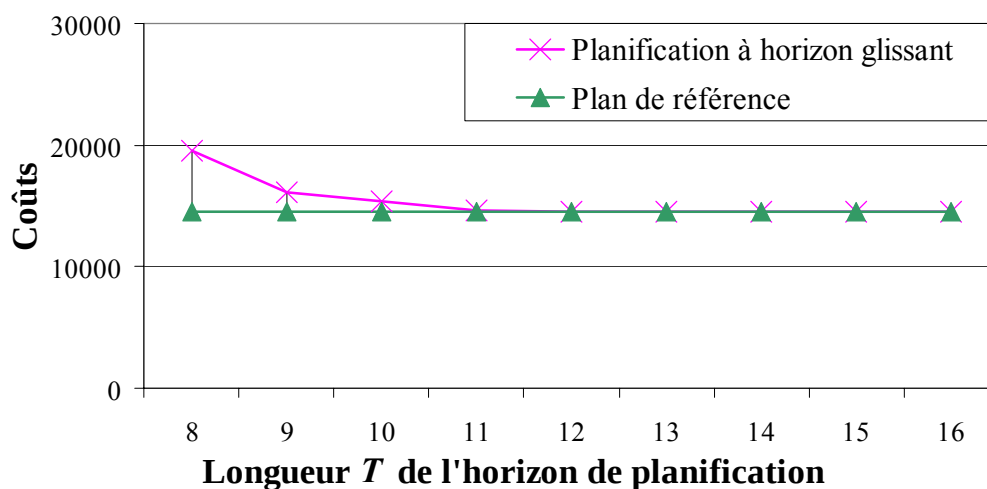


Figure 33. Influence de la visibilité sur les coûts des plans implémentés (profil n° 2)

La figure 34 montre la répartition des différents coûts. Il est à noter que les ruptures ne sont pas représentées car elles sont nulles dès la première simulation avec $T=8$ périodes. Les différences de coûts ne se jouent donc que sur les approvisionnements et l'anticipation sur la demande en utilisant la production interne. Les approvisionnements du composant C2 et le stock de composant ne sont, comme précédemment, pas présentés sur cette figure.

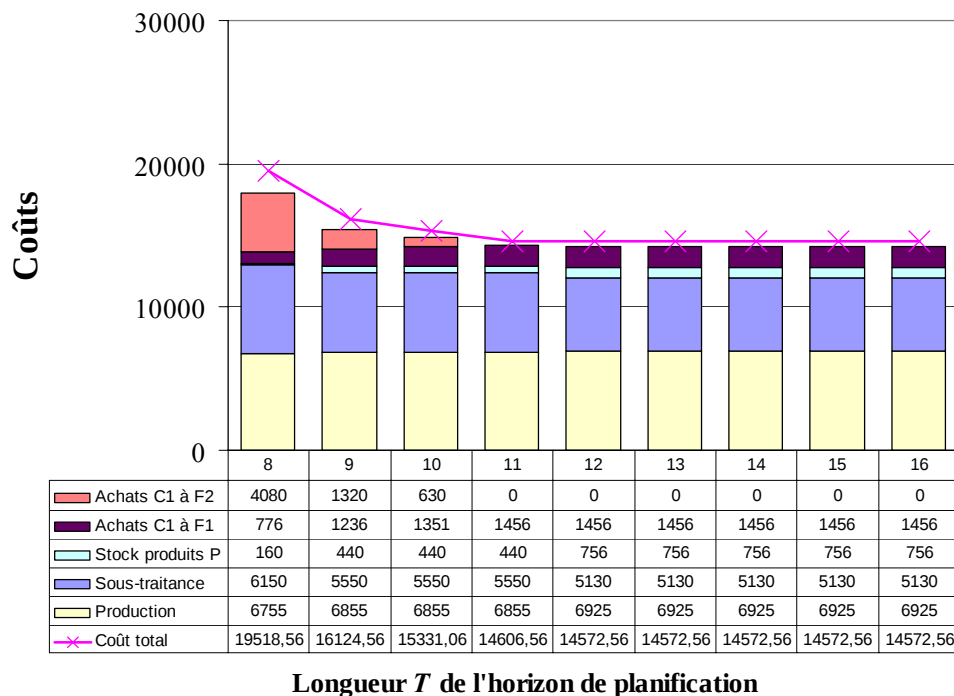


Figure 34. Répartition des coûts des plans implémentés (profil n° 2)

La figure 35 montre l'évolution du niveau de stock de produits finis P dans ces simulations. On constate que deux paliers sont franchis. Le premier correspond à l'utilisation du fournisseur 1 pour la production interne. Les approvisionnements réalisés ainsi à moindre coût permettent d'augmenter les volumes de production en diminuant les coûts. Le second palier est lié au fait que l'entreprise a suffisamment de visibilité pour connaître le pic de demande suffisamment à l'avance et organiser ses décisions pour le mieux, notamment en augmentant les niveaux de stocks par anticipation sur la demande.

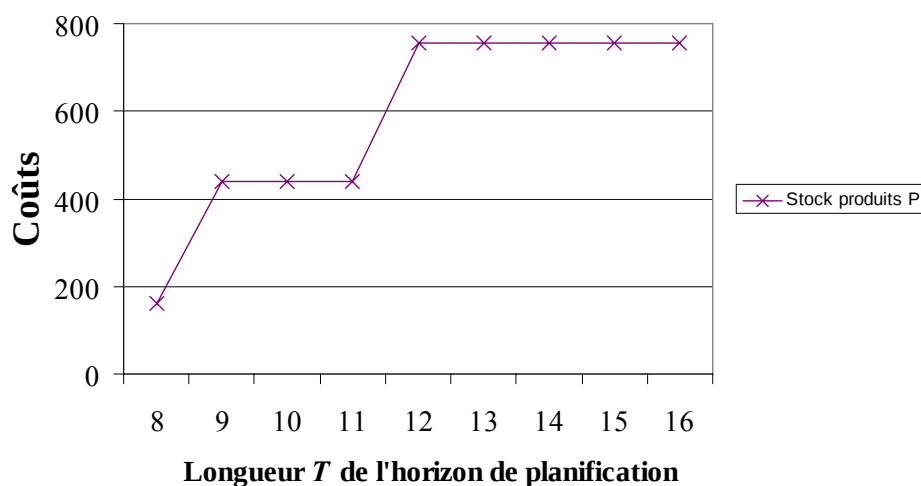


Figure 35. Évolution du niveau de stock (profil n°2)

La figure 36 montre l'évolution des achats en comparant les demandes d'approvisionnement aux deux fournisseurs. Comme pour le premier profil de demande, plus la visibilité augmente et moins le recours à un fournisseur réactif est nécessaire.

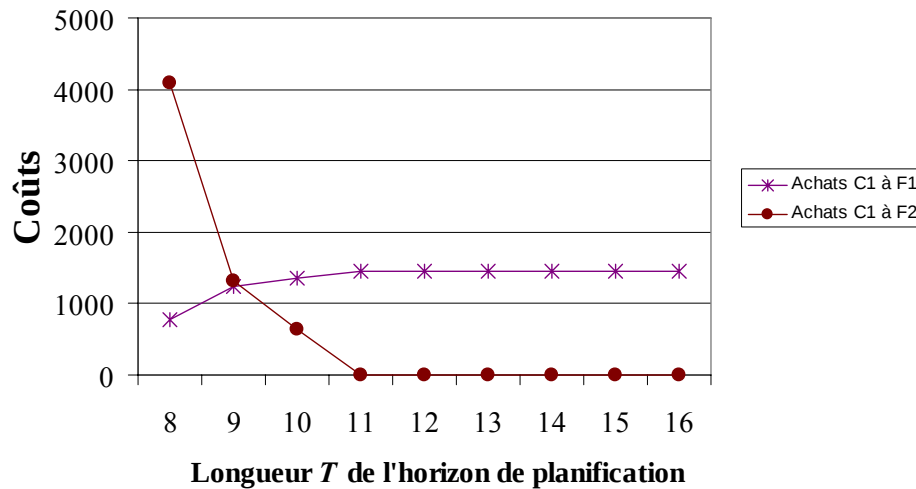


Figure 36. Évolution des achats aux différents fournisseurs (profil n°2)

La figure 37 montre l'évolution des coûts liés aux quantités produites en interne et sous-traitées. Cette évolution confirme le raisonnement établi au niveau des fournisseurs tendant à utiliser la décision la moins coûteuse lorsque les délais d'anticipation associés le permettent.

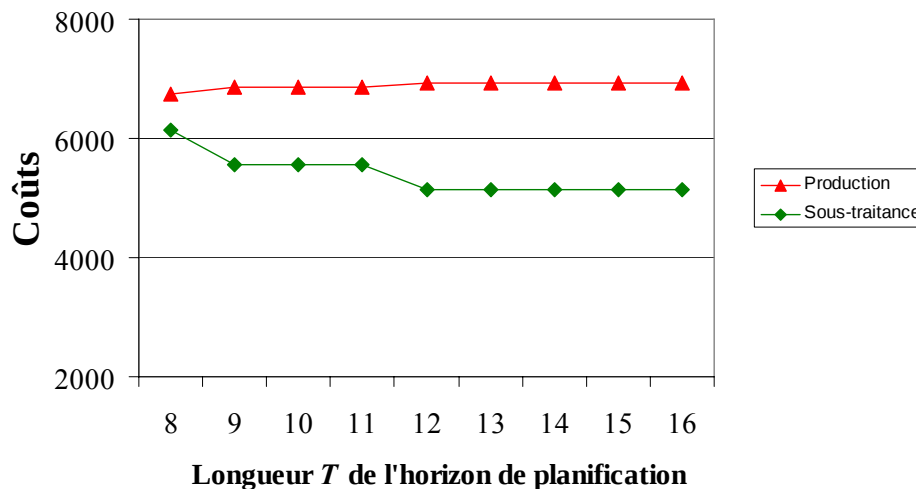


Figure 37. Production, sous-traitance et heures supplémentaires (profil n°2)

Ce paragraphe a montré que le manque de visibilité ne permet pas une anticipation suffisante des décisions et se traduit par une planification sous-optimale. Ceci implique l'utilisation de décisions d'urgence (comme les heures supplémentaires dans le cas de notre paramétrage) qui peuvent générer un surcoût. Le besoin de visibilité dépend de la demande que l'entreprise doit satisfaire. La définition d'une « bonne visibilité » est complexe du fait de la prise en compte des coûts, des délais et des capacités associés aux décisions. Le cadre de simulation présenté dans ce chapitre permet d'apporter une aide à la décision en comparant divers scénarios. Ainsi, notre outil permet d'établir une première évaluation du manque à gagner entre une situation de pleine visibilité et une situation dégradée. Grâce à ce type de simulations et de raisonnements, l'entreprise possède des arguments vis-à-vis de son client

pour justifier son besoin de visibilité et évaluer les gains espérés en comparaison à la situation actuelle.

Par rapport à ce constat, plusieurs solutions sont envisageables pour l'entreprise :

- Diminuer son besoin d'anticipation en agissant sur ses propres décisions (réduction de ses délais d'obtention et d'anticipation),
- Accroître sa visibilité sur la demande client par l'intégration de prévisions,
- Diminuer son besoin d'anticipation en améliorant ses relations avec ses fournisseurs.

Les deux derniers points font l'objet des deux derniers chapitres de ce mémoire. Dans le paragraphe 3.4, une possibilité d'utilisation supplémentaire de notre modèle est présentée. Nous montrons comment il est possible d'évaluer le besoin de maintenir les plans à jour en faisant varier la périodicité de planification.

10.4 Influence de la périodicité de planification PP

A chaque pas de planification, les décisions prises lors des planifications précédentes peuvent être remises en question. Dans l'exemple pour lequel le récapitulatif des plans obtenus a été donné dans la section précédente, l'entreprise doit faire face à une forte augmentation de la demande client pour les périodes 11 à 16. Le délai entre deux remises en question des plans est modélisé par la périodicité de planification PP . Dans ce paragraphe, nous comparons les coûts globaux des plans implémentés dans le cadre du profil n°1 pour le plan de référence et trois valeurs de PP : 1, 2 et 4.

Le tableau 7 montre les résultats obtenus :

	$P^{réf}$	$PP = 1$	$PP = 2$	$PP = 4$
Coût global P^i	25605	27656	29450	32150
Écart par rapport à $P^{réf}$	0%	+8%	+15%	+25%

Tableau 7. Évolution des coûts des plans selon PP (profil n°1)

Nous constatons que l'augmentation de la périodicité de remise en cause des plans se traduit par une augmentation du coût global des plans implémentés (jusqu'à 25% de coûts en plus pour $PP = 4$ périodes). Nous montrons ainsi l'influence de PP dans le processus de planification à horizon glissant. En effet, dans notre modélisation, l'augmentation de PP implique une augmentation du nombre de décisions reportées d'un pas de planification à l'autre. Cela accroît indirectement le nombre de périodes gelées pour chaque décision et nuit à la réactivité de la chaîne logistique.

Conclusion du chapitre 4

Dans ce chapitre, nous avons proposé une modélisation analytique du problème de planification d'une entité d'une chaîne logistique intégrant les caractéristiques temporelles du processus dynamique de planification. Un tel modèle, inscrit dans un cadre de simulation, permet deux types d'aide à la décision. Dans un premier temps, il permet d'offrir, à chaque pas de planification, une proposition de décisions optimales par rapport à une demande donnée et par la suite, d'analyser l'influence de la prise en compte des nouvelles demandes sur chaque décision. Dans un second temps, lorsque le processus de simulation est déroulé sur l'ensemble de l'horizon, il est possible d'évaluer l'impact de modifications dans le paramétrage de la chaîne. Cette approche est illustrée par l'exemple que nous avons développé traitant de la visibilité sur la demande client.

Le nombre de scénarios pouvant être évalués et comparés est vaste car chaque paramètre est susceptible de varier en impactant la planification (i.e. les délais et coûts associés à chaque décision). L'objectif de notre approche n'est donc pas de dégager des résultats génériques mais bien d'offrir un cadre de modélisation et de simulation aidant un décideur à faire les meilleurs choix stratégiques dans son contexte spécifique.

Nous développons, dans le chapitre suivant, une méthodologie d'aide à la décision pour l'amélioration de la relation client-entreprise. Cette amélioration s'appuie sur l'intégration et le traitement de données prévisionnelles.

Chapitre 5 : Amélioration de la relation client

Introduction au chapitre 5

Les chapitres précédents ont présenté la formalisation d'une modélisation visant l'aide à la décision en planification de la chaîne logistique. Nous avons montré l'intérêt de prendre en compte l'anticipation des différentes décisions dans le processus de planification pour mieux cerner leurs interactions. Le chapitre 4 de ce mémoire a souligné que, pour que cette anticipation soit possible, l'horizon de planification, sur lequel repose le processus de planification, doit être suffisamment long.

Il est difficile pour une entreprise d'avoir une bonne visibilité et une certaine confiance sur la demande-client sur un horizon suffisamment long. Quand la demande ferme des clients n'est pas connue suffisamment en avance, les capacités d'anticipation peuvent être augmentées en incorporant dans le processus de planification des prévisions, et donc, de la demande incertaine.

Dans la première partie de ce chapitre, nous proposons une décomposition de l'horizon de planification pour y associer une modélisation plus fine de la demande-client. Nous montrons comment cette demande évolue dans le temps et comment l'agréger lorsqu'elle provient de plusieurs clients.

La deuxième partie introduit la notion de stratégies de planification. Ces stratégies traduisent le comportement du décideur face à une demande incertaine transmise par ses clients. L'évaluation de ces différentes stratégies, dont nous décrivons le principe dans cette partie, permettra de compléter notre cadre de simulation.

Enfin, une application de ces différents principes est présentée dans la troisième et dernière partie de ce chapitre. L'accent est plus particulièrement mis sur le potentiel d'utilisation de notre cadre de simulation.

1. Modélisation de la demande incertaine

Ce paragraphe introduit tout d'abord les concepts sur la gestion de la demande prévisionnelle sous forme de demande flexible, telle qu'elle a été mise en lumière dans nos études de cas. Ensuite, nous formalisons d'une part, le processus d'évolution de cette demande dans le cadre d'un processus de planification périodique et, d'autre part, un processus d'agrégation visant à définir la flexibilité demandée pour la production des différents produits finis.

10.5 Nature de la demande client

Pour les périodes proches de l'instant courant, l'entreprise a à sa disposition un nombre limité de leviers décisionnels pour s'adapter à une demande fluctuante. Par exemple, certains approvisionnements peuvent nécessiter d'être planifiés longtemps à l'avance. De plus, le nombre de périodes grâce auxquelles l'entreprise peut lisser sa production pour satisfaire la demande à moindre coût est limité et pourra éventuellement nécessiter l'utilisation de moyens de production souvent plus coûteux que ceux utilisés habituellement. Ainsi, il est souhaitable que les demandes se rapportant aux périodes proches de l'instant courant soient aussi précises que possible et ne changent pas d'un pas de planification au suivant. Ces demandes appelées à ne plus évoluer d'un pas de planification à l'autre sont les *demandes fermes*. Elles sont définies sur un horizon temporel donné, appelé *horizon ferme*, qui marque la limite temporelle jusqu'à laquelle le client assure que ses demandes n'évolueront pas. Nos études de cas ont montré des horizons fermes pouvant varier entre 1 et 4 mois mais ceux-ci dépendent bien évidemment du contexte lié à chaque produit (temps de cycle, concurrence, habitudes du marché, etc.).

Plus on s'éloigne de l'instant courant et moins il sera facile pour les clients, dans un contexte où la demande est fluctuante et où les activités de production sont soumises à des aléas, de transmettre une demande ferme à laquelle l'entreprise pourra accorder toute sa confiance. Ainsi, ces demandes seront empreintes d'incertitude et la partie incertaine de cette demande dans les besoins exprimés par les clients sera plus grande au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'instant courant. Plusieurs approches peuvent être envisagées pour connaître cette demande incertaine et la modéliser. Il est possible, pour une entreprise, d'établir ses propres prévisions à partir de l'historique des demandes, en utilisant des techniques mathématiques conjuguant moyennes mobiles, analyse de tendances et de saisonnalités, méthodes de régression etc. et en y apportant des modifications basées sur l'expérience des personnes chargées d'établir ces prévisions. Comme le soulignent Nikolopoulos *et al.*, (2006), établir ce type de prévisions n'est pas toujours facile et les ajustements que l'on peut y apporter peuvent engendrer des effets néfastes (i.e. introduire des erreurs plus importantes) dans la planification. Dans le secteur aéronautique, mais aussi dans d'autres secteurs comme l'industrie micro-électronique, les prévisions sont établies par les clients et transmises aux différents fournisseurs. Elles permettent essentiellement d'offrir de la visibilité permettant de gérer des degrés de liberté dans la planification afin de tenir compte des aléas de production et de recalculer les dates de besoin des différents composants. Il s'agit ici de traduire les prévisions sous la forme de *demandes flexibles* établies sur un *horizon flexible*. Ces demandes flexibles fournissent à la fois une valeur provisoire de la demande et un intervalle de flexibilité dans lequel la valeur de la demande est susceptible d'évoluer. Cet intervalle marque la variation maximale à laquelle une entreprise devra être capable de s'adapter. Dans nos études de cas, l'horizon flexible auquel sont rattachées les demandes flexibles varie, selon le cas, entre 2 et 6 mois. De plus, nous avons noté une flexibilité demandée aux fournisseurs allant jusqu'à 50% des valeurs données à chaque période de l'horizon flexible et pouvant être appliquée à la

hausse comme à la baisse. Cette flexibilité peut s'exprimer en pourcentage des valeurs données pour chaque période et est définie sur le long terme par contrat entre une entreprise et ses clients ou fournisseurs. Il est possible de déterminer les *valeurs maximales et minimales* que pourra prendre la demande pour une période donnée à partir de ces pourcentages (cf. paragraphe 1.3 de ce chapitre). Ces *valeurs maximales et minimales* constituent les *bornes de l'intervalle* de flexibilité associées aux demandes flexibles auxquelles nous ferons référence par la suite.

Il est important de noter que la décomposition de la demande-client correspond à un partage des risques entre l'entreprise et ses clients.

- Sur l'horizon ferme, le client s'engage à ne pas modifier ses commandes et à accepter les livraisons demandées à l'entreprise même si entretemps son besoin réel a changé. Cela peut notamment conduire le client à accepter des livraisons supérieures à son besoin réel et le contraindre à augmenter son niveau de stock.
- Sur l'horizon flexible, l'entreprise s'engage à satisfaire l'évolution de la demande quelle que soit la variation appliquée, du moment qu'elle respecte les bornes prévues dans le contrat. Dans le cas contraire, le client ne pourra pas obliger l'entreprise à fournir les produits au-delà de ces bornes. Il est donc dans l'intérêt du client de tenir compte de l'intervalle toléré lors de sa planification.

Un des points clés issu de nos études de cas est la difficulté de certaines PME à intégrer les prévisions transmises par leurs clients dans leur processus de planification. Certaines d'entre elles n'ont pas toujours conscience de l'apport que cela peut représenter et souffrant d'un manque de visibilité, elles n'ont pas le recul nécessaire pour prévoir leurs réorganisations ou leurs investissements.

10.6 Formalisation et évolution de la demande client

Dans notre approche, pour respecter les pratiques industrielles, l'horizon de la demande client à chaque pas de planification τ est décomposé en deux sous-horizons selon la nature de la demande : un **Horizon Ferme** noté HF^τ composé de T_{HF} périodes et un **Horizon flexible** noté HL^τ composé de T_{HL} périodes (cf. figure 38). La justification d'une telle décomposition a été proposée par Rota (1998) dans une approche similaire, sans toutefois formaliser l'utilisation des bornes dans le processus de planification ni l'utilisation de stratégies comme nous le présentons plus loin dans ce chapitre.

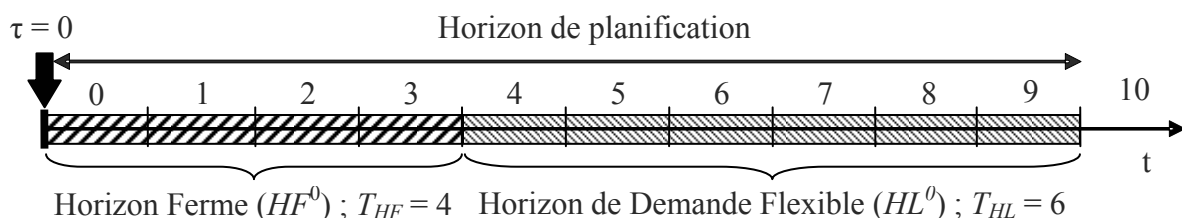


Figure 38. Décomposition de l'horizon de planification

La longueur de l'horizon de planification T est la somme de T_{HF} et de T_{HL} .

La demande client est notée $D_{p,t}^\tau$. Elle est supposée parfaitement connue sur l'horizon ferme, et de ce fait, ne variera pas dans le temps. Par contre, la demande sur l'horizon flexible n'est pas parfaitement connue à l'instant de planification τ . Les études de cas nous ont

orientés vers la prise en compte d'une demande flexible pour caractériser l'incertitude dans les relations entre une entreprise et ses clients. Ainsi, l'incertitude sera représentée par un intervalle dont les bornes sont notées de la façon suivante :

- $\underline{D}_{p,t}^\tau$, qui constitue la borne inférieure de la variation tolérée sur la demande flexible,
- $\overline{D}_{p,t}^\tau$, qui en constitue la borne supérieure.

Les demandes seront toujours comprises dans l'intervalle des valeurs $\left[\underline{D}_{p,t}^\tau, \overline{D}_{p,t}^\tau\right]$ pour chaque produit fini p , période t et pas de planification τ et sont modélisées de la façon suivante :

$$\begin{cases} D_{p,t}^\tau, & \forall p, \forall t \in HF^\tau \\ D_{p,t}^\tau \in \left[\underline{D}_{p,t}^\tau, \overline{D}_{p,t}^\tau\right] & \forall p, \forall t \in HL^\tau \end{cases} \quad (13)$$

Entre deux pas de planification, la connaissance de la future demande évolue : certaines commandes flexibles deviennent fermes et d'autres sont ajoutées dans l'horizon de planification. Nous souhaitons préciser ici que les commandes fermes résultant de ce processus de consolidation sont nécessairement localisées à l'intérieur des horizons délimités ci-dessus.

Ainsi, l'évolution dynamique de la demande entre deux pas de planification successifs est formalisée par les relations suivantes :

$$D_{p,t}^\tau = D_{p,t}^{\tau-PP} \quad \forall p \quad \forall t \in \{HF^{\tau-PP} \cap HF^\tau\} \quad (14)$$

$$D_{p,t}^\tau \in \left[\underline{D}_{p,t}^{\tau-PP}, \overline{D}_{p,t}^{\tau-PP}\right] \quad \forall p \quad \forall t \in \{HL^{\tau-PP} \cap HF^\tau\} \quad (15)$$

$$\left[\underline{D}_{p,t}^\tau, \overline{D}_{p,t}^\tau\right] = \left[\underline{D}_{p,t}^{\tau-PP}, \overline{D}_{p,t}^{\tau-PP}\right] \quad \forall p \quad \forall t \in \{HL^{\tau-PP} \cap HL^\tau\} \quad (16)$$

L'équation (14) montre que les demandes fermes ne sont pas modifiées entre deux pas successifs de planification. Les nouvelles demandes résultant du processus de consolidation restent cohérentes avec leurs valeurs « flexibles » précédentes (15). Dans un contexte réel, la consolidation est un processus mené par le client qui génère ses commandes fermes selon ses besoins réels. Pour effectuer notre simulation, ce processus de consolidation est imité en utilisant différents *contextes d'évaluation* (cf. paragraphe 2 de ce chapitre). Les bornes de demande flexible ne changent pas entre deux pas de planification (16).

Cette approche nous paraît se justifier au regard des études de cas au cours desquelles ce principe de fonctionnement est apparu comme un point commun aux entreprises visitées.

10.7 Principe d'agrégation de la demande client

Dans ce paragraphe, un principe d'agrégation de la demande provenant de plusieurs clients est proposé. Il permet, à partir des pourcentages définis par contrat entre une entreprise et ses clients, de déterminer la flexibilité globale sur un produit fini donné, traduite sous forme de bornes, pour correspondre aux concepts présentés au paragraphe 1.2.

Le principe d'agrégation que nous souhaitons implémenter est simple et s'effectue en dehors du cadre de simulation. Il s'agit, dans une étape préliminaire, de faire la somme des

différentes demandes par produit et par période, puis de recalculer les pourcentages de flexibilité demandée par chaque client pour qu'ils correspondent à la demande globale. Pour réaliser cette étape, il est nécessaire de tenir compte du paramétrage temporel propre à chaque client.

Nous posons les notations suivantes :

$d_{p,k,t}^\tau$: demande du produit p pour le client k en période t , fournie en τ ,

$\underline{Y}_{p,k}$: pourcentage permettant la définition de la borne minimale pour le produit p , le client k ,

$\overline{Y}_{p,k}$: pourcentage permettant la définition de la borne maximale pour le produit p , le client k .

Grace à l'équation (17), nous déterminons la demande résultante qui est une simple somme des demandes émises par chaque client. Les bornes de flexibilité sont calculées à partir des quantités à ajouter (respectivement à enlever) par rapport à la demande.

Nous rappelons les notations suivantes :

$D_{p,t}^\tau$: demande du produit p en période t établie en τ ,

$\underline{D}_{p,t}^\tau$: demande minimale du produit p en période t établie en τ ,

$\overline{D}_{p,t}^\tau$: demande maximale du produit p en période t établie en τ ,

$$D_{p,t}^\tau = \sum_k d_{p,k,t}^\tau \quad \forall p \quad \forall t \in HP^\tau \quad (17)$$

$$\underline{D}_{p,t}^\tau = \sum_k d_{p,k,t}^\tau - \frac{\sum_k (d_{p,k,t}^\tau \times \underline{Y}_{p,k})}{100} \quad \forall p \quad \forall t \in HP^\tau \quad (18)$$

$$\overline{D}_{p,t}^\tau = \sum_k d_{p,k,t}^\tau + \frac{\sum_k (d_{p,k,t}^\tau \times \overline{Y}_{p,k})}{100} \quad \forall p \quad \forall t \in HP^\tau \quad (19)$$

L'équation (17) effectue la somme sur l'ensemble des clients de chaque demande en produit p pour chaque période t . Elle permet de déterminer l'ensemble des demandes sur l'horizon de simulation HS .

Les équations (18) et (19) permettent l'agrégation des bornes de flexibilité associées à chaque client. Les termes $\frac{\sum_k (d_{p,k,t}^\tau \times \overline{Y}_{p,k})}{100}$ et $\frac{\sum_k (d_{p,k,t}^\tau \times \underline{Y}_{p,k})}{100}$ permettent de faire la somme des différents pourcentages associés aux bornes inférieures et supérieures attribuées à chaque demande. On obtient directement les pourcentages associés aux bornes de flexibilité en appliquant l'équation (20) suivante où Y peut représenter aussi bien le pourcentage de la borne supérieure que celui de la borne inférieure :

$$Y_{p,t} = \frac{\sum_k (d_{p,k,t}^\tau \times Y_{p,k})}{\sum_k d_{p,k,t}^\tau} \quad \forall p \quad \forall t \in HS \quad (20)$$

Le tableau 8 présente différentes demandes pour un même produit. Pour chaque client, un horizon ferme et flexible est défini. La flexibilité demandée sur la demande est exprimée en pourcentage distincts pour la borne supérieure et la borne inférieure. Les pourcentages sont définis à chaque période. L'horizon gelé est matérialisé par des pourcentages nuls pour les marges supérieures et inférieures.

Période	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Demande Client 1	127	75	93	129	129	84	71	111	75
Flexibilité demandée supérieure (%)	0	0	0	0	0	0	0	35	35
Flexibilité demandée inférieure (%)	0	0	0	0	0	0	0	-50	-50
Demande Client 2	71	74	74	73	26	39	35	69	31
Flexibilité demandée supérieure (%)	0	0	0	0	0	25	25	25	25
Flexibilité demandée inférieure (%)	0	0	0	0	0	-25	-25	-25	-25
Demande globale $D_{p,t}$	198	149	167	202	155	123	106	180	106
Flexibilité induite supérieure (%)	0	0	0	0	0	8	8	31	32
Flexibilité induite inférieure (%)	0	0	0	0	0	-8	-8	-40	-43

Zone 1
Zone 2
Zone 3

Tableau 8. Exemple d'agrégation de la demande

Les pourcentages tolérés (calculés à partir de l'équation (20)) pour définir les bornes supérieures et inférieures de la demande ne sont pas forcément symétriques. C'est le cas dans l'exemple du tableau 8 en ce qui concerne la demande du client n°1. Cette distinction peut modéliser la perception qu'un client a de l'évolution de ses demandes. Ainsi, ce client peut ressentir un niveau de confiance différent à la hausse et à la baisse, attribuable à une tendance d'évolution de la demande. Un client demandant une plus forte flexibilité à la baisse s'attend certainement à ce que son besoin final diminue. Dans le cas général, on se placera dans des conditions où l'intervalle de flexibilité est symétrique par rapport à la demande.

L'exemple donné dans le tableau 8 fait apparaître 3 zones pour la demande globale. La première (i.e. pour les périodes 1 à 5) constitue l'horizon ferme pour la demande globale résultante. En effet, la demande de chaque client correspondant à ces périodes est ferme. La seconde zone (i.e. pour les périodes 6 et 7) est composée de demandes flexibles. Dans cette zone, le niveau de flexibilité est faible (i.e. +/-8%). En effet, la flexibilité, demandée uniquement par le client 2 sur cette période, ne représente qu'une faible variation par rapport au total des demandes issues des deux clients. Enfin, la troisième zone (i.e. pour les périodes 8 et 9) est composée de demandes flexibles issues des deux clients. Cela explique pourquoi le niveau de flexibilité augmente fortement.

Déterminer le degré de flexibilité auquel doit répondre l'entreprise d'une manière globale est un enjeu important. En effet, déterminer cette variation permettra le dimensionnement des

ressources dont l'entreprise devra disposer pour satisfaire la demande quelle que soit sa valeur finale. Un des objectifs de cette étude est d'offrir à une entreprise les moyens de positionner sa capacité de production en fonction de la flexibilité qui lui est demandée.

11 Stratégies pour la planification de la demande flexible

11.1 Définition des stratégies de planification

A chaque pas, le planificateur a à sa disposition des commandes fermes et flexibles. Compte tenu du besoin d'anticipation et des délais présentés dans les chapitres précédents, certaines décisions de planification doivent être prises par rapport à ces demandes flexibles et peuvent de plus être gelées. Ainsi, il sera impossible de les ajuster quand la demande ferme sera connue.

Il est difficile pour le planificateur d'établir une planification sur la base des demandes flexibles. Il lui est nécessaire d'avoir des outils lui permettant de gérer cette demande flexible. Nous proposons pour cela l'application de « stratégies de planification » (Galasso *et al.*, 2006a). Concrètement, cela revient pour le décideur à baser sa planification sur une valeur particulière de la demande – fixée à priori – et incluse dans l'intervalle de flexibilité. Cette valeur peut se baser sur sa vision de ce que sera la demande ferme réellement fournie par le client.

L'objet de ces stratégies est donc de transformer les demandes flexibles en demandes déterministes. Grâce à l'application d'une stratégie, l'utilisation d'un modèle comme celui développé dans le chapitre 4 de ce mémoire est possible. Ainsi, selon l'horizon dans lequel on se positionne (i.e. ferme ou flexible), le modèle M^r sera résolu avec :

$$\hat{D}_{p,t}^r = D_{p,t}^r \quad \forall p \quad \forall t \in HF^r \quad (21)$$

$$\hat{D}_{p,t}^r = f\left(\underline{D}_{p,t}^r, \overline{D}_{p,t}^r\right) \quad \forall p \quad \forall t \in HL^r \quad (22)$$

où $\hat{D}_{p,t}^r$ représente la demande déterministe sur laquelle se base la planification et f représente la stratégie de planification.

La définition de cette fonction f permet de traduire le comportement du décideur vis-à-vis de l'intégration de prévisions sous la forme de demandes flexibles. En effet, son interprétation des prévisions, liée à sa connaissance du client et éventuellement à d'autres aspects conjoncturels, affectera sa propension à intégrer tout ou partie des demandes incertaines et donc, son choix de stratégie.

Nous avons défini quatre stratégies caractéristiques. Ces stratégies n'ont aucun but d'exhaustivité mais traduisent quelques comportements simples que peut avoir un décideur. Ces différents comportements sont ensuite évalués pour mieux appréhender les risques qui en découlent en termes de coûts, de rupture etc... compte tenu des capacités de sa chaîne logistique à intégrer et à faire face à des demandes incertaines.

Ces quatre stratégies caractéristiques sont définies ci-dessous :

- La stratégie « myope » : la planification est réalisée sur la seule base des demandes fermes, sans intégration des données flexibles. Cette stratégie traduit soit un manque

de confiance dans les prévisions transmises par le client soit, plus vraisemblablement, le cas où l'entreprise n'a pas la possibilité d'intégrer ces prévisions dans sa planification (parce qu'elle ne dispose pas d'informations sur la demande flexible ou parce qu'elle ne sait pas en tenir compte dans son processus de planification).

$$T_{HL} = 0 \quad (23)$$

- La stratégie « optimiste » : la planification est réalisée en se basant sur la borne supérieure de la demande flexible. Ainsi, les demandes flexibles sont interprétées de manière optimiste car on planifie de manière à pouvoir satisfaire la plus forte demande possible :

$$\hat{D}_{p,t}^{\tau} = \overline{D}_{p,t}^{\tau} \quad \forall p \quad \forall t \in HL^{\tau} \quad (24)$$

- La stratégie « pessimiste » : la planification est réalisée en se basant sur la borne inférieure de la demande flexible. Ainsi, les prévisions sont interprétées de manière pessimiste car on se met en position de satisfaire la plus faible demande possible :

$$\hat{D}_{p,t}^{\tau} = \underline{D}_{p,t}^{\tau} \quad \forall p \quad \forall t \in HL^{\tau} \quad (25)$$

- La stratégie « moyenne » : la planification est réalisée selon la moyenne des bornes caractérisant la demande flexible :

$$\hat{D}_{p,t}^{\tau} = \frac{\underline{D}_{p,t}^{\tau} + \overline{D}_{p,t}^{\tau}}{2} \quad \forall p \quad \forall t \in HL^{\tau} \quad (26)$$

Il est évident que beaucoup d'autres stratégies peuvent être envisagées. En effet, il est possible de tenir compte d'informations quantitatives (lois de probabilités fournissant la demande la plus probable, régressions linéaires exploitant la demande passée, etc.) ou d'informations d'ordre qualitatif (tendances d'évolution du marché, habitudes des clients, confiance en ses clients, etc.). Les stratégies choisies ont l'avantage de pouvoir s'appliquer en l'absence de ces informations et donc dans un environnement complètement incertain où dans le cas où le décideur souhaiterait s'affranchir de données subjectives pour bâtir son raisonnement. Il est par contre possible de définir toute autre stratégie, qui pourra être utilisée dans le cadre de nos propositions.

11.2 Évaluation des stratégies à l'aide du simulateur

Le planificateur doit donc choisir une stratégie de planification qui lui permettra de satisfaire au mieux les besoins de ses clients tout en minimisant les coûts. Pour l'aider dans son choix, une approche comparative visant à évaluer l'impact de chaque stratégie dans différents contextes peut être appliquée.

Ainsi, dans un but d'évaluation, le cadre de simulation présenté dans le chapitre 4, paragraphe 2 peut être utilisé pour simuler un processus de planification complet basé sur une stratégie de planification spécifiée. L'impact de cette stratégie peut ainsi être évalué en termes de risques encourus (surstocks, ruptures, etc.) et de coûts. Pour mener à bien une simulation, il est nécessaire de choisir la stratégie de planification et le *contexte* dans lequel cette stratégie sera évaluée. Le contexte définit comment les demandes fermes sont générées au cours de la simulation. En effet, au fur et à mesure de l'avance du temps, les demandes flexibles deviennent fermes. Dans la réalité, ce processus d'affermissement ou de consolidation est effectué par le client qui transmet en temps voulu les demandes fermes. Dans la simulation, ce processus d'affermissement est simulé pour différents contextes. La définition du contexte vise donc à imiter dans la simulation le phénomène « naturel » de consolidation progressive des commandes. Plusieurs contextes caractéristiques sont définis pour l'évaluation des stratégies :

- Le contexte « demande minimale » : dans ce cas, les commandes fermes correspondent à la borne inférieure des commandes flexibles respectivement à la période considérée
- Le contexte « demande moyenne » : les commandes fermes correspondent à la moyenne des bornes de flexibilité
- Le contexte « demande maximale » : les commandes fermes correspondent à la borne supérieure des commandes flexibles respectivement à la période considérée
- Le contexte « demande aléatoire » : les commandes fermes sont générées suivant une distribution de probabilité à l'intérieur de l'intervalle de flexibilité

Ainsi, ces différents contextes définissent le profil de la demande ferme réelle qui sera pris en considération lors des simulations. Quand une stratégie de planification optimiste (respectivement pessimiste) est évaluée dans un contexte de demande minimale (respectivement maximale), l'évaluation se fait dans le *pire des cas*. En effet, ce cas de figure met l'accent sur les coûts et risques encourus quand le choix de la stratégie de planification est le moins judicieux par rapport à la demande réelle. De même, une évaluation dans le meilleur des cas sera le résultat du choix d'une stratégie correspondant au contexte d'évaluation (par exemple, utilisation d'une stratégie pessimiste évaluée dans un contexte de demande minimale). Les contextes définis, aléatoirement ou manuellement, à l'intérieur des bornes, apportent la possibilité d'intégrer des tendances liées à l'affermissement de la demande réelle sans que ces demandes soient directement basées sur les bornes de flexibilité. Par exemple, il sera possible d'évaluer une stratégie par rapport à un contexte où la demande est faible mais toutefois, au-dessus de la demande minimale.

Le cadre de simulation propose ainsi une aide importante à la décision en permettant au responsable de choisir une stratégie de planification en toute connaissance de cause par rapport aux risques encourus par rapport à différentes hypothèses sur la demande réelle.

12 Exemples d'applications de l'outil de simulation

Cet ensemble d'applications numériques est construit dans l'idée de compléter l'étude menée dans le chapitre 4 en apportant une aide à la décision pour la gestion de la demande-client flexible. Dans un premier temps, la démarche suivie dans ces exemples consiste à évaluer l'impact de différentes stratégies de planification en fonction de la connaissance de la demande ferme (i.e. de la longueur de l'horizon ferme). Ainsi, cette première étape a pour but de dégager la visibilité nécessaire pour obtenir des coûts proches de ceux du plan de référence en intégrant les prévisions sous forme de demandes flexibles. Dans ce cadre, la simulation est réalisée pour un unique contexte d'évaluation supposé être le plus vraisemblable.

Dans un deuxième temps, dans un cadre où il n'est pas possible d'établir à l'avance un contexte d'évaluation précis, la simulation se place dans le pire des cas. Elle montre les résultats obtenus en combinant différentes stratégies de planification et contextes d'évaluation compte tenu des paramètres choisis.

Enfin, nous montrons comment les résultats obtenus peuvent être aisément exploités pour faciliter le choix d'une stratégie. Ainsi, une illustration des extensions possibles de ces applications est proposée par l'utilisation de *critères de décisions*.

Les applications développées ici sont basées sur les mêmes paramètres que l'exemple présenté dans le chapitre 4. Les caractéristiques en sont rappelées dans le paragraphe 3.1. Le profil de demande et la flexibilité associée sur lesquels se base cette étude sont décrits dans le paragraphe suivant.

12.1 Caractéristiques de l'exemple

L'exemple traité ici reprend les caractéristiques de celui traité au chapitre 4. Il s'agit d'une usine d'assemblage dont l'étude est restreinte à un produit fini P requérant 2 composants « C1 » et 1 composant « C2 » approvisionnés auprès de 2 fournisseurs.

Les tableaux 9, 10 et 11 reprennent le paramétrage des différents types de décision.

Décision	Délai d'anticipation	Délai d'obtention	Coût unitaire
Production interne	0	0	5
Sous-traitance	2	2	30
Heures supplémentaires	1	0	55

Tableau 9. Caractéristiques des éléments de production

Fournisseur 1			Fournisseur 2			Stockage			Rupture
Achats C1 (uc)	Achats C2 (uc)	DA (t)	Achats C1 (uc)	Achats C2 (uc)	DA (t)	C1 (uc)	C2 (uc)	P (uc)	P (uc)
0,5	0,1	6	2	1	3	0,05	0,01	4	100

Tableau 10. Coûts d'achats, de stockage et de rupture

Temps opératoire en interne par produit P	Capacités en heures		Volume de production du sous-traitant	Stocks initiaux en nombre de produits			Rupture initiale
P	C_t	E_{max}	$N_{p,t}$	C1	C2	P	P
2	130	30	60	200	150	0	0

Tableau 11. Paramètres pour la production

12.2 Profil de demande

Le cadre de simulation peut être utilisé dans le but de réaliser des « what-if » simulations et de comparer les résultats des stratégies de planification dans différents contextes d'évaluation. Pour cela, nous avons construit un scénario réaliste au sens de nos études de cas. Néanmoins, il s'agit surtout de mettre en avant une démarche plus que des résultats dépendant fortement de ces données initiales.

Pour construire notre jeu de demande, nous faisons l'hypothèse qu'une flexibilité sur la demande de +/-20% est imposée par le client de l'entreprise. Ces 20% d'ajustement demandés constituent une hypothèse raisonnable par rapport à ce que nous avons pu observer sur le terrain, certains clients allant jusqu'à assurer à leurs fournisseurs des commandes « fermes » pouvant être annulées à tout moment.

Cette flexibilité est appliquée au profil de la demande client défini dans le chapitre 4 et conduit aux valeurs caractéristiques fournies dans le tableau 12 où $\bar{D}_{p,t}$, $\underline{D}_{p,t}$ et $D_{p,t}$ représentent respectivement la borne supérieure, la borne inférieure et la valeur moyenne de la demande flexible. Dans un but de simulation, ces valeurs sont définies a priori sur l'horizon de simulation HS .

Le profil de demande client et la flexibilité associée définis sur *HS* sont donnés par le tableau 12 :

Période n° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\bar{D}_{p,t}$	72	60	60	66	66	67	60	66	60	66	180	174
$D_{p,t}$	60	50	50	55	55	56	50	55	50	55	150	145
$\underline{D}_{p,t}$	48	40	40	44	44	45	40	44	40	44	120	116
Période n° :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\bar{D}_{p,t}$	186	182	186	182	60	54	66	60	60	60	60	60
$D_{p,t}$	155	152	155	152	50	45	55	50	50	50	50	50
$\underline{D}_{p,t}$	124	122	124	122	40	36	44	40	40	40	40	40

Tableau 12. Demande générée sur *HS*

Ce profil de demande flexible a pour but de stimuler le besoin d'anticipation en introduisant un « pic » de demande pour les périodes 11 à 16. La figure 39 présente le positionnement de cette demande par rapport aux capacités cumulées autorisées par la production interne, l'utilisation des heures supplémentaires et le recours à la sous-traitance. Le choix de la stratégie de planification pour ce profil de demande va solliciter différemment la production. La demande moyenne correspond à l'exemple traité précédemment et nécessite le recours à l'anticipation de la production pour éviter les ruptures. On s'attend à ce que le besoin d'anticipation s'accroisse si la demande ferme correspond à la borne supérieure de la demande et qu'il diminue si la demande ferme est la borne inférieure.

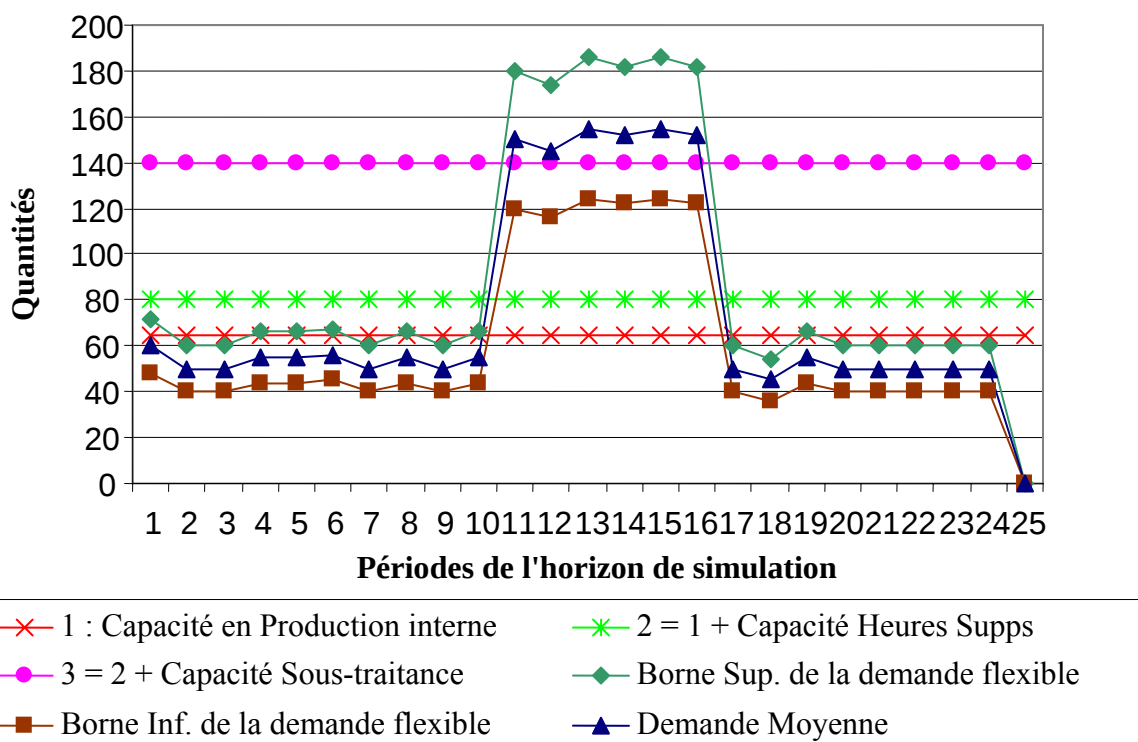


Figure 39. Positionnement des capacités cumulées par rapport aux demandes

Bien que ces différents profils de demande soient définis a priori sur l'horizon de simulation complet HS , la simulation n'intègre, à chaque pas de planification, que les demandes relatives à l'horizon de planification HP^t . Ces simulations se placent donc bien dans le cas où l'on intègre des nouvelles demandes au fur et à mesure de l'avance du temps.

Cette demande flexible constitue l'information transmise par le client à partir de laquelle le décideur va construire ses stratégies. Les bornes de flexibilité indiquant les valeurs possibles de la demande permettent aussi de générer un ensemble de contextes pour l'évaluation et la comparaison des stratégies.

12.3 Exemple d'évaluation et de choix de stratégie

La première des applications numériques traitées dans ce chapitre concerne le besoin de visibilité en fonction de la stratégie appliquée. Pour cela, nous fixons un profil de demande et comparons les stratégies pour différents horizons de planification. Lorsqu'un horizon de planification acceptable a été trouvé, il est possible d'évaluer les différentes stratégies dans différents contextes. C'est ce qui est effectué dans un second temps. Enfin, une aide au choix d'une stratégie est effectuée par l'intermédiaire de critères de décisions.

12.3.1 Évolution des coûts selon la décomposition de l'horizon de planification

Un premier ensemble de simulations permet de comparer les performances obtenues pour différentes configurations des horizons fermes et flexibles. L'évaluation porte ici sur la connaissance des demandes fermes. La stratégie myope qui n'intègre pas la demande flexible est étudiée pour un horizon ferme variant de 8 à 16 périodes. Dans le cas des autres stratégies (optimiste, moyenne et pessimiste), l'horizon de planification reste constant (fixé à 16 périodes) et la longueur de l'horizon ferme varie de 8 à 16 périodes. L'horizon flexible permet de compléter l'horizon ferme pour conserver un horizon de planification constant.

Pour chaque longueur de l'horizon ferme, les plans obtenus selon différentes stratégies (*optimiste*, *moyenne*, *pessimiste* et *myope*) sont comparés. Ces stratégies sont évaluées dans un contexte *demande moyenne* ce qui, nous le rappelons, signifie que la demande affirmée correspond à la moyenne des bornes de flexibilité quelle que soit la stratégie employée. La prise en compte d'un seul contexte d'évaluation peut sembler être restrictif pour l'analyse des résultats obtenus par l'application des différentes stratégies. Néanmoins, une telle approche peut s'appliquer lors d'une analyse a posteriori basée sur des données historiques. Dans ce cas, l'entreprise pourra déterminer la stratégie qui lui aurait permis d'obtenir de meilleurs résultats et ainsi, avoir une première indication sur son comportement à venir.

La figure 40 montre que, pour cet exemple, quelle que soit la stratégie sélectionnée, il est toujours favorable de compléter l'horizon ferme, même si cela nécessite de considérer une demande incertaine. En effet, la stratégie myope qui ignore les demandes flexibles donne les moins bons résultats. Néanmoins, comme on pouvait le supposer, au-delà d'une certaine visibilité sur la demande ferme, l'intérêt de compléter l'horizon de planification par des demandes flexibles est minime. Ainsi, on peut constater lorsque l'horizon ferme dépasse 13 périodes, toutes les stratégies génèrent des coûts proches du plan de référence. Pour des horizons plus courts, les stratégies *moyenne* et *optimiste* donnent de meilleurs résultats que les autres (dans cet exemple). L'évaluation de ces stratégies doit être effectuée plus précisément en considérant différents contextes pour la simulation.

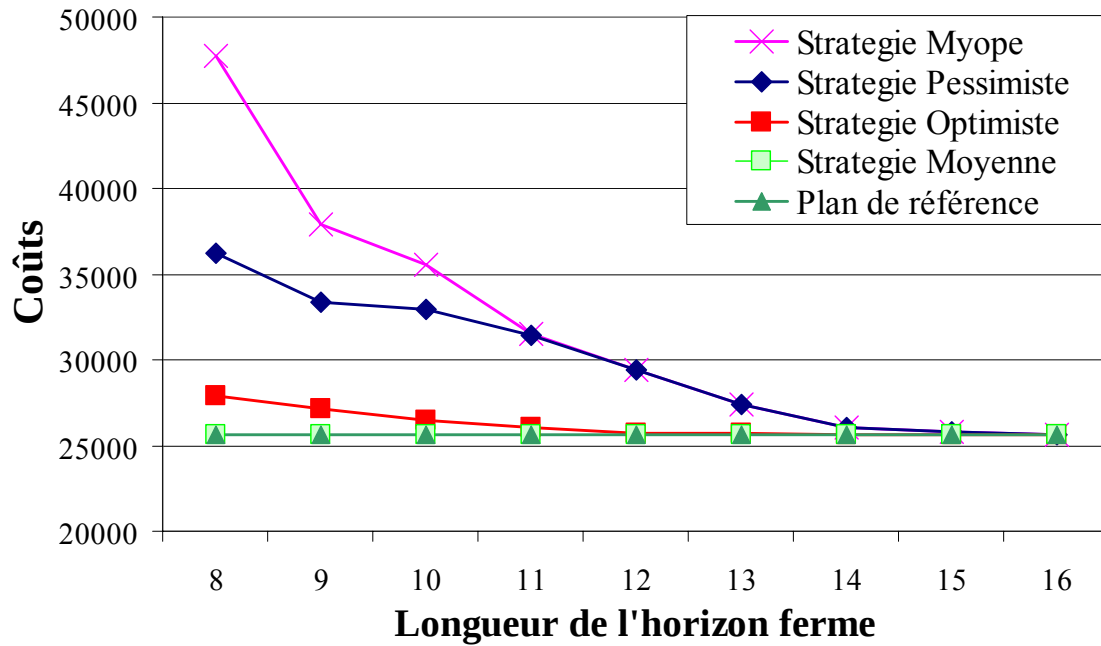


Figure 40. Comparatifs des coûts générés selon la longueur de l'horizon ferme et la stratégie

L'intérêt de cette figure est double. D'une part, elle permet de confirmer une évolution des coûts à la baisse avec une augmentation de la visibilité et ce, quelle que soit la stratégie employée. D'autre part, elle donne un indicateur sur la performance des différentes stratégies dans l'exemple proposé. Dans le cadre de cette évaluation dans le contexte « demande moyenne », c'est la stratégie moyenne qui donne évidemment les meilleurs résultats. La stratégie « optimiste » reste relativement proche et pourrait être aussi conseillée au décideur. Les stratégies « myope » et « pessimiste » donnent les moins bons résultats et peuvent être écartées.

La suite de ce paragraphe présente en détail les différents coûts, ce qui permet d'analyser plus finement le positionnement des différentes stratégies.

La figure 41 présente les coûts de rupture associés à chacune des simulations. Cette figure fait apparaître que les coûts de rupture surviennent uniquement pour les stratégies myope et pessimiste. L'introduction de prévisions combinée à l'utilisation des stratégies optimiste ou moyenne permettent de pallier les ruptures de stocks quelle que soit la longueur de l'horizon ferme. Ainsi, si l'entreprise considérée se fixe des objectifs selon un indicateur de performance lié au taux de rupture et qu'elle manque de visibilité, elle saura que l'application des stratégies moyenne ou optimiste permet de donner de bons résultats même à faible visibilité par rapport au contexte d'évaluation qu'elle a choisi.

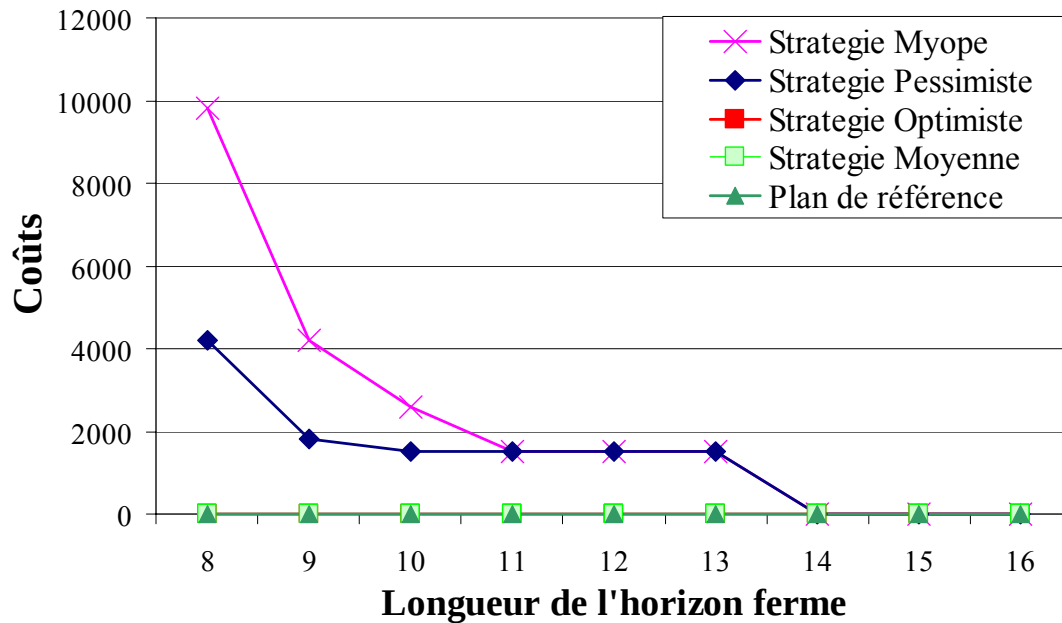


Figure 41. Coûts de ruptures selon la stratégie et la longueur de l'horizon ferme

La figure 41 n'indique pas pourquoi la stratégie optimiste est moins performante au niveau des coûts globaux générés. Pour avoir cette explication, il faut s'intéresser à d'autres indicateurs de performance. La figure 42 présente les niveaux de stocks selon la stratégie et la décomposition de l'horizon de planification. Cette figure montre bien que les stratégies myope et pessimiste ne permettent pas d'atteindre un niveau de stockage suffisant pour satisfaire le pic de demande. Cette figure permet d'identifier l'origine des surcoûts liés à l'utilisation de la stratégie optimiste : comme on pouvait s'y attendre, l'introduction de prévisions supérieures à la demande ferme finale engendre, pour les scénarios à faible visibilité, un stock de produits finis important. Le problème lié à l'influence des prévisions sur les décisions gelées est ici mis en évidence car les décisions liées au lissage de la production pour satisfaire la demande prévisionnelle sont gelées et ne peuvent être réévaluées à la baisse. Ce surcroît de stock est dû au manque de réactivité du sous-traitant et traduit l'engagement de l'entreprise à accepter les livraisons du sous-traitant même si le besoin réel n'est plus le même aux pas de planification suivants.

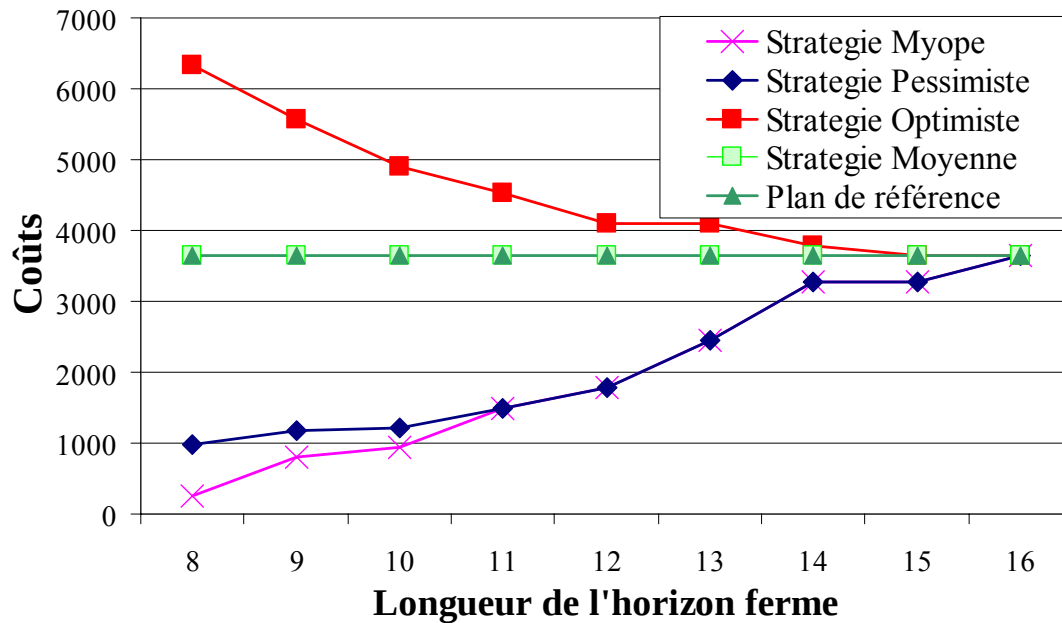


Figure 42. Coûts de stockage selon la stratégie et la longueur de l'horizon ferme

Les deux indicateurs sur les coûts de rupture et les coûts de stockage présentés en figure 41 et 42 permettent de confirmer les résultats attendus lors du paramétrage du modèle. En effet, l'introduction de fortes pénalités de ruptures et de coûts stockages relativement faibles laissaient penser qu'un lissage de production préalable génère moins de coûts que l'acceptation de ruptures. Néanmoins, le fait que cela soit confirmé par simulation en tenant compte des surcoûts liés à l'utilisation de décisions fortement réactives et plus chères que celles proposées dans le plan de référence donne une indication importante au décideur.

12.3.2 Évaluation des stratégies sans information sur le contexte

L'exemple précédent a mis l'accent sur l'importance de la visibilité et permet à l'entreprise d'établir un premier choix de stratégie. Néanmoins, l'étude s'est volontairement limitée à un contexte donné (« demande moyenne ») qui peut être remis en question si l'entreprise n'a pas de connaissance sur la possibilité d'occurrence d'un tel contexte. Pour fournir une aide plus précise sur la meilleure stratégie à employer, ce paragraphe montre une étude comparative pouvant être menée. Dans cet exemple, le paramètre sur lequel nous allons agir est le contexte, afin de simuler et d'évaluer nos stratégies avec différents types d'affermissements de la demande. Pour mener à bien cette application numérique, il est nécessaire de fixer un horizon de planification, ce qui justifie les étapes précédentes visant à définir un seuil de visibilité dans lequel l'entreprise est susceptible de fonctionner dans de « bonnes » conditions.

On ne peut comparer les stratégies de planification dans différents contextes d'évaluation sur la base des coûts générés. En effet, un contexte dans lequel la demande est plus forte que dans un autre va forcément générer des coûts plus élevés, ne serait-ce qu'au niveau des approvisionnements qui nécessitent plus de composants. Ainsi, l'évaluation de la performance de ces stratégies est effectuée par rapport aux gains réalisés et non plus par rapport aux coûts des plans comme cela était le cas dans les exemples menés jusqu'à présent.

Les simulations sont effectuées en considérant un horizon de planification de 12 périodes décomposé en un horizon ferme de 8 périodes et un horizon flexible de 4 périodes. Les différentes stratégies « pessimiste », « moyenne » et « optimiste » sont évaluées par rapport à

6 contextes différents : « minimale » ; « moyenne » ; « maximale » ; « $N(\sigma, m)$ » « $\beta(2, 7)$ » ; « $\beta(7, 2)$ ».

Les trois premiers contextes permettent de simuler des situations qui se basent directement sur les informations transmises par les clients (i.e. le profil de demande utilisé). Si cela est suffisant pour des évaluations dans le pire des cas, il est toutefois possible d'introduire d'autres contextes permettant au décideur d'exprimer des ajustements par rapport aux données des clients. Ainsi, les trois derniers contextes permettent d'assouplir la prise en compte des données clients en regroupant des tirages aléatoires (1) *autour de la moyenne* dans le cas « $N(\sigma, m)$ », (2) *proches de la borne inférieure de flexibilité* dans le cas « $\beta(2, 7)$ » et (3) *proches de la borne supérieure* dans le cas « $\beta(7, 2)$ ».

Pour les contextes « β », une loi β , dont la densité de probabilité est donnée par l'équation (27), est utilisée pour générer une demande aléatoire proche de la borne inférieure (en utilisant les paramètres $p=2$ et $q=7$, notée $\beta(2, 7)$), ou proche de la borne supérieure (avec le paramétrage $p=7$ et $q=2$, notée $\beta(7, 2)$). Dans la densité de probabilité de cette loi, les paramètres A et B représentent respectivement les valeurs des bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de flexibilité. La loi β étant bornée, les probabilités d'occurrence d'une demande inférieure à A ou supérieure à B sont nulles.

$$\begin{cases} f(t) = \frac{(t-A)^p (B-t)^q}{(B-A)^{p+q+1} \beta(p+1, q+1)} \quad \forall t, t \in [A, B] \text{ tel que: } \beta(p, q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx \\ f(t) = 0 \quad \forall t, t \notin [A, B] \end{cases} \quad (27)$$

Les figures 43 et 44 donnent l'allure des densités de probabilités associées aux lois $\beta(2, 7)$ et $\beta(7, 2)$. Dans notre simulation, à chaque période, ces densités de probabilités définies sur $[0, 1]$ sont réparties sur $[A, B]$ avec $A = \underline{D}_{p,t}$ et $B = \overline{D}_{p,t}^\tau$ qui sont les valeurs minimales et maximales que peut prendre la demande client sur cette période.

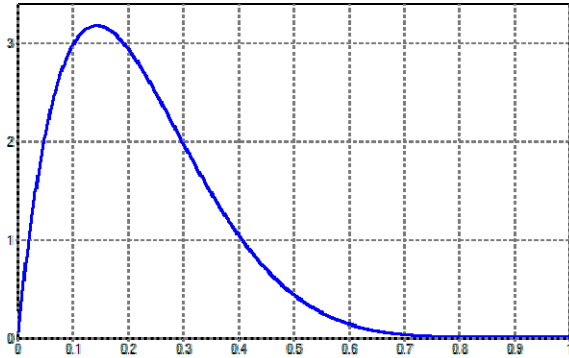


Figure 43. Loi $\beta(2, 7)$

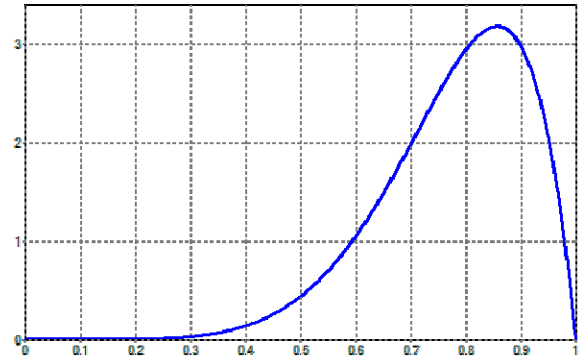


Figure 44. Loi $\beta(7, 2)$

L'instanciation de la fonction définie en (27) par rapport à notre exemple est donnée en (28).

$$\begin{cases} f(t) = \frac{(t - \underline{D}_{p,t})^p (\overline{D}_{p,t} - t)^q}{(\overline{D}_{p,t} - \underline{D}_{p,t})^{p+q+1} \beta(p+1, q+1)} \quad \forall t, t \in [\underline{D}_{p,t}, \overline{D}_{p,t}] \text{ tel que: } \beta(p, q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx \\ f(t) = 0 \quad \forall t, t \notin [\underline{D}_{p,t}, \overline{D}_{p,t}] \end{cases} \quad (28)$$

Le dernier profil de demandes fermes est issu de tirages aléatoires selon une loi normale $N(m, \sigma)$ (dont la densité de probabilité, classique, n'est pas représentée ici). m est la moyenne des bornes de l'intervalle de flexibilité (cf. équation (29)) et σ est l'écart type défini arbitrairement. Par définition, la valeur affectée à cet écart type permet de définir la répartition des demandes par rapport à la moyenne m . Dans le but d'accepter de faibles variations autour de la moyenne, nous calculerons σ comme étant 1/6 de l'intervalle flexible à chaque période (cf. équation 30).

$$m = \left(\underline{D}_{p,t}^\tau + \overline{D}_{p,t}^\tau \right) / 2 \quad \forall p \quad \forall t \in HL^\tau \quad (29)$$

$$\sigma = \left(\underline{D}_{p,t}^\tau - \overline{D}_{p,t}^\tau \right) / 6 \quad \forall p \quad \forall t \in HL^\tau \quad (30)$$

Ces demandes tirées aléatoirement permettent, à titre indicatif, d'introduire une certaine souplesse dans le raisonnement et de rendre les simulations plus exhaustives en introduisant un biais par rapport aux trois premiers contextes. L'intérêt des simulations dans le cadre des exemples de ce chapitre est de s'appliquer dans le cas où la demande ne se conforme pas à une loi de probabilité spécifique. De ce fait, nous n'avons pas émis d'hypothèses sur la validité des lois appliquées mais montrons seulement que les bornes de flexibilité ne sont pas les seules informations pouvant être intégrées à nos simulations. Dans le cas où la demande client suivrait une loi de probabilité définie et validée, une autre approche consistant à réaliser un grand nombre de simulations dans différents contextes générés selon cette loi serait plus appropriée. Notre modèle pourrait tout à fait être utilisé dans ce cadre, que nous ne développons pas dans ce mémoire.

Le gain est calculé comme le prix de vente d'un produit fini multiplié par les quantités vendues de chaque produit, auxquels on retranche le coût global du plan (cf. équation (31)).

Pour calculer ce gain, nous introduisons les notations suivantes :

V : gain réalisé lors de la simulation du modèle M . Par la suite, on notera V_y le gain obtenu par l'application de la stratégie y .

$Coût_M$: coût du plan P^i obtenu par la somme des coûts associés à chaque décision implémentée

$W_{p,t}$: quantité de produit p livrée à la période t

w_p : prix de vente du produit p

le gain est calculé comme suit :

$$V = \sum_t \sum_p w_p W_{p,t} - Coût_M \quad (31)$$

avec :

$$W_{p,t} = \hat{D}_{p,t} + G_{p,t-1} - G_{p,t} \quad \forall p \quad \forall t \in HP^\tau \quad (32)$$

$$Coût_M = \sum_{t=1}^{HS} \left[\sum_p i_p I_{p,t}^i + \sum_c j_c J_{c,t}^i + \sum_p g_p G_{p,t}^i + \sum_p x_p X_{p,t}^i + \sum_p s_p S_{p,t}^i + \sum_s \sum_c a_{s,c} A_{s,c,t}^i + \sum_a b_a B_{a,t}^i + e E_t^i \right] \quad (33)$$

L'équation (32) montre comment sont calculées les livraisons, à partir de la demande à satisfaire et du niveau de rupture à la fin de la période précédente et de la période en cours. L'équation (33) présente le calcul du coût des plans implémentés. Comme dans la fonction objectif (1), il s'agit de faire la somme des produits de chaque décision par leur coût unitaire associé mais cette fois, sur l'ensemble de l'horizon de simulation.

Dans nos exemples, le prix de vente des produits finis P est fixé à 110uc.

Le tableau 13 montre les gains résultants obtenus par l'application de chaque stratégie de planification ($y \in \{\text{optimiste; moyenne; pessimiste}\}$) dans chaque contexte. Pour compléter cette analyse, les gains obtenus à partir du plan de référence sont reportés pour chaque profil de demande.

Demande Stratégie	Minimale	Moyenne	Maximale	Loi $N(m,\sigma)$	Loi β (2,7)	Loi β (7,2)
Optimiste	144 025	176 152	182 829	174 623	157 921	187 404
Moyenne	145 646	173 499	166 772	173 178	159 617	177 676
Pessimiste	146 196	166 757	117 335	166 835	157 580	155 247
Plan de référence	146 196	177 345	203 826	176 220	160 270	192 303

Tableau 13. Gains obtenus par l'application des différentes stratégies selon le contexte

Plusieurs points peuvent être soulignés. En raison du manque de visibilité et donc, des capacités d'anticipation réduites du pic, le gain de référence n'est atteint que lorsque la demande ferme (i.e. le contexte) considérée est minimale. De plus, la stratégie donnant les meilleurs résultats n'est pas toujours la même. Par exemple, dans un contexte demande minimale, c'est la stratégie pessimiste qui donne les meilleurs résultats. Dans le contexte « loi $\beta(2,7)$, c'est la demande moyenne. Ainsi, il semble difficile pour un décideur de sélectionner une stratégie.

La section suivante montre comment un critère de décision peut être utilisé pour guider le choix du manager.

12.3.3 Aide au choix d'une stratégie

Dans le but de choisir entre ces stratégies, des critères de décision peuvent être utilisés. Ces critères peuvent s'appliquer soit directement sur le gain soit sur le regret issu de l'application d'une stratégie.

Dans un cadre général de comparaison de décisions sous incertitude, un des critères les plus communs est le critère de Wald (Wald, 1943, 1950), aussi connu sous le nom de Maximin. Ce critère est basé sur le gain minimum obtenu par chaque décision (ici, une stratégie) suivant les différentes situations réelles (ici, les contextes d'évaluation). Dans notre exemple, les gains minimums sont 144 025uc pour la stratégie optimiste, 145 646uc pour la stratégie moyenne et 117 335uc pour la stratégie pessimiste. Ces gains minimums sont encadrés dans le tableau 14. Le critère de Wald suggère de choisir la stratégie permettant d'obtenir le plus élevé de ces gains minimums. Dans cet exemple, il s'agit de la stratégie moyenne qui génère un gain minimum de 145 646uc. L'intérêt de ce critère est de fournir au décideur une indication sur la marge minimale qu'il est sûr de dégager en appliquant sa stratégie, quelle que soit la demande ferme. Il montre une certaine aversion au risque en choisissant la stratégie qui, dans le pire des cas, générera le niveau minimal de bénéfices le plus élevé.

Demande Stratégie		Minimale	Moyenne	Maximale	Loi normale	Loi beta (2,7)	Loi beta (7,2)
Gains	$V_{Optimiste}$	144025	176152	182829	174623	157921	187404
	$V_{Moyenne}$	145646	173499	166772	173178	159617	177676
	$V_{Pessimiste}$	146196	166757	117335	166835	157580	155247

Tableau 14. Identification des gains maximum

Néanmoins, si la différence entre les gains minimum obtenus pour la stratégie moyenne et la stratégie pessimiste est importante (environ 24%), l'écart est beaucoup plus faible entre la stratégie moyenne et la stratégie optimiste (environ 1%).

Un autre critère de décision peut être appliqué pour orienter le décideur, par exemple celui de Savage (Savage, 1951, 1954, 1972) plus communément appelé le critère du « Minimax Regret ». Il préconise de choisir la stratégie qui va générer le plus petit des regrets maximum. Dans notre approche, la notion de regret s'exprime, dans un *contexte donné*, comme le *manque à gagner* (noté N_y) lié à l'utilisation d'une stratégie y alors qu'une autre donne le meilleur résultat parmi toutes les stratégies.

$$N_y = V_y - \max_{k \in S} (V_k) \quad \forall y \in S = \{\text{optimiste ; moyenne ; pessimiste}\} \quad (34)$$

Dans le tableau 15 ces regrets apparaissent en nombre négatifs dans les lignes « $N_{Optimiste}$ », « $N_{Moyenne}$ » et « $N_{Pessimiste}$ ». Il s'agit alors de pertes liées à l'utilisation de la stratégie optimiste, moyenne ou pessimiste. Ce manque à gagner est calculé comme la différence des gains entre la stratégie appliquée et la stratégie donnant le meilleur gain.

Par exemple, dans le contexte « Minimal », la perte liée à l'application de la stratégie optimiste sera calculée comme la différence entre le gain obtenu par le choix de la stratégie optimiste et le gain obtenu par la meilleure stratégie possible, qui est dans ce cas la stratégie pessimiste : $N_{Optimiste} = V_{Optimiste} - V_{Pessimiste}$. Ce regret est de $144\,025 - 146\,196 = -2\,171$ uc.

Dans notre cas, le regret maximum associé à la stratégie optimiste est de -2 171uc ; associé à la stratégie moyenne est de -16 057uc ; associé à la stratégie pessimiste est de -65 494uc. Ces regrets maximums sont mis en évidence dans le tableau 15.

Dans ce cas, la différence entre l'application des stratégies optimiste et moyenne est bien plus marquée. En effet, le manque à gagner maximal associé à la stratégie moyenne est 8 fois supérieur à celui associé à la stratégie optimiste. Le décideur, s'il choisit de minimiser les risques associés à l'utilisation d'une stratégie, aura, de ce fait, tout intérêt à sélectionner la stratégie optimiste.

Demande		Minimale	Moyenne	Maximale	Loi normale	Loi beta (2,7)	Loi beta (7,2)
Stratégie							
Regrets	$N_{Optimiste}$	-2171	0	0	0	-1696	0
	$N_{Moyenne}$	-550	-2653	-16057	-1446	0	-9729
	$N_{Pessimiste}$	0	-9395	-65494	-7789	-2037	-32158

Tableau 15. Manque à gagner dû au choix d'une mauvaise stratégie

Bien sûr, d'autres critères peuvent être appliqués. L'objectif de cette étude est uniquement de justifier l'usage de l'approche que nous proposons en tant qu'aide à la décision.

Conclusion du chapitre 5

Dans ce chapitre, une méthode pour la prise en compte de la demande incertaine a été proposée. Cette méthode est basée sur les observations menées lors de nos études de cas qui ont fait émerger une contractualisation de la variation des quantités demandées par le client dans un horizon à moyen terme : l'horizon flexible.

Les difficultés majeures liées à l'introduction de ces demandes flexibles dans la planification dépendent de la capacité de l'entreprise à réagir par rapport à ces données clients et à évaluer l'impact que peut avoir cette demande sur leur production. Pour cela, nous avons montré comment ces demandes flexibles peuvent s'intégrer à notre cadre de simulation par l'intermédiaire de stratégies de planification. L'utilisation de ces stratégies permet tout d'abord d'évaluer dans un contexte donné le positionnement des différentes stratégies en tenant compte de la visibilité sur la demande client. Ce type de simulation peut être intéressant dans le cadre d'analyse a posteriori se basant sur un scénario issu d'un historique de données. D'autre part, lorsque le décideur ne peut établir de tendance réelle sur ce que sera la demande finale, la simulation des différentes stratégies permet l'utilisation de critères de décisions donnant une indication à l'entreprise sur la stratégie à employer.

Les applications numériques en fin de ce chapitre ont montré que le choix des stratégies n'est pas trivial. L'apport d'un modèle d'optimisation utilisé dans un cadre de simulation en termes d'aide à la décision est ainsi démontré.

Chapitre 6 : Amélioration des relations avec les fournisseurs

Introduction au chapitre 6

La gestion d'une chaîne logistique repose sur la définition de partenariats et de mécanismes collaboratifs entre les différents acteurs impliqués dans la chaîne. La séparation juridictionnelle et décisionnelle de ces acteurs nuit à la mise en place de tels mécanismes par l'inapplicabilité d'une coordination complète pouvant être issue d'une structure décisionnelle centralisée. Un ensemble de méthodes centrées sur la satisfaction des demandes clients par une entreprise a été proposé dans le chapitre 5 de ce mémoire. Les engagements pris par une telle entreprise auprès de ses clients, notamment en termes d'adaptation à des demandes flexibles, ont des répercussions sur ses fournisseurs. L'entreprise doit donc s'assurer que ces répercussions soient admises par ses fournisseurs.

Nos études de cas ont montré les difficultés d'intégration des prévisions transmises par les clients dans le processus décisionnel, en particulier pour des entreprises situées en milieu de chaîne logistique dans le secteur aéronautique. L'objet de ce chapitre est de proposer une approche permettant d'améliorer les relations d'une entreprise avec ses fournisseurs. Pour cela, le concept d'approvisionnements flexibles est proposé. Cette approche a pour double but de tenir compte du besoin de réactivité de l'entreprise considérée et du besoin pour un fournisseur d'obtenir le plus tôt possible des informations sur les commandes à venir lui permettant de s'organiser au mieux.

Pour que la collaboration puisse se justifier autant du point de vue des fournisseurs que de celui de l'entreprise considérée, il est nécessaire de mettre en évidence des avantages réciproques à sa mise en place. L'application des différents concepts sur un exemple simple est réalisée pour matérialiser l'intérêt pour l'entreprise et pour ses fournisseurs à mettre en place des actions améliorant la collaboration.

Le premier paragraphe de ce chapitre présente les éléments liés à la problématique d'amélioration des relations avec les fournisseurs. Une approche répondant à cette problématique est ensuite proposée.

Le deuxième paragraphe présente les modifications apportées à notre modélisation pour inclure la notion d'approvisionnement flexible.

Enfin, dans le troisième paragraphe, une application numérique est développée pour illustrer concrètement les possibilités d'implémentation des actions favorisant la collaboration.

1. Motivations de l'étude

Ce paragraphe présente les éléments de problématique liés à l'amélioration des relations entre une entreprise et ses fournisseurs. Dans la modélisation proposée, les décisions d'approvisionnement auprès des fournisseurs suivent les mêmes règles liées à l'anticipation des décisions que, par exemple, celles permettant l'utilisation des heures supplémentaires ou la production interne. Cependant, les relations que peut avoir l'entreprise avec ses fournisseurs nécessitent plus de souplesse si l'on veut améliorer la performance globale de la chaîne logistique. De plus, l'entreprise considérée comme élément central de notre modélisation est elle-même fournisseur d'un ensemble de clients et doit, comme cela a été montré dans le chapitre 5 de ce mémoire, intégrer des relations souples au travers d'une demande client incertaine. Il apparaît donc naturel de donner les outils à cette entreprise pour gérer, de manière réciproque, des demandes d'approvisionnement vers ses fournisseurs dans le cadre de relations souples.

12.4 Éléments de problématique

L'entreprise, telle que nous l'avons modélisée, fait face d'une part à un besoin de réactivité pour satisfaire une demande client empreinte d'incertitude et d'autre part, à des contraintes fortes liées au besoin d'anticipation de ses fournisseurs. Ce besoin d'anticipation réduit la réactivité globale de l'entreprise et par extension, celle de la chaîne logistique pour faire face à la variabilité de la demande.

Selon le schéma décrit dans les chapitres précédents, après chaque planification, l'entreprise transmet à ses fournisseurs ses plans d'approvisionnement sous deux formes :

1. sur l'horizon gelé, correspondant au délai d'anticipation imposé par le fournisseur, les quantités approvisionnées sont fermes et ne pourront être remises en cause lors des planifications suivantes,
2. sur l'horizon libre, les quantités sont prévisionnelles et donc simplement indicatives. Elles peuvent être totalement modifiées par l'entreprise.

Ce fonctionnement conduit les fournisseurs à définir pour leurs entreprises clientes des délais d'anticipation longs, de sorte à pouvoir organiser de manière fiable leur propre production et leurs approvisionnements. Il s'ensuit des horizons gelés associés aux approvisionnements longs. Dans ce contexte difficile pour la planification, il apparaît important de montrer l'intérêt que peut avoir l'introduction de souplesse au niveau des décisions transmises aux fournisseurs.

Les gains attendus pour l'entreprise après la mise en place d'une gestion souple des relations vers les fournisseurs sont :

1. d'apporter de la réactivité dans la planification et donc d'ajuster les approvisionnements au plus près des besoins issus de la demande client ;
2. de diminuer les coûts d'achats en privilégiant des fournisseurs possédant un outil de production aux coûts de fonctionnement faibles.

Néanmoins, les fournisseurs, surtout lorsqu'il s'agit de PME, ont du mal à adapter leur production à des évolutions importantes de leur demande. Ils peuvent ainsi avoir besoin de délais d'anticipation importants. Pour améliorer la réactivité globale du système liant

l'entreprise, ses sous-traitants et ses fournisseurs, il peut être important, pour cette entreprise, de négocier avec ses fournisseurs un raccourcissement de ses délais d'anticipation. Demander une modification de ce type peut nécessiter de la part du fournisseur un effort de réorganisation important (e.g. réduction des tailles de lots, réorganisation de postes de travail etc.). Le gain de réactivité ainsi obtenu peut permettre de mieux satisfaire des variations importantes des demandes d'approvisionnement. L'entreprise peut ainsi s'appuyer sur ce levier décisionnel plutôt que d'aller chercher de la réactivité chez un fournisseur plus flexible mais plus cher. Cela se traduit au niveau du fournisseur par une augmentation de son chiffre d'affaire. L'assurance d'un chiffre d'affaire plus important peut être un facteur motivant pour ce type d'actions. De plus, les gains réalisés par l'entreprise, au prix de l'effort du fournisseur pour améliorer sa réactivité, peuvent être partagés entre ces deux acteurs de la chaîne.

De ce fait, il apparaît intéressant de pouvoir fournir à l'entreprise un cadre permettant de tenir compte des capacités de réaction de ses fournisseurs. Dans une optique d'aide à la décision, ces méthodes et outils doivent inciter les différents protagonistes à collaborer pour améliorer leur réactivité en fonction de leurs besoins.

12.5 Approche proposée

Une pratique couramment relevée dans nos études de cas consiste à décomposer l'horizon d'approvisionnement en trois sous-horizons (Galasso *et al.*, 2006b). C'est cette pratique que nous allons intégrer à notre approche.

L'*horizon Ferme Fournisseur* (FF_s^τ pour le fournisseur s quelle que soit la période de référence τ) de longueur T_{FFs} est celui sur lequel l'entreprise fournit des demandes d'approvisionnement qu'elle *s'engage à ne pas modifier*. Compte tenu de la variabilité de sa propre demande en produits finis, il est difficile qu'une entreprise accepte de définir des approvisionnements fermes sur un horizon suffisamment long pour satisfaire complètement le besoin d'anticipation de ses fournisseurs. Il s'ensuit un décalage entre l'engagement acceptable pour l'entreprise et les contraintes liées à ses fournisseurs.

Un compromis entre l'entreprise et ses fournisseurs peut être trouvé en utilisant un *horizon flexible d'approvisionnement*. Ainsi, les entreprises peuvent recourir au second horizon qui est l'*horizon Fournisseur flexible* (FL_s^τ) de longueur T_{FLs} . Sur cet horizon, l'entreprise définit un *intervalle de valeurs pour sa demande en composants* et s'engage à ce que la demande réelle en composants s'inscrive dans cet intervalle. Le fournisseur, de son côté, s'engage à satisfaire toute demande d'approvisionnement appartenant à cet intervalle. La taille de l'intervalle est négociée entre l'entreprise et son fournisseur. Ainsi, la taille de cet intervalle peut correspondre aux capacités introduites par la mise en place d'actions d'ajustement de la capacité, chez le fournisseur, du type de celles évoquées dans le chapitre précédent (i.e. passage en 2*8, heures supplémentaires etc.). La définition temporelle de cet horizon sur les quantités flexibles peut ainsi correspondre aux délais nécessaires à la mise en place de telles actions.

Enfin, à plus long terme, une tendance de ce que seront les demandes d'approvisionnement est donnée sur l'*horizon Fournisseur Prévisionnel* (FP^τ) de longueur $T_{FPs} = T - T_{FFs} - T_{FLs}$. Sur cet horizon, les quantités demandées sont purement indicatives et ni l'entreprise, ni le fournisseur ne sont engagés. Ainsi, sur cet horizon fournisseur prévisionnel, les décisions sont supposées s'appliquer à une échéance suffisamment lointaine pour pouvoir être remises en question sans impact sur la production à court terme. En effet, on peut supposer que dans cet horizon, les délais d'anticipation propres au fournisseur sont

suffisamment inférieurs aux dates d'application des décisions pour lui laisser le temps de s'adapter. Ces décisions lointaines n'ont donc, a priori, pas besoin d'être contraintes. L'utilisation de notre cadre de simulation appliquée au niveau d'un fournisseur peut permettre de valider cette définition a priori.

La figure 45 montre la décomposition de l'horizon des demandes d'approvisionnement tel qu'il est formulé et intégré dans le modèle. Dans cette figure, l'horizon de planification a une longueur T de 10 périodes et commence ici à la période de référence 0. L'horizon ferme FF^0 a une longueur $T_{FF} = 3$, l'horizon flexible FL^0 a une longueur T_{FL} de 3. On a donc un horizon prévisionnel de longueur T_{FP} de 4 périodes.

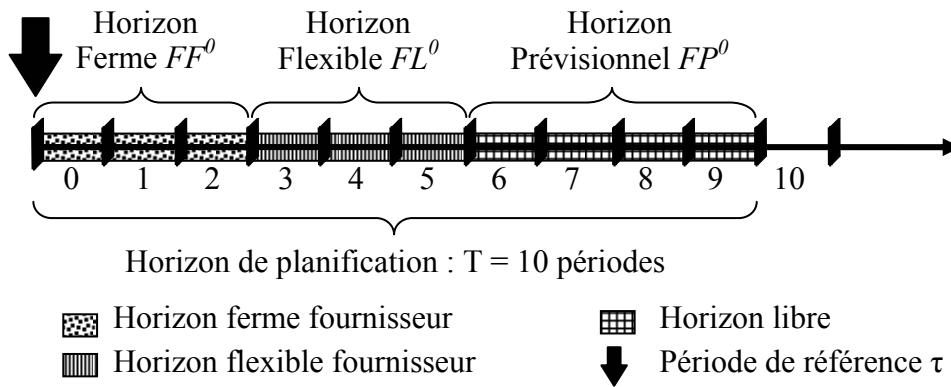


Figure 45. Décomposition de l'horizon d'approvisionnement

La prise en compte de cette décomposition dans notre modélisation et dans le cadre de simulation qui en découle nous amène à introduire des contraintes supplémentaires définies dans le paragraphe ci-dessous.

13 Modification des contraintes liées au fournisseur

Il est tout d'abord à noter que les décisions d'approvisionnement proposées sur l'horizon ferme fournisseur respectent la même logique que celle des décisions gelées. Ainsi, l'équation (35) montre que les décisions prises lors d'un pas de planification dans l'horizon ferme fournisseur sont reportées de la planification précédente.

Les contraintes nécessaires à la prise en compte de FL^t ont pour but d'assurer la cohérence des plans d'approvisionnement entre deux pas de simulation. Cette cohérence est assurée par le contrôle de l'évolution des quantités définies à chaque pas de planification sur cet horizon FL^t . Sur l'horizon flexible fournisseur, les demandes d'approvisionnement ne varient, d'une planification à l'autre, qu'entre deux bornes : elles sont définies par un écart Δ exprimé à partir d'un pourcentage des demandes d'approvisionnement établies à l'étape de planification précédente. Les contraintes (36) et (37) définies pour chaque fournisseur s , composant c et période t dans l'horizon flexible sont introduites dans le modèle.

$$A_{s,c,t}^{\tau-PP} = A_{s,c,t}^{\tau} \quad \forall s, \forall c, \forall t \mid t \in FF_s^{\tau} \quad (35)$$

$$A_{s,c,t}^{\tau-PP} - \Delta \leq A_{s,c,t}^{\tau} \leq A_{s,c,t}^{\tau-PP} + \Delta \quad \forall s, \forall c, \forall t \mid t \in FL_s^{\tau} \quad (36)$$

$$\Delta = Pe \times A_{s,c,t}^{\tau-PP} \quad \forall s, \forall c, \forall t \mid t \in FL_s^{\tau} \quad (37)$$

La contrainte (36) indique que, sur l'horizon flexible, les approvisionnements décidés en période τ doivent rester dans l'intervalle défini par la valeur précédente (décidée en $\tau-PP$) plus ou moins Δ . L'équation (37) indique que l'écart Δ est un pourcentage de l'approvisionnement prévu à la planification précédente. L'intérêt de prendre en compte ces contraintes dans la modélisation est de garantir le respect des règles entre l'entreprise et ses fournisseurs.

En jouant sur le pourcentage Pe , la capacité d'adaptation des fournisseurs est intégrée à la modélisation pour générer des plans cohérents avec leurs possibilités. Ainsi, l'introduction de l'horizon flexible assure à la fois une stabilité des décisions d'un pas de planification à l'autre ainsi que la possibilité de répercuter la variabilité imposée par le client final. Le schéma dynamique du gel des décisions transmises au niveau des fournisseurs est complété par l'introduction de ces horizons flexibles comme présenté en figure 46 :

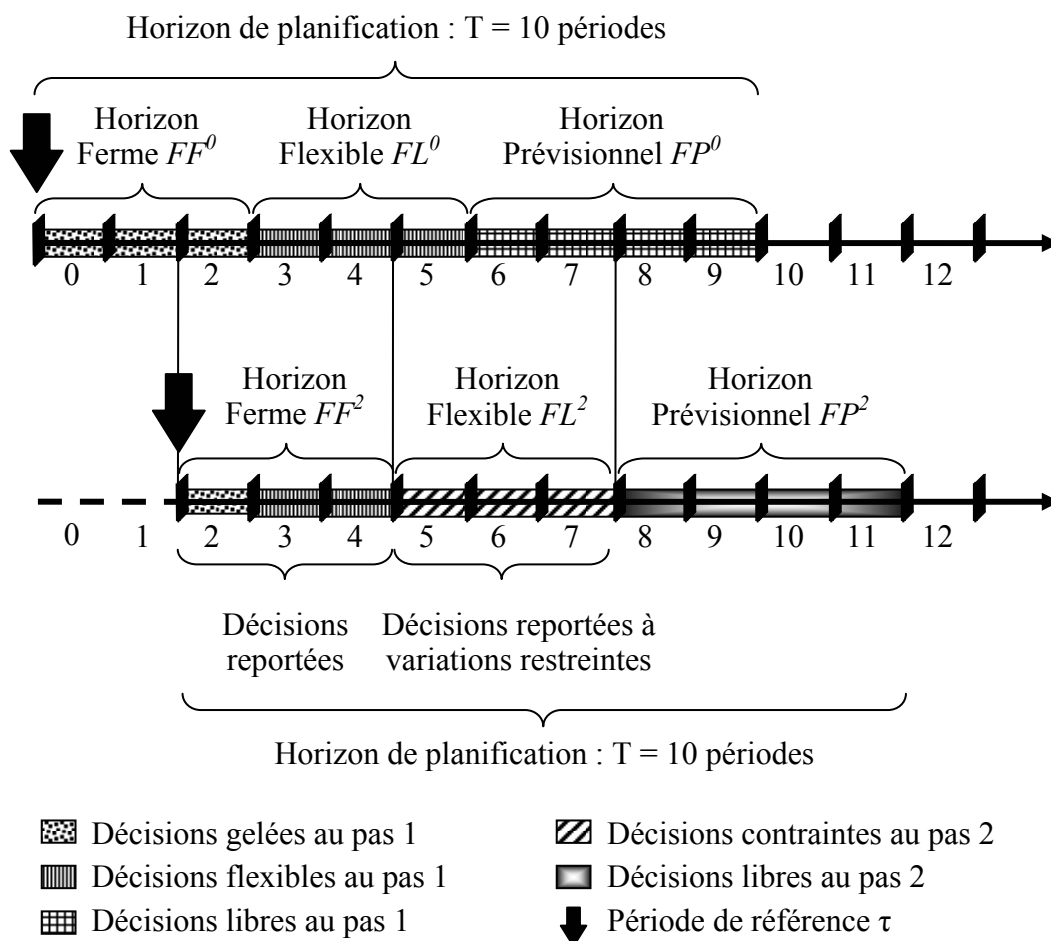


Figure 46. Décomposition de l'horizon de planification

Il est à noter que pour les décisions autres que l'approvisionnement, le schéma présenté en figure 13 du chapitre 3 et formalisé par les équations (8) à (12) excepté (10), est toujours applicable.

Pour montrer l'intérêt de notre étude, nous avons mis en œuvre notre approche sur l'exemple présenté ci-dessous.

14 Évaluation de l'introduction d'un horizon flexible pour chaque fournisseur

Nous allons évaluer l'intérêt d'apporter de la réactivité dans la planification des approvisionnements. Cette étude est basée sur la comparaison de scénarios introduisant plus ou moins de réactivité au niveau des fournisseurs.

14.1 Analyse dans un contexte à demande client variant faiblement

Dans ce paragraphe, une application est menée dans le cas où la demande client subit des variations autour d'une demande moyenne définie a priori. La demande moyenne étant proche de la capacité de l'entreprise, le besoin d'anticipation provient essentiellement de la possibilité de lisser au mieux la production interne pour satisfaire la demande client tout en limitant la création de stock et en évitant les ruptures. La capacité d'adaptation des fournisseurs à des variations des commandes qui leur sont passées par l'entreprise est matérialisée dans cette étude par la longueur des horizons fermes et flexibles qu'ils imposent à l'entreprise.

14.1.1 Caractéristiques de l'exemple

L'objectif de cet exemple est de montrer comment notre approche fournit un support aux managers dans le cadre de discussions avec leurs fournisseurs pour parvenir à une amélioration des conditions de planification. L'exemple traité ici est volontairement simple pour permettre une meilleure visualisation et interprétation des résultats. Nous avons notamment simplifié les flux logistiques en considérant un seul produit fini P assemblé à partir de deux composants CI et $C2$. Nous considérons que la demande prévisionnelle (au-delà de l'horizon ferme) en produits finis est constante et sa valeur est fixée à 75 unités. Elle s'apparente ainsi à la définition globale d'un volume de fabrication demandé par période pouvant être issu soit d'un marché à demande stable soit d'un lissage de production sur la base d'un volume global de prévisions de ventes. A chaque pas de planification, la demande réelle sur les premières périodes de l'horizon, correspondant à l'horizon ferme HF^r , devient disponible. Nous simulons ce processus en remplaçant la demande prévisionnelle par une demande ferme issue d'un tirage aléatoire selon une loi uniforme sur un intervalle correspondant à plus et moins 30% de la demande prévisionnelle.

L'horizon de simulation HS est composé de 24 périodes. L'horizon de planification HP^r , sur lequel est définie la demande client, est composé de 12 périodes dont 8 fermes et 4 flexibles. La périodicité de planification PP est de 2 périodes.

La demande ferme $D_{p,t}$ définie sur HS et résultant de la génération aléatoire est donnée par le tableau 16 :

Période n° :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demande	53	56	94	68	100	85	55	81	91	84	58	63
Période n° :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Demande	60	50	91	75	63	84	72	67	100	70	91	72

Tableau 16. Demande générée sur HS

Plusieurs sources d'approvisionnement en composants sont possibles. Deux fournisseurs aux caractéristiques distinctes sont considérés dans notre exemple. Le second fournisseur est plus cher que le premier mais a un délai d'anticipation plus faible et autorise une réactivité

supérieure. On traduit ainsi le fait qu'il possède un outil de fabrication plus flexible qui engendre des coûts de fabrication plus élevés liés aux réorganisations nécessaires. Ce cas est plus particulièrement abordé car il est susceptible de générer des conflits pour l'entreprise entre la recherche d'approvisionnements à coûts réduits et la satisfaction d'un besoin de réactivité important se traduisant par des approvisionnements à coûts plus élevés.

Deux cas sont volontairement exclus de cette étude. Le premier est celui où les fournisseurs auraient des caractéristiques similaires. L'usage de l'un ou de l'autre n'aurait pas d'impact notable sur la planification sans la prise en compte de contraintes supplémentaires (liées à la qualité des produits, la criticité des matières approvisionnées, etc.). Dans le second cas, au résultat évident, deux fournisseurs seraient considérés dont un est cher et peu réactif et l'autre est bon marché et très réactif. Dans ce cas, le fournisseur le moins cher n'étant pas pénalisé par sa réactivité, il serait favorisé en raison de ses tarifs attractifs.

Les données incluses dans notre modèle sont récapitulées dans les tableaux 17 et 18. Les données concernant les horizons d'approvisionnement fermes et flexibles transmises aux fournisseurs ne sont pas récapitulées dans le tableau ci-dessous car nous étudions leurs variations.

Décision	Délai d'anticipation	Délai d'obtention	Coût unitaire
Production interne	0	1	5
Sous-traitance	2	2	25
Heures supplémentaires	1	0	50

Tableau 17. Caractéristiques des éléments de production

	Fournisseur 1		Fournisseur 2		Stockage			Rupture
	Achats C1	Achats C2	Achats C1	Achats C2	C1	C2	P	P
Coûts unitaires	0,5	0,1	2	1	0,05	0,01	4	100

Tableau 18. Coûts d'achats, de stockage et de rupture

Les horizons temporels que nous introduisons pour le paramétrage de nos fournisseurs traduisent un effort de plus en plus important de la part des fournisseurs pour augmenter leur réactivité et sont définis ci-dessous :

- Situation 1 : les deux fournisseurs imposent à l'entreprise un délai d'anticipation de respectivement 6 et 4 périodes. *L'horizon FF_1^r a, de ce fait, une longueur de 6 périodes et respectivement, FF_2^r a une longueur de 4 périodes.* Les horizons flexibles fournisseurs sont de longueur nulle quel que soit le fournisseur.
- Situation 2 : *l'horizon ferme FF^r est réduit à 3 périodes et complété par un horizon flexible FL^r de 3 périodes pour le fournisseur 1 ; FF^r et FL^r pour le fournisseur 2 sont constitués de 2 périodes.* Ce cas relâche donc les contraintes de la situation 1 en autorisant pour l'entreprise une souplesse dans les demandes d'approvisionnement.
- Situation 3 : *on considère uniquement un horizon ferme FF^r de 3 périodes pour le fournisseur 1 et de 2 périodes pour le fournisseur 2.* Dans cette situation, il n'y a

aucune contrainte sur les approvisionnements au-delà de l'horizon ferme qui est limité. Cette dernière configuration reflète une situation où le fournisseur 1 augmente fortement sa réactivité. Elle devrait donner les meilleurs résultats et permettre la mise en évidence, par simulation, des avantages à appliquer une telle augmentation de réactivité pour le fournisseur.

Sur les horizons flexibles, les fournisseurs se sont engagés à accepter des *variations de 10%* par rapport aux demandes d'approvisionnement transmises à la planification précédente. Cela traduit le fait que le fournisseur n'a pas les mêmes capacités d'adaptations que l'entreprise. En effet, nous avons pu observer dans nos études de cas que certains fournisseurs, essentiellement des PME n'ont pas toujours une grande flexibilité et peuvent difficilement faire face à de grandes variations dans la demande. Cette étude est donc placée dans le cas où l'entreprise accepterait de limiter la répercussion sur ses fournisseurs de la flexibilité à laquelle elle est elle-même soumise par ses clients, ce qui nous semble un cas réaliste au vu des enquêtes que nous avons menées.

Dans le but d'obtenir des résultats comparables, nous avons au préalable tiré aléatoirement le jeu de demandes réelles qui est appliqué à chacun des cas. Ainsi, dans une optique d'aide à la décision, nous pourrions évaluer l'impact des modifications apportées sur les horizons fermes et établir si, dans ce contexte, des gains peuvent être dégagés.

14.1.2 Influence de la réactivité du fournisseur

Dans un souci de clarté, nous limitons les résultats présentés dans ce paragraphe à un des composants introduit dans le modèle sachant que ces résultats peuvent être étendus à l'autre. Pour chaque situation, deux figures sont présentées. La première indique les résultats obtenus en termes de production interne et sous-traitée ainsi que la demande client ferme. La seconde figure montre les achats effectués par période auprès des deux fournisseurs.

Les figures 47 et 48 présentent les résultats obtenus dans la situation 1. La figure 47 permet d'appréhender l'organisation de la production pour répondre à la demande. On constate que le niveau de production interne dépasse à plusieurs reprises la capacité standard fixée à 75 produits (en périodes 9, 21 et 23). Il y a donc recours aux heures supplémentaires pour faire face aux demandes plus élevées en fin d'horizon.

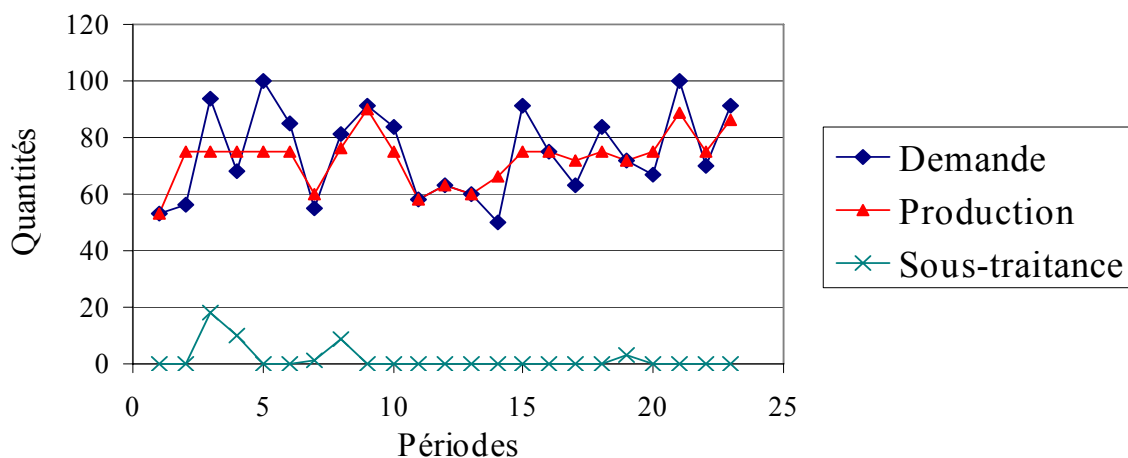


Figure 47. Productions en situation 1 : $T_{FF_1^r} = 6$; $T_{FF_2^r} = 4$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$

Dans la figure 48, on peut remarquer des demandes d'approvisionnement irrégulières pour le fournisseur 1 et la sollicitation du second fournisseur, plus réactif, pour pallier le manque de réactivité du fournisseur 1.

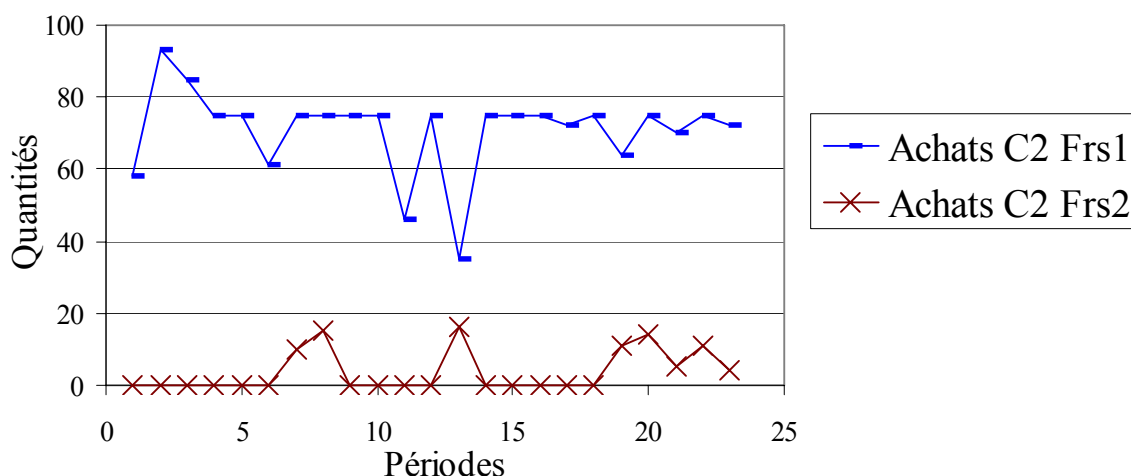


Figure 48. Achats en situation 1 : $T_{FF_1^r} = 6$; $T_{FF_2^r} = 4$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$

Comparativement à la situation 1, la figure 49 montre, pour la situation 2, une utilisation moindre des heures supplémentaires car les pics de production interne (en périodes 9, 21 et 23) sont moins élevés. Cela est cohérent avec l'augmentation limitée de la sous-traitance en périodes 6, 7 et 8 ainsi qu'en fin d'horizon. A ce niveau, on peut d'ores et déjà constater que l'introduction de réactivité a permis de sous-traiter une partie de la charge allouée à la production en heures supplémentaires, ce qui, dans notre exemple, correspond à l'utilisation d'une solution moins onéreuse.

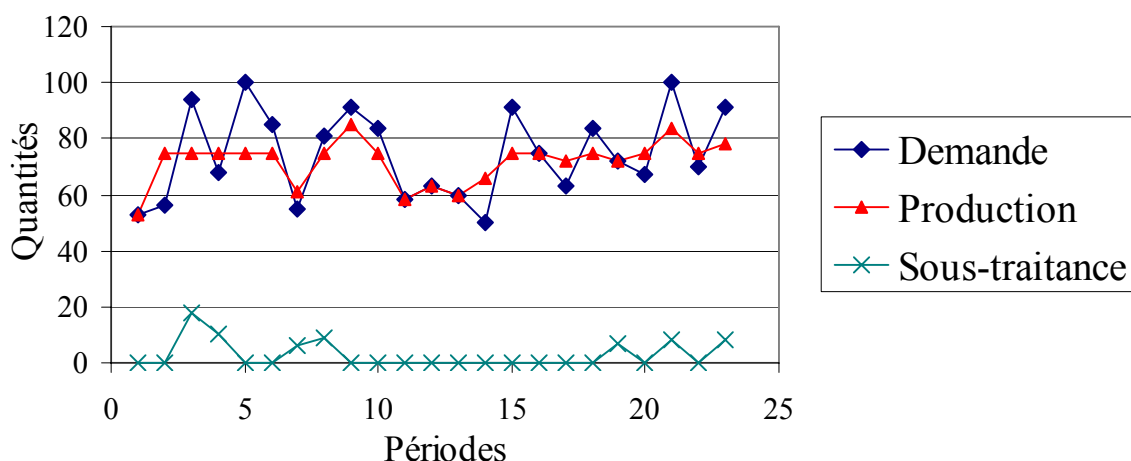


Figure 49. Productions en situation 2 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$

La figure 50 montre, pour la situation 2, une diminution du recours au fournisseur 2. L'amélioration de la réactivité du fournisseur 1 permet de mieux prendre en compte l'écart entre la demande prévisionnelle et la demande réelle en minimisant les recours au fournisseur 2.

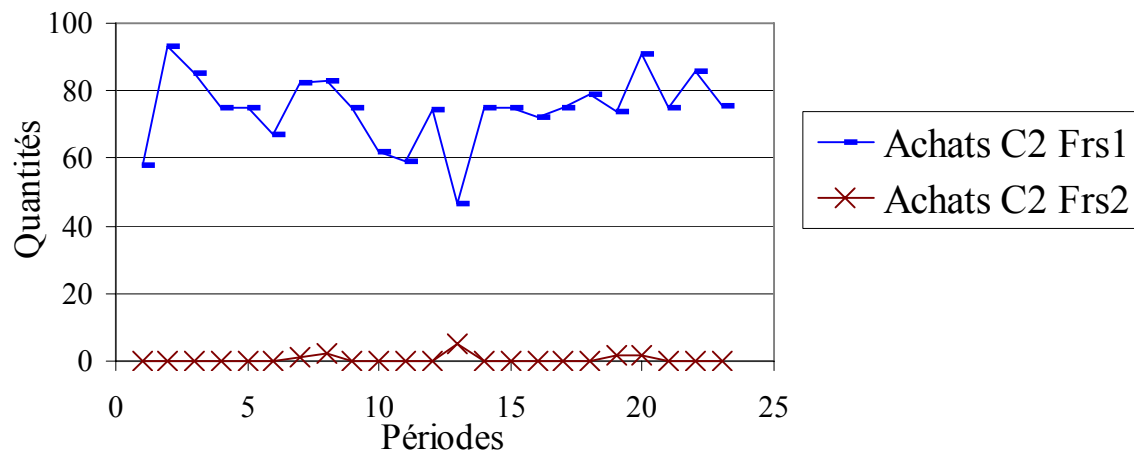


Figure 50. Achats en situation 2 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$

La figure 51 montre, dans la situation 3, que la production interne ne dépasse jamais sa capacité standard. De plus, l'utilisation de la sous-traitance a encore augmenté par rapport à la situation n°2. La situation n°3 confirme que, dans le cadre de cet exemple, l'introduction de réactivité améliore les conditions de production en permettant de prendre des décisions moins onéreuses.

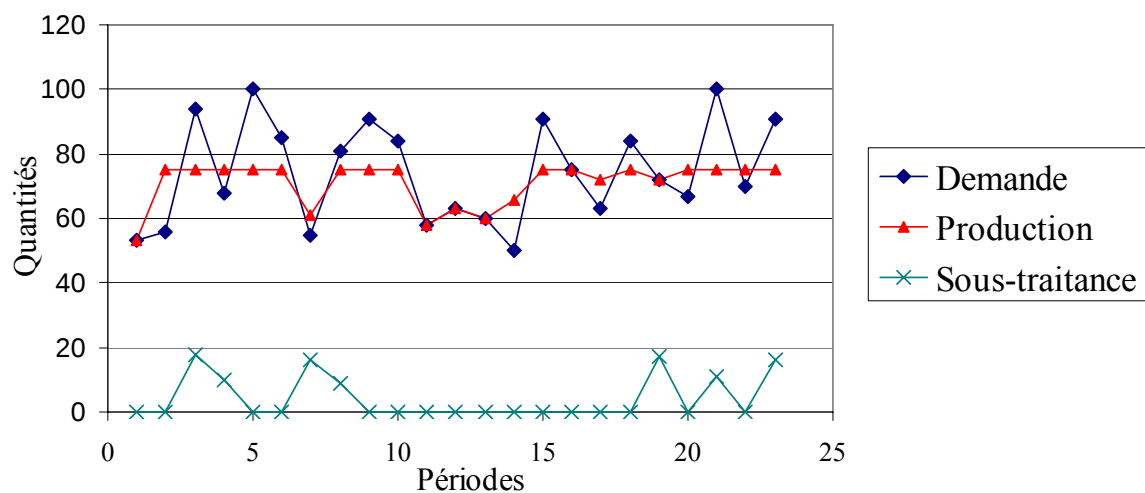


Figure 51. Productions en situation 3 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$

La figure 52 montre les approvisionnements pour la situation n°3. On constate que tous les approvisionnements sont réalisés avec le fournisseur 1. Ainsi, les coûts d'achats matière sont minimisés.

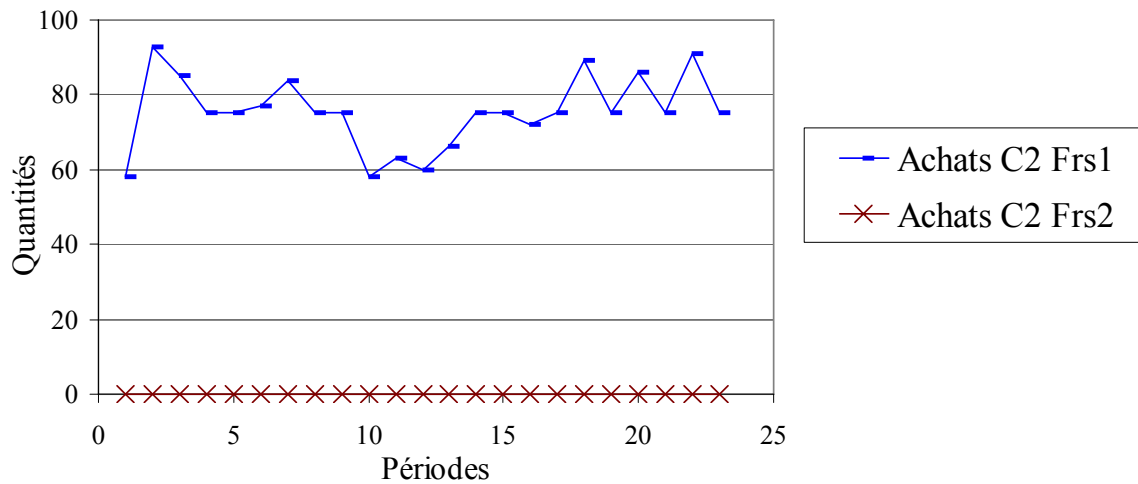


Figure 52. Achats en situation 3 : $T_{FF_1^r} = 3$; $T_{FF_2^r} = 2$; $T_{FL_1^r} = 0$; $T_{FF_2^r} = 0$

Le paragraphe suivant présente une synthèse de ces différents résultats.

14.1.3 Synthèse

Le tableau 19 fournit un récapitulatif des résultats pour les trois cas d'étude de gestion des approvisionnements. Les résultats présentent les moyennes des quantités approvisionnées par période sur l'ensemble de l'horizon de simulation. Ils permettent, en complément des courbes précédentes, d'offrir une vue globale sur le processus complet de simulation de la planification. Les coûts d'approvisionnement et le coût final du plan résultant de chaque simulation permettent d'évaluer l'impact des variations sur les horizons.

<i>Indicateurs</i>	<i>Scénario</i>	Cas n°1 6/0	Cas n°2 3/3	Cas n°3 3/0
Moyenne des achats au Fournisseur 1		69,6	72,5	73,3
Moyenne des achats au Fournisseur 2		4,3	0,8	0
Moyenne du niveau de Stock de composants		75,8	75,2	73,9
Coût global d'approvisionnement		2 843	2 443	2 350
Coût final du plan résultant de la simulation		19 779	17 210	14 440

Tableau 19. Récapitulatif des résultats

On peut donc constater que plus l'horizon ferme du fournisseur diminue, plus le niveau moyen de stock de composants est faible. Il semblerait donc être intéressant de se placer dans une situation apportant plus de réactivité pour pallier les variations de la demande client et limiter le stockage.

Si l'on s'intéresse à la situation 1, on constate que malgré l'introduction d'un horizon ferme important, on aboutit à une variabilité forte dans les approvisionnements. En effet, les compensations des écarts entre approvisionnements établis à partir de la demande prévisionnelle en produits finis et ceux établis à partir de la demande réelle en produits finis ne peuvent se faire qu'après l'horizon ferme. De ce fait, les corrections appliquées doivent compenser les écarts sur autant de périodes qu'en contient l'horizon ferme fournisseur, ce qui se traduit par des modifications plus importantes. De plus, la réactivité du fournisseur 1 étant insuffisante, il est nécessaire d'avoir recours au fournisseur 2. Cela constitue un manque à gagner pour le fournisseur 1 et peut être mis en avant dans les discussions avec le fournisseur

1 pour obtenir une meilleure souplesse dans les approvisionnements et donc dans la planification globale.

Comme nous l'avions supposé, la situation 3 donne les meilleurs résultats tant sur le plan des coûts que des stocks moyens.

Dans notre exemple, la situation 2 constitue un bon compromis. Les résultats montrent une *augmentation* d'environ 4,2% du *chiffre d'affaire* du fournisseur 1, une *diminution* d'environ 14% des *coûts d'approvisionnement* ainsi qu'une *diminution* d'environ 13% des *coûts globaux* s'il parvient à améliorer ses conditions de réactivité par rapport à la situation 1. Ces chiffres, liés à l'exemple choisi, n'ont évidemment que peu d'importance mais cet exemple illustre néanmoins le type d'informations que peut fournir l'utilisation de notre cadre de modélisation et de simulation.

14.2 Application aux exemples des chapitres précédents

L'évaluation menée précédemment a permis de mettre en évidence l'intérêt d'améliorer les relations avec les fournisseurs dans un contexte où la demande ne sollicite que peu le besoin d'anticipation de l'entreprise (demande sur chaque période proche de la capacité totale de production interne allouée par période). Dans ce paragraphe, l'évaluation s'appuie sur les exemples présentés dans les chapitres précédents pour lesquels un pic important de la demande en milieu d'horizon de simulation implique une anticipation importante de la production.

L'expérimentation étudie pour deux stratégies particulières (la stratégie optimiste et la stratégie pessimiste) l'évolution des coûts des plans en fonction du niveau de réactivité des différents fournisseurs. Il s'agit bien d'une approche globale qui tient compte à la fois de la flexibilité demandée par les clients et de celle imposée par les fournisseurs.

L'évaluation est effectuée dans le pire des cas associé à chaque stratégie. De ce fait, lorsque la planification s'effectue selon une stratégie optimiste, la demande ferme simulée correspond à la borne minimale de la demande flexible. De manière symétrique, lorsque la planification s'effectue selon une stratégie pessimiste, la demande ferme simulée dans le pire des cas correspond à la borne maximale de la demande flexible.

14.2.1 Évaluation de la réactivité fournisseur : stratégie optimiste, pire des cas

Dans cette série de simulations, cinq cas sont développés dans le but de mettre en évidence l'impact de la réactivité des fournisseurs sur la performance de la chaîne. Ces cas se basent tous sur les caractéristiques de l'exemple traité dans le chapitre 5 de ce mémoire. Les profils de demandes sont rappelés dans la figure 53.

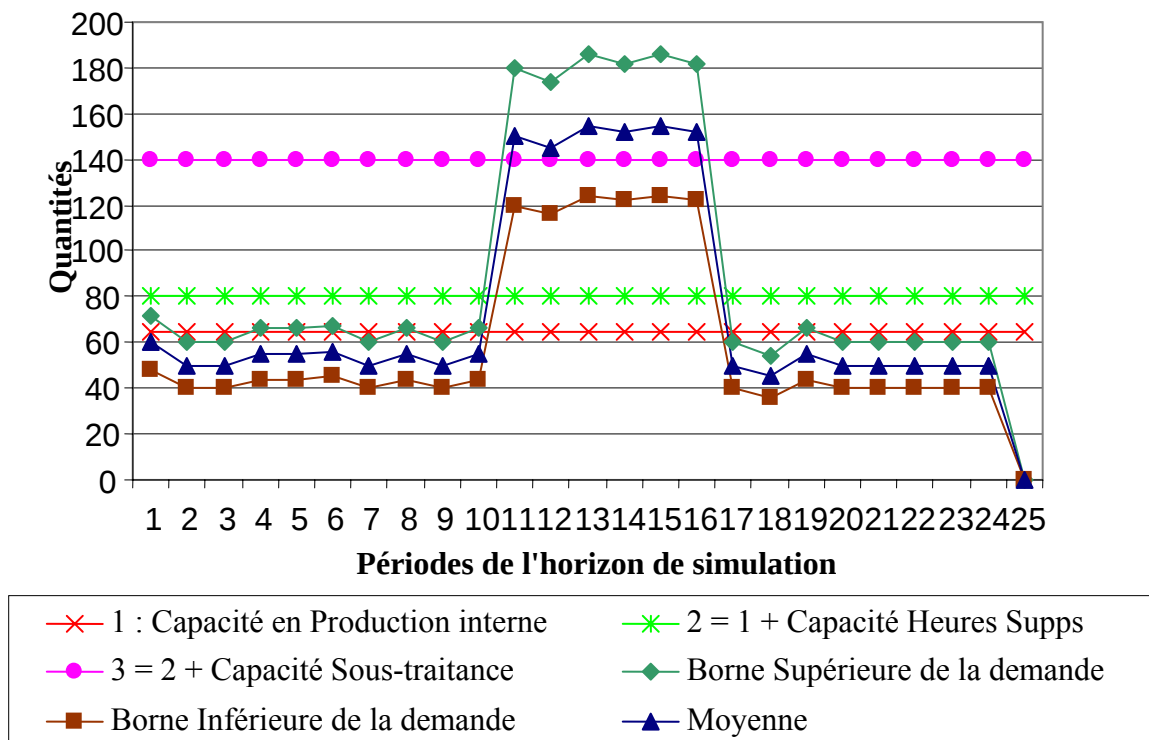


Figure 53. Positionnement des capacités cumulées par rapport aux demandes

La stratégie appliquée par l'entreprise pour sa planification est la *stratégie optimiste* et les demandes fermes générées au cours de la simulation correspondent aux valeurs *minimales* de l'intervalle flexible. Le cas étudié est donc celui où les prévisions sont surévaluées par rapport à la demande ferme ; la performance de la chaîne dépendra donc de l'engagement de l'entreprise à accepter les livraisons des fournisseurs.

Les cinq cas se distinguent par la réactivité accordée aux fournisseurs. Les données de chaque cas sont présentées dans le tableau 20. Les cas sont classés par ordre de réactivité croissante et se distinguent soit par les longueurs des horizons fermes et flexibles fournisseurs, soit par une augmentation du pourcentage de variation demandé aux fournisseurs.

- Le cas n°1 possède le moins de réactivité car les fournisseurs sont modélisés uniquement par des Horizons Fermes : $T_{FF_1^f} = 6$; $T_{FF_2^f} = 4$; $T_{FL_1^f} = 0$; $T_{FF_2^f} = 0$,
- Le cas n°2 introduit des Horizons Flexibles Fournisseurs et réduit les longueurs des Horizons Fermes Fournisseurs : $T_{FF_1^f} = 3$; $T_{FF_2^f} = 2$; $T_{FL_1^f} = 3$; $T_{FF_2^f} = 2$.
Seulement 10% de variations sur les approvisionnements flexibles sont autorisés.
- Le cas n°3 conserve la même configuration des horizons que dans le cas n°2 mais autorise un pourcentage de variations sur les demandes d'approvisionnement plus élevé, de 30%,
- Le cas n°4 conserve la même configuration des horizons que précédemment mais se distingue du cas n°3 par un pourcentage de variation de 50%,
- Le cas n°5 possède le plus fort degré de réactivité car seuls sont présents des Horizons Fermes Fournisseurs de longueur réduite : $T_{FF_1^f} = 3$; $T_{FF_2^f} = 2$; $T_{FL_1^f} = 0$; $T_{FF_2^f} = 0$.

Paramètres	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4	Cas n°5
T_{FF} fournisseur 1	6	3	3	3	3
T_{FL} fournisseur 1	0	3	3	3	0
T_{FF} fournisseur 2	4	2	2	2	2
T_{FL} fournisseur 2	0	2	2	2	0
Pe	0	10%	30%	50%	0

Tableau 20. Paramètres pour l'étude de l'influence de la réactivité (stratégie optimiste)

Les différentes simulations nous permettent d'obtenir pour chaque scénario les coûts globaux donnés dans le tableau 21.

Coûts	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4	Cas n°5
<i>Plans P^i</i>	18 120	18 127	18 119	17 917	17 825
<i>Rupture produit fini P</i>	0	0	0	0	0
<i>Stockage produit fini P</i>	3 724	3 796	3 932	3 932	3 932
<i>Production interne</i>	6 425	6 425	6 425	6 425	6 425
<i>Sous-traitance</i>	5 760	5 760	5 760	5 760	5 760
<i>Heures supplémentaires</i>	0	0	0	0	0

Tableau 21. Coûts des plans obtenus pour chaque cas (stratégie optimiste)

Bien qu'offrant une vue très agrégée de l'évolution des planifications selon la réactivité associée aux différents fournisseurs, les coûts des plans réellement implémentés montrent, dans cet exemple, un phénomène pouvant être difficilement prévu sans le recours à ce type de simulation. En effet, si le coût global des plans P^i subit une forte diminution lorsque la réactivité est importante (i.e. dans les cas n°4 et 5) cela n'est pas le cas lorsque la réactivité introduite reste faible (i.e. dans les cas n°1, 2 et 3). On constate même une légère augmentation du coût global entre les cas 1 et 2 alors qu'une diminution, même minime, était logiquement attendue. On peut toutefois remarquer que les gains relatifs à de meilleurs approvisionnements ne modifient pas radicalement l'ordre de grandeur du coût global des plans P^i . Cela est dû à la structure de coûts implémentée (cf. tableau 18) qui introduit une forte différence entre les coûts de stockage de produits finis et les coûts affectés aux approvisionnements. Néanmoins, si l'on ne considère que les approvisionnements (cf. figure 54), on remarque une évolution sensible des coûts.

Dans le cas n°2, le manque de visibilité sur la demande ferme (i.e. la demande minimale dans cette évaluation au pire des cas) entraîne une incapacité de réaction par rapport à la demande déterminée par la stratégie optimiste. En effet, l'entreprise, voyant qu'une forte demande prévisionnelle lui est demandée, ajuste ses approvisionnements pour lisser sa charge et produire en avance. En se basant toujours sur ces demandes prévisionnelles, elle profite du gain de réactivité pour augmenter sa production anticipée et en déduire ses nouveaux approvisionnements. Cela entraîne un accroissement du niveau de stock en produits finis qui pénalise le coût global des plans. Lorsque la demande ferme est enfin connue, les décisions de production sont désormais gelées et l'entreprise doit faire face à un sur-stockage de produits finis. En fin de simulation, l'entreprise compense cette trop forte anticipation par des réductions de volume de production permettant d'équilibrer les quantités produites cumulées par rapport à la demande. Cela est possible en raison de la baisse de la demande en fin de simulation (cf. figure 53). La différence entre ces deux scénarios, qui justifie les coûts

supplémentaires, est le stock créé par lissage de la charge de production. Ce stock annule les gains réalisés sur les approvisionnements.

Dans les cas n°3 et 4, le phénomène précédent est amplifié en raison d'une réactivité accrue par l'introduction de pourcentages plus élevés de flexibilité. Cela explique que les commandes passées au fournisseur 2 (le plus réactif mais aussi le plus cher) diminuent.

Dans le 5^e cas, le recours au fournisseur 2 n'est plus nécessaire.

La figure 54 montre les coûts liés aux approvisionnements pour le composant C2. Dans chaque cas, ces coûts sont agrégés sur l'ensemble des périodes. Leur évolution est similaire quel que soit le composant considéré (C1 ou C2) et les commentaires sont valables pour chaque composant.

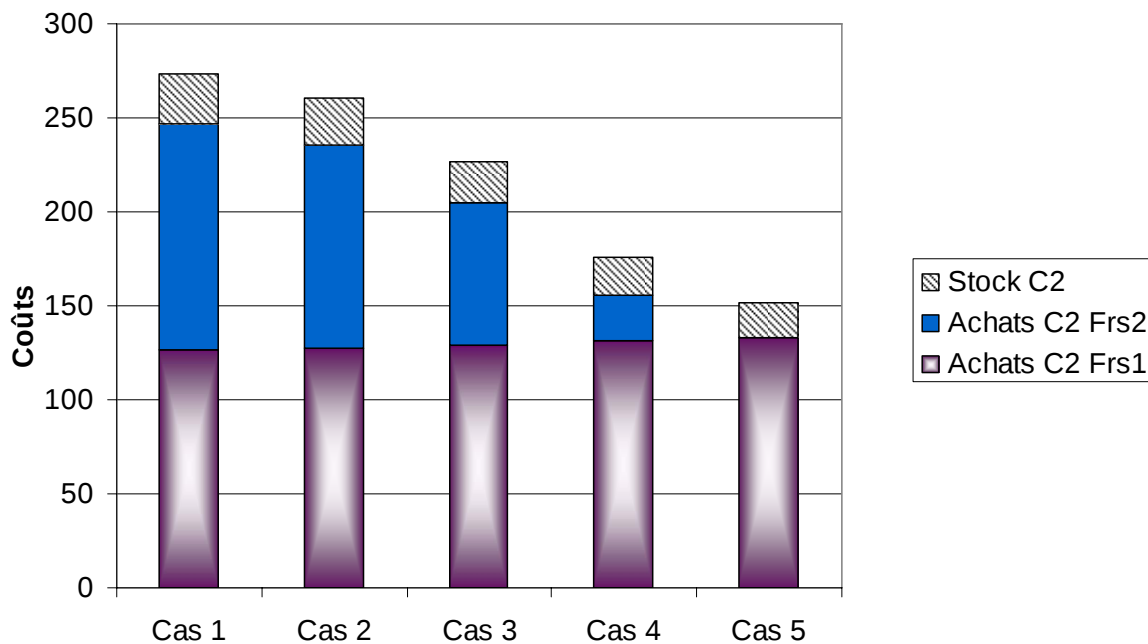


Figure 54. Coûts d'approvisionnement du composant C2 pour la stratégie optimiste

On constate qu'entre le cas n°1 caractérisé par la plus faible réactivité des fournisseurs et le cas n°5, les coûts liés aux approvisionnements ont baissé d'environ 45% pour le composant C2. Ces différents gains peuvent permettre de développer des actions d'amélioration visant à assurer, chez le fournisseur considéré, une meilleure organisation de sa production. Il pourrait s'agir, par exemple et comme c'est le cas dans l'industrie aéronautique, d'affecter un consultant chez le fournisseur pour réaliser des actions de Value Stream Mapping (consistant à analyser et schématiser grâce à un formalisme standardisé le flux de produit et d'information pour identifier les sources de non-valeur ajoutée dans le processus de réalisation du produit fini (Abdulmalek et Rajgopal, 2006)). L'intérêt principal de notre outil est donc ici de donner des éléments sur la rentabilité possible d'investissements visant à améliorer la chaîne logistique.

14.2.2 Évaluation de la réactivité fournisseur : stratégie pessimiste, pire des cas

Dans cet exemple symétrique de celui mené précédemment, la stratégie appliquée par l'entreprise est la *stratégie pessimiste* et la demande ferme simulée est la *demande maximale* de l'intervalle flexible. De ce fait, il s'agit d'une évaluation pour laquelle les prévisions sont sous-estimées par rapport à la demande réelle. Dans ce cas, une bonne performance pour la chaîne logistique sera obtenue en fonction d'une part, des capacités des différents fournisseurs à suivre l'augmentation des approvisionnements et d'autre part, de la capacité des décisions de production (i.e. production interne, en heure supplémentaires ou sous-traitée) à anticiper la hausse.

Cette stratégie pessimiste est évaluée dans les cinq mêmes cas que précédemment (cf. tableau 22). L'obtention de résultats similaires est attendue. Il s'agit notamment d'une réduction progressive des achats au fournisseur n°2 et d'une diminution des coûts des plans P^i au fur et à mesure que la réactivité des fournisseurs s'améliore.

Cas \ Paramètres	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4	Cas n°5
<i>FF</i> fournisseur 1	6	3	3	3	3
<i>FL</i> fournisseur 1	0	3	3	3	0
<i>FF</i> fournisseur 2	4	2	2	2	2
<i>FL</i> fournisseur 2	0	2	2	2	0
<i>Pe</i>	0	10%	30%	50%	0

Tableau 22. Paramètres pour l'étude de l'influence de la réactivité (stratégie pessimiste)

Les différentes simulations nous permettent d'obtenir les coûts globaux donnés dans le tableau 23 pour chaque scénario.

Cas \ Coûts	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4	Cas n°5
<i>Plans P^i</i>	148 812	139 955	124 199	119 684	93 465
<i>Ruptures</i>	104 000	96 600	81 700	75 800	50 100
<i>Stockage produits P</i>	200	200	256	368	648
<i>Production Interne</i>	8 455	8 420	8 355	8 430	8 355
<i>Sous-traitance</i>	15 660	15 870	16 260	15 810	16 260
<i>Heures supplémentaires</i>	16 720	15 950	15 070	16 720	15 070

Tableau 23. Coûts des plans obtenus pour chaque cas (stratégie pessimiste)

Le tableau 23 permet de confirmer un premier résultat attendu. Les coûts globaux des plans P^i diminuent lorsque de la réactivité est introduite dans les approvisionnements. Cette diminution des coûts globaux provient de la souplesse permise par l'utilisation des approvisionnements flexibles. L'augmentation des coûts de stockage et la diminution des coûts de ruptures traduisent très clairement la capacité de l'entreprise à mieux faire face à l'apparition de la demande maximale lorsqu'elle s'affermi.

Néanmoins, l'évaluation faite dans ce contexte donne aussi des résultats difficilement prévisibles, issus de la combinaison des besoins d'anticipation des différentes décisions. Le tableau 23 montre que les évolutions des heures supplémentaires et de la sous-traitance ne

sont pas régulières. Le plan obtenu résulte de compromis entre le recours à des leviers décisionnels coûteux (i.e. les heures supplémentaires, le recours au fournisseur 2) et l'apparition des ruptures. Cela est dû d'une part au manque de visibilité sur la demande finale, qui ne permet pas d'anticiper correctement en lissant la production et, d'autre part, aux capacités qui limitent l'utilisation des décisions de production à faible délai d'anticipation.

Comme dans le cas précédent, il est possible de s'intéresser plus précisément aux approvisionnements des différents fournisseurs. Seul le cas du composant 2 est traité ici ; les résultats obtenus pour le composant 1 sont similaires. Les résultats obtenus sont synthétisés dans la figure 55.

Dans le cas n°1, le fournisseur 2 (le plus cher) génère une grosse partie des coûts d'approvisionnement. Son utilisation est nécessaire pour pallier le manque de réactivité du fournisseur 1 et réduire au maximum les ruptures. Néanmoins, le recours au fournisseur 2 n'est pas suffisant car c'est dans ce cas de figure que les coûts de ruptures (cf. tableau 23) sont les plus élevés.

Dans le cas n°2, le recours au fournisseur 2 est toujours nécessaire pour combler le manque de réactivité du fournisseur 1. L'utilisation du fournisseur 2, ayant un délai d'anticipation faible, peut être ainsi couplée à l'utilisation de la sous-traitance qui a un délai d'anticipation long. Ainsi, une part des quantités produites en heures supplémentaires dans le cas n°1 sont reportées vers la sous-traitance. L'utilisation d'approvisionnements plus réactifs mais plus coûteux reste intéressante car elle permet, dans ce cas, d'accéder à des décisions de production moins coûteuses et d'améliorer le coût global du plan.

Dans le cas n°3 et 4, le fournisseur 1 possède désormais une réactivité suffisante pour que le fournisseur 2 ne soit pas utilisé. Néanmoins, et cela justifie la différence de coûts entre les plans obtenus à partir des cas 3 et 4 et celui du cas n°5, l'utilisation du fournisseur 1 seul est sujette à l'utilisation des capacités productives les plus coûteuses (i.e. sous-traitance et heures supplémentaires).

Dans le cas n°5, le fournisseur 2 est à nouveau utilisé et permet de limiter l'utilisation des heures supplémentaires. Ainsi, la décision la plus coûteuse dans notre exemple (i.e. les heures supplémentaires) est moins utilisée au profit de la sous-traitance. Cela permet de réduire le coût global du plan (cf. tableau 23).

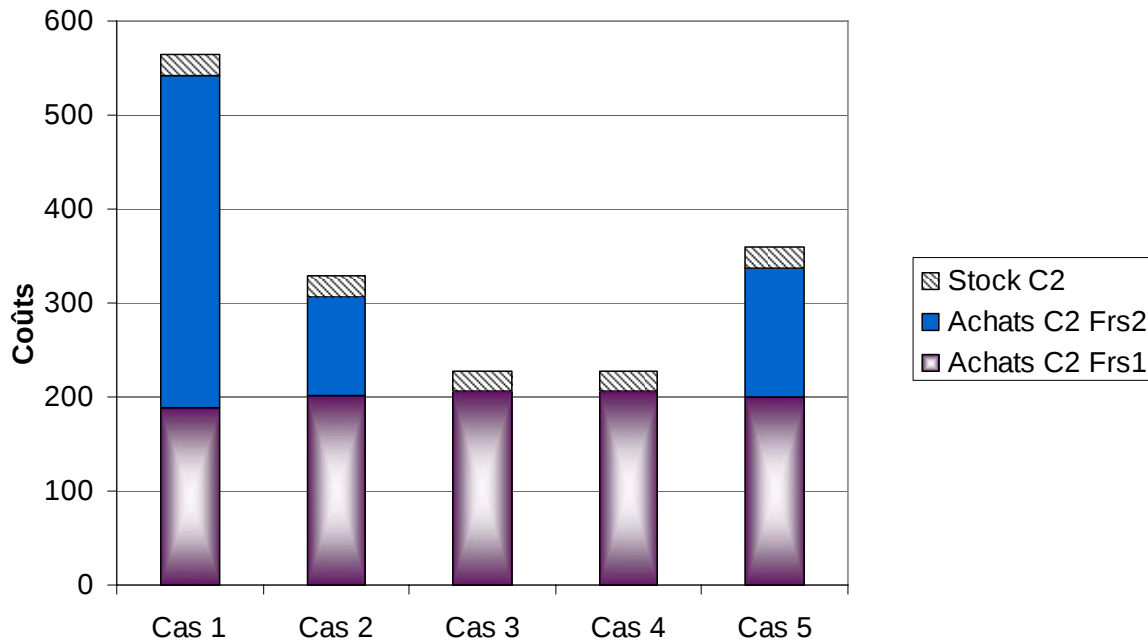


Figure 55. Coûts d'approvisionnement du composant C2 pour la stratégie pessimiste

La figure 55 montre bien la difficulté d'établir un plan a priori, car il était difficilement envisageable de rétablir des approvisionnements au fournisseur n°2 pour améliorer les coûts globaux des plans. L'intérêt du type d'approche que nous avons développé est une nouvelle fois démontré.

14.2.3 Bilan des études avec utilisation des stratégies

Ces deux applications utilisant les stratégies optimiste et pessimiste montrent des résultats difficilement prévisibles sans l'utilisation de la simulation. Nous avons pu voir que la combinaison des contraintes temporelles et de la flexibilité intégrée par l'intermédiaire de l'horizon flexible des fournisseurs peut parfois pénaliser les coûts globaux sur l'ensemble de la simulation. Cela montre l'importance que le décideur doit attacher à la prise en compte des prévisions. En effet, dans ces analyses « pire des cas », lorsque la demande ferme est minimale et que la stratégie employée se base sur l'utilisation de la borne supérieure des demandes flexibles, l'introduction de réactivité chez les fournisseurs introduirait un risque d'aggraver l'erreur que commet le décideur en surestimant la demande finale. La simulation permet d'évaluer ce risque et d'en informer le décideur qui selon la possibilité d'occurrence d'un tel scénario placé dans le pire des cas, pourra choisir d'utiliser cette stratégie ou non.

Dans les deux cas étudiés, le manque global de réactivité de l'entreprise a été identifié. Ainsi, l'introduction de réactivité au niveau des fournisseurs a toujours amené une amélioration des coûts de planification.

L'interaction des différentes décisions est aussi un aspect important à prendre en compte. Le cas basé sur la stratégie de planification optimiste en est un exemple frappant car la production interne et la sous-traitance sont restées identiques quel que soit le scénario de simulation appliqué. Cela signifie que la réactivité associée à ces décisions est suffisante pour permettre l'adaptation à des diminutions de la demande client ; ce sont donc les approvisionnements qui ont pénalisé les coûts des plans.

Les simulations basées sur la stratégie pessimiste et l'affermissement de la demande flexible selon la borne de flexibilité supérieure ont montré que la réactivité du fournisseur 1 peut être bien utilisée. En effet, l'amélioration de sa réactivité a eu pour effet de rendre inutile le recours à des solutions d'approvisionnement plus réactives mais plus coûteuses (i.e. l'utilisation du fournisseur 2). Cela constitue un résultat intéressant en termes de perspectives de collaboration pour inciter un fournisseur à atteindre ce degré de réactivité.

Enfin, la réalisation de ces simulations dans un contexte « pire des cas » fournit un indicateur permettant d'évaluer les risques encourus par l'entreprise lorsqu'elle a à faire face à une évolution de la demande. Ainsi, il apparaît clairement, dans le contexte des exemples proposés, que l'entreprise aura des difficultés à supporter des augmentations trop tardives de la demande client. Cette entreprise a désormais d'une part, la possibilité de mieux appréhender son besoin de réactivité au niveau des maillons amont et d'autre part, la possibilité de mener une étude exploratoire sur son besoin de visibilité, comme suggéré dans les chapitres 4 et 5 de ce mémoire.

Conclusion du chapitre 6

La gestion des approvisionnements en relation avec la capacité de réactivité des fournisseurs est un problème complexe. La combinaison des différentes caractéristiques liées aux capacités des entreprises ainsi qu'à leur besoin d'anticipation est difficile à évaluer a priori.

Dans ce chapitre, l'importance d'une meilleure gestion des approvisionnements a guidé notre démarche. Cela nous a amené à introduire une gestion intégrée d'approvisionnements flexibles dans le processus de planification déployé par une entreprise. Cette démarche assure d'une part la prise en compte d'une réactivité établie et agréée à la fois par l'entreprise et ses fournisseurs et d'autre part, permet de vérifier dans le processus de planification que ce contrat est respecté par l'entreprise. Pour cela, une modélisation basée sur l'intégration de contraintes pour la gestion d'un horizon temporel flexible d'approvisionnement a été présentée.

L'application numérique a montré que, pour l'exemple traité, des gains pouvaient être dégagés grâce à cette nouvelle gestion des approvisionnements. Dans l'idée d'apporter une aide à la collaboration dans le cadre de relations client-fournisseur, ces gains peuvent valider l'intérêt des actions d'améliorations portant sur les capacités de gestion de production des fournisseurs. En effet, le gain de réactivité associé aux maillons amont de la chaîne logistique peut permettre de limiter l'impact sur les coûts des plans de variations dans la demande client. Ainsi, une évaluation dans le pire des cas de l'évolution de la demande client permet d'informer le décideur sur les risques liés à cette évolution en prenant en compte la capacité de ses fournisseurs à absorber une partie de ces variations.

Conclusion générale

*Dans cette conclusion générale, nous rappelons la **problématique étudiée**, issue des études de cas que nous avons menées. Après avoir mis en évidence les caractéristiques essentielles de la modélisation proposée et du cadre de simulation développé, nous présentons un **bilan de notre démarche et des résultats obtenus** pour l'aide à la planification et à la collaboration dans la chaîne logistique. Enfin, les **perspectives** de notre approche sont proposées.*

...Problématique étudiée

La gestion de la chaîne logistique apparaît comme un ensemble de processus soutenus par des applications logicielles. La mise en œuvre de tels processus implique que les différents acteurs de la chaîne communiquent et collaborent pour améliorer les performances industrielles.

Malgré un ensemble de méthodologies existantes (souvent basées sur l'ECR) nos études de cas ont montré que les entreprises tirent profit de la collaboration de manière inégale. Difficulté de gestion de l'information, manque de reconnaissance de l'intérêt de la gestion de production par rapport aux contraintes métiers, peu ou pas de prise en compte des contraintes provenant des fournisseurs etc. sont autant d'éléments qui pénalisent l'efficacité du processus de planification des entreprises. Ce sont principalement les PME placées en milieu de chaîne qui ne semblent pas suffisamment armées pour s'intégrer à un effort collaboratif au sein d'une chaîne logistique.

C'est pourquoi notre approche a choisi pour cible les PME et a pour but de proposer des méthodes et outils d'aide à la planification et à la collaboration. Si ces entreprises montrent des capacités d'adaptation élevées à court terme, au prix parfois d'efforts conséquents consentis par le personnel pour la gestion des contingences, c'est plus particulièrement à moyen et long terme qu'elles manquent de vision. Ainsi, cette étude est plus particulièrement orientée vers la planification tactique. De plus, compte tenu des difficultés liées à la mise en place d'une planification complètement centralisée de la chaîne (grand nombre et confidentialité des données à gérer, autonomie décisionnelle et juridictionnelle des entreprises, ...) nous avons choisi un point de vue plus local qui consiste à planifier une unité générique de la chaîne et à intégrer explicitement les relations qu'elle a avec ses partenaires fournisseurs, sous-traitants et clients.

Enfin, l'incertitude sur les demandes des clients étant une caractéristique importante des chaînes logistiques, confirmée par nos analyses de situations industrielles, il est apparu fondamental de prendre en compte cet aspect dans notre approche. L'association aide à la décision - planification peut permettre de montrer à un décideur comment faire évoluer ses décisions au cours du temps pour pallier l'incertitude, conserver une planification cohérente et évaluer les risques encourus en fonction de ses choix. Le paragraphe suivant présente la réponse apportée à cette problématique.

...Bilan de notre démarche et des résultats obtenus

Cette problématique nous a conduits à proposer un modèle permettant de planifier « au mieux » l'unité générique considérée. Ce modèle est par la suite intégré dans une procédure itérative qui simule un processus de planification dynamique à horizon glissant. L'originalité de notre approche est de modéliser finement la capacité de réaction du système de production et du système décisionnel face à des variations ou des incertitudes sur la demande. Ceci est réalisé en intégrant dans l'approche différentes grandeurs temporelles liées aux types de décisions (délais d'anticipation), aux caractéristiques de la production (délais d'obtention en interne ou en sous-traitance) et à la dynamique du processus de planification (horizon de planification et horizons gelés, périodicité de planification).

Le problème de planification considéré à chaque étape du processus de planification est formulé par un programme mathématique linéaire qui peut évoluer aisément et prendre ainsi facilement en compte les spécificités de l'unité modélisée. L'approche de simulation développée permet l'évaluation et la comparaison de différents scénarios définis en fonction des paramètres de l'entreprise considérée.

Particulièrement, deux délais caractéristiques ont été utilisés pour modéliser *chaque type de décision* : le *délai d'anticipation* et le *délai d'obtention*. Nous avons montré que l'intégration de ces délais dans un processus de *planification à horizon glissant* est complexe, du fait des *dépendances entre les décisions*. Le cadre de modélisation ainsi constitué permet de mieux mesurer l'influence de la réactivité des fournisseurs et, plus généralement, des décisions nécessitant une forte anticipation sur la planification. Le *gel d'une partie de ces décisions* anticipées peut empêcher le décideur d'utiliser pleinement les décisions possibles. Un cas qui a été illustré est celui pour lequel, les approvisionnements étant gelés, le décideur se doit d'ajuster sa production en fonction des approvisionnements au risque de ne pas pouvoir satisfaire la demande de ses clients.

Concernant la modélisation de la demande client, notre approche s'est basée sur les pratiques industrielles pour offrir à la fois une modélisation formelle des concepts liés à la flexibilité de la demande et une méthodologie souple permettant au décideur d'exploiter son expérience et sa connaissance des clients pour définir une stratégie de planification. Ainsi, nous avons introduit dans notre approche la notion de *demande flexible* qui correspond à un intervalle de valeurs possibles dans lequel devra se situer la demande ferme. Le décideur peut choisir diverses *stratégies de planification* lui permettant d'interpréter la demande flexible. Chaque stratégie peut être simulée dans différents contextes pour en évaluer les répercussions. Lorsqu'elle se fait dans le pire des cas, la simulation permet de quantifier les coûts et les risques maximums induits par le choix d'une stratégie.

Ce principe de flexibilité négociée avec les clients est répercuté sur les fournisseurs mais de manière contrôlée pour éviter l'effet bullwhip. Ainsi, pour réduire les contraintes liées à l'anticipation nécessaire des décisions et refléter les pratiques industrielles, une *gestion intégrée d'approvisionnements flexibles* a été introduite dans le processus de planification déployé par une entreprise. Cette démarche est basée sur la prise en compte d'un degré de réactivité défini conjointement par l'entreprise et ses fournisseurs. L'intégration de ce concept dans le processus de planification garantit le respect de ce contrat par l'entreprise.

Le nombre de scénarios pouvant être évalués et comparés est vaste car chaque paramètre est susceptible de varier en impactant la planification (i.e. les délais et coûts associés à chaque décision, la valeur de la demande associée à une période donnée...). Dans le cadre de nos

applications numériques, l'objectif de notre approche n'est pas de dégager des résultats génériques mais de montrer comment notre approche peut aider un décideur à faire les meilleurs choix stratégiques dans son contexte spécifique. Deux études visant à favoriser la collaboration au sein de la chaîne logistique ont été plus précisément abordées dans cette thèse. En premier lieu, il s'agit de donner à l'entreprise considérée des moyens de mieux évaluer la visibilité minimum qu'elle devrait avoir sur la demande client compte tenu de la réactivité dont elle dispose. Lorsque la demande ferme n'est pas disponible suffisamment à l'avance, l'entreprise peut être amenée à gérer une demande client flexible et l'approche permet au décideur de choisir une stratégie de planification adaptée. Dans un deuxième temps, il s'agit de dégager un intérêt à la prise en compte de l'amélioration des contraintes fournisseur liées à leur réactivité.

Les applications numériques présentent des résultats montrant d'une part, la cohérence de la modélisation adoptée et d'autre part, des aspects moins triviaux démontrant l'intérêt de notre démarche. Par exemple, l'horizon de connaissance de la demande ferme augmentant, la nécessité de compléter la demande ferme par une demande flexible est moindre. Ce résultat logique permet d'asseoir notre confiance dans le modèle. A contrario, il était plus difficile d'envisager que, dans certaines circonstances, la réduction des délais d'anticipation des fournisseurs puisse conduire à une augmentation du coût global des plans implémentés. Cela montre l'intérêt d'une approche formelle pour alerter un décideur sur les conséquences possibles de modifications dans les caractéristiques de la chaîne.

Dans le cadre de la gestion de la demande client flexible, les applications numériques menées ont montré différents apports. Ainsi, ce type de simulation peut être intéressant dans le cadre d'analyse a posteriori se basant sur un *contexte* issu d'un historique de données ou pour lequel le décideur a connaissance d'une très forte probabilité de réalisation. Et d'autre part, lorsque le décideur ne peut établir de tendance réelle sur ce que sera la demande finale, la simulation des différentes stratégies permet l'utilisation de critères de décisions donnant une indication à l'entreprise sur la stratégie à employer. Dans les deux cas, l'adaptation des plans aux demandes flexibles est fonction de la capacité de l'entreprise et des fournisseurs à réagir.

Les applications numériques concernant l'introduction de réactivité dans la gestion des approvisionnements ont montré que, pour l'exemple traité, des gains pouvaient être dégagés aussi bien pour un fournisseur que pour l'entreprise considérée. Le fait d'être en mesure de quantifier, même de manière agrégée, ces gains permet de donner des indications sur un retour sur investissement possible dans la mise en œuvre d'actions d'améliorations. Ces actions peuvent être l'affectation d'un consultant pour l'analyse des processus d'un fournisseur ou la mise en place d'un groupe de travail commun.

...Perspectives

Les perspectives à notre approche sont abordées ici sous deux aspects. Des perspectives concernant des améliorations du modèle de planification sont d'abord présentées. Elles sont suivies de perspectives applicables au cadre de simulation.

Différentes possibilités sont envisageables pour l'amélioration et l'évolution du modèle de planification.

Il peut s'agir par exemple, d'intégrer des caractéristiques plus réalistes dans la gestion des 2 ou 3*8. L'introduction de durées minimales d'application de telles décisions reflèterait les contraintes réelles et introduirait une inertie supplémentaire dans la planification. Ainsi, le

Conclusion générale

choix de passer en 2 ou 3*8 devrait être fait pour, par exemple, un minimum de trois périodes. Ceci pourrait traduire une volonté de ne pas déstabiliser la chaîne et s'inscrirait dans la logique des horizons gelés associés aux décisions. Néanmoins, l'intérêt de modifications de ce type doit être validé au préalable.

D'autre part, la notion d'horizon gelé pourrait être assouplie en introduisant une tolérance pour des variations plus ou moins fortes des décisions relatives à cet horizon.

Les perspectives concernant l'amélioration du processus de simulation sont présentées ci-dessous.

La première voie peut consister à créer un ensemble d'interfaces permettant une saisie des données et un traitement des résultats aisé et fortement automatisé. Dans le cadre de cette action, un projet a été engagé par un groupe d'une dizaine d'étudiants en 2^{ème} de master Pro. ISMAG (Informatique, Statistique, Mathématiques Appliquées à la Gestion de production) de l'université Toulouse 2 « le Mirail ».

Dans le cadre de l'exploitation des résultats, un couplage vers la théorie des possibilités pourrait être envisagé de sorte à tenir compte des tendances d'évolutions de la demande client finale. Le but serait d'affiner le choix des contextes d'évaluation en fonction de leur possibilité d'occurrence.

De manière plus globale, le processus de planification considéré périodique dans notre approche pourrait être mis en œuvre de manière asynchrone pour prendre en compte l'arrivée de nouvelles informations, l'occurrence d'une perturbation importante etc.. De plus, le choix d'une stratégie de planification pourrait se faire de manière dynamique pour permettre l'adaptation aux caractéristiques évolutives de la demande. Ceci apporterait une aide à la décision supplémentaire.

Enfin, notre approche, étant basée sur un milieu industriel assez ciblé, celui de l'aéronautique (cf. chapitre 2), une étude plus exhaustive pourrait permettre de la valider dans d'autres industries (du bois, de l'automobile...). Des rapprochements informels ont déjà eu lieu dans cette perspective et demanderaient à être approfondis.

Bibliographie

- (Abdulmalek et Rajgopal, 2006) Abdulmalek, F. A., Rajgopal J., Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, article sous presse accepté le 1^{er} septembre 2006 disponible à : <http://www.sciencedirect.com>
- (Al-Mashari et Zairi, 2000) Al-Mashari, M. and Zairi, M. Supply-chain re-engineering using enterprise resource planning (ERP) systems: an analysis of a SAP R/3 implementation case. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30 No. 3/4, pp. 296-313, 2000.
- (Angerhofer *et al.*, 2000) Angerhofer B.J., Angelides M.C., System dynamics modelling in supply chain management: research review. *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 2000.
- (Anthony, 1965) Anthony, R., Planning and control systems: a framework for analysis. *Harvard University Press*, Cambridge.
- (Archimède *et al.*, 2003) Archimède, B., Charbonnaud, P. and Mercier, N., Robustness evaluation of multisite distributed schedule with perturbed virtual jobshops. *Production Planning & Control*, 14(1), 55—67, 2003.
- (Bartezzaghi et Verganti 1995) Bartezzaghi, E. et Verganti, R., Managing demand uncertainty through order overplanning. *International Journal of Production Economics*, No. 40, 107-120, 1995.
- (Beamon, 1998) Beamon B. M., Supply chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics*, (55), 281--294, 1998.
- (Bodt et Van Wassenhove 1983) Bodt, M. A., et Van Wassenhove, L. N., Cost increased due to demand uncertainty in MRP lot sizing. *Decision Science Journal*, No. 25, 345-362, 1983.
- (Brennan et Gupta 1993) Brennan, L. et Gupta, S. M., A structured analysis of material requirement planning under combined demand and supply uncertainty. *International Journal of Production Research*, No. 31 (7), 1689-1707, 1993.
- (Cachon et Fisher, 2000) Cachon, G.P. et Fisher M., Supply chain inventory management and the value of shared information. *Management science*, 46(8), 1032—1048, 2000.
- (Camarinha-Matos et Afsarmanesh, 2003) Camarinha-Matos, L. M. et Afsarmanesh, H., Elements of a base VE infrastructure. *Computers in Industry*, 51, 139–163, 2003.
- (Campagne et Sénéchal, 2002), Campagne J-P et Sénéchal O, Les nouvelles exigences de la coopération, dans *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels*, Hermès Science Publication, 2002.

Bibliographie

- (Cesarotti *et al.*, 1999) Cesarotti, V., Rossi, L. et Santoro, R., A neural network clustering model for miscellaneous components production planning, *Production Planning & Control*, VOL . 10, NO. 4, 305 – 316, 1999.
- (Chan *et al.*, 2004) Chan, F.T.S., Chung, S.H. et Wadhwa, S., A heuristic methodology for order distribution in a demand driven collaborative supply chain. *International Journal of Production Research*, 42(1), 1--19, 2004.
- (Chopra et Meindl 2001) Chopra, S. et Meindl, P., *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*, Prentice Hall Inc., 2001.
- (Christopher 1992) Christopher, M.L, *Logistics and Supply Chain Management*, Pitman Publishing, London, 1992.
- (Croom *et al.*, 2000) Croom, S., Romano, O. et Giannakis, M., Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 6, pp. 67-83, 2000.
- (Dubois et Prade, 2004) Dubois, D. et Prade, H., Possibilistic logic: a retrospective and prospective view, *Fuzzy Sets and Systems*, 3-23,144, 2004.
- (Despontin, 2005) Despontin-Monsarrat, E., Aide à la décision pour une coopération inter-entreprises dans le cadre de la production à la commande. *Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier*, Toulouse, 2004.
- (Eatman et Gargeya, 2002) Eatman, J. L., et Gargeya, V. B., Operational control: merging global operations via an erp system *in proceedings of the 15th IFAC Triennial World Congress*, Spain, 2002.
- (Eisenhardt 1989) Eisenhardt K. M., Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, vol. 14, n° 4, p. 532-550, 1989.
- (Erschler *et al.*, 1993) Erschler, J., Fontan, G. et Mercé, M., Approche par contraintes en planification et ordonnancement de la production. *RAIRO-APII*, Vol.27, N°6, pp.669-695, 1993.
- (Fargier et Thierry, 2000) Fargier, H. et Thierry, C., The use of possibilistic decision theory in manufacturing planning and control: recent results in Fuzzy Master Production Scheduling. *Dans : Advances in Scheduling and Sequencing under fuzziness*. R. Slowinski, M. Hapke (Eds.), Spingler-Verlag (series "Studies in Fuzziness and Soft Computing), p. 45-59, 2000.
- (Fawcett, 2000) Fawcett, S. E. et Magnan, G. M., Supply Chain Management: Benefits, Barriers, and Bridges. *The Third Worldwide Research Symposium on Purchasing and Supply Chain Management*, London, Ontario, 2000.
- (Fontan *et al.*, 2005) Fontan, G., Mercé, C., Hennet, J.C. et Lasserre, J.B., Hierarchical scheduling for decision support, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.16, N°2, pp.235-242, 2005.

Bibliographie

- (Forrester, 1961) Forrester, J. W., *Industrial Dynamics*, MIT Press, Cambridge, MA, and Wiley, Inc., New York, 1961.
- (François et Galasso, 2005) François, J. et Galasso F., Un cadre générique d'analyse des relations dans la chaîne logistique interentreprises, dans *6e Congrès international de génie industriel*, 2005.
- (François *et al.*, 2006) François, J., Deschamps, J.C., Fontan, G. et Bourrieres, J. P., Collaborative planning for enterprises involved in different supply chains. *International Conference on Service Systems & Service Management (ICSSSM'06)*, Troyes (France), 2006.
- (Fu et Piplani, 2004) Fu Y. et Piplani R., Supply-side collaboration and its value in supply chains. *European Journal of Operational Research*, vol. 152, p. 281-288, 2004.
- (Galasso *et al.*, 2005) Galasso F., Mercé C. et Grabot B., A modelling framework for supply chain planning simulation under uncertainty. *3rd International Industrial Simulation Conference (ISC'2005)*, Berlin (Allemagne), 9-11 Juin 2005.
- (Galasso *et al.*, 2006a) Galasso F., Mercé C. et Grabot B., Decision support for supply chain planning under uncertainty in *Proceedings from the 12th IFAC International Symposium Information Control Problems in Manufacturing (INCOM)*, St Etienne, France, vol 3, p. 233-238, 17-19 May 2006.
- (Galasso *et al.*, 2006b) Galasso F., Mercé C. et Grabot B., Aide à la décision pour la planification des approvisionnements, *Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA'2006)*, Bordeaux (France), 30 Mai - 1^{er} Juin 2006.
- (Ganeshan *et al.*, 1995) Ganeshan R. et Harrison T., An introduction to supply chain management, *Penn State University, department of Management Science and Information Systems*, 1995.
- (Ganeshan *et al.*, 1999) "A taxonomic review of supply chain management", dans "Quantitative models for supply chain management modelling", Tayur S., Ganeshan R., Magazine M., *Operations Research Management Science*, p. 838-879.
- (Gavirneni, 2001) Gavirneni, S., Benefits of Co-operation in a Production Distribution Environment, *European Journals of Operational Research*, 130, p. 612-622, 2001.
- (Génin, 2003) Génin, P., Planification tactique robuste avec usage d'un APS. Proposition d'un mode de gestion par plan de référence. Thèse de Doctorat, *École des Mines de Paris*, 2003.
- (Génin *et al.*, 2005) Genin P., Lamouri S. et Thomas A., Sales and operations Planning optimisation, Contribution and limits of linear programming. *Ch.14 de Supply Chain Optimisation*, Kluwer Academic Publisher, p. 191-204, 2005.

Bibliographie

- (Geunes et Pardalos 2003) Geunes, J. et Pardalos, P.M. Network optimization in Supply Chain Management and Financial Engineering: an annotated bibliography, *NETWORKS*, 42(2), p. 66--84, 2003.
- (Giard 2003) Giard, V., Gestion de la production et des flux, Economica, 2003
- (Grabot *et al.*, 2005) Grabot, B., Geneste, L., Reynoso Castillo, G. et Vérot, S. Integration of uncertain and imprecise orders in the MRP II method. *International Journal of Intelligent Manufacturing*, No. 16(2), 2005.
- (Grasso et Taylor 1984) Grasso, E. T. et Taylor, B. W., A Simulation Based Experimental of Supply/Timing Uncertainty in MRP Systems. *International Journal of Production Research*, No. 22, 485-497, 1984.
- (Guide et Srivastava, 2000) Guide Jr, V. D. R. and Srivastava, R., A review of techniques for buffering against uncertainty with MRP systems. *Production Planning and Control*, No. 11, 223-233, 2000.
- (Gunasekaran *et al.*, 2006) Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., et McGaughey, R. E., Information technology and systems justification: A review for research and applications. *European Journal of Operational Research*, 173, p. 957-983, 2006.
- (Gupta et Maranas, 2003) Gupta, A. et Maranas, C. D., Managing demand uncertainty in supply chain planning. *Computers and Chemical Engineering*, No. 27, p. 1219-1227, 2003.
- (Ho et Ireland 1998) Ho, C. J. et Ireland, T. C., Correlating MRP system nervousness with forecast errors. *International Journal of Production Research*, No. 36 (8), 2289-2299, 1998.
- (Holland et Light, 1999) Holland, C. P., Light, B. et Gibson, N., A critical success factors model for enterprise resource planning implementation, in *Proceedings of the 7th European Conference on Information Systems*, Vol. 1 Copenhagen, 1999.
- (Houé et Grabot, 2006) Houé R. et Grabot B., Formalisation Of Norms For Recyclability Assessment, in *Proceedings from the 12th IFAC International Symposium Information Control Problems in Manufacturing (INCOM)*, St Etienne, France, vol 2, p. 211-216, 17-19 May 2006.
- (Huang *et al.*, 2003) 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*, 41(7), p. 1483--1517, 2003.
- (Johansen 1999) Johansen, S. G., Lot sizing for varying degrees of demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, No. 59 (1-3), p. 405-414, 1999.
- (Kearney, 1994) A.T. Kearney, Management approach to supply chain integration, Rapport aux membres de l'équipe de recherche A.T. Kearney, Chicago, 1994

Bibliographie

- (Kim *et al.*, 2006) Kim, T. Y., Lee, S., Kim, K., Kim, C. H., A modeling framework for agile and interoperable virtual enterprises. *Computers in Industry*, 57, p. 204–217, 2006.
- (Koestler, 1967) Koestler A., *The Ghost in the Machine*, Arkana, Paris. 1967
- (Kok et Fransoo, 2003) Kok, T.G. et Fransoo, J.C., Planning Supply Chain Operations: definition and comparison of planning concepts. *In: Handbooks in OR & MS*, edited by A.G. de Kok and S.C. Graves, Elsevier B.V., pp. 597—675, 2003.
- (Kolekofski et Heminger, 2003) Kolekofski K.E. et Heminger A.R., Beliefs and Attitudes affecting intentions to share information in an organizational setting, *Information & Management*, 40, 2003.
- (Krupp 1997) Krupp, J. A. G., Safety Stock Management, *Production and Inventory Journal*, 3rd quarter, 11-18, 1997.
- (Lambert et Riopel, 2006) Lambert S., Riopel D. Combining Reverse Logistics Transport Of Hazardous Material Returns With Distribution in *Proceedings from the 12th IFAC International Symposium Information Control Problems in Manufacturing (INCOM)*, St Etienne, France, vol 3, p. 195-200, 17-19 May 2006.
- (Lecompte-Alix, 2001) Alix, T., Un cadre formel de décision pour la planification multi-niveau des systèmes de production réticulaires, *Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux I*, 2001.
- (Lee et Billington 1993) Lee H.L. et Billington C., Material management in decentralized supply chain, *Operation Research*, vol 41, n°5, 1993.
- (Lee et Ng, 1997) Lee, H.L. et Ng, S.M., Introduction to the special issue on global supply chain management. *Production and Operations Management*, 6(3), 191--192, 1997.
- (Le Quéré *et al.*, 2003) Le Quéré Y., Sevaux M., Tahon C., et Trentesaux D., Reactive Scheduling of Complex System Maintenance in a Cooperative Environment with Communications Times, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Part C, vol. 33, n° 2, p. 225-234, 2003.
- (Le Run, 2003) Le Run P., 2003, *Mise en place de démarches collaboratives : généralités*, Techniques de l'Ingénieur, traité l'Entreprise Industrielle AG 5 230.
- (Leung, 1995) Leung, H. C., Neural Networks in Supply Chain Management, *proceedings of the '95 engineering management- conference* p. 347 - 352
- (Lothia *et al.*, 2004) Lohtia R., Xie F.T. et Subramaniam R., Efficient consumer response in Japan Industry concerns, current status, benefits, and barriers to implementation, *Journal of Business Research*, 57, p. 306– 311, 2004.

Bibliographie

- (Lummus et Vokurka, 1999) Lummus, R. R., et Vokurka, R. J., Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines, *Industrial Management & Data Systems*, 99/1, p. 11–17, 1999.
- (Maggi 1996) Maggi, B., autonomie et conception, *Chapitre de l'ouvrage collectif coordonné par De Terssac et Friedberg Coopération et Conception*, Octaves Editions, 1996.
- (Mahmoudi *et al.*, 2005) Mahmoudi J., Galasso, F. et François, J., Cadre de classification des publications en supply Chain Management, Rapport Interne Ecole des mines d'Albi Carmaux DR/GI-N°05.02., 42p, 2005.
- (Mentzer *et al.*, 2001) Mentzer J.T, Dewitt W., Keebler J.S., Min S., Nix N.W., Smith C.D., et Zacharia Z.G., Defining the supply chain Management, *Journal of Business logistics*, vol 22, n°2, 2001.
- (Miller, 2001) Miller, T., *Hierarchical operations and supply chain planning*, Springer, 2001.
- (Müller, 2003) Müller M., The Use of Information Technologies in Supply Chains – A Transaction Cost Analysis, in *Strategy and Organization in Supply Chains*, (Eds : Seuring, Müller, Goldbach, Schneidewind), Physica-Verlag, Heidelberg New York, 2003.
- (Nayak *et al.*, 2001) Nayak, N., Bhaskaran, K. et Das, R., Virtual Enterprises - Building Blocks for Dynamic e-Business, in *proceedings of Information Technology for Virtual Enterprises workshop IEEE*, p. 80 – 87, 29-30 Janvier 2001.
- (Nikolopoulos *et al.*, 2006) Nikolopoulos, M., Stafylarakis, M., Goodwin, P., et Fildes, R., Why do companies not produce better forecasts overtime? an organisational learning approach, in *Proceedings from the 12th IFAC International Symposium Information Control Problems in Manufacturing (INCOM)*, St Etienne, France, vol. 3 p. 165-170, 17-19 May 2006.
- (Nissen, 2001) Nissen, M.E. Agent-based supply chain integration. *Information Technology and Management*, 2, p. 289--312, 2001.
- (Nurmilaakso *et al.*, 2006) Nurmilaakso, J. M., Kotinurmi, P. et Laesvuori, H., XML-based e-business frameworks and standardization, *Computer Standards & Interfaces*, 28, p. 585–599, 2006.
- (O'Hare et Jennings, 1996) O'Hare, G., et Jennings, N., (Eds.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, Wiley, New York, 1996.
- (Orlicky, 1975) Orlicky J.A., *Material Requirement Planning*, Mc Graw-Hill Book Co, New York 1975.
- (Parrod 2005) Parrod N. « Analyse d'un processus de coopération entre donneur d'ordres et sous-traitant au sein d'une chaîne logistique projet : Une approche par simulation. », *Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace*, 2005.

Bibliographie

- (Poirier *et al.*, 2001) Poirier C., et Reiter S.E., *La Supply Chain*, Dunod, 2001.
- (Prahinski et Kocabasoglu, 2006) Prahinski, C. et Kocabasoglu, C., Empirical Research Opportunities in Reverse Supply Chains, *Omega*, 34, p. 519-532, 2006.
- (Rabelo *et al.*, 2004) Rabelo, L., Helal, M., Lertpattarapong, C., analysis of supply chains using system dynamics, neural nets, and eigenvalues, *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 2004.
- (Rohde, 2000) Rohde J., Meyr H. et Wagner M., Die Supply Chain Planning Matrix, *PPS-Management*, vol. 5, N°1, Berlin, 10-15.
- (Rota, 1998) Rota K., Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources. Application aux chaînes logistiques intégrées en aéronotique, *Thèse ENSAE*, 1998.
- (Sahin, 2005) Sahin, F. et Powell, R.E. Information sharing and coordination in make-to-order supply chains. *Journal of Operations Management*, 23(6), p. 579--598, 2005.
- (Savage, 1951) Savage, L.J., The Theory of Statistical Decision, *Journal of the American Statistical Association*, 46(1) : 55-67, 1951.
- (Savage, 1954/1972) Savage, L.J., *The Foundations of Statistics*, New York : Dover Publication Inc.
- (SCMIP, 2005) Galasso, F., François, J., Mahmoudi, J., et SCMIP, 2005, Proposition d'une grille de classification de la littérature en gestion de chaîne logistique (Supply Chain Management), *6e Congrès International de Génie Industriel*, Besançon, France, 2005.
- (Shapiro, 1999) Shapiro, J., On the connections among activity based costing, optimization models for strategic decision support and the resource-based view of the firm. *European Journal of Operational Research*, 118 (2), p. 295—314, 1999.
- (Silva *et al.*, 2002) Silva C.A., Runkler, T., Sousa, J.M., et Palm, R., Optimization of logistic processes using ant colonies. In: *Proceedings of Agent-Based Simulation 3*. p. 143--148, 2002.
- (Srinivasa Raghavan et Viwanadham, 2002) Srinivasa Raghavan, N. R. et Viwanadham N., Stochastic models for analysis of supply chain networks, *Proceedings of the American Control Conference*, Anchorage, AK May 8-10, 2002.
- (Stadtler et Kilger, 2000) Stadtler, H., et Kilger, C., (Ed.), *Supply Chain Management and Advanced Planning*, 2000, (Springer: Berlin).
- (Stadtler et Kilger, 2005) Stadtler, H., et Kilger, C., (Ed.), *Supply Chain Management and Advanced Planning*, 3e ed., 2005, (Springer: Berlin).
- (Stock *et al.*, 1998) Stock, G.N., Greis, N.P. et Kasarda, J.D. Logistics, strategy and structure. A conceptual framework, *International Journal of Operations & Production Management*, 18(1), p. 37--52, 1998.

Bibliographie

- (Tayur *et al.*, 1999) Tayur S., Ganeshan R., M. Magazine, Quantitative models for supply chain management, Kluwer Academic Publishers, 1999
- (Telle, 2003) Telle, O., Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique, *Thèse de Doctorat, École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace*. Toulouse, 2003.
- (Thierry *et al.*, 2002) 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 Industrielle*, 2002.
- (Thonemann, 2002) Thonemann, U.W. Improving supply-chain performance by sharing advance demand information. *European Journal of Operational Research*, 142, p. 81--107, 2002.
- (Uliéru *et al.* 2002) Uliéru, M., Brennan, R.W. et Walker, S.S., The holonic enterprise: a model for internet-enabled global manufacturing supply chain and workflow management. *Integrated Manufacturing Systems*, 13(8), p. 538--550, 2002.
- (Van Landeghem et Vanmaele, 2002) Van Landeghem, H. et Vanmaele H., Robust planning: a new paradigm for demand chain planning. *Journal of Operations Management*, 20, p. 769-783, 2002.
- (Wald, 1943) WALD, A. On the efficient design of statistical investigations, *Annals of Mathematical Statistics*, 14, p. 134-140, 1943.
- (Wald, 1950) Wald, A., *Statistical Decision Functions*, 1950 (John Wiley and Sons Inc.: New York)
- (Witsa, 2000) International survey of e-commerce, accédé le 6 février 2007 à l'url : <http://www.witsa.org/papers/EComSurv.pdf>,
- (Wu, 1999) Wu, C., Intelligent Use of Delayed Information in the Supply Chain by Artificial Neural Network, in *IEEE SMC '99 Conference Proceedings*. Vol 2, p. 66 – 70, 12-15 Oct. 1999.
- (Whybark et Williams 1976) Whybark, D. C. et Williams, J. G., Material Requirements Planning Under Uncertainty. *Decision Sciences*, 7, p. 595-606, 1976.
- (Zadeh, 1978) L.A. Zadeh, Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Sets and Systems*, 3-18,1,1, 1978.
- (Zhao et Lam, 1997) Zhao, X. et Lam, K., Lot sizing rules and freezing the master production schedule in material requirements planning systems. *International Journal of Production Economics*, 53, 281–305, 1997.
- (Zhao et Xie, 1998) Zhao, X. et Xie J., Multilevel lot-sizing heuristics and freezing the master production schedule in material requirements planning systems. *Production Planning and Control*, **Vol. 9, No. 4**, pp. 371-384, 1998.

Annexes

Questionnaire entretiens industriels

Sommaire

1.	Aspects structurels de l'entreprise.....	152
1.1.	Source.....	152
1.2.	Confidentialité.....	152
1.3.	Entreprise	152
2.	Aspects structurels de la chaîne logistique.....	152
2.1.	Construction de la chaîne logistique	152
2.2.	Organisation physique de la chaîne logistique.....	152
3.	Pilotage de la chaîne.....	153
3.1.	Structure dans l'entreprise.....	153
3.2.	Enjeux stratégiques	153
3.3.	Aide au pilotage	153
3.4.	Évaluation de la chaîne	153
3.5.	Gestion des contingences	154
4.	Supply Chain interne.....	154
4.1.	État de la Supply Chain interne.....	154
4.2.	Communication	154
5.	Relations fournisseurs ; distributeur ; client.....	155
5.1.	Classification.....	155
5.2.	Définition de la relation fournisseurs ; distributeurs ; clients	155
5.3.	Organisation de la communication.....	155
6.	Perspectives et évolutions	156
6.1.	Objectifs	156
6.2.	Moyens.....	156
6.3.	Actions	156

1. Aspects structurels de l'entreprise

1.1. *Source*

Nom

Fonction

Description de l'activité

En quoi consiste l'activité ? repérage du réseau de relation (qui ? pour faire quoi ?) Quels sont les liens forts/faibles développés au sein de l'entreprise (à croiser avec le réseau que les outils prescrivent).

Service

Formation

Niveau, spécialité, en rapport avec l'activité actuelle

Ancienneté

Parcours dans l'entreprise

1.2. *Confidentialité*

Description du niveau requis pour la confidentialité de l'entrevue :

Nom de l'entreprise, données démographiques, relations C/F, pilotage, perspectives

Engagement sur la confidentialité des données par anonymisation des interlocuteurs (codage).

1.3. *Entreprise*

Nom

Département (s'il s'agit d'un groupe)

Situation géographique

Situation du siège social

Taille (en nombre d'employés)

Nombre de sites, situation des sites

Organisation générale de l'entreprise

Description des services et fonctions existantes et de leurs liens

Activité principale (code NACE)

Marché cible

Critères géographiques ; économiques ; sociologiques ; tranches d'ages...

Compléments sur l'activité

Description libre et compléments éventuels

Chiffre d'affaire

2. Aspects structurels de la chaîne logistique

2.1. *Construction de la chaîne logistique*

Qui a décidé de la construction de la chaîne ?

Les fournisseurs ont-ils été associés dans la construction ?

Le réseau de distribution et les clients ont-ils été associés ?

Changements dans la structure du réseau

Rationalisation de « l'enveloppe » des fournisseurs

2.2. *Organisation physique de la chaîne logistique*

Nombre de sous-traitants fournisseurs ; distributeurs

Zone géographique d'implantation des fournisseurs ; distributeurs
Quantités d'articles référencés
Nombre de nomenclatures
Nombre de gammes

3. Pilotage de la chaîne

3.1. Structure dans l'entreprise

Service dédié ?
 La gestion de la supply chain est-elle centralisée ?
Description du chaînage des décisions
Hiérarchie
Acteurs de la supply chain hors du système formel hiérarchique
 Qui intervient dans la définition des quantités ; délais ; coûts...
Processus de pilotage
 Existe t-il ? formalisé ? Kanban, partage de plan de charge, si oui avec quel horizon...
Rang d'implication
 Quels rangs de sous-traitance/distribution sont en relation avec l'entreprise ?
Pilotage de plusieurs niveaux de sous-traitance
 Ou est-ce seulement une gestion de la sous-traitance de premier niveau ?

3.2. Enjeux stratégiques

Une stratégie d'entreprise est définie à long terme
 En quantités ? Coûts ? Parts de marché ?
Le pilotage de la chaîne est inscrit dans la stratégie d'entreprise
 Participation à la réduction des coûts internes ; meilleur ciblage des projets...
Facteurs les plus influents dans l'élaboration de la stratégie
 Prévisions, concurrence...
Comment les décisions stratégiques sont déclinées jusqu'au niveau opérationnel ?

3.3. Aide au pilotage

Outils utilisés
 Manuel, MRP, ERP, APS, nom, éditeur, depuis quand...
Motivations du choix de l'outil
Méthode utilisée pour sa mise en place
 Fournie par le vendeur ; appuyée sur bibliographie...
Objectifs de retour sur investissements ont été fixés et atteints ?
 Situation actuelle par rapport aux motivations
Avantages / Inconvénients de la gestion actuelle
 Principaux apports ou problèmes liés à l'outil
Application d'une méthode standard pour le pilotage de la chaîne
 SCOR...
Benchmarking / Best Practices
 Utilisation de points de comparaison

3.4. Évaluation de la chaîne

Indicateurs/benchmark utilisés
Méthode éventuelle de mise en place

Quelle méthode a été suivie pour la mise en place de ces indicateurs (si méthode il y a) ?

Implication d'un tiers

Dans le choix et la mise en place des indicateurs

Méthodes de récoltes des données

Lesquelles, satisfaction ?

Période de mise à jour des indicateurs

Mise en place d'objectifs face aux indicateurs

Comment sont-ils définis ?

3.5. *Gestion des contingences*

Identification de problèmes récurrents

Processus de gestion de crise

Actions menées pour diminuer les risques

4. Supply Chain interne

4.1. *État de la Supply Chain interne*

Quelles relations existent en interne ?

L'entreprise est-elle verticalisée ?

Qui pilote la chaîne ?

Qui définit le PIC / PDP en interne ?

Qui gère la chaîne au jour le jour ?

Définition des quantités, plannings... même service que pour la sous-traitance ?

Best Practices

Existe t-il une collaboration pour la mise en place de « bonnes » pratiques observées dans chaque établissement de l'entreprise ?

Comment sont faits les arbitrages ?

Quels sont les critères utilisés ?

4.2. *Communication*

Description du système d'information

Unifié, diversifié ?

Gestion du système d'information

Délocalisée, interne ?

Fiabilité des données

Taux d'anomalies constatées dans la base de données

Types des anomalies constatées

Erreurs humaines de saisies ? erreur dans le traitement de l'information ?

Prise en charge de ces problèmes

Processus de prise en charge défini ? qui effectue les modifications ?

Problèmes récurrents

Points pouvant mener à amélioration

Aspects de la communication interne maîtrisés

Points forts de l'entreprise

5. Relations fournisseurs ; distributeur ; client

5.1. *Classification*

Modes de différenciation

Classification selon criticité des articles à fournir ; du volume de CA... qui privilégie certains acteurs du réseau

État (répartition) relations

Catégorie de fournisseurs/distributeurs posant des problèmes et pourquoi

Évaluation des fournisseurs/distributeurs

Quels outils ont été mis en place et quelles conséquences pour le fournisseur ?

Mise en compétition

Sur quels critères ? prix, qualité, services, réactivité

Nombre d'intermédiaires dans le système de distribution

5.2. *Définition de la relation fournisseurs ; distributeurs ; clients*

Comment sont choisis ou non les fournisseurs ?

Existe-t-il des relations captives ou de monopole ?

Est-ce qu'on impose qu'un taux de service (livraison) ou regarde-t-on aussi les stocks chez le fournisseur ?

Formalisation de la relation

Y a-t'il une contractualisation de la relation donneur d'ordre - fournisseur ?

Quelle est la nature du contrat ? Contrat avec baisse du prix régulière ?

Gestion de l'incertitude

Marges et leviers pris par rapport au fournisseur ; distributeur ; client

Qui prend les risques ?

Sur la base de quelle information ? Est-il partagé ? les risques sont-ils nécessairement traduits en stock de sécurité ?

Description de la collaboration

Qui impose les délais, les quantités, participation de l'entreprise dans la planification fournisseur ?

5.3. *Organisation de la communication*

Techniques de gestion de la relation fournisseur ; distributeur ; client

SRM ? ERP ? CRM ? DRP ? Moyens traditionnels...

Supports de cette gestion

Quels outils ?

Règles de transmission des données

Lesquelles ? Quand ? Horizon ? Comment ?

Actions qui ont été réalisées pour améliorer la communication

Degré de modélisation et d'automatisation des processus

Quelle est la couverture fonctionnelle de l'outil de gestion d'approvisionnements ?

Gestion des non-conformités

Mise en place d'outils ou méthodes pour limiter leur création chez le sous-traitant ?

Sous-traitance de tout ou partie de la gestion d'approvisionnement

Alternative possible au leadership de la chaîne

Données essentielles caractérisant la relation

Inclusion dans le processus de prévision

Le réseau de distribution participe t-il aux prévisions ou est-il court-circuité ?
Description du processus de traitement d'une commande
De la démarche auprès du client jusqu'à l'intégration dans le système de planification

6. Perspectives et évolutions

6.1. *Objectifs*

Grands axes

Quels champs l'entreprise va souhaiter optimiser ?

Horizons associés

Vision des relations fournisseurs à long terme

Vision des relations distributeurs à long terme

6.2. *Moyens*

Nouveaux outils

Part de l'entreprise dans la mise en place des outils

Solution existante, dvp en interne, partenariat...

Intérêt pour les outils de simulation

6.3. *Actions*

Quelles sont les actions en-cours ?

Description de leur déroulement

Respect des coûts/délais/qualité des projets... dans l'état actuel

Note relative aux temps de résolution

Nous avons choisi de traiter 7 scénarios à complexité croissante pour comparer les performances de résolution de notre modèle. Pour quantifier cette complexité, le nombre de variables et de contraintes à traiter est calculé pour chaque paramétrage du modèle. Chaque paramétrage est obtenu par génération et allocation aléatoire des produits finis, composants, fournisseurs et coûts associés. La base de comparaison de performance est le temps de résolution des modèles. Ce temps inclut à la fois la résolution par le simplexe et par la méthode du Branch and Bound. Les simulations ont été effectuées sur un PC de bureau équipé d'un processeur intel® Pentium® 4-HT cadencé à 3GHz. Le paramétrage des différents scénarios est présenté dans le tableau 1.

	Nombre de Produits finis	Nombre de composants	Nombre de fournisseurs	Longueur de l'horizon de planification	Nombre total de variables	Nombre total de contraintes
Scénarios n°1	2	30	30	12	11316	780
Scénarios n°2	10	30	30	12	11796	972
Scénarios n°3	20	30	30	12	12396	1212
Scénarios n°4	20	30	30	14	14462	1414
Scénarios n°5	20	30	30	16	16528	1616
Scénarios n°6	20	30	30	18	18594	1818
Scénarios n°7	20	50	30	12	19836	1692

Tableau A-1. Paramétrage des modèles pour la simulation

Dans notre modélisation, c'est essentiellement le nombre de composants et la longueur de planification qui pénalisent le plus le modèle. En effet, le premier intervient dans un variable de décision (i.e. les approvisionnements) à trois indices (i.e. composants, fournisseurs et périodes) et donc a une influence forte sur la combinatoire. Le second apparaît en indice de toutes les variables de décision. C'est pourquoi son augmentation est préjudiciable à la résolution du modèle.

Pour attribuer un temps de résolution, 6 pas de planification (avec une périodicité de planification de 2 périodes) ont été simulés pour chaque scénario. La moyenne de ces temps pour chaque scénario constitue notre indicateur de performance. Les temps de résolution obtenus sont présentés dans le tableau 2.

	Scénarios n°1	Scénarios n°2	Scénarios n°3	Scénarios n°4	Scénarios n°5	Scénarios n°6	Scénarios n°7
Temps de résolution moyen	0,214	0,294	0,440	0,523	0,581	0,656	0,771

Tableau A-2. Temps d'exécution

On peut constater que les temps de résolution sont faibles. Ainsi, ils sont tous inférieurs à la seconde. Cela montre que notre modélisation offre une certaine facilité d'utilisation pour des quantités de variables modérées.