



HAL
open science

Faire ou faire-faire dans la conception d'une chaîne logistique : un outil d'aide à la décision

Hanen Bouchriha

► **To cite this version:**

Hanen Bouchriha. Faire ou faire-faire dans la conception d'une chaîne logistique : un outil d'aide à la décision. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2002. Français. NNT: . tel-00198302

HAL Id: tel-00198302

<https://theses.hal.science/tel-00198302v1>

Submitted on 17 Dec 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N°

T H E S E

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPG

Spécialité : Génie Industriel

préparée au Laboratoire d'Automatique de Grenoble (LAG)

dans le cadre de l'École Doctorale **Organisation Industrielle et Systèmes de Production**

présentée et soutenue publiquement

par

Hanen Bouchriha

le 28 octobre 2002

Titre :

**FAIRE OU FAIRE-FAIRE DANS LA CONCEPTION D'UNE CHAÎNE
LOGISTIQUE:UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION**

Directeur de thèse : M Pierre Ladet

JURY

| | | | |
|-----|----------------------|---|--------------------|
| Mme | Mireille JACOMINO | Professeur à l'INP de Grenoble, | Président |
| M. | Jean-Pierre CAMPAGNE | Professeur à l'ENS des Mines de Saint Étienne, | Rapporteur |
| M. | Jean-Paul KIEFFER | Professeur à l'ENS des Arts et Metiers d'Aix- en-Provence, | Rapporteur |
| M. | Gérard BEL | HDR et ingénieur à l'ONERA-CERT de Toulouse, | Examinateur |
| Mme | Sophie D'AMOURS | Professeur à l'université Laval au Canada, | Examinateur |
| M. | Pierre LADET | Professeur à l'INP de Grenoble, | Directeur de thèse |

DEDICACES

*À mes parents, À ma tante.
À toute ma famille.*

À la mémoire de mes grands parents.

Remerciements

Les travaux présentés dans cette thèse ont été développés au sein du Laboratoire d'Automatique de Grenoble, dans le cadre de l'axe de recherche Conduite des Systèmes Sûrs (CS²) du groupe de recherche en PROductique et Systèmes à Evènements Discrets (PROSED).

Je tiens à exprimer en premier lieu ma gratitude à mon directeur de thèse Monsieur Pierre LADET, professeur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Je ne saurais jamais assez le remercier de son soutien, ses encouragements, sa gentillesse et pour tout ce que j'ai appris grâce à lui. Merci pour les critiques qui m'ont permis de mener à bien ces travaux.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à Madame Sophie D'AMOURS, professeur à l'université Laval, de m'avoir acceptée, par deux fois, en stage au sein du CENTre de recherches sur les Technologies de l'Organisation Réseau (Centor) et pour le temps qu'elle m'a accordé pendant et après mes séjours au Canada. Merci infiniment pour votre confiance, pour les échanges fructueux et pour votre collaboration dans la réalisation de ce travail.

Je remercie Monsieur Jean Pierre CAMPAGNE, Professeur de l'Ecole Nationale des Mines de Saint-Etienne, pour ses remarques constructives et enrichissantes et pour la lecture attentive qu'il en a fait et qui a contribué à l'enrichissement de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Jean Paul KIEFFER, Professeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers d'Aix-en-Provence, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour le temps qu'il en a consacré en acceptant d'être rapporteur.

Je remercie Monsieur Gérard BELL, professeur de l'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales de Toulouse, d'avoir accepté d'être membre du jury de soutenance et pour l'analyse minutieuse qu'il a menée sur ce mémoire. L'intérêt qu'il a porté à ce travail m'a très honoré.

Je remercie Madame Mireille JACOMINO, professeur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance et pour son intérêt à ce travail.

Je remercie M Luc DUGARD, Directeur du Laboratoire d'Automatique de Grenoble, pour m'avoir accueillie dans son laboratoire et de m'avoir ainsi permis d'effectuer ces travaux de recherche.

Je ne manquerai d'exprimer ma reconnaissance à M Daoud AIT KADI professeur de la faculté des sciences et de génie et M Alain MARTEL professeur de la Faculté des

sciences de l'administration de l'université Laval, de m'avoir accueillie au sein de leur laboratoire respectif lors de mes deux stages au Canada et de m'avoir permis d'effectuer une partie de ce travail dans les meilleures conditions.

Je remercie M Hassane ALLA, responsable de l'axe CS², pour sa disponibilité et ses conseils.

Que tous les membres du laboratoire d'automatique de Grenoble trouvent l'expression de mes sincères remerciements, et plus particulièrement un grand merci à Mme Marie-Thérèse DESCOTES-GENON, Mme Marie-Rose ALFARA, Mme Patricia RAYNIER, Mme Virginie GRIMALDI, et Mme Isabelle SIBUT pour la bonne ambiance. Merci également à l'ensemble du personnel technique pour leur disponibilité.

Je voudrais remercier tous les anciens et nouveaux doctorants du groupe PROSED, pour la belle ambiance, en particulier je ne saurais oublier le soutien de Mme Selma LIMAM et Mme Fouzia OUNNAR, la sympathie et les encouragements de Mme Amal KOBEISSI et M Stefan GERNER, M Thibaud MONTEIRO pour son aide, Mme Aida JEBALI pour son écoute, et Mme Sondes HAMMAMI pour son soutien pendant la phase finale du travail.

Je tiens à partager le plaisir de présenter cette thèse avec mes amis les plus chers.

Merci à toute ma famille, à mes parents et à ma tante qui m'ont soutenu en toutes circonstances et sans qui, ce travail n'aurait pu arriver à terme. Merci pour la confiance qu'ils ont placée en moi.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 15 |
| PARTIE I : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE | 21 |
| CHAPITRE 1 : CONTEXTE GENERAL DE LA DECISION "FAIRE OU FAIRE-FAIRE" | 23 |
| 1. DEFINITION GENERALE DE LA DECISION DE FAIRE OU FAIRE-FAIRE..... | 25 |
| 2. LES DIFFERENTES SITUATIONS DE LA DECISION "FAIRE OU FAIRE-FAIRE" | 27 |
| 3. LES DIFFERENTES APPROCHES ANALYSANT LA DECISION "FAIRE OU FAIRE-FAIRE" | 28 |
| 3.1. PRESENTATION GENERALE..... | 28 |
| 3.2. L'APPROCHE BASEE SUR LES COUTS..... | 30 |
| 3.2.1. <i>Quelques études empiriques</i> | 30 |
| 3.2.2. <i>Les études formelles : la théorie des coûts de transaction (point de vue des économistes)</i> | 31 |
| 3.3. L'APPROCHE BASEE SUR LA STRATEGIE DE L'ENTREPRISE (POINT DE VUE DES GESTIONNAIRES)..... | 34 |
| 3.4. LES HYPOTHESES QUI DECOULENT DE CETTE ANALYSE FORMELLE | 37 |
| 4. LES NOUVELLES FORMES D'ORGANISATION | 39 |
| 4.1. LE BESOIN DE NOUVELLES FORMES D'ORGANISATION..... | 39 |
| 4.2. LE CONCEPT DE L'ENTREPRISE RESEAU..... | 41 |
| 4.3. VERS UNE NOUVELLE CONSIDERATION DE LA DECISION "FAIRE OU FAIRE-FAIRE" | 41 |
| 5. CONCLUSION | 42 |
| CHAPITRE 2 : IMPACT DE LA DECISION DE "FAIRE OU FAIRE-FAIRE" SUR LA GESTION D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE..... | 45 |
| 1. DEFINITION DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE | 47 |
| 2. LES FLUX DE MATIERE ET D'INFORMATION DANS LA CHAÎNE LOGISTIQUE..... | 48 |
| 3. LA DECISION DE FAIRE OU FAIRE-FAIRE ET LE LIEN AVEC LES NIVEAUX DE GESTION D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE..... | 50 |
| 3.1. GESTION STRATÉGIQUE DE LA CHAÎNE (LONG TERME)..... | 51 |
| 3.2. GESTION TACTIQUE DE LA CHAÎNE (MOYEN TERME)..... | 51 |
| 4. LA CONCEPTION ET CONFIGURATION D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE | 52 |
| 4.1. LES PRINCIPAUX MODÈLES UTILISÉS DANS LA LITTÉRATURE | 52 |
| 4.2. LES MANQUES LIÉS A LA PRISE EN COMPTE DES ASPECTS STRATEGIQUES | 56 |
| 4.3. LES MANQUES LIÉS A LA PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES ET DE LA DYNAMIQUE | 60 |
| 5. ETAT DE L'ART DES TRAVAUX PORTANT SUR LA SELECTION DES FOURNISSEURS | 61 |
| 5.1. PROBLEMATIQUE DU CHOIX DU FOURNISSEUR : DECISION MULTI-CRITERES | 62 |
| 5.2. LES MÉTHODES LES PLUS UTILISÉES POUR LA SÉLECTION DES FOURNISSEURS | 65 |
| 5.3. MONO-SOURCING/MULTI-SOURCING | 66 |
| 5.4. IMPACT DES POLITIQUES DE GESTION DES STOCKS | 67 |
| 6. CONCLUSION | 69 |
| CHAPITRE 3 : PROBLEMATIQUE & DEMARCHE..... | 71 |
| 1. PROBLEMATIQUE GENERALE..... | 73 |
| 2. DEMARCHE | 73 |

| | |
|---|------------|
| 3. ILLUSTRATION SUR UN EXEMPLE | 80 |
| PARTIE II : MODELISATION | 85 |
| CHAPITRE 4 : UNE PREMIERE MODELISATION DU PROBLEME DE FAIRE OU FAIRE-FAIRE | 87 |
| 1. LIMITATION DU CHAMP D'ETUDE | 89 |
| 1.1. LE CAS D'UN PRODUIT, UN FOURNISSEUR ET PLUSIEURS PERIODES..... | 89 |
| 1.2. LE CAS DE LA SOUS-TRAITANCE DE CAPACITE | 90 |
| 2. DEFINITION DES ELEMENTS INTERVENANT DANS LES COUTS..... | 91 |
| 3. MODELISATION MATHEMATIQUE..... | 93 |
| 3.1. LES INDICES ET LES DONNEES DU PROBLEME | 93 |
| 3.2. LES VARIABLES DE DECISION..... | 94 |
| 3.3. LA FONCTION OBJECTIF | 94 |
| 3.4. LES CONTRAINTES | 95 |
| 4. EXPLOITATION DU MODELE | 96 |
| 5. TESTS DE SCENARIOS..... | 97 |
| 6. UN CADRE D'APPLICATION | 100 |
| 7. CONCLUSION | 106 |
| CHAPITRE 5 : UNE MODELISATION DU PROBLEME DE LA CONCEPTION D'UNE CHAINE LOGISTIQUE EN REPONSE AU CHOIX DE FAIRE OU FAIRE-FAIRE | 107 |
| 1. MODELISATION DE LA CHAINE LOGISTIQUE | 109 |
| 2. MODELISATION DE LA CONTRAINTE DE CONSERVATION DES FLUX | 110 |
| 3. MODELE MATHEMATIQUE | 112 |
| 3.1. LES INDICES ET LES ENSEMBLES | 112 |
| 3.2. LES VARIABLES DE DECISION..... | 112 |
| 3.3. LES DONNEES | 113 |
| 3.4. LES OBJECTIFS | 114 |
| 3.5. LES CONTRAINTES | 115 |
| 3.5.1. <i>Relatives au partage des ressources</i> | 115 |
| 3.5.2. <i>Relatives aux capacités internes de production</i> | 116 |
| 3.5.3. <i>Relatives aux capacités externes</i> | 116 |
| 3.5.4. <i>Relatives à la conservation du flux :</i> | 116 |
| 3.5.5. <i>Relatives au respect des délais</i> | 120 |
| 3.5.6. <i>Relative à la flexibilité de la chaîne en volume</i> | 120 |
| 3.5.7. <i>Relatives aux variables de décision</i> | 121 |
| 4. APPLICATION DU GOAL PROGRAMMING | 121 |
| 5. APPLICATION DE LA METHODE DE L'ϵ-CONSTRAINT | 124 |
| 6. CONCLUSION | 124 |
| PARTIE III : VALIDATION ET EXTENSIONS DU MODELE | 127 |
| CHAPITRE 6 : UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION, EXEMPLES DE TESTS | 129 |
| 1. DESCRIPTION GENERALE DE L'OUTIL..... | 131 |

| | |
|---|------------|
| 2. EXEMPLE D'APPLICATION | 132 |
| 2.1. DESCRIPTION | 132 |
| 2.2. LES DONNEES ("SCENARIO 0") | 134 |
| 2.2.1. Les données relatives aux coûts | 134 |
| 2.2.2. Les données relatives à la flexibilité de la chaîne en volume | 135 |
| 2.2.3. Les données relatives aux capacités en interne | 136 |
| 2.2.4. Les capacités de transport des fournisseurs | 137 |
| 2.2.5. Les données relatives aux délais | 137 |
| 2.2.6. Les données relatives à la nomenclature des produits | 138 |
| 2.2.7. Les données relatives à la demande finale | 139 |
| 3. TEST DE SCENARIOS..... | 139 |
| 3.1. APPLICATION DE LA METHODE DU SEUIL SUR LES OBJECTIFS..... | 139 |
| 3.1.1. Fiabilité moyenne des fournisseurs (probabilité<1) : Scénario 1 | 139 |
| 3.1.2. Une fiabilité maximale des fournisseurs (probabilité=1) : Scénario 2 | 142 |
| 3.2. APPLICATION DE LA METHODE DU GOAL PROGRAMMING : EVALUATION DE L'IMPACT DES PREFERENCES DU DECIDEUR..... | 144 |
| 3.3. APPLICATION DE LA METHODE DU GOAL PROGRAMMING : GENERATION DE REGLES POUR LA CONCEPTION DE LA CHAINE | 146 |
| 3.3.1. Impact de la variation de la demande | 146 |
| 3.3.2. Impact de la variation des coûts | 149 |
| 3.3.3. Cas de capacités internes insuffisantes | 153 |
| 3.3.4. Impact de la variation de la fiabilité des fournisseurs | 157 |
| 4. CONCLUSION | 160 |
| CHAPITRE 7 : PRISE EN COMPTE DES ECONOMIES D'ECHELLE | 163 |
| 1. INTEGRATION DES ECONOMIES D'ECHELLE DANS LES COUTS DE TRANSPORT | 165 |
| 1.1. LA MODELISATION DES COUTS DE TRANSPORT DANS LA LITTERATURE | 165 |
| 1.2. MODELISATION DES COUTS DE TRANSPORT | 169 |
| 1.3. METHODE DE RESOLUTION | 170 |
| 1.4. ALGORITHME DE RECHERCHE PAR DICHOTOMIE | 171 |
| 2. VALIDATION DE LA CONFIGURATION DE LA CHAINE EN PRENANT EN COMPTE LES ECONOMIES D'ECHELLE DANS LES COUTS DE STOCK..... | 174 |
| 2.1. MODELE ANALYTIQUE DES COUTS DES STOCKS | 175 |
| 2.2. RECONFIGURATION DE LA CHAINE | 181 |
| 3. CONCLUSION | 184 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 187 |
| BIBLIOGRAPHIE | 195 |
| ANNEXES | 209 |
| ANNEXE 1 : UNE GRILLE D'ANALYSE DES CRITERES INFLUENÇANT LA DECISION DE FAIRE OU FAIRE-FAIRE..... | 211 |
| 1. LES FACTEURS INFLUENÇANT LE CHOIX DE FAIRE - FAIRE..... | 213 |
| 2. LES FACTEURS INFLUENÇANT LE CHOIX DE FAIRE..... | 214 |
| ANNEXE 2 : LES METHODES DE RESOLUTION DES PROBLEMES LINEAIRES MIXTES MULTI-OBJECTIFS | 217 |
| 1. UNE DEMARCHE CLASSIQUE | 219 |
| 2. UNE DEMARCHE A OBJECTIF UNIQUE | 219 |

| | |
|--|------------|
| ANNEXE 3 : DESCRIPTION DE L'OUTIL DEVELOPPE | 221 |
| 1. PRESENTATION DES LOGICIELS UTILISES | 223 |
| 1.1. PRESENTATION GENERALE D'EZMOD | 223 |
| 1.1.1. <i>L'architecture générale d'EZMod</i> | 223 |
| 1.1.2. <i>Les fonctions d'EZMod</i> | 224 |
| 1.1.3. <i>Le format général du problème et exemple de fonctions EZMod</i> | 224 |
| 1.2. PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT DE PROGRAMMATION (DELPHI)..... | 226 |
| 1.3. PRESENTATION DE L'OUTIL D'OPTIMISATION (CPLEX)..... | 227 |
| 2. DESCRIPTION DE L'OUTIL DEVELOPPE | 228 |
| 2.1. L'ECRAN PRINCIPAL | 228 |
| 2.2. L'ECRAN "CHOIX DU CRITERE D'OPTIMISATION POUR LA CONCEPTION DE LA CHAINE" | 229 |
| 2.3. L'ECRAN "OPTIMISATION SELON LE COUT" | 229 |
| 2.4. L'ECRAN "OPTIMISATION SELON LE TAUX D'UTILISATION DE LA CHAINE" | 234 |
| 2.5. L'ECRAN "OPTIMISATION MULTI-OBJECTIFS"..... | 235 |
| ANNEXE 4 : LISTE NOTATIONS UTILISEES | 237 |
| 1. LISTE DES ACTIVITES | 239 |
| 2. LISTE DES PRODUITS..... | 240 |

LISTES DES FIGURES

| | |
|--|-----|
| Figure 1 : Classification des différentes situations de faire ou faire-faire (adaptée de [Laios et Moschuris, 99]) | 27 |
| Figure 2 : modèle de décision pour l'externalisation/internalisation d'une activité | 29 |
| Figure 3 : les éléments intervenant dans le coût de transaction adaptée de [Calvi, 98]..... | 32 |
| Figure 4 : le risque du marché en fonction du nombre d'acteur | 33 |
| Figure 5 : Le modèle stratégique de faire ou faire-faire [Le Blanc, 93] | 35 |
| Figure 6 : Une évaluation des activités basées sur un système de pastille [Poulin et <i>al.</i> , 94].. | 36 |
| Figure 7 : le degré du contrôle en fonction de l'avantage concurrentiel et du degré de vulnérabilité stratégique [Quinn et Hilmer, 94] | 40 |
| Figure 8 : Les formes de collaboration entre marché et intégration [Quinn et Hilmer, 94]..... | 40 |
| Figure 9 : Les options qui découlent de la décision de faire ou faire-faire [Poulin et <i>al.</i> , 94] | 42 |
| Figure 10 : Contexte général de la décision de faire ou faire-faire | 43 |
| Figure 11 : Représentation de la chaîne logistique : les fonctions, les installations, les processus | 48 |
| Figure 12 : découpage traditionnel des flux de matière et d'information dans la chaîne selon [Greis et Kasarda, 97]..... | 49 |
| Figure 13 : la nouvelle répartition des flux dans la chaîne logistique selon [Greis et Kasarda, 97] | 50 |
| Figure 14 : Une démarche pour la conception d'une chaîne logistique intégrant les aspects qualitatifs [Bartmess et Cerny, 93]..... | 57 |
| Figure 15 :Une démarche pour la conception d'une chaîne logistique intégrant la stratégie de l'entreprise [Martel et <i>al.</i> , 97]..... | 59 |
| Figure 16 : Une approche intégrant le niveau de gestion stratégique et tactique dans la démarche de conception d'une chaîne logistique [Sabri et Beamon, 00] | 61 |
| Figure 17 : Un modèle du fournisseur selon [Mazella et Rangone, 2000]..... | 64 |
| Figure 18 : Le modèle de stock (s,Q) dans le cas d'un approvisionnement de la part de deux fournisseurs | 68 |
| Figure 19 : Une nouvelle démarche pour la conception intégrée d'une chaîne logistique | 74 |
| Figure 20 : Cadre de référence pour la conception intégrée d'une chaîne logistique..... | 75 |
| Figure 21 : Les étapes à suivre pour l'élaboration de la chaîne logistique potentielle | 76 |
| Figure 22 : Application de la méthode AHP pour le problème de sélection des fournisseurs. 78 | |
| Figure 23 : Chaîne logistique potentielle d'une entreprise de fabrication de réfrigérateur | 82 |
| Figure 24 : Configuration de la chaîne logistique de l'entreprise..... | 83 |
| Figure 25 : Illustration des variables de décision du modèle de [Ahmadi et Tang, 94]..... | 90 |
| Figure 26 : Les situations possibles de faire ou de faire-faire..... | 91 |
| Figure 27 : Les résultats de simulation..... | 100 |
| Figure 28 : Schématisation d'un réseau d'entreprise | 101 |
| Figure 29 : Mécanisme proposé pour la négociation d'une commande | 102 |
| Figure 30 : L'espace des solutions proposées..... | 105 |
| Figure 31 : Représentation d'une activité stratégiquement externalisable | 109 |
| Figure 32 : Représentation d'une partie de l'enchaînement des activités | 110 |
| Figure 33 : Bilan de matière au niveau des stocks | 111 |
| Figure 34 : La matrice de la nomenclature du produit et de la demande (M)..... | 117 |
| Figure 35 : le vecteur des flux (W) | 118 |
| Figure 36 : Architecture générale de l'outil..... | 132 |
| Figure 37 : Un exemple de chaîne logistique..... | 133 |

| | |
|--|-----|
| Figure 38 : L'effet de la variation de ε sur le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne (dans le cas d'une fiabilité moyenne des fournisseurs)..... | 141 |
| Figure 39 : L'effet de la variation de ε sur le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne (cas d'une fiabilité maximale des fournisseurs)..... | 143 |
| Figure 40 : Variation du coût selon les coefficients de pondération des critères de décision | 145 |
| Figure 41 : Variation du taux d'utilisation des installations de la chaîne selon les coefficients de pondération des critères de décision..... | 146 |
| Figure 42 : Variation du coût et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction de la demande..... | 147 |
| Figure 43 : Variation des coûts et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction des coûts de transport..... | 151 |
| Figure 44 : Variation des coûts et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction des coûts d'achat..... | 153 |
| Figure 45 : Variation du coût et du taux d'utilisation des installations de la chaîne dans le cas où les capacités internes deviennent insuffisantes | 156 |
| Figure 46 : Variation du coût et du taux d'utilisation dans le cas d'une baisse générale de la fiabilité des fournisseurs..... | 160 |
| Figure 47 : Représentation d'un coût de transport variable..... | 166 |
| Figure 48 : Représentation des économies d'échelle..... | 167 |
| Figure 49 : Approximation linéaire par régression des coûts de transport..... | 168 |
| Figure 50 : Une approximation de la fonction des coûts de transport par une fonction concave | 170 |
| Figure 51 : Application d'une analyse par dichotomie pour la recherche de solution | 172 |
| Figure 52 : L'algorithme de recherche d'une solution par dichotomie | 173 |
| Figure 53 : L'approche proposée pour la conception intégrée de la chaîne logistique..... | 175 |
| Figure 54 Relation entre le niveau de stock et le flux en présence d'économie d'échelle..... | 176 |
| Figure 55 : Les analogies avec notre problème..... | 178 |
| Figure 56 : Les coûts unitaires de la chaîne de valeur | 179 |
| Figure 57 : Exemple de calcul de la valeur d'un produit en stock..... | 180 |
| Figure 58 : Interaction entre la base de données et l'outil développé sous Delphi..... | 192 |
| Figure 59 : L'architecture d'EZMod | 223 |
| Figure 60 : Format standard d'un modèle mathématique | 224 |
| Figure 61 : Une vue générale des fenêtres de Delphi..... | 227 |
| Figure 62: Ecran principal..... | 228 |
| Figure 63 : L'écran qui correspond au choix du critère d'optimisation | 229 |
| Figure 64 : L'écran "optimisation selon le coût" | 230 |
| Figure 65 : Un exemple de texte d'aide | 231 |
| Figure 66 : le panel qui correspond à la génération du modèle..... | 232 |
| Figure 67 : Le panel qui correspond à l'affichage de la solution | 233 |
| Figure 68 : Le panel qui correspond à la génération du modèle d'optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne | 235 |
| Figure 69 : Le panel représentant la solution du modèle d'optimisation selon le taux d'utilisation des installations de la chaîne | 235 |
| Figure 70 : La génération automatique des buts | 236 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Les différentes formes de relations inter-entreprises [Bouchriha, 99] | 26 |
| Tableau 2 : Les critères "stratégiques" et "opérationnels" intervenant dans la décision du faire ou faire-faire [Padillo et Meyersdorf, 96] | 29 |
| Tableau 3 : Un modèle stratégique d'aide à la décision pour le "réseautage" des activités [Poulin et <i>al.</i> , 94]..... | 37 |
| Tableau 4 : Caractérisation des travaux traitant le problème de localisation / allocation dans la chaîne logistique..... | 53 |
| Tableau 5 : Classification des critères du choix du fournisseur..... | 63 |
| Tableau 6 : Une grille d'évaluation des préférences..... | 78 |
| Tableau 7 : Tableau représentant les notations adoptées pour les activités de l'entreprise..... | 81 |
| Tableau 8 : Définition des coûts engagés selon les différentes situations de faire ou de faire-faire..... | 92 |
| Tableau 9 : Définition des composantes fixes et variables des coûts..... | 93 |
| Tableau 10 : Résultats obtenus en faisant varier ε (dans le cas d'une fiabilité moyenne des fournisseurs)..... | 140 |
| Tableau 11 : Résultats obtenus en faisant varier ε (dans le cas d'une fiabilité maximale des fournisseurs)..... | 142 |
| Tableau 12 : L'effet des préférences du décideur sur la solution finale | 144 |
| Tableau 13 : Résultats des tests effectués relatifs à la variation de la demande | 148 |
| Tableau 14 : Résultats obtenus suite à la variation des coûts de transport..... | 150 |
| Tableau 15 : Résultats obtenus relatifs à la variation des coûts d'achat..... | 152 |
| Tableau 16 : Résultats obtenus dans le cas où les capacités internes deviennent insuffisantes | 155 |
| Tableau 17 : Effet de la variation de la fiabilité des fournisseurs | 159 |
| Tableau 18 : Composition du projet..... | 228 |

LISTE DES ENCADRES

| | |
|---|-----|
| Encadré 1 : Application de la méthode du goal programming (MILP) | 123 |
| Encadré 2 : Application de la méthode des seuils sur les objectifs (MILP') | 124 |
| Encadré 3 : Problème non linéaire (NLP) obtenu dans le cas où des économies d'échelle sont réalisées sur les coûts de stockage..... | 182 |
| Encadré 4: La procédure de résolution du problème..... | 232 |
| Encadré 5: La procédure de génération du fichier .LP..... | 232 |

Introduction générale

Sous la pression de la globalisation, de la concurrence, de la contraction des temps de cycle et de l'augmentation de la complexité, les entreprises recherchent de nouvelles formes d'organisation. Beaucoup d'entre elles se tournent vers une forme ou l'autre d'externalisation de leurs activités. L'externalisation dans son acception courante, relève du concept de "l'*outsourcing*" (sous-traitance) ou du "*make or buy*" (faire ou faire-faire). Il s'agit pour l'entreprise de sous-traiter des activités liées au processus de production, voire directement des parties de ce processus. L'idée à la base de toute externalisation d'activités est qu'une organisation n'a pas toujours intérêt à tout réaliser elle-même.

Le processus qui revient à décider quelle activité maintenir en interne et quelle activité externaliser en la confiant à un partenaire externe est dit processus de **réseautage** (*networking*). D'Amours [D'Amours, 95] le définit comme étant « un processus stratégique qui consiste à configurer le réseau en sélectionnant ses nœuds et en forgeant ses liens et à l'orchestrer pour remplir sa mission, selon les besoins et les aspirations des inter-acteurs qu'elle vise à satisfaire et selon les opportunités d'affaires ». C'est ce processus de "réseautage" qui distingue l'entreprise étendue que l'on qualifie communément d'entreprise réseau. L'entreprise réseau est essentiellement une philosophie de gestion qui consiste à exploiter les opportunités que peut offrir l'environnement pour mieux atteindre ses objectifs [Lakhal, 98]. Elle crée des partenariats avec des clients "privilégiés" de manière à faciliter la conception de produits qui devancent les besoins du marché et améliore ses processus de production en étroite association avec ses fournisseurs [Lakhal et al., 98]. L'entreprise réseau compare continuellement les performances de ses activités internes à celles des activités externes similaires. Elle est toujours prête à "externaliser" une activité interne jugée non performante et non stratégique ou à "internaliser" une activité externe jugée indispensable à une meilleure réalisation des objectifs stratégiques [Lakhal, 98].

Acheter donne à l'entreprise l'occasion d'utiliser les compétences et les technologies du meilleur spécialiste dans le domaine qui l'intéresse et de profiter de l'avantage des prix. Toutefois, acheter un produit ou un service auprès d'un fournisseur, plutôt qu'utiliser ses propres équipements pour le produire, pourra éventuellement affecter la position de compétitivité de l'entreprise. En effet, à long terme, acheter plutôt que produire pourra rendre la compagnie de plus en plus dépendante du fournisseur. Une décision d'acheter peut aussi affecter les perspectives d'emploi de la main d'œuvre de l'entreprise ce qui affecte ses relations syndicales. Finalement, en achetant un produit pendant une longue période, cela implique que l'entreprise perdra ses potentiels de design et de production du produit appartenant a priori à son domaine de compétence. Les critères cités ne sont pas exhaustifs, demeurent toutefois des questions qui peuvent se poser pour toute situation de choix entre faire ou faire-faire.

Ce phénomène d'externalisation conduit à une organisation industrielle de plus en plus complexe. Il est ainsi important de considérer l'entreprise au-delà de sa structure habituelle et dans un flux qui la dépasse en tenant compte globalement de ses fournisseurs et de ses clients, ce qui nous amène à considérer plutôt la chaîne logistique d'une entreprise que l'entreprise stricto sensu.

La problématique suscite plusieurs questions d'ordre stratégique à savoir : Quelle activité doit-on maintenir en interne, laquelle doit-on externaliser ? Quelle activité doit-on développer pour renforcer le « noyau de compétences » de l'entreprise ? Quelle activité doit-on externaliser et à quels fournisseurs potentiels doit-on la confier ?

Pour répondre à ces questions ou pour y contribuer, nous avons structuré notre mémoire en trois parties. Dans la première partie, qui se compose de trois chapitres, nous nous intéressons au contexte général de la prise de décision ainsi qu'à la démarche que nous proposons pour répondre à la problématique posée. Dans la deuxième partie constituée de deux chapitres nous présentons les approches que nous avons suivies dans la modélisation du problème. Dans la dernière partie, nous présentons des exemples de simulation obtenus avec l'outil d'aide à la décision développé construit à partir du modèle retenu, ainsi qu'une extension de notre modèle dans le cas de la prise en compte des économies d'échelle dans les coûts de transport et de stock.

Le **chapitre 1** présente les travaux formels dans la littérature qui ont été les premiers à considérer la question "faire ou faire-faire ?". Nous avons distingué d'un côté l'approche des gestionnaires basée sur un aperçu global de la *stratégie de l'entreprise* et de ses activités constituant son noyau de compétences [Quinn et Hilmer, 94]. L'objectif est alors, pour l'entreprise, de définir les technologies de base qui sont nécessaires pour son cadre d'affaires, les technologies distinctives qui lui fournissent un avantage compétitif et les technologies externes qui peuvent être confiées à des fournisseurs. D'un autre côté, nous avons analysé les travaux des économistes à travers *la théorie des coûts de transaction* qui s'intéressent également à l'analyse de la décision en réponse à la question « faire ou faire-faire » du point de vue des risques engendrés dans les relations donneurs d'ordres/fournisseurs. Selon la théorie de coûts de transaction [Coase, 37][Williamson, 75], l'existence d'un coût de transaction découle des imperfections du marché ce qui nécessite une intégration totale de la firme afin de maîtriser ces risques. Cette vision classique a évolué avec l'apparition de nouvelles formes de collaborations qui ne ressemblent ni aux formes de marché standard, ni à celle de l'intégration verticale classique. De ce fait, nous pouvons conclure sur l'existence de quatre options stratégiques en réponse à la décision de faire ou faire-faire : faire, ne pas faire, faire-faire et faire ensemble.

Dans le **chapitre 2**, nous exposons le concept de chaîne logistique et nous définissons l'apport des différents niveaux de gestion d'une chaîne logistique au problème de la décision de faire ou faire-faire. Nous montrons que le choix de faire ou faire-faire concerne principalement le niveau de la conception de la chaîne logistique (gestion stratégique de la chaîne) ainsi que le niveau de la gestion tactique de la chaîne (moyen terme).

Ainsi, nous concluons la première partie du mémoire par le **chapitre 3** où nous exposons une démarche à trois phases pour la conception d'une chaîne logistique qui intègre la stratégie de l'entreprise en ce qui concerne le choix des activités stratégiquement externalisables et le choix des fournisseurs potentiels. Notre approche permet d'autre part de faire le lien entre les deux niveaux de décision dans la chaîne logistique (stratégique et tactique) [Bouchriha et al., 02 c]. La démarche proposée est illustrée sur un exemple de chaîne logistique.

Dans le **chapitre 4**, nous effectuons une première modélisation de la décision de faire ou faire-faire, dans le cas de plusieurs produits finis et de plusieurs fournisseurs, avec l'objectif de minimiser le critère coût. En supposant une structure linéaire pour les coûts, nous aboutissons à un programme linéaire mixte. Plusieurs scénarios ont pu être testés avec

LINDO sur un exemple académique [Bouchriha et Ladet, 01]. Nous avons également trouvé un cadre d'application pour notre modèle, en intégrant le critère relatif au respect des délais dans le cas du mécanisme de la négociation d'une commande [Bouchriha et Ladet, 02] [Monteiro et *al.*, 01]. En effet, à l'arrivée d'une nouvelle commande, l'entreprise pourrait être amenée à choisir entre externaliser la surcharge induite par la nouvelle commande (sous-traitance de capacité) ou plutôt prévoir de la main d'œuvre supplémentaire en maintenant la production en interne [Monteiro et *al.*, 02].

Nous considérons dans **le chapitre 5** le fait que la décision de faire ou faire-faire peut concerner également les composants du produit. Nous sommes ainsi amenés à considérer l'ensemble des sous-traitants potentiels qui peuvent être employés à fabriquer les différentes composantes des produits finis. Il s'agit alors de considérer l'ensemble de la chaîne logistique du produit en choisissant l'ensemble des installations en interne ou en externe qui peuvent être utilisées pour la fabrication des composants, ainsi que les quantités de matières correspondantes [Bouchriha et *al.*, 02 a]. L'objectif est d'une part de minimiser le coût total de faire ou faire-faire pour l'entreprise et d'autre part de maximiser le taux d'utilisation des installations de la chaîne. Ce dernier est un critère important pour la conception d'une chaîne logistique car elle garantit une bonne utilisation des ressources disponibles. Dans le calcul du taux d'utilisation de la chaîne, nous prenons en compte la fiabilité des fournisseurs pour les installations en externe, ce qui permet de garantir une certaine flexibilité par rapport aux aléas liés aux approvisionnements externes. Les contraintes à respecter sont relatives aux capacités des fournisseurs externes, aux capacités internes des ateliers, au partage des ressources (humaines, heures machine), à la conservation des flux de matières pour chaque activité, au délai à respecter pour chaque produit, ainsi qu'une marge par rapport à un taux maximum d'utilisation des installations de la chaîne afin de garantir une certaine flexibilité de la chaîne face aux aléas. Dans le cas d'une structure linéaire pour les coûts, nous obtenons un modèle linéaire multi-objectifs que nous avons résolu par la technique du *goal programming* et la méthode de l' " *ϵ constraint*" afin de pouvoir effectuer des tests de scénarios et des analyses sur la chaîne ainsi configurée. C'est ce modèle qui sera retenu par la suite.

Dans **le chapitre 6**, nous décrivons brièvement l'outil d'aide à la décision développé et qui permet l'optimisation de notre modèle. L'outil a été développé sous DELPHI, en utilisant la bibliothèque de fonction EZMod et en faisant appel au solveur CPLEX. Grâce à cet outil, nous avons testé dans le cas d'un exemple de chaîne logistique plusieurs stratégies de faire ou faire-faire afin de déduire des règles de décision pour la conception de la chaîne dans le cas de la variation de certains paramètres (coût d'achat et de transport, demande, fiabilité des fournisseurs, etc.)

L'extension de ce dernier modèle dans le cas de la prise en compte des économies d'échelle dans les coûts de transport fait l'objet du **chapitre 7**. En effet, dans le cas de rabais qui peuvent être offerts de la part des fournisseurs, il est possible de payer une certaine quantité avec un certain prix et une quantité supérieure avec un prix marginal plus bas. Dans ce cas de figure, nous obtenons une fonction des coûts de transport qui a une allure concave. Afin d'éviter une explosion au niveau du nombre de variables dans notre modèle, nous avons proposé un algorithme de recherche de solution par dichotomie [Bouchriha et *al.*, 02 b].

Une fois la chaîne configurée et connaissant les installations en interne et en externe, nous calculons le niveau du stock moyen pour les différentes installations en interne en fonction du flux de matières dans la chaîne ainsi que du délai de livraison moyen, en tenant compte de toutes les chaînes (internes et externes) qui contiennent le produit. Nous pouvons déduire

ainsi le coût des inventaires dans la chaîne, en considérant les économies d'échelle. Ce coût des inventaires sera ré-injecté dans le modèle initialement établi pour la configuration de la chaîne afin de tester si cela influe sur le choix des installations en interne ou en externe, par rapport au choix précédemment établi. Ceci constitue un moyen pour valider la structure de la chaîne en prenant en compte les décisions au niveau de la gestion tactique de la chaîne logistique.

Enfin nous concluons notre mémoire en présentant un bilan final de notre travail et en ouvrant quelques perspectives de recherches.

Partie I : Contexte et problématique

Dans cette première partie, nous souhaitons aborder la décision de faire ou faire-faire selon une démarche «génie industriel», en exposant les recherches qui ont analysé la question du point de vue des sciences humaines et sociales (économie et gestion notamment) et des sciences pour l'ingénieur, afin d'en situer le contexte et la problématique de la recherche.

Chapitre 1 : Contexte général de la décision "faire ou faire-faire"

Faire ou faire-faire est une question que se posent depuis toujours les économistes et les gestionnaires des entreprises ; ce chapitre présente une analyse de la décision de faire ou faire-faire en suivant le point de vue que les uns et les autres ont progressivement développé.

L'exploitation de la sous-traitance est loin d'être un concept nouveau dans la pratique manufacturière [D'Amours, 95]. Les premiers travaux relevés dans la littérature qui ont traité la question de "faire ou faire-faire?" sont issus des disciplines de l'économie et de la gestion.

Nous présenterons tout d'abord une définition générale de la question du choix entre faire ou faire-faire ainsi que les situations possibles qui peuvent entourer cette décision. Nous enchaînerons avec une classification des différents travaux qui analysent la décision de faire ou faire-faire. Nous distinguons deux approches :

- Une approche à partir des coûts dans laquelle nous exposons d'une part, quelques recherches empiriques basées sur l'évaluation des coûts intervenant pour chaque option choisie, "faire" et "faire-faire", et d'autre part des travaux formels qui ont analysé la situation de faire ou faire-faire en se basant sur le coût de transaction.
- Une approche basée sur les travaux des gestionnaires qui s'intéressent à l'analyse stratégique de la décision de faire ou faire-faire.

Nous avançons ensuite, à partir d'une analyse de ces études formelles basées sur les coûts de transaction et de l'analyse stratégique, des hypothèses qui permettent de choisir entre l'option "produire" et l'option "acheter" avant de conclure ce premier chapitre sur les nouvelles formes intermédiaires entre l'achat et l'intégration verticale qui impliquent la définition de nouvelles réponses alternatives à la question du faire ou faire-faire.

1. Définition générale de la décision de faire ou faire-faire

La problématique du faire ou faire-faire consiste pour une entreprise à décider d'acheter ou de sous-traiter en partie ou en totalité un produit ou un service chez un fournisseur/sous-traitant ou d'utiliser ses propres équipements. Beaucoup d'entreprises, et de plus en plus aujourd'hui, se tournent vers une forme d'externalisation (*outsourcing*) de leurs activités. Elles cherchent ainsi à se centrer ou se recentrer sur leur métier de base, à améliorer leur réactivité, à mieux gérer leurs coûts et profiter des compétences externes pour compléter leur offre.

À l'origine de toute externalisation d'activités on trouve l'idée qu'une organisation n'a pas toujours intérêt à tout réaliser elle-même. Il s'agit dès lors d'identifier les tâches qui :

- n'ont pas de valeur ajoutée par rapport aux produits ou services délivrés,
- peuvent être mieux réalisées ou qui sont moins coûteuses à l'extérieur,
- immobilisent des ressources qui pourraient être mieux utilisées par d'autres activités internes.

Cette recherche des tâches à conserver en interne ou à externaliser conduit théoriquement à plusieurs formes de relations interentreprises qui varient depuis l'intégration totale jusqu'à l'achat [Bouchriha, 99]. Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des relations qui peuvent dès lors exister entre une entreprise Y et l'entreprise X pour laquelle elle peut être amenée à

travailler. Cette typologie des relations inter-entreprises est définie selon l'un des premiers travaux dans la littérature [Chaillou, 79] qui a essayé de définir les différents types de relations inter-entreprises. En effet, comme nous allons voir plus loin dans ce chapitre, d'autres travaux plus récents distingueront plus tard d'autres formes de relations tels que les alliances stratégiques [Poulin et al., 94].

| Phases | | | Forme de la relation |
|-----------------|-------------------|-------------|--|
| Choix des idées | Etudes & Méthodes | Réalisation | |
| X | X | X | <i>Intégration</i> |
| X | X | Y | <i>Sous-traitance</i> |
| X | Y | Y | |
| X | Y | X | <i>Travail sous licence ou apparenté</i> |
| X | Y | Y | |
| Y | Y | Y | <i>Achat</i> |

Tableau 1 : Les différentes formes de relations inter-entreprises

Dans le cas d'une **intégration**, tout est réalisé en interne. L'intégration verticale est la réunion de deux stades successifs (ou plus) de fabrication et de distribution sous l'autorité d'un même propriétaire [Milgrom et Roberts, 97].

A l'inverse dans le cas de l'**achat** (fourniture standard) l'entreprise Y établit elle-même le cahier de charges, ce qui veut dire qu'elle conçoit le produit. Si l'entreprise X a besoin du produit conçu par l'entreprise Y, elle l'achètera.

Dans le cas de la **sous-traitance**, la réalisation est toujours confiée à un tiers (Y), alors que la conception est toujours faite par l'entreprise elle-même (X).

Le travail sous licence est caractérisé par le fait que l'entreprise est toujours libre de concevoir le produit, alors que les documents de définition et de méthode, confiés à un tiers pour les exécuter font l'objet d'une licence. Le cas où l'entreprise Y effectue la réalisation et les études, reste valable aussi bien pour la sous-traitance que pour le travail sous licence, et ne peut être interprété que selon les circonstances.

La sous-traitance est ainsi une situation intermédiaire entre l'intégration et l'achat (fourniture) [Capet 89]. C'est un cas particulier de l'**impartition**¹ ou **non-intégration**² **verticale** [Capet et Hoflack 78].

¹ Il y a impartition (outsourcing) quand l'entreprise, placée devant le choix de faire ou faire-faire opte pour le second choix et ainsi délègue à une firme partenaire une partie de son système global d'activité.

² Barreyre [Barreyre 88] y réfère comme étant l'alternative à l'intégration verticale, où la firme choisit délibérément de confier la réalisation de certaines activités à des tiers parties. Elle peut prendre diverses formes dont celle de la sous-traitance.

2. Les différentes situations de la décision "faire ou faire-faire"

Les différentes situations qui peuvent entourer la décision faire ou faire-faire peuvent être regroupées en trois catégories (figure 1) : [Stevens, 85]

- Le cas où un nouveau produit/service serait utilisé pour la première fois et où l'entreprise est amenée à le faire en interne ou à le faire-faire par une tierce partie.
- Le cas d'un produit/service existant ordinairement, acheté par l'entreprise, et qu'il serait plus "intéressant" de réaliser en interne, en totalité (*insourcing*) ou en partie. (figure 1)
- Le cas enfin d'un produit/service existant communément, fabriqué par l'entreprise et qu'il pourrait être plus "intéressant" d'acheter, en totalité (*outsourcing*) ou en partie. C'est le cas par exemple de la sous-traitance de capacité [X 50-300, 87], dans laquelle l'entreprise donneur d'ordres, équipée pour l'exécution d'un produit, a recours à une autre entreprise dans le cas d'une variation de la demande ou d'une capacité en interne devenue insuffisante, soit :
 - occasionnellement, en raison d'une pointe momentanée dans la production ou d'un incident technique (sous-traitance conjoncturelle) ;
 - de façon plus ou moins habituelle, de manière à conserver une capacité propre dans une fabrication déterminée en utilisant des capacités de production disponibles à l'extérieur (sous-traitance structurelle).

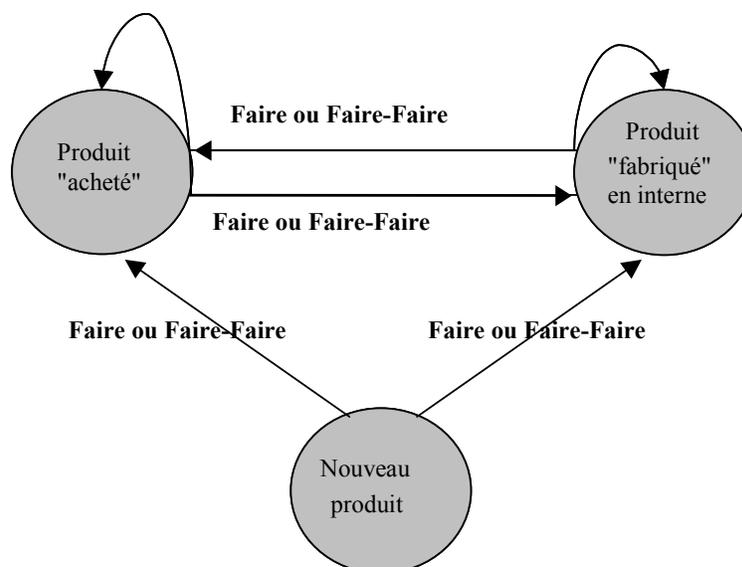


Figure 1 : Classification des différentes situations de faire ou faire-faire (adaptée de [Laios et Moschuris, 99])

3. Les différentes approches analysant la décision "faire ou faire-faire"

3.1. Présentation générale

Nous pouvons synthétiser les approches relevées dans la littérature selon deux types ou catégories :

- Les approches dites "opérationnelles" (*operational / cost based approach* selon [Ford et al., 93]) basées sur les coûts : L'option choisie est celle qui réalise des économies les coûts et présente un avantage opérationnel (main d'œuvre spécialisée, économie d'échelle, standardisation...). Le principal inconvénient de cette approche est la prise en compte des coûts à court terme du fait de l'absence d'interaction avec la stratégie de l'entreprise. Dans cette catégorie, nous intégrons également un ensemble de travaux, très répandus dans la littérature, qui relèvent de la théorie des coûts de transaction. Cette branche de la théorie de la firme s'intéresse à l'analyse des éléments intervenant dans le coût de transaction et qui mettent en évidence les risques encourus dans une relation client-fournisseur. Toutefois, les recherches rencontrées sont formelles [Ngwenyama et Bryson, 99]. En effet, ce coût de transaction est difficile à évaluer et à quantifier car il dépend du degré de confiance réciproque des partenaires dans la relation.
- Les approches basées sur un aperçu global de la stratégie de l'entreprise et de ses activités constituant son noyau de compétences³ (*Policy approach* selon [Ford et Farmer, 86]). L'objectif étant de définir pour l'entreprise ses technologies de base qui sont nécessaires pour son cadre d'affaires, ses technologies distinctives qui lui fournissent un avantage compétitif, et ses technologies externes qui peuvent être confiées à des fournisseurs.

On remarque qu'aucune de ces approches ne permet de faire un lien entre la stratégie de la firme et l'économie des coûts dans la décision à prendre. Padillo et Meyersdorf [Padillo et Meyersdorf, 96] proposent un ensemble de critères stratégiques et opérationnels (liés aux coûts) intervenant dans la décision de faire ou faire-faire (tableau 2) sans présenter le lien entre les différents facteurs ni comment cela influence la stratégie globale du faire ou faire-faire.

³ Le noyau de compétences représente des talents et des connaissances (et non des produits ou des fonctions), capables d'adaptation et d'évolution, concernant un nombre limité d'activités dans la chaîne de valeur. Il constitue un atout, une référence qui fait que l'entreprise est reconnue par ses clients.

| Critère | Attribut |
|--|--|
| - Maximiser sa performance compétitive stratégique | - Caractéristiques du produit - Qualité et fiabilité - Image de marque - Livraison - Flexibilité |
| - Maximiser sa performance en management | - Relations internes - Relations externes - Planification et coordination des transactions - Flexibilité de la transaction |
| - Minimiser les risques | - Risque d'appropriation - Risque de diffusion de la technologie - Risque de dégradation en fin de vie du produit - Risque d'interruption de la livraison |
| - Maximiser sa performance financière | - Coût - Investissement - Retour sur l'investissement (ROI) |

Tableau 2 : Les critères "stratégiques" et "opérationnels" intervenant dans la décision du faire ou faire-faire [Padillo et Meyersdorf, 96]

D'un autre côté, S. Lakhali [Lakhali, 98] propose une analyse séquentielle qui consiste à commencer d'abord par une analyse technique du processus, puis stratégique de l'entreprise, avant d'enchaîner sur une analyse basée sur les coûts s'appliquant aux activités techniquement et stratégiquement externalisables (figure 2).

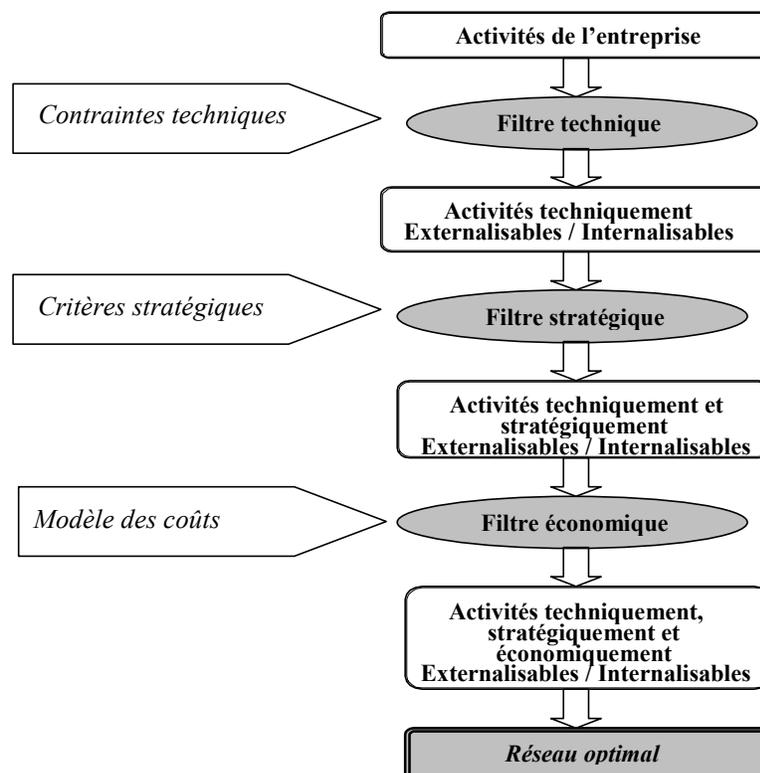


Figure 2 : modèle de décision pour l'externalisation/internalisation d'une activité

Nous détaillons ci dessous chacune des deux approches citées.

3.2. L'approche basée sur les coûts

La plupart des approches basées sur les coûts sont formelles et se ramènent à une analyse des coûts de transaction (cf. paragraphe 3.2.2). Nous commençons (paragraphe 3.2.1) en présentant quelques travaux empiriques dont l'objectif est de définir les critères et les éléments du coût influençant la prise de décision de faire ou faire-faire.

3.2.1. Quelques études empiriques

Parmi les études empiriques, nous pouvons citer les travaux de Laios et Moshuris [Laios et Moshuris, 97] et Perrotin et Loubere [Perrotin et Loubere, 96]. Ces travaux précisent les éléments du coût intervenant dans chacune des options "faire" ou "faire-faire".

Pour Perrotin et Loubere [Perrotin et Loubere, 96], il s'agit de distinguer des critères de rentabilité, et des critères liés au coût.

a. **Critère de rentabilité.** Deux cas peuvent se présenter :

- Dans le cas d'un nouvel investissement. Il faudrait tenir compte de :
 - l'étude commerciale (espérance de vente),
 - le mode de financement de l'investissement,
 - le taux d'actualisation et du coût de production,
- Dans le cas d'une capacité de production non disponible. Il faudrait considérer :
 - le coût de sous-traitance
 - le coût marginal de production c'est-à-dire :
 - le coût réel des heures supplémentaires.
 - le coût complet des machines (affectation des amortissements et des provisions d'entretien aux heures réellement consommées)
 - les coûts variables généraux (éclairage, énergie...)

Pour chaque situation, les auteurs proposent de comparer la rentabilité de la production par rapport à la rentabilité cible. Ainsi deux cas se présentent :

- si la rentabilité de la production < rentabilité cible : Sous-traiter
- si la rentabilité de la production > rentabilité cible : Produire

b. **Critère coût.** Les auteurs proposent d'analyser :

- le prix du sous-traitant
- le coût de production (matière première + valeur ajoutée)
- le prix de cession industriel (coût de production + frais généraux de production + frais de siège).

Pour cette analyse, trois cas peuvent se présenter :

- si le prix du sous-traitant < coût de production : Sous-traiter
- si le prix du sous-traitant > prix de cession industriel : Produire.
- si coût de production < prix du sous-traitant < prix de cession industriel : Il faudrait faire une analyse plus fine de la structure des frais généraux.

Dans la grille présentée dans [Laios et Moshuris, 97], et dans laquelle les auteurs présentent l'ensemble des critères qualitatifs, techniques et économiques qui interviennent dans chacune

des options "faire" ou "faire-faire" (annexe 1), nous avons retenu, les éléments du coût intervenant dans chaque option.

Pour l'option "faire", les auteurs distinguent :

- le coût de transformation
- le coût d'installation
- le coût d'achat de matériel indispensable
- le coût de l'investissement requis
- le coût de recherche et développement
- le coût de la main d'œuvre
- le coût de contrôle qualité
- le coût d'inventaire
- le coût de maintenance des équipements

Pour l'option de "faire-faire" les auteurs distinguent :

- le prix d'achat
- le coût de transport (dont frets, tarifs des douanes, assurances)
- le coût de réception
- le coût de contrôle qualité
- les échéances de paiement

Ces éléments du coût intervenant dans la décision de faire ou faire-faire seront exploités ultérieurement (chapitres 4 et 5) dans la modélisation des coûts intervenant dans chaque option.

3.2.2. Les études formelles : la théorie des coûts de transaction (point de vue des économistes)

Depuis des années les économistes étudient la problématique de la sous-traitance en s'appuyant entre autres sur la théorie des jeux (dilemme du prisonnier), la théorie de l'agence [Baudry, 95], et la théorie des coûts de transaction [Williamson, 94].

Le paradigme transactionnel est à l'origine de plusieurs travaux sur les décisions d'impartition des entreprises [Barreyre, 88], sur le choix de faire ou faire-faire et débouche souvent sur la question théorique de la frontière traditionnelle de l'entreprise appréhendée comme entité autonome [Darréon et Faiçal, 93]. En effet, dans le modèle transactionnel, le marché et l'entreprise sont posés comme deux moyens alternatifs permettant d'accomplir un ensemble lié de transactions, et la problématique des choix entre l'intégration (faire soi-même) et l'approvisionnement (acheter sur le marché) se ramène à une comparaison de l'efficacité relative de ces deux modes d'organisation (à l'égard des transactions envisagées) fondée sur la notion de coût de transaction.

L'existence de coût de transaction découle des imperfections du marché, d'où un meilleur contrôle de l'entreprise nécessite une intégration totale de la firme. La théorie des coûts de transaction dont les origines remontent à Coase [Coase, 37] et qui a été reprise par Williamson [Williamson 75,85] proposant une analyse des risques engendrés par le recours aux mécanismes du marché.

Williamson [Williamson, 81] définit une transaction comme un transfert de produits ou de service entre deux entités techniquement séparées. Le coût de transaction représente le prix du

"face à face" entre deux agents économiques. Il peut intervenir dans toutes les étapes de la transaction et se divise principalement en deux catégories :

- Les coûts ex-ante correspondant aux phases de recherche d'information, d'établissement du cahier des charges, de recherche de futurs partenaires, de dépouillement des offres et enfin des coûts relatifs à l'élaboration du contrat avec le fournisseur choisi.
- Les coûts ex-post interviennent après la signature du contrat. On y trouve en particulier les coûts inhérents à l'application des clauses contractuelles (renégociation, règlement des litiges, changement de fournisseurs en cas de faible performance...). Ces coûts sont fortement sensibles à l'incertitude sur les états futurs de la relation au moment de l'élaboration du contrat, ainsi qu'à la fréquence des prestations.

Selon Williamson [Williamson, 75], en situation d'information imparfaite et d'incertitude, il est difficile pour les acheteurs de produits et de services d'évaluer le comportement du fournisseur. Ils subissent les risques de négociation opportunistes. De plus une grande spécificité des actifs accentue ce risque [Walker et Weber, 84]. Le coût de transaction permet la prise en compte de ces aspects. Il varie en fonction des caractéristiques de la transaction (incertitudes, fréquence, spécificité des actifs, opportunisme...) [Stucky et White 93].

Nous passons en revue les éléments intervenant dans le coût de transaction tout en analysant leur impact sur le choix d'externalisation [Anderson et Weitz, 86] : (figure 3)

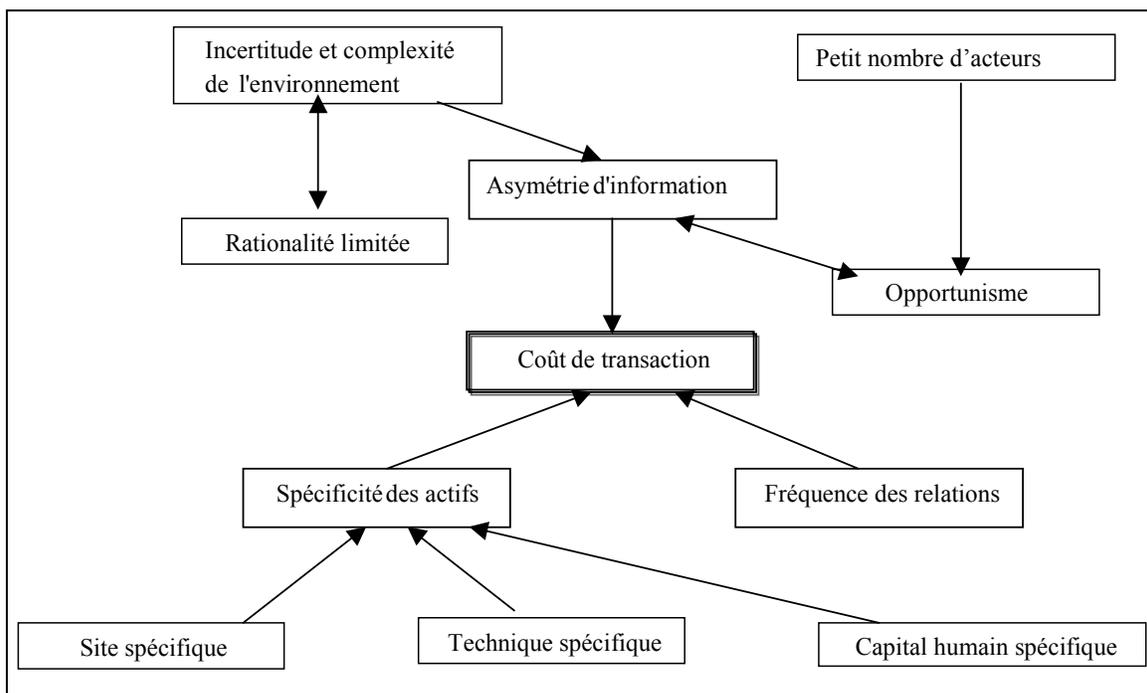


Figure 3 : les éléments intervenant dans le coût de transaction adaptée de [Calvi, 98]

- Nombre d'acteurs :

Si le nombre de fournisseurs est limité ou faible, ils ne peuvent pas fournir des produits ou services innovants [Quinn et Hilmer, 94]. En effet, vu le manque de concurrence, cela entraîne un risque d'opportunisme de la part du fournisseur. Ainsi, et même s'il ne s'agit pas

d'un élément de son noyau de compétences, la firme bénéficiera en produisant en interne beaucoup plus qu'en essayant de ramener le fournisseur au niveau de performance souhaité.

Selon Stucky et White [Stucky et White, 93], un faible nombre de vendeurs entraîne l'échec du marché à cause d'un très grand risque d'opportunisme du vendeur. La figure 4 illustre la variation du risque en fonction du nombre d'acteurs (fournisseurs et clients).

| | | | |
|-------------------------------|--------------------------|---|-----------------------|
| <i>Nombre de fournisseurs</i> | Un | Haut risque d'exploitation (intégration favorable) | Le fournisseur domine |
| | Peu | | |
| Beaucoup | | Le client domine | Personne ne domine |
| | Un | Peu | Beaucoup |
| | <i>Nombre de clients</i> | | |

Figure 4 : le risque du marché en fonction du nombre d'acteur

- Les incertitudes :

Elles rendent difficile l'élaboration des contrats qui peuvent guider les firmes quand les circonstances changent (exemple : le temps, la nature, l'équilibre de l'offre et de la demande) [Stucky et White, 93]. Ceci est accentué par le fait que l'être humain a des capacités limitées pour résoudre les problèmes complexes (rationalité limitée). Selon Williamson la rationalité limitée des agents entraîne l'échec du marché. Ainsi, il y aura moins de risque s'il y a intégration.

Il y a deux types d'incertitudes : des incertitudes en volume, et des incertitudes en technologie. Le choix à exprimer dépend du degré de compétition du marché [Walker, 88].

- L'asymétrie de l'information :

Dans une relation acheteur vendeur l'asymétrie d'information accentue ces incertitudes [Quinn et Hilmer, 94]. En effet, le fournisseur peut cacher ses problèmes internes (tel que grève du personnel, disponibilité de la matière première...) jusqu'au moment où il est trop tard pour le client pour chercher ailleurs.

- Actif spécifique :

La spécificité du capital crée des imperfections dans le marché. Un recours à des mécanismes de contrôle est dès lors préférable à une confiance en l'efficacité du marché [Quinn et Hilmer, 94]. Il y a trois types de capital spécifique [Stucky et White 93] :

- site spécifique : se situer près du client pour minimiser le coût de transport.
- technique spécifique : investir sur des équipements spécifiques à la transaction qui peuvent ne pas avoir d'autres utilisations.
- capital humain spécifique : développer des formations et des compétences humaines spécifiques au client.

- Fréquence des transactions :

Si la transaction est rare, l'intégration n'est pas nécessaire car le coût relatif à la transaction ne devra pas être élevé [Stucky et White, 93].

Ainsi, nous pouvons conclure que la théorie des coûts de transaction permet l'analyse des relations client-fournisseur et met en évidence les risques du marché. Il y a deux types de risques :

- Risque d'aléa moral (risque de confidentialité). Ceci apparaît à chaque fois que le partenaire redéploie dans d'autres relations des éléments de l'échange et ceci sans l'accord du partenaire initial. Ce risque de diffusion d'information stratégique est susceptible de porter atteinte à l'avantage concurrentiel de la firme.
- La sélection adverse. Celle-ci est relative à la maîtrise des coûts relatifs à l'achat : Comment s'assurer que le fournisseur ne cherche pas à profiter de la situation en exagérant ses prix par rapport à ses coûts réels ? Dans le cas d'une fourniture multiple (plusieurs fournisseurs en concurrence), ce risque est moins important.

Des mécanismes d'incitation doivent être mis en œuvre pour maîtriser ces risques. Selon cette théorie une maîtrise du risque nécessite une intégration maximale des activités de l'entreprise (intégration verticale).

3.3. L'approche basée sur la stratégie de l'entreprise (point de vue des gestionnaires)

D'un autre côté, l'entreprise pourrait être impliquée à faire en interne pour des raisons émanant de sa stratégie⁴. Plusieurs travaux ont eu pour objectif d'évaluer les implications stratégiques de la décision de faire ou faire-faire ainsi que son impact sur le long terme. Les critères stratégiques concernent les missions de l'entreprise, ses facteurs clés de succès ainsi que son noyau de compétences ou encore "*core*" de compétences (cf. note 3) [King, 94].

Welch [Welch et *al.*, 92] propose un modèle stratégique pour la décision de faire ou faire-faire (SSM : *Strategic Sourcing Model*). D'une manière générale, trois facteurs peuvent influencer la décision de l'entreprise en ce qui concerne l'attribution à une activité du qualificatif stratégiquement externalisable/internalisable :

1. Le processus technologique et son rôle dans la compétitivité : dans une décision de faire ou faire – faire, les dirigeants doivent se demander s'il s'agit d'une activité déterminante pour la position concurrentielle de la firme à court et à long terme
2. La maturité du processus technologique : si la technologie est sous-développée ou indisponible dans une industrie particulière, d'autres industries devraient être balayées pour déterminer la maturité relative de la technologie dans un sens global. Il ne faut pas investir dans la recherche et le développement pour réinventer quelque chose qui existe déjà et qui est bien développée.

⁴ La stratégie est la détermination des buts et objectifs à long terme de l'entreprise, l'adaptation des politiques déterminées et l'allocation des ressources pour atteindre le mieux possible ces buts [Sicard, 97]

3. La position du processus technologique des concurrents : une évaluation de la position de la firme par rapport à ses concurrents est très importante pour le choix à faire. Pour cela, nous pouvons recourir à une analyse benchmarking.

L'interaction entre ces trois facteurs donne lieu au modèle SSM illustré par la figure 5. Ce modèle a été utilisé par plusieurs auteurs dans la littérature : décision de faire ou faire-faire pour les systèmes d'information [Le Blanc, 93], décision de faire ou faire-faire pour les activités de production [Lakhal, 98], décision de faire ou faire-faire en maintenance [Kaffel et al., 99].

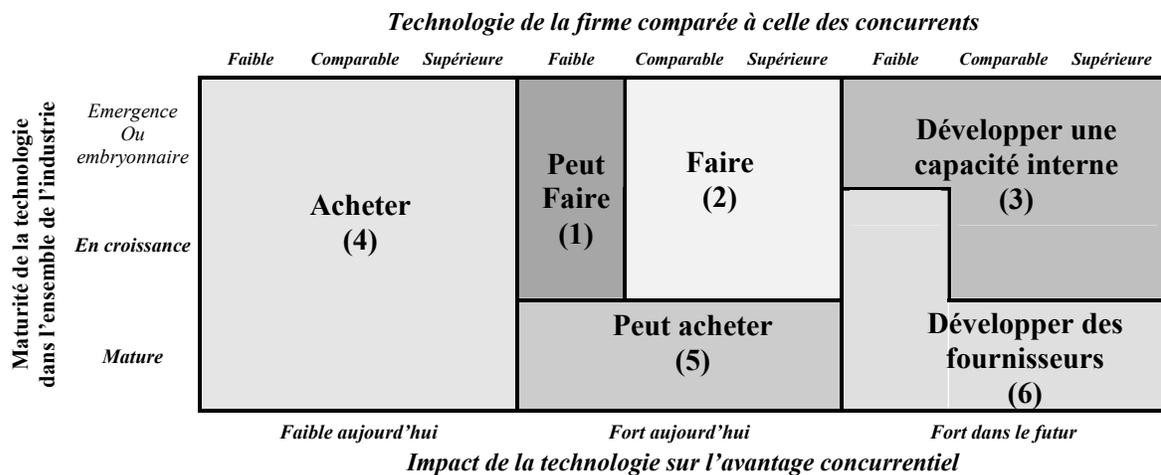


Figure 5 : Le modèle stratégique de faire ou faire-faire [Le Blanc, 93]

Une première analyse de cette grille permet de tirer les résultats suivants :

Cas (1) et (2) : En ce qui concerne les technologies qui rapportent des avantages compétitifs mais qui ne sont pas encore matures ni aisément disponibles il est préférable de les utiliser et de les développer en interne, ceci empêche les concurrents de le faire et d'en bénéficier. Ces technologies rejoignent et incarnent dès lors le noyau de compétences de la firme. Une bonne stratégie est celle de ne pas faire-faire ces systèmes critiques car la capacité de les concevoir et de les construire constitue le noyau de leur avantage concurrentiel.

Cas (3) : Les technologies qui promettent des avantages futurs mais qui sont encore dans un état "embryonnaire" et non disponible ailleurs doivent être prises en considération en mettant l'accent sur la recherche et développement.

Cas (4) : Dans le cas où l'avantage concurrentiel d'une technologie serait bas aujourd'hui, acheter est une décision prudente. Ceci permet à la firme de s'organiser en concentrant ses ressources sur des activités ayant une forte valeur ajoutée. De plus, dans certains cas, l'achat permet de bénéficier de l'économie d'échelle à travers des fournisseurs spécialisés.

Cas (5) : Les technologies matures qui rapportent des avantages concurrentiels significatifs sont typiquement celles qui ont été développés dans d'autres industries. L'achat est une décision prudente.

Cas (6) : Les technologies qui devront être importantes dans le futur doivent être considérées comme des candidates au rachat sur le marché, avec l'objectif supplémentaire de développer

des vendeurs. Même si la firme développe des capacités internes, il y aura inévitablement des fournisseurs dans d'autres industries où la technologie est mature.

D'un autre côté Poulin [Poulin et *al.*, 94] propose une autre méthode pour l'évaluation d'une activité "stratégiquement" externalisable/internalisable. Cette méthode s'insère dans le cas d'une démarche globale d'auto-diagnostic de l'entreprise. Les auteurs proposent une grille d'analyse pour la décision stratégique de faire ou faire-faire une activité.

La synthèse de l'évaluation de l'activité s'effectue en mesurant **l'importance** de l'activité dans la création de l'avantage concurrentiel de l'entreprise, **sa performance** et **son potentiel d'amélioration** grâce à un système de pastille. La compétitivité de l'entreprise dépend en général de l'efficacité de ses activités

L'importance : l'importance des activités principales dans la stratégie de l'entreprise est déterminée en évaluant leur pertinence pour l'élaboration de l'avantage concurrentiel de la firme.

La performance : évalue la capacité de l'activité à atteindre ses objectifs à moindre coût.

Le potentiel : mesure la capacité de l'activité à devenir plus compétitive, voire à augmenter sa contribution au développement de l'avantage concurrentiel de l'entreprise.

L'évaluation se fait grâce à un système de pastilles. Chaque pastille constitue une échelle de mesure. Le niveau le plus faible est situé à gauche et indiqué par (-), le niveau le plus fort à droite (+). Le niveau atteint pour chaque critère (importance, performance, potentiel) est indiqué par une encoche dans la pastille (figure 6).

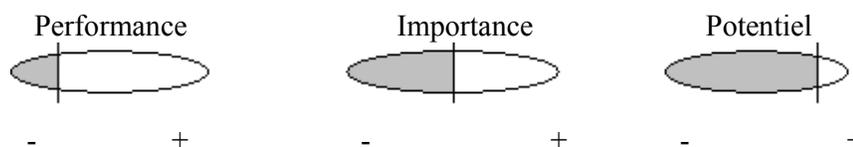


Figure 6 : Une évaluation des activités basées sur un système de pastille [Poulin et *al.*, 94]

L'analyse des résultats donnés par les pastilles constitue le support à la décision stratégique du modèle proposé par les auteurs. Les actions stratégiques pouvant être envisagées sont présentées dans le tableau suivant.

| Evaluation des activités | | | Actions stratégiques potentielles |
|--------------------------|-------------|-----------|---|
| Importance | Performance | Potentiel | |
| - | - | - | <ul style="list-style-type: none"> • Ne plus faire l'activité |
| - | - | + | <ul style="list-style-type: none"> • Ne plus faire l'activité • Sous-traiter/impartir l'activité. • Faire l'activité avec un partenaire pour lequel l'activité est importante. |
| - | + | - | <ul style="list-style-type: none"> • Même solution que --+ • Permettre que cette activité soit réalisable pour le compte de d'autres nœuds externes. |
| - | + | + | <ul style="list-style-type: none"> • Même solution que -+- • Externaliser les nœuds qui réalisent l'activité (créer une filiale) |
| + | - | - | <ul style="list-style-type: none"> • Sous-traiter/impartir l'activité. • Procéder à une réingénierie de l'activité considérant la réaffectation à d'autres nœuds. • Fragmenter l'activité en plusieurs sous-activités et optimiser l'affectation de ces sous activités à des nœuds internes ou externes. |
| + | - | + | <ul style="list-style-type: none"> • Même solution que +-- • Travailler à améliorer la performance de l'activité. • Améliorer les nœuds responsables de l'activité avec l'objectif qu'ainsi ils améliorent leur performance. |
| + | + | - | <ul style="list-style-type: none"> • Maintenir et surveiller l'activité. |
| + | + | + | <ul style="list-style-type: none"> • Porter une attention stratégique constante à cette activité |

Tableau 3 : Un modèle stratégique d'aide à la décision pour le "réseautage" des activités [Poulin et al., 94]

3.4. Les hypothèses qui découlent de cette analyse formelle

Si nous considérons les travaux de Williamson et Coase et en prenant en compte l'analyse stratégique de l'entreprise, nous pouvons conclure que :

- Si le marché est totalement efficace, la firme fera tout à l'extérieur à l'exception des activités qui correspondent à son noyau de compétences. Il faudra développer le noyau de compétences pour faire barrage aux concurrents.
- L'*outsourcing* ou encore l'externalisation entraîne des coûts de transaction qui peuvent dépasser le coût de faire en interne.
- La clé stratégique pour faire ou faire-faire est de se demander si la firme peut entretenir un avantage concurrentiel en effectuant une activité en interne. Souvent, parce qu'il s'agit d'une activité importante pour la firme, il faudra la faire en interne, alors qu'en examinant la situation avec une étude benchmarking, on peut se rendre compte que ses propres capacités sont insignifiantes devant celles du «*best in world*» fournisseur. Cependant une certaine vulnérabilité (nombre de fournisseurs, manque d'informations, spécificité du capital) pourra être observée, en raison des risques qui peuvent être induits par le marché. Ce risque est analysé par la théorie des coûts de transaction.

À partir de l'analyse effectuée à travers la théorie des coûts de transaction, et à partir de l'analyse stratégique de l'entreprise, nous pouvons émettre un certain nombre d'hypothèses que nous jugeons importantes, et que nous pourrions retenir à la suite de l'analyse stratégique

et économique de la décision de faire ou faire-faire. Ces hypothèses ont été confirmées par certaines recherches, basées sur des enquêtes ou des études de cas, que nous citons ci-dessous:

H1 : *«Produire et maintenir en interne les activités qui correspondent au noyau de compétences de l'entreprise et s'approvisionner à l'extérieur pour les autres».*

La notion de "core" de compétence est très importante pour la décision stratégique de faire ou faire-faire. Dans le choix d' "acheter" la capacité de faire en interne dans le futur est perdue. Ainsi, certains auteurs mettent en gardent contre les dangers de l'externalisation [King, 94]. Choisir de "ne pas faire " en interne entraîne une perte d'expertise et de connaissances qui peuvent jouer ensuite sur le fait de faire en interne.

H2 : *«Dans un environnement peu compétitif, Les incertitudes en volume favorisent le choix de faire en interne plutôt qu' "acheter"»* [Anderson et Schmittlein, 84] [Walker et Weber, 84][Levy, 85].

Les incertitudes en volume sont dues à une fluctuation de la demande et à la confiance liée à son estimation. Si l'incertitude en volume est importante, l'entreprise pourra subir des ruptures de stock ou encore des niveaux de stocks élevés en raison de coût de production additionnels ou encore d'un excès en capacités auquel devrait faire face ses fournisseurs. Ceci entraîne des mécanismes de renégociation entre l'entreprise et ses fournisseurs ce qui implique une augmentation des coûts de transaction.

H3 : *«Dans un environnement peu compétitif, les incertitudes en technologie entraînent une croissance de la probabilité de "produire" plutôt qu' "acheter"»* [Walker et Weber, 84]

L'incertitude est définie également en terme de changement des spécifications. Si le design du produit change constamment l'entreprise est amenée à re-contacter ses fournisseurs. Ceci pourrait être efficace dans le cas où le marché serait compétitif, et l'entreprise éviterait les complications transactionnelles dues à l'opportunisme. Cependant comme la fréquence de changements techniques ne cesse d'augmenter, le coût administratif de gérer l'interface entre le bureau d'étude en interne, le service achat, et les fournisseurs externes devient plus important que le coût administratif engendré par la coordination entre le bureau d'étude en interne et le service de production. Cette hypothèse est valide dans le cas où l'entreprise possède les technologies spécifiques en interne pour la réalisation du produit.

H4 : *«La compétitivité du marché favorise le choix d' "acheter" plutôt que "produire"»* [Walker et Weber, 84]

Plus la relation entre l'entreprise et ses fournisseurs met en jeu des actifs non spécifiques pouvant se traduire par un nombre de fournisseur potentiel important, plus les fournisseurs sont capables d'atteindre des économies d'échelle avec leurs clients en proposant des prix plus compétitifs.

D'un autre coté, La compétition des fournisseurs diminue le potentiel de négociation opportuniste ce qui entraîne une diminution des coûts de transaction favorisant ainsi l'option d' "acheter".

H5 : *« L'expertise que pourrait avoir l'entreprise à produire un composant favorise le choix de faire en interne »* [Walker et Weber, 84]

Les connaissances acquises par l'entreprise en effectuant un produit en interne défavorisent l'avantage du coût de production des fournisseurs par rapport à celui de l'entreprise. Bien que les économies d'échelle réalisées par les fournisseurs externes, dans un marché compétitif, soient plus importantes que celles réalisées par l'entreprise, cet avantage est minime dans le cas de transactions où l'entreprise a gagné de l'expertise en produisant en interne.

H6 : « *L'expertise que pourrait avoir l'entreprise à produire un composant augmente la probabilité d' "acheter" » [Walker et Weber, 84]*

En acquérant de l'expertise en effectuant un produit en interne, l'entreprise dispose de suffisamment d'information sur la production du produit, ce qui décourage les fournisseurs à engager des négociations opportunistes. Ceci entraîne une baisse des coûts de transaction et favorise ainsi la décision d' "acheter".

H7 : « *Une spécificité des actifs favorise le choix de faire en interne » [John et Weitz, 88] [Walker, 88]*

Dans le cas où le fournisseur investirait dans des actifs spécifiques à la transaction, cela augmente le coût de changement de fournisseur en cas de faible performance ou d'échec d'où une augmentation des coûts de transaction.

H8 : « *La spécificité et la complexité du produit favorisent la probabilité de le faire en interne » [Masten, 84]*

Cette hypothèse a été vérifiée grâce à une étude portant sur un cas du secteur de l'aérospatiale [Masten, 84]. L'exemple des cartes à circuit imprimé rigide exige des investissements spécifiques en terme d'expertise et d'outillage, ce qui suggère l'inexistence de standards facilement disponible (ni en terme de produit alternatif, ni d'actif non spécifique). Dans ce cas, l'entreprise a vérifié que le marché ne contenait pas des fournisseurs à même de satisfaire ses besoins et a préféré supporter les coûts du développement en interne, plutôt que de recourir à la sous-traitance compte tenu des risques.

4. Les nouvelles formes d'organisation

4.1. Le besoin de nouvelles formes d'organisation

Jusqu'à présent, nous avons vu qu'en discutant la décision de faire ou faire-faire et les coûts de transaction, les seules options possibles consistent à choisir entre l'option de faire en interne (intégration verticale) ou acheter sur le marché. Dans le cas où l'entreprise resterait maître de la conception, on parlera de sous-traitance, sinon, il s'agit d'une fourniture standard. Un équilibre entre risque et incitation pourrait être obtenu à travers l'instauration d'un mécanisme de contrôle adéquat des transactions (figure 7).

| | | | | |
|---------------------------------|------|---|---|---|
| <i>L'avantage concurrentiel</i> | haut | Contrôle stratégique (produire en interne) | | |
| | | | Contrôle modéré (arrangements contractuels spéciaux) | |
| | bas | | | Contrôle bas (acheter à l'extérieur) |
| | | Haut | | bas |

Le degré de vulnérabilité

Figure 7 : le degré du contrôle en fonction de l'avantage concurrentiel et du degré de vulnérabilité stratégique [Quinn et Hilmer, 94]

Le contrôle est obtenu en acquérant les produits et services à travers des mécanismes qui se situent entre l'achat et l'intégration (figure 7). Ces méthodes sont appelées des mécanismes de quasi-intégration. Ceci inclut les contrats à long terme, les *joint-ventures* [Stucky et White, 93][Harrigan, 88], les alliances stratégiques [Dussauge et Garette, 91], les licences [Chaillou, 79], les accords de franchises [Stucky et White, 93], etc. Ces formes intermédiaires de relations impliquent des coûts de capitaux plus bas, et offrent une meilleure flexibilité que l'intégration verticale. Plusieurs formes de relations sont donc observées en fonction du degré de contrôle souhaité de la relation (figure 8).

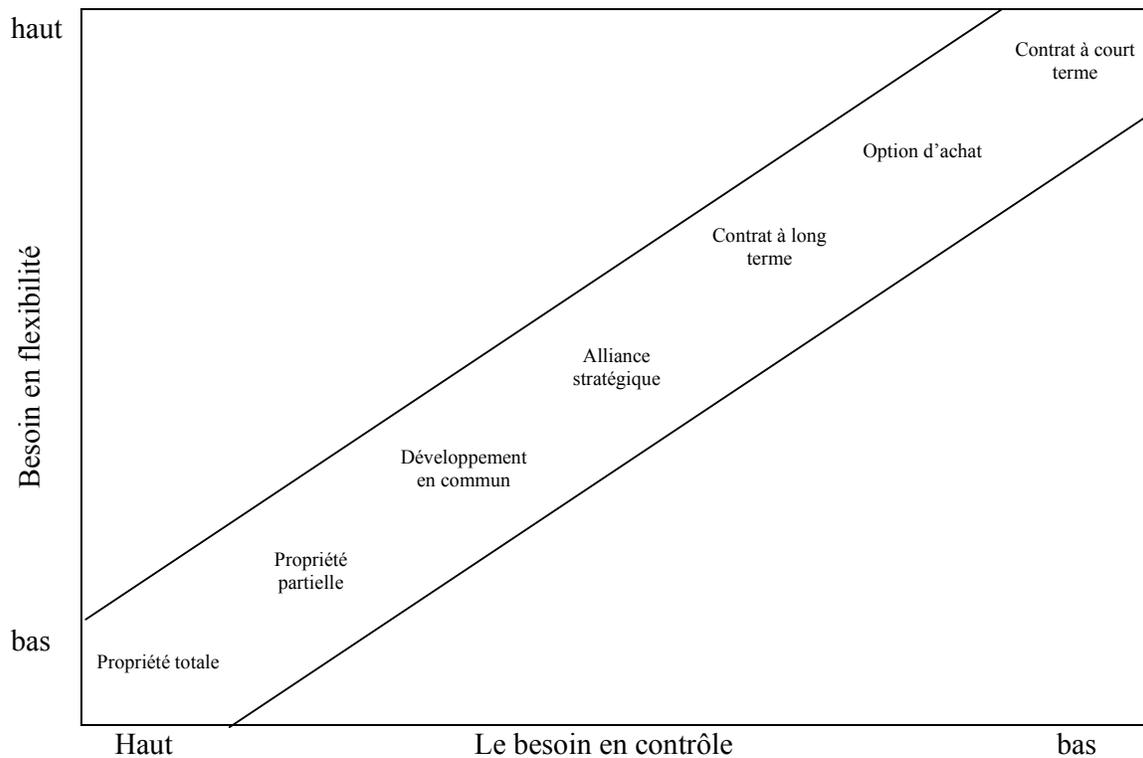


Figure 8 : Les formes de collaboration entre marché et intégration [Quinn et Hilmer, 94]

Ainsi à la suite des premiers travaux de Coase et Williamson, plusieurs auteurs insistent sur l'existence de rapports contractuels qui vont au-delà des transactions normales du marché sans aller toutefois à l'intégration verticale [Malhoney, 92].

Du fait de la complexité croissante, du développement des nouvelles technologies de communication, d'une grande spécialisation et de nouvelles capacités techniques, les fournisseurs externes peuvent réussir les activités à des coûts inférieures à ceux engendrés par les firmes totalement intégrées. Stucky et White [Stucky et White, 93] postulent qu'il ne faut pas promouvoir l'intégration verticale à moins que cela soit absolument nécessaire.

4.2. Le concept de l'entreprise réseau

La vision classique qui considère que le contrôle de l'entreprise doit nécessairement s'accompagner d'une intégration maximale des activités à l'interne, a cédé la place à une autre vision qui encourage plutôt l'entreprise à mettre ses activités en compétition avec des activités extérieures concurrentes et à ne pas hésiter à externaliser celles qui s'avèrent non compétitives. C'est ce processus de "réseautage" qui distingue l'entreprise étendue que l'on qualifie communément de l'entreprise réseau [Poulin et *al.*, 94] [Hammami et *al.*, 01]. L'entreprise réseau est une nouvelle forme d'organisation entre marché et hiérarchie [Powell, 90].

Selon Poulin [Poulin et *al.*, 94] l'**entreprise réseau** est le résultat d'une entreprise qui se concentre sur quelques activités qu'elle maîtrise mieux que quiconque et confie le reste de ses activités à d'autres organisations, capable de les réaliser à moindre coût.

Le processus qui revient à décider quelle activité maintenir en interne, et quelle activité externaliser en le confiant à un partenaire externe est le processus de **réseautage** (*networking*). D'Amours [D'Amours, 95] le définit comme étant « un processus stratégique qui consiste à configurer le réseau en sélectionnant ses nœuds et en forgeant ses liens et à l'orchestrer pour remplir sa mission, selon les besoins et les aspirations des inter-acteurs qu'elle vise à satisfaire et selon les opportunités d'affaire ».

4.3. Vers une nouvelle considération de la décision "faire ou faire-faire"

Les entreprises œuvrent dans le cadre de frontières floues et s'engagent dans des formes de collaboration qui ne ressemblent ni aux formes de marché standard, ni à celles de l'intégration verticale classique. De ce fait, nous pouvons conclure sur l'existence de quatre options stratégiques en réponse à la décision de faire ou faire-faire [Poulin et *al.*, 94] (cf. figure 9) :

- L'option de **faire**, l'entreprise mènera à bien la totalité d'un projet ou d'une activité en utilisant uniquement ses propres ressources.
- L'option de **ne pas faire** signifie qu'elle renonce à un projet en particulier, qu'elle abandonne la réalisation d'une activité donnée en établissant des liens de fourniture qui varient de la fourniture standard jusqu'à la fourniture spécialisée.
- L'option de **faire-faire** se résume essentiellement à concéder tout ou une partie des activités de l'entreprise tout en restant maître de la conception. Il s'agit d'un lien de sous-traitance qui repose en somme sur une relation directe entre donneur d'ordres et

fournisseur, le premier détenant le contrôle de la relation, le second veillant au respect des normes établis. Le donneur d'ordres étant le maître de la conception du produit.

- Enfin l'option de **faire ensemble** mise sur les accords de coopération entre entreprises. Ceci repose sur une complémentarité des ressources, des technologies et du savoir-faire. La coopération peut porter sur des activités concurrentes ou non.

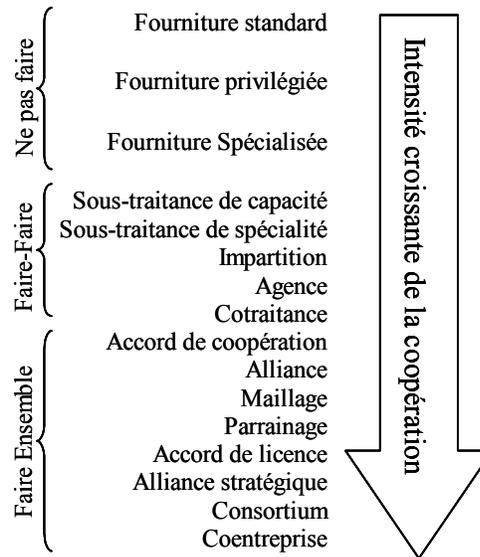


Figure 9 : Les options qui découlent de la décision de faire ou faire-faire [Poulin et *al.*, 94]

Ainsi, quand nous parlons de faire-faire par la suite, nous n'excluons pas l'option de faire-ensemble.

Nous citons ici, un cas particulier de configuration de réseaux : le réseau manufacturier symbiotique [D'Amours et *al.*, 96]. À l'opposition de l'intégration verticale, dans ce cas particulier de réseau, l'hypothèse de départ est gouvernée par l'idée de "ne rien faire par soi-même" : la firme pense se départir de ses fonctions d'approvisionnement, de transformation, de transport et d'entreposage, à travers son réseau.

5. Conclusion

L'analyse stratégique est le point de départ de toute décision de faire ou faire-faire. Nous avons vu que dans la littérature qui traite de l'analyse stratégique de « faire ou faire-faire » les modèles employés sont formels. Les critères les plus utilisés sont qualitatifs et sont basés en général sur une évaluation du décideur.

Trois questions pourraient être considérées pour chaque activité concernée par le choix de faire ou faire – faire :

- Quelles sont les chances d'obtenir **un avantage concurrentiel** de l'activité en considérant **le coût de transaction** ?

- b. Quel est le degré de **vulnérabilité** stratégique qui peut être engendré par le **risque** du marché ?
- c. Que peut-on faire pour alléger sa vulnérabilité en **structurant** ses **arrangements** avec ses partenaires afin d'avoir un **contrôle approprié** et une bonne **flexibilité**? Ceci laisse apparaître des formes d'organisation qui se situent entre l'intégration totale (produire en interne) et le marché (achat).

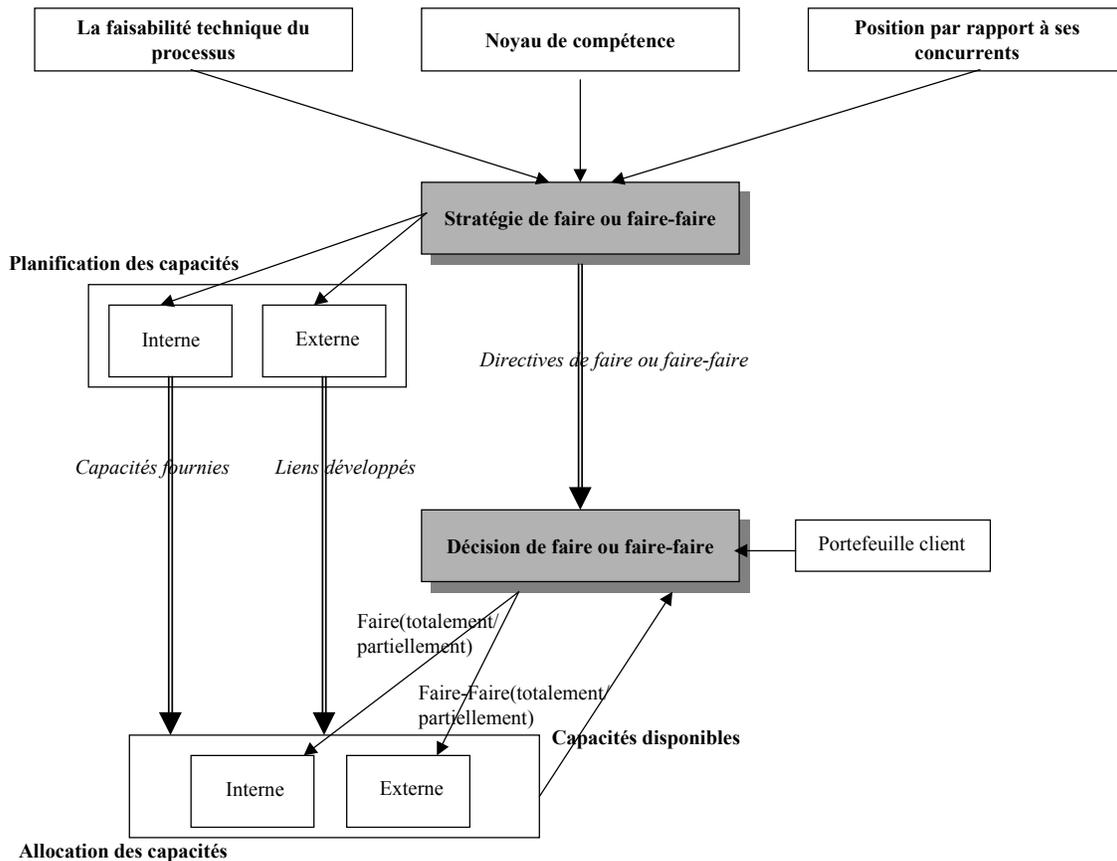


Figure 10 : Contexte général de la décision de faire ou faire-faire

Une fois la décision de l'entreprise établie en ce qui concerne les activités stratégiquement externalisables/internalisables, la seconde étape à effectuer est le choix des fournisseurs externes avec lesquels l'entreprise va passer ses contrats. Elle doit aussi décider des quantités à allouer pour les ressources internes et externes, en tenant compte de l'ensemble des contraintes internes à l'entreprise, et externes qui concernent ses fournisseurs externes, ainsi que la demande de ses clients (figure 10). Cela revient à considérer l'entreprise au-delà de sa structure habituelle, et dans un flux qui la dépasse qui prend en compte l'ensemble de sa chaîne logistique. C'est sur ce point que nous portons notre attention dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Impact de la décision de "faire ou faire-faire" sur la gestion d'une chaîne logistique

Ce chapitre sera consacré à l'étude de la décision de faire ou faire-faire du point de vue de la gestion des flux dans une chaîne logistique.

Dans ce second chapitre, nous abordons une étude de l'impact de la décision de faire ou faire-faire sur la totalité de la chaîne logistique. Nous donnons tout d'abord quelques définitions de la chaîne logistique et présentons les différents flux qui y circulent. Nous étudions les différents niveaux de gestion de la chaîne logistique afin de situer le problème de la décision de faire ou faire-faire. Nous nous intéressons ensuite plus précisément aux travaux portant sur la conception de la chaîne logistique et sur la sélection du fournisseur, qui considèrent une partie de la décision de faire ou faire-faire. Enfin, ce premier chapitre s'achèvera sur une définition du problème de la décision de faire ou faire-faire de point de vue gestion des flux dans la chaîne logistique.

1. Définition de la chaîne logistique

La chaîne logistique d'un produit se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans le processus de fabrication, de distribution, et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime [Rota 98]. Cette notion de chaîne logistique est ainsi très étendue et très complexe car les fournisseurs ont eux-mêmes leurs propres fournisseurs et les clients sont souvent fournisseurs d'autres clients.

En définissant la chaîne logistique comme étant l'ensemble des processus logistiques de l'acquisition de la matière première jusqu'à la distribution des produits finis aux clients ultimes [Slats et *al.*, 97], Slats souligne la présence de plusieurs acteurs dans la chaîne logistique ; d'où la nécessité de considérer l'ensemble des entreprises impliquées dans la fabrication et la distribution d'un produit.

Ces définitions permettent de considérer l'entreprise dans un flux qui la dépasse et au-delà de ses structures habituelles d'opérations (vente, distribution, production, achat, approvisionnement).

Selon Lee et Billington [Lee et Billington, 93], la chaîne logistique est un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement de matières premières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et en produits finis, et de distribution des produits finis aux clients. Cette définition met en évidence trois fonctions principales dans la chaîne logistique qui sont : l'**approvisionnement**, la **transformation** et la **distribution**. De plus, elle considère la chaîne comme étant un ensemble d'**installations** et non plus d'entreprises. Comme l'entreprise s'étend sur plusieurs sites organisés sur de multiples niveaux, la notion de chaîne logistique devient de plus en plus complexe. Ainsi, une installation peut représenter :

- un fournisseur,
- une unité de production (producteur, assembleur...),
- une unité de stockage,
- une unité de production et de stockage,
- un centre de distribution (entrepôt),
- un client.

Le lien entre les différentes installations se fait par des opérations de transport.

Selon Beamon [Beamon, 98], la chaîne logistique est un processus intégré où un certain nombre d'entités travaillent ensemble dans la perspective de :

- acquérir la matière première,
- convertir ces matières en des produits finis spécifiques,

- délivrer ces produits aux clients.

La chaîne logistique est ainsi constituée de deux processus de base (figure 11):

- Processus de planification de la production et de gestion des stocks (1) : la planification de la production désigne la gestion du processus de production (planification de la matière première, planification du processus de transformation et de manutention des matière). La gestion du stock désigne la gestion des politiques de stockage et des procédures de stock de matière première, des en-cours et des produits finis.
- Processus de distribution (2) : ce dernier désigne la manière dont les produits sont acheminés des stocks de produits finis vers les clients. Ceci pourrait être fait soit directement, soit à travers les centres de distribution.

Ces deux processus interagissent pour constituer la chaîne logistique intégrée.

En se basant sur les définitions citées de chaîne logistique, nous représentons un exemple de schématisation ci-dessous d'une chaîne logistique (figure 11) :

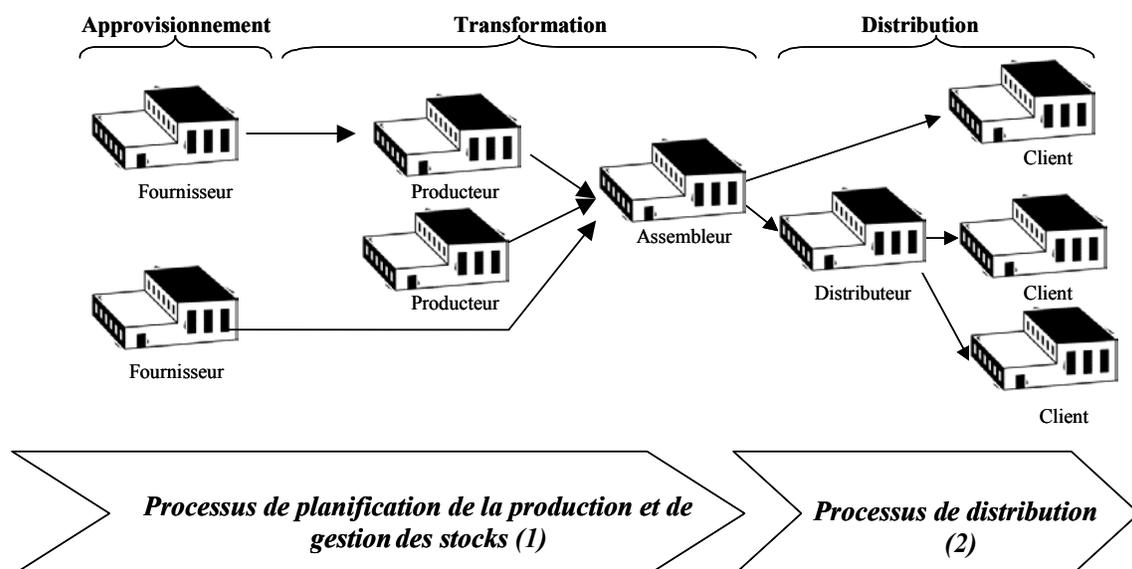


Figure 11 : Représentation de la chaîne logistique : les fonctions, les installations, les processus

On trouve ces différents processus de pilotage de la chaîne logistique dans le cadre du modèle SCOR (the Supply Chain Operations Reference-model) du Supply Chain Council (www.supply-chain.org) où on distingue de trois processus : Buy-Make-Deliver.

2. Les flux de matière et d'information dans la chaîne logistique

Certains auteurs (voir par exemple [Lee et Billington, 93] [Tayur et al., 00]) définissent la chaîne logistique comme un ensemble de fournisseurs, producteurs, distributeurs, et de clients où les flux de matières circulent des fournisseurs aux clients et les flux d'informations circulent dans les deux sens.

Deux principaux types de flux sont mis en évidence dans une chaîne logistique : les flux physiques (flux de matière) et les flux d'information.

Traditionnellement, l'enchaînement des flux d'information et des flux de matière est ordonné et séquentiel comme le suggère la figure suivante.

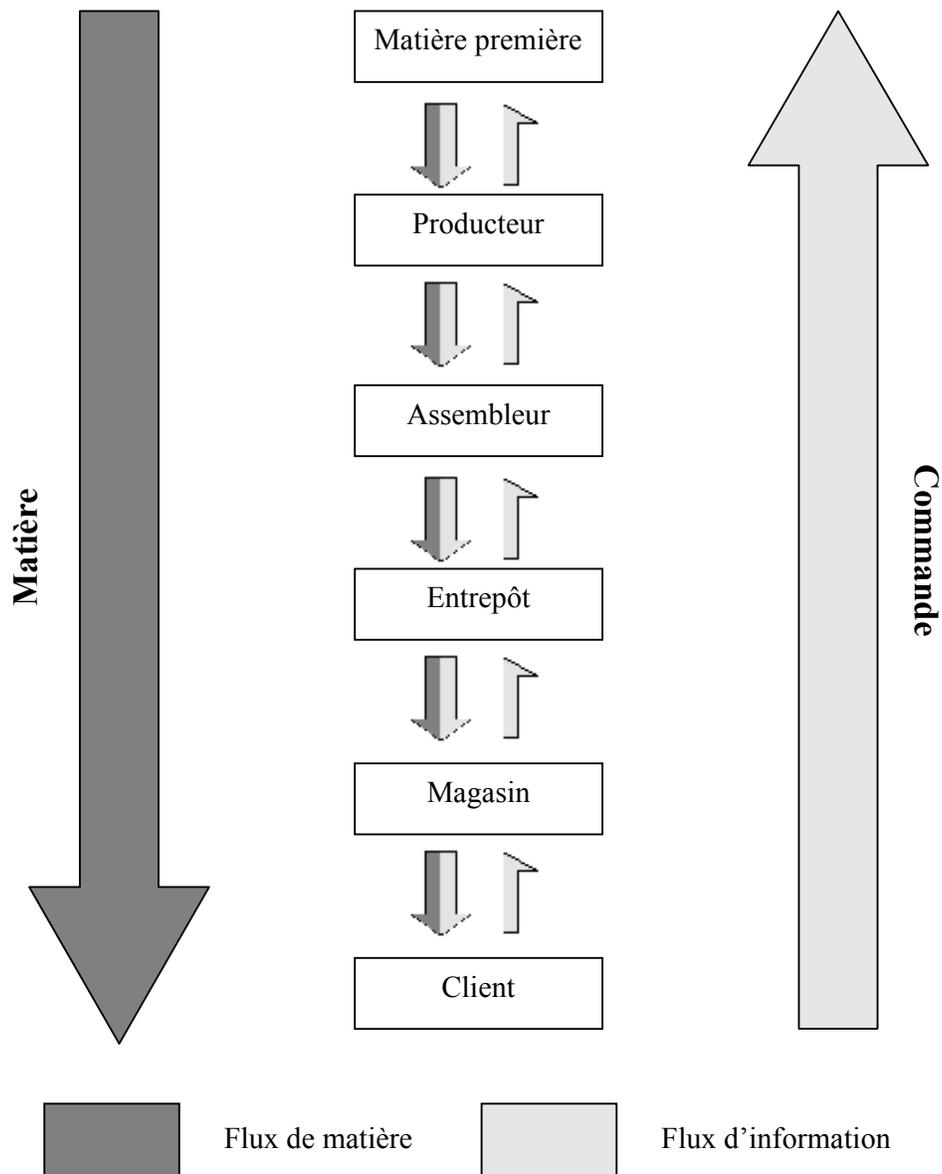


Figure 12 : découpage traditionnel des flux de matière et d'information dans la chaîne selon [Greis et Kasarda, 97]

Aujourd'hui, le flux d'information et le flux de matière ne suivent plus une forme linéaire depuis le fournisseur jusqu'au client (figure 12). Avec l'évolution des nouvelles technologies d'information, le flux d'information ressemble aujourd'hui plutôt à un échange simultané, grâce à des échanges électroniques entre l'ensemble des partenaires (figure 13).

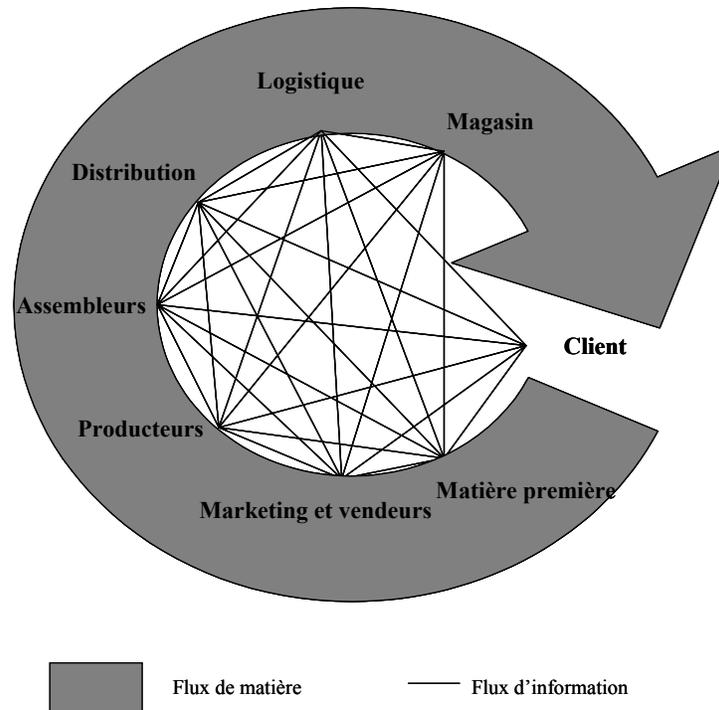


Figure 13 : la nouvelle répartition des flux dans la chaîne logistique selon [Greis et Kasarda, 97]

3. La décision de faire ou faire-faire et le lien avec les niveaux de gestion d'une chaîne logistique

La gestion de la chaîne logistique est la gestion des flux de matière et des flux d'information, au sein et entre les différentes installations de la chaîne tels que les fournisseurs, les producteurs, les assembleurs, et les centres de distribution. Les problématiques relatives à la gestion de la chaîne logistique sont nombreuses et couvrent les différents horizons de la prise de décision : long, moyen et court termes

La décision de faire ou de faire - faire de point de vue de la gestion des flux de matière dans la chaîne logistique concerne :

- a. Le choix de la localisation des sites de production (interne ou externe) : pour cela, nous pouvons toujours éclater les installations internes de production (usine, atelier...) de l'entreprise étudiée en des nœuds figurant dans la représentation de la chaîne logistique et qui pourront être mis en concurrence avec les nœuds externes (fournisseurs potentiels).
- b. L'affectation des produits aux sites de production choisis et les quantités à produire par chaque site (interne ou externe).
- c. Dans le cas où on est amené à faire-faire, il est nécessaire de réfléchir d'abord à la fourniture simple ou à la fourniture multiple. Et dans ce dernier cas, on est amené à décider quels fournisseurs choisir. Pour cela, plusieurs paramètres ont été étudiés pour ce choix :
 - L'influence des délais,
 - L'influence des prix,

- L'influence de la variabilité de la demande,
- L'influence des politiques de gestion des stocks.

Par rapport aux deux premiers points (a. et b.), nous trouvons des éléments de réponse dans la littérature qui traite les problèmes de conception de la chaîne logistique et qui concerne le niveau de gestion stratégique de la chaîne. Le dernier point (c.) trouve des éléments de réponse dans les travaux qui traitent de la gestion tactique de la chaîne logistique (notamment la coordination au niveau de l'interface avec les fournisseurs), ainsi que dans la littérature qui concerne le choix et la sélection des fournisseurs.

Nous pouvons ainsi déduire, par rapport aux trois niveaux de gestion (stratégique, tactique et opérationnel) d'une chaîne logistique que notre problème implique des décisions qui se situent à des horizons différents : au niveau stratégique et tactique. Ces deux niveaux seront explicités ci-dessous.

3.1. Gestion stratégique de la chaîne (long terme)

La gestion stratégique est partie prenante de la conception de la chaîne et concerne le choix de la localisation des installations, la définition des rôles et des missions, des modes de transport, des choix technologiques et l'affectation des produits à ces installations.

Cette gestion vise à prendre les décisions stratégiques qui concernent principalement [Rota, 98] [Vidal et Goetshalckx, 97] [Martel, 98] [Thomas et Griffin, 96] :

- La création/la suppression (ouverture/fermeture) de certaines installations dans la chaîne.
- L'existence de relation entre certaines installations de la chaîne.
- Le nombre, la localisation, et la capacité des sites manufacturiers.
- L'affectation des produits et des équipements aux installations ouvertes de la chaîne.
- L'ensemble des fournisseurs à sélectionner.
- Les moyens de transport à utiliser.
- La quantité de matière pour chaque installation de la chaîne (fournisseur, usine, stock, client...).

3.2. Gestion tactique de la chaîne (moyen terme)

Elle concerne la coordination des opérations entre les installations (interface client/fournisseur, production/distribution, stock/distribution), ainsi que la gestion des stocks dans la chaîne.

Trois types de coordinations ont été recensés :

a. La coordination au niveau de l'interface client/fournisseur concerne principalement [Brown et *al.*, 87][Anupindi et Akella 93][Sedarage et *al.*, 99][Ganeshan et *al.*, 99][Li et Kouvelis,99][Viswanathan,98][Degraeve et Roodhooft, 99] :

- la définition des tailles des lots d'approvisionnement.
- les points de commandes associés à chaque fournisseur.
- la définition des délais moyens d'approvisionnement.
- la définition des niveaux de stocks moyens.

Dans ce cadre, nous avons remarqué que les auteurs adoptent des points de vues selon trois approches :

- approche par le client : le fournisseur est vu comme un ensemble de contraintes externes ; l'objectif est ainsi de maximiser le gain du client.
 - approche par le fournisseur : le client est vu comme un ensemble de contraintes externes au fournisseur ; l'objectif est ainsi de maximiser le gain du fournisseur.
 - le client et le fournisseur ne sont plus considérés comme des entités antagonistes et l'objectif étant de maximiser le gain de l'ensemble.
- b. La coordination au niveau de l'interface production/distribution désigne principalement :
- La détermination de la taille des lots de production.
 - La détermination des délais moyens de production.
 - Le niveau moyen de stock de produits semi-finis
- c. La coordination au niveau de l'interface stock/distribution concerne principalement [Burns et al., 85] :
- La taille optimale des lots d'expédition
 - La détermination de la politique optimale de distribution (distribution directe au client ou à travers un centre de distribution).
 - La détermination du niveau moyen du stock des produits finis.

D'un autre côté, nous avons rencontré un modèle très célèbre dans la littérature qui traite de la coordination de la chaîne logistique globale [Cohen et Lee, 88]. Les auteurs ont élaboré quatre sous-modèles d'optimisations pour le contrôle et la gestion :

- des matières premières
- du processus de production
- de stock des produits finis
- du processus de distribution

Une heuristique a été utilisée pour permettre le lien entre les différents modèles afin d'aboutir à une optimisation de la chaîne logistique globale.

4. La conception et configuration d'une chaîne logistique

Le choix de faire ou de faire-faire concerne la conception de la chaîne logistique et fait partie des problèmes de gestion à long terme de la chaîne : décider des installations (unités économiques internes et externes) et des liens (relations et flux) entre les installations. Cela se traduit par des problèmes de localisation / allocation dans la chaîne logistique.

4.1. Les principaux modèles utilisés dans la littérature

Dans les travaux traitant de la gestion à long terme d'une chaîne logistique, nous trouvons une littérature abondante [Vidal et Goetshalckx, 97] [Beamon, 98] qui traite des problèmes de la localisation (choix des sites de fabrication, distribution...) et de l'allocation (affectation des produits à ces sites et détermination des flux échangés entre les sites) et ceci pour le processus de distribution, pour le processus de planification et gestion des stocks, ainsi que pour la chaîne logistique globale. Le tableau 4 présente une liste non exhaustive des principales contributions dans ce domaine.

| | | Processus de distribution | | | | Processus de planification et gestion des stocks |
|------------------------|--|---|--|---|--|--|
| | | [Camm et al., 97] | [Slats et al., 97] | [Cohen et Lee, 89] | [Geoffrion et Graves, 74] | [Brown et al., 87] |
| Type du modèle | Déterministe (1 période) | Simulation (laboratoire logistique) | Déterministe (1 période) | Déterministe (1 période) | Déterministe (1 période) | |
| Objectif | Minimiser le coût | - | Maximiser le profit net | Minimiser le coût | Minimiser le coût | |
| Problème étudié | Problème de localisation /allocation | Problème de localisation /allocation | Problème d'allocation pure | Problème de localisation /allocation | Problème de localisation /allocation. | |
| Modèle | Programme linéaire en nombre entier | Les auteurs entendent utiliser un outil basé sur 4 sous modèles d'optimisation pour simuler la chaîne de distribution de l'entreprise. | Programme non linéaire mixte | Programme linéaire mixte | Programme linéaire mixte | |
| Méthode de résolution | Utilisation du logiciel LINDO | Ni le détail de ces modèles ni les objectifs considérés ne sont présentés dans l'article. | | Utilisation de la méthode de décomposition de Benders (nombre de variables assez important pour le cas choisi : 727 binaires et 23513 continues) | Méthode de décomposition sous contraintes, implementée et testée (le nombre de variables est assez élevé) | |
| Originalité du travail | <ul style="list-style-type: none"> - localisation des centres de distribution - affectation des clients à ces centres. | <ul style="list-style-type: none"> - localisation et taille des centres de distribution, - affectation des clients aux centres de distribution, - fréquence des livraisons pour les clients et les centres de distribution, - taille des lots, niveau des stocks... | <ul style="list-style-type: none"> - affectation des produits aux sites de production, - affectation des vendeurs aux sites de distribution - La quantité de produits à acheminer aux clients, et aux centres de distribution. - La quantité de produits à fabriquer par chaque site de production détermination des flux entre les installations. | <ul style="list-style-type: none"> - la quantité de produit acheminée de chaque usine à chaque client et à travers le centre de distribution choisi. - le choix du site correspondant à chaque centre de distribution (binaire) - l'affectation des centres de distribution aux clients (binaire). | <ul style="list-style-type: none"> - localisation des sites de production (ouverture/fermeture des sites), - affectation des équipements aux sites, - quantité de produit fabriqué par chaque usine et par chaque équipement affecté à chaque site (choix technologique), et qui sera acheminée pour chaque client directement. | |

Tableau 4 : Caractérisation des travaux traitant le problème de localisation / allocation dans la chaîne logistique

| La chaîne logistique globale | | | | | |
|------------------------------|--|--|--|--|---|
| | [Sabri et Beamon, 2000] | [Martel et Vankatadri, 99] | [Vidal et Goetschalckx, 96] | [Arntzen et al., 95] | [Cohen et Moon, 91] |
| Type du modèle | Déterministe (une seule période partagée en plusieurs périodes opérationnelles) | Déterministe | Déterministe (1 période) | Déterministe (plusieurs périodes) | Déterministe (1 période) |
| Objectif | Minimiser les coûts et maximiser la flexibilité en volume | Minimiser les coûts | Minimiser les coûts | Minimiser les coûts et les délais de transport | Minimiser le coût |
| Problème étudié | Problème de localisation/allocation | Problème de localisation /allocation | Problème de localisation/allocation | Problème de localisation /allocation | Problème d'allocation |
| Modèle | Programme mathématique multi-objectifs. | Programme non linéaire | Programme linéaire mixte | Programme linéaire mixte | Programme non linéaire (le coût de production est une fonction concave) |
| Méthode résolution | Méthode avec seuil sur les objectifs (ϵ -constraint) | Un algorithme est proposé pour aboutir à un programme linéaire mixte. | | La méthode préconisée pour résoudre le modèle n'a pas été présentée dans cet article, toutefois les auteurs proposent certaines méthodes non traditionnelles qui pourront fournir de bons résultats telle que la méthode de factorisation. | Utilisation d'une variante de la méthode de décomposition de Benders pour la résolution du problème. |
| Originalité du travail | - Détermination des flux de matière dans la chaîne, ainsi que les décisions d'ouverture / fermeture des usines, des centres de distribution et de zones clients. | - Prise en compte des économies d'échelle (les coûts sont des fonctions concaves). | - Ouverture / fermeture des sites de production, ainsi que la détermination des fournisseurs à utiliser. - La modélisation des taux de changes et de la fiabilité des vendeurs. | - Localisation des sites de production et affectation des produits aux sites. - quantités à livrer pour chaque client et pour chaque moyen de transport utilisé - La prise en compte des tarifs et droits de douanes dans leur modèle - Quantité à produire par chaque installation choisie pour chaque période et pour chaque produit. | - L'affectation des produits aux usines - L'affectation des équipements pour chaque usine (choix technologique). - La quantité de matière première à acheter de la part de chaque fournisseur, pour chaque usine - Le volume à produire dans chaque usine, pour chaque équipement utilisé et ceci pour chaque étape du produit. - Quantité de produit à acheminer de chaque usine vers les clients. |

Tableau 4 (suite) : Caractérisation des travaux traitant le problème de localisation / allocation dans la chaîne logistique

Nous pouvons constater que tous ces travaux qui traitent soit des problèmes de localisation pure, soit des problèmes d'allocation pure, soit encore des problèmes de localisation/allocation (choix des installations et détermination des flux), permettent d'avoir une vision globale de toute la chaîne. Le choix de la localisation des sites est fait en évaluant son impact sur la totalité de la chaîne logistique.

Dans la plupart des cas, un seul critère d'optimisation est considéré : soit il s'agit de minimiser les coûts, soit de maximiser les profits. Les éléments du coût modélisés par les auteurs, et qui se répètent un peu dans les modèles cités ci-dessous sont :

- le coût de production (fixe et variable),
- le coût de possession des stocks,
- le coût de transport entre les différentes installations de la chaîne (fournisseur/producteur, centre de distribution/client, etc.),
- le coût fixe d'ouverture d'une installation,
- et éventuellement les charges douanières.

Les travaux sont également déterministes et considèrent une seule période de planification. C'est la programmation linéaire mixte qui est la plus utilisée. Cette dernière hypothèse est confirmée par Ballou [Ballou, 95] où il postule qu'une étude des logiciels commercialisés sur le marché, et qui s'intéressent au choix de localisation des installations, montre que la majorité des modèles développés (> 50%) se basent sur la programmation linéaire mixte.

Nous pouvons constater selon ce tableau récapitulatif que la complexité du problème de configuration de la chaîne dépend :

- de l'étendu de la décision à prendre (problème de localisation, d'allocation, ou les deux en même temps).
- du nombre d'installations à localiser : nous pouvons remarquer que pour des problèmes de taille importante, des techniques utilisées en recherche opérationnelle (telles que les méthodes de décomposition) sont utilisées afin de réduire la complexité du modèle.
- de la prise en compte des choix technologiques. En effet, dans le cas où nous considérerions un mode de fabrication, de transport, et de distribution, différent pour chaque produit, le choix revient également à décider de quelle technologie affecter à chaque type de produit.
- du nombre d'échelons considérés dans la chaîne logistique : le problème est de nature différente si on considère que les clients seront servis directement, ou à travers des centres de distributions indépendants.
- de la nature de l'objectif : l'objectif le plus utilisé est la minimisation des coûts. Afin de l'exprimer, certains auteurs supposent une structure linéaire pour les coûts et regroupent ces derniers une composante fixe (qui dépend de l'option choisie) et une composante variable (qui dépend des quantités allouées). D'où l'obtention de programme linéaire qui pourrait être résolu par les méthodes et les logiciels ordinaires de recherches opérationnels (tel que LINDO, CPLEX...). D'autres auteurs postulent de l'importance de la prise en compte des économies d'échelle dans le choix de localisation, et se ramènent alors à des problèmes non linéaires.

- La nature des contraintes considérées : selon le problème considéré la nature des contraintes à modéliser est différente.

4.2. Les manques liés à la prise en compte des aspects stratégiques

Nous remarquons que dans tous les modèles cités ci-dessus, et qui sont utilisés pour le choix de localisation des sites et d'allocation des produits à ces sites, il y a une absence d'interaction avec la stratégie de l'entreprise.

Dans la littérature, plusieurs auteurs insistent sur la complémentarité entre les critères de décision qualitatifs et les modèles de programmation mathématique mixte (MIP) dans le choix de localisation et d'allocation. Le décideur doit construire une liste d'alternatives réalisables sur la base de ces critères qualitatifs avant que les modèles MIP soient utilisés pour choisir le meilleur scénario. Nous présentons ci-dessous trois types d'approches rencontrées :

a) Selon MacCormack [MacCormack et *al.*, 94], se focaliser uniquement sur une évaluation basée sur les coûts sous-estime l'importance des critères qualitatifs qui fournissent un avantage à plus long terme. Ces critères permettent de supporter la stratégie de l'entreprise, et sont ainsi primordiaux pour la création d'un avantage concurrentiel. Après avoir élaboré un ensemble de sites potentiels qui conviennent à la stratégie de l'entreprise, une analyse basée sur les coûts pourra être faite pour raffiner son choix, et décider de la meilleure option. Les auteurs proposent une démarche en quatre phases :

- Phase 1 : Etablir les facteurs clés de succès, le degré d'orientation globale du marché, ainsi que les exigences en terme de système manufacturier pour supporter cette orientation. Il s'agit d'abord d'examiner la stratégie concurrentielle de l'entreprise, ainsi que les leviers sur lesquels elle se base : coût, qualité, innovation, flexibilité et réactivité. A titre d'exemple, une compétition qui mise sur l'innovation exige une proximité des clients et éventuellement un développement des ressources en internes. Il s'agit ensuite de prévoir l'évolution du marché en termes du changement des exigences des clients puis de revoir ses contraintes internes susceptibles d'empêcher l'entreprise d'implémenter une stratégie optimale pour le choix de localisation. Enfin, une synthèse est effectuée pour évaluer l'impact de tous ces facteurs sur la stratégie de production afin de déboucher sur une compréhension des bases de compétition de l'entreprise et une évaluation de sa capacité à les supporter.
- Phase 2 : Evaluer l'option d'une configuration régionale (afin d'éviter la fluctuation concernant le taux de change), en considérant l'accès au marché, le risque d'approvisionnement, la caractéristique de la demande client, et l'impact des techniques de production sur la taille des sites afin d'établir la capacité de chaque étape de production et le nombre de sites nécessaires.
- Phase 3 : Définir des sites potentiels ayant l'infrastructure suffisante pour supporter la stratégie concurrentielle de l'entreprise ainsi que sa stratégie manufacturière. Par exemple, mettre en place le système de communication adéquat avec ses fournisseurs en fonction du degré d'intégration souhaité, ou encore instaurer un programme de formation pour sa main d'œuvre dans le cas de la nécessité d'un savoir-faire spécifique.
- Phase 4 : Après avoir défini un ensemble de sites potentiels ayant une infrastructure adéquate, l'entreprise doit établir la taille de chaque installation (usine, fournisseur, centre de distribution, etc.), sa localisation, le flux de produit, ainsi que la source et la localisation de

chaque produit. C'est là que les modèles mathématiques sont utilisés pour chaque scénario, avec fixation des taux de change et prise en considération d'un certain nombre d'installations.

b) Bartmess [Bartmess et Cerny, 93] admet l'importance de la prise en compte du noyau de compétences de la firme dans la décision de localisation des ressources et l'insuffisance d'une approche basée sur une évaluation des coûts à moyen terme et ne permettant pas de prévoir le changement du marché par l'introduction de nouveaux produits et l'amélioration de sa compétitivité. Pour illustrer leurs idées les auteurs se basent sur les études de cas de deux entreprises l'une spécialisée dans la fabrication de disque-durs pour ordinateurs et l'autre spécialisée dans les équipements de fabrication de semi-conducteur. Les auteurs proposent une démarche en cinq phases pour la constitution du réseau (figure 14).

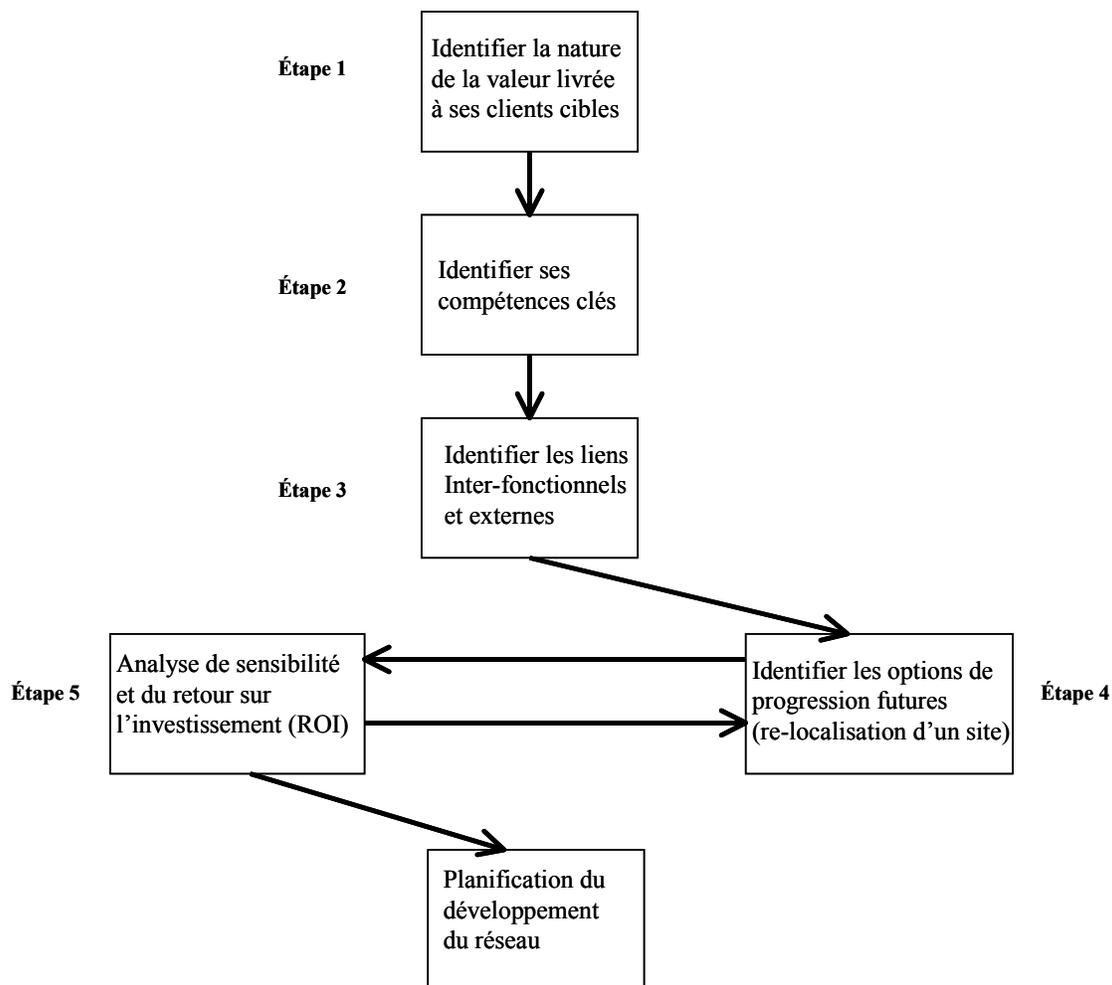


Figure 14 : Une démarche pour la conception d'une chaîne logistique intégrant les aspects qualitatifs [Bartmess et Cerny, 93]

La première étape consiste à identifier pour chaque famille de produit (concernée par ce choix de localisation), et pour chaque groupe de client cible, leurs facteurs clés pour acheter ces produits (exemple : coût, coût+fiabilité, etc.).

La seconde étape a pour objectif de définir les processus qui permettent à l'entreprise de livrer cette valeur, identifiée au niveau de la première étape, mieux que ses concurrents.

La troisième étape porte sur l'élaboration des liens inter-fonctionnels et des liens externes permettant de supporter les processus critiques autour desquels se constitue le noyau de compétences de l'entreprise.

Dans la quatrième étape, il s'agit, dans un premier temps, de classer ces liens selon deux critères : le degré de proximité actuel et le besoin en proximité (identifiée à partir des étapes précédentes), dans l'objectif d'identifier les liens qui devraient être re-localisés (ceux qui ont actuellement un degré de proximité bas, et dont une nécessité de proximité a été identifiée). Dans un second temps, il s'agit de procéder à une re-localisation de ces liens en tenant compte de l'impact sur le reste des liens suite à cet éventuel changement.

Enfin, dans la cinquième étape, on évalue l'impact financier de ces changements à travers une analyse de sensibilité et une analyse basée sur le taux de retour sur l'investissement (ROI). Cette analyse porte sur les coûts et les bénéfices associés aux configurations possibles du réseau recensés à l'étape précédente.

c) A. Martel [Martel, 98] qualifie le problème de conception de la chaîne logistique de stratégique, multi-critères et complexe. L'auteur propose une démarche, que nous résumons dans la figure suivante, intégrant les aspects stratégiques dans le problème de la conception d'une chaîne logistique.

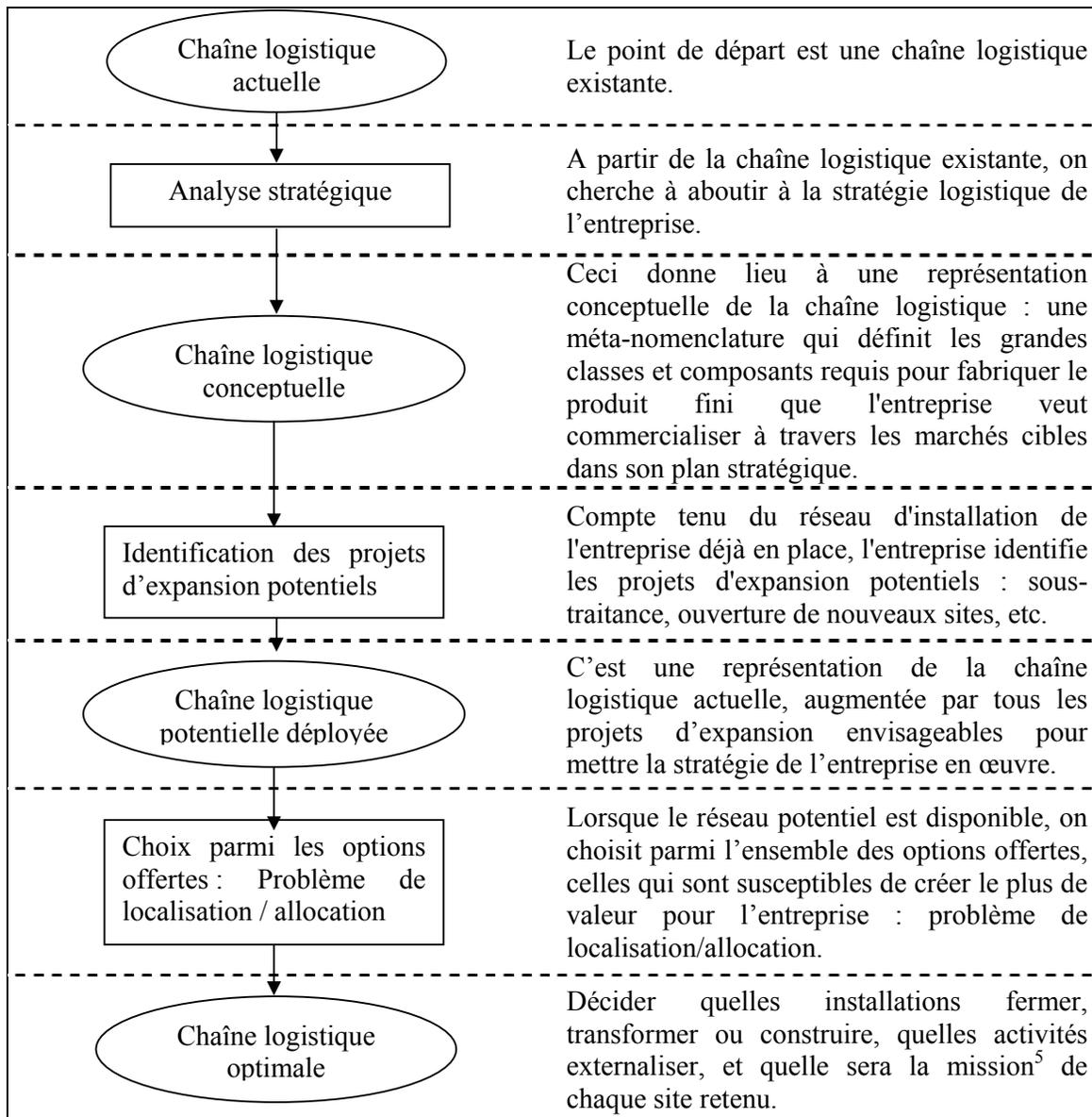


Figure 15 : Une démarche pour la conception d'une chaîne logistique intégrant la stratégie de l'entreprise [Martel et al., 97]

En guise de conclusion sur cet aspect de la question, et à partir des études rencontrées dans la littérature et qui postulent de l'impact du niveau stratégique sur le choix de localisation des sites, nous pouvons dire qu'il est essentiel de commencer par une analyse stratégique de l'entreprise afin de définir ses compétences clés. Cette analyse devrait déboucher sur la définition d'un ensemble de possibilités de localisations potentielles des différents sites (ateliers internes, fournisseurs externes, etc.). Afin de choisir la configuration finale du réseau, des modèles quantitatifs (telle que la programmation mathématique) sont ensuite utilisés.

⁵ Définir la mission d'un site consiste à préciser la nature des produits, composants à fabriquer, distribuer ou vendre ainsi que les marchés à desservir.

4.3. Les manques liés à la prise en compte des incertitudes et de la dynamique

Le problème d'optimisation de la chaîne logistique est assez complexe et plusieurs approximations ont été faites dans la littérature pour le résoudre, notamment en ce qui concerne la structure des coûts et certains aspects liés à la dynamique et aux incertitudes [Lee et Billington, 92].

Vidal et Goetschalckx [Vidal et Goetschalckx, 96] ont discuté des rôles et des limites des techniques quantitatives (utilisation de la programmation linéaire mixte) dans la conception stratégique de la chaîne logistique globale. Ces auteurs mettent l'accent sur l'impact des incertitudes dans la conception et dans l'optimisation de la chaîne logistique globale. La variation du taux de change et de la fiabilité des fournisseurs ont une influence sur la localisation des nœuds, et sur la gestion des flux entre ces nœuds. Ceci a été prouvé grâce à des analyses de sensibilités qui ont été faites sur le modèle linéaire mixte proposé pour construire la chaîne logistique globale de l'entreprise. Kogut [Kogut, 85] discute de l'importance de la flexibilité dans la chaîne logistique globale, comme réponse aux variations du taux de change, aux changements dans les politiques gouvernementales et la complexité de la compétitivité.

La démarche proposée par Sabri et Beamon [Sabri et Beamon, 00] met en évidence l'impact du niveau tactique dans la démarche de conception de la chaîne logistique. L'approche proposée par les auteurs devrait permettre la conception efficace d'une chaîne logistique flexible tout en intégrant les incertitudes relatives à la production, livraison et à la demande. Pour cela, deux types de modèles sont utilisés :

- Un sous-modèle stratégique dont l'objectif est d'optimiser la configuration de la chaîne logistique et des flux de matière. Le modèle s'intéresse à la conception d'un système d'approvisionnement, de production, et de distribution. Il optimise le flux de matière à travers la chaîne logistique, fournit le nombre optimal et la localisation des usines et des centres de distribution, ainsi que la meilleure affectation des centres de distribution aux zones clients. Les critères utilisés sont d'une part la minimisation des coûts et d'autre part la maximisation de la flexibilité (définie comme étant la somme pondérée des taux d'utilisations des installations ouvertes de la chaîne en terme de différence entre la capacité maximale d'une installation et la capacité utilisée).
- Des sous modèles stochastiques prenant en compte différentes sources d'incertitudes (variables aléatoires) tels que la demande client, le délai de production, et le délai de livraison. A partir de la chaîne initialement configurée, les données relatives aux coûts variables et aux délais moyens sont estimées en tenant compte des incertitudes. Ces paramètres sont déterminés en minimisant les fonctions analytiques des coûts de stockage et en déterminant ainsi, la taille optimale du lot de commande, ainsi que le point de commande. Les échelons relatifs aux fournisseurs, aux centres de distributions, et aux unités de production sont modélisés en utilisant des modèles analytiques et non linéaires.

La démarche proposée par Sabri et Beamon est décrite par la figure 16. À partir d'une chaîne logistique existante, un programme linéaire multi-objectifs (le sous-modèle stratégique) est utilisé pour définir une configuration flexible de la chaîne. Ce modèle définit les installations du réseau à activer, ainsi que les flux de matières. En se basant sur la configuration ainsi trouvée, les données relatives aux coûts variables et aux délais sont ré-estimées. Cette

estimation prend en compte les incertitudes grâce à des modèles analytiques (sous-modèles tactiques). Ces nouvelles données sont utilisées pour ré-optimiser le modèle stratégique relatif à la conception de la chaîne logistique. Si la configuration du réseau reste inchangée (même variable binaire), alors il y a convergence du réseau, sinon l'algorithme est relancé jusqu'à obtention d'une structure convergente.

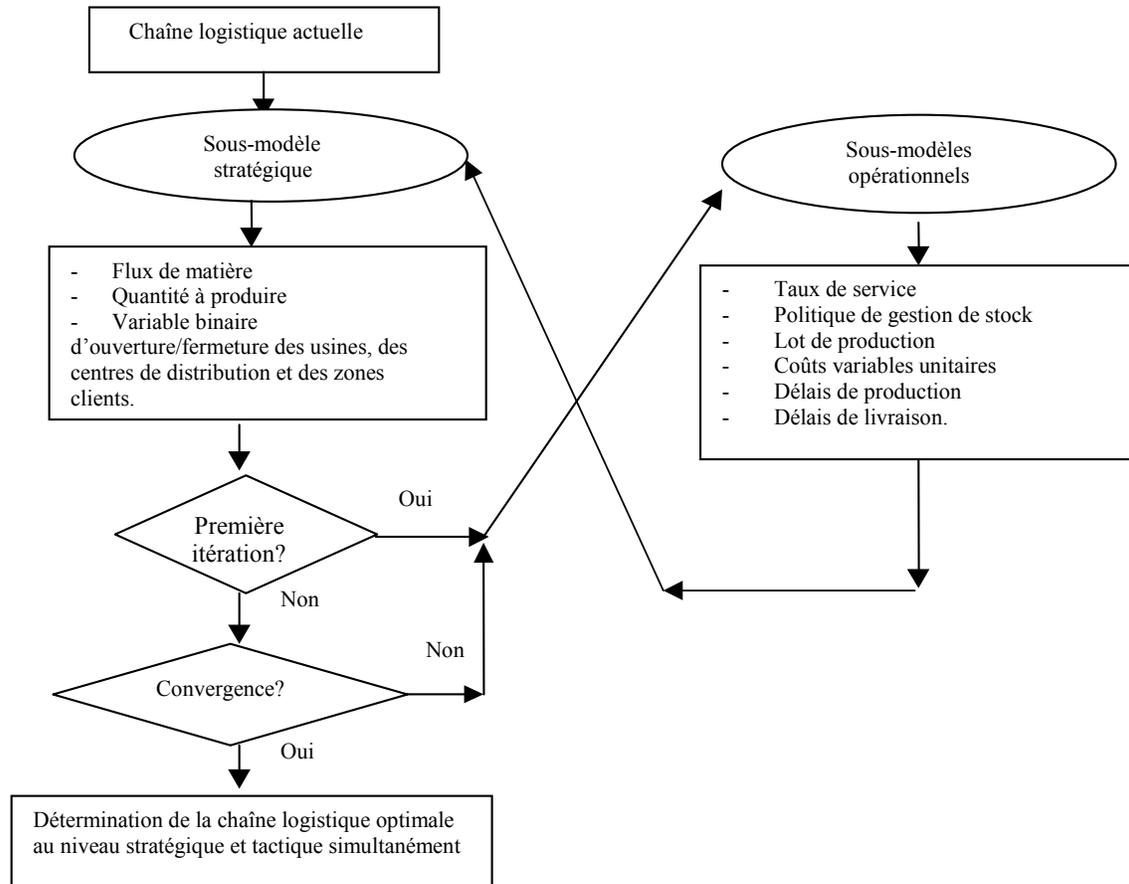


Figure 16 : Une approche intégrant le niveau de gestion stratégique et tactique dans la démarche de conception d'une chaîne logistique [Sabri et Beamon, 00]

L'approche proposée par Sabri et Beamon nous semble intéressante dans la mesure où elle met en évidence l'impact du niveau tactique dans la démarche de conception de la chaîne logistique. Cependant, dans leurs travaux, les auteurs n'explicitent pas la méthode d'optimisation préconisée et ne prennent pas explicitement le choix de faire ou faire-faire.

5. Etat de l'art des travaux portant sur la sélection des fournisseurs

Comme nous l'avons exprimé plus haut, une fois que nous choisissons l'option "faire-faire", nous sommes amenés à réfléchir sur le type de fourniture à envisager : simple (un seul fournisseur) ou multiple (plusieurs fournisseurs en même temps). Nous sommes ainsi amenés à décider quels fournisseurs choisir. Pour cela, plusieurs critères peuvent être considérés :

- L'influence des délais,
- L'influence des prix,
- L'influence de la variabilité de la demande,
- L'influence des politiques de gestion des stocks.

5.1. Problématique du choix du fournisseur : décision multi-critères

Le problème de sélection du fournisseur est un problème de décision multi-critères. Dickson [Dickson, 66] est le premier à avoir établi des critères pour la sélection des fournisseurs. Il a retenu 23 critères qui sont considérés par les directeurs d'achat dans les divers problèmes de sélection des fournisseurs. L'étude est basée sur le résultat d'un questionnaire destiné à 273 firmes canadiennes et américaines membres du «*National Association of Purchasing Managers*».

Dans une revue ultérieure, célèbre et largement citée dans la bibliographie sur la sélection du fournisseur Weber [Weber et al., 91] a analysé 74 articles qui ont été publiés depuis 1966 afin d'étudier les critères et les méthodes adoptés par les théoriciens pour le problème de choix du fournisseur. On a constaté à la suite de cette revue que :

- Parmi les 23 critères présentés par Dickson, 64% des articles (47/74) considèrent plus qu'un seul critère à la fois. Ceci confirme bien la nature multi-objective du problème.
- 57% des articles (42/74) sont apparus depuis 1985, ce qui montre l'intérêt croissant au problème de sélection des fournisseurs pendant ces quinze dernières années.
- Les critères prix (80%), délai de livraison(59%), et qualité (54%) sont les plus discutés dans la littérature.

Nous montrons dans le tableau ci-dessous deux types de classification du degré d'importance des critères relatifs au processus de sélection du fournisseur :

- Une classification théorique basée sur des travaux de recherches depuis 1966 à 1990 [Weber et *al.*, 91].
- Une classification pratique basée sur le résultat d'un questionnaire effectué auprès de firmes canadiennes et américaines [Dickson, 66].

| Critère | Rang selon l'étude de Dickson | Rang ⁶ selon l'étude de Weber |
|---|-------------------------------|--|
| Prix | 6 | 1 |
| Délai de livraison | 2 | 2 |
| Qualité | 1 | 3 |
| Capacité de production | 5 | 4 |
| Localisation géographique | 20 | 5 |
| Capacité technique | 7 | 6 |
| Gestion et organisation | 13 | 7 |
| Réputation et position dans l'industrie | 11 | 8 |
| Situation financière | 8 | 9 |
| Performance Passée | 3 | 9 |
| Réparation | 15 | 9 |
| Attitude | 16 | 10 |
| Habilité d'emballage | 18 | 11 |
| Contrôle des opérations | 14 | 11 |
| Formation et support | 22 | 12 |
| Conformité des processus | 9 | 12 |
| Relations avec la main d'œuvre | 19 | 12 |
| Système de communication | 10 | 12 |
| Réciprocité de la relation | 23 | 12 |
| Impression | 17 | 12 |
| Désir de faire des affaires | 12 | 13 |
| Volume des achats dans le passé | 21 | 13 |
| Garanties | 4 | 14 |

Tableau 5 : Classification des critères du choix du fournisseur

Il faut noter que cette classification n'est pas générique. L'importance du critère de choix dans le processus de sélection du fournisseur dépend du niveau d'exigence de la firme acheteuse, et de la criticité du produit pour l'entreprise. En effet, selon le type de relation envisagé, les critères de sélection sont différents. Le type de relation à engager dépend de l'horizon de la relation et du degré d'intégration entre le donneur d'ordres et le fournisseur :

- **l'horizon de la relation** : On distingue entre des relations à court terme et celles à long terme selon la longueur de l'horizon du temps induit par la relation. Ainsi nous pouvons être amenés à considérer soit une sous-traitance occasionnelle (ou conjoncturelle), soit

⁶ Le rang est déterminé selon le nombre d'articles recensé.

une sous-traitance permanente (ou structurelle). La durée de la relation dépend de l'appréciation du coût de transaction, notamment par :

- **La spécificité des actifs** : selon l'importance de l'investissement engendrée par la relation, on pourra être amené à envisager des relations à plus ou moins long terme, essentiellement quand il s'agit d'actif (main d'œuvre, équipement, site) qui peut ne pas avoir d'autres alternatives d'utilisation dans d'autres relations.
- **Le coût de changement de fournisseurs** qui inclut le coût de recherches de nouveaux fournisseurs dans le cas de faible performance ou d'un fort risque. Ce coût est d'autant plus élevé que le donneur d'ordres utilise une stratégie à plusieurs fournisseurs en même temps
- **Le degré d'intégration entre le donneur d'ordres et le fournisseur** : cela dépend des objectifs des arrangements passés. Selon qu'il s'agisse de transactions qui misent sur des critères de performances tels que la qualité, le coût et le délai ou encore des critères stratégiques telles que des relations qui misent sur le savoir-faire du fournisseur pour un développement de nouveaux produits ou de technologies, les critères de sélection des fournisseurs sont différents.

Dans ce cadre, Mazella et Rangone [Mazella et Rangone, 2000] ont défini un modèle du fournisseur basé sur trois types de variables majeurs (figure 17)

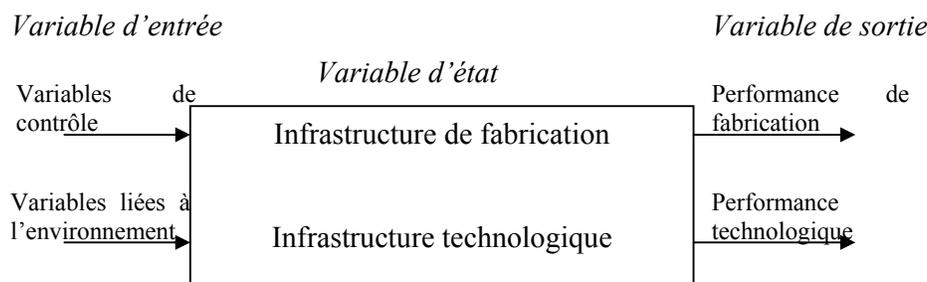


Figure 17 : Un modèle du fournisseur selon [Mazella et Rangone, 2000]

Ainsi, selon le type de relation à engager, les critères de sélections envisagés peuvent être :

- **des variables de sortie** des performances observées directement sur le produit fini offert par le fournisseur. Nous distinguons deux types de performances :
 - des performances de fabrication telles que coût, qualité, délai, flexibilité, etc.
 - des performances techniques telles que les dispositifs d'innovation du produit achetés.
- **des variables d'état**, qui sont responsables avec les variables d'entrées de la dynamique des variables de sortie de notre système qui est le fournisseur. Grâce à cette vision, et contrairement au fait que la compétitivité de la firme soit mesurée en terme de coût ou encore de performance mesurée directement sur le produit actuel, à long terme cette compétitivité est mesurée à travers la dotation des ressources. Celles-ci sont uniques et durables et difficiles à

imiter ou à substituer d'où l'infrastructure mise en œuvre par le fournisseur. Nous distinguons :

- **les infrastructures de fabrication** liées à des ressources de fabrication tels que : l'organisation de la fabrication, la gestion des ressources humaines, la planification de la fabrication, et le système d'information...
- **les infrastructures techniques** tels que l'organisation en recherche et développement, la qualification de la main d'œuvre, l'investissement en laboratoires de recherches et en équipement de contrôle, les relations avec des experts externes...

5.2. Les méthodes les plus utilisées pour la sélection des fournisseurs

Il y a toujours un conflit entre les différents critères. En effet un fournisseur peut avoir différentes caractéristiques de performances aux regards des différents critères. Par exemple, le fournisseur qui offre le prix le plus bas peut ne pas avoir les meilleures performances de point de vue des délais de livraison ou de la qualité du produit fini. Plusieurs méthodes ont été utilisées dans la littérature pour résoudre ce problème. Ces méthodes sont classées en trois catégories [Weber et al., 91] :

- **Méthodes de pondération linéaires** [Wind et Robinson, 68] [Timmerman, 86] [Monczka et Trecha, 88] [Gregory, 86] : en attribuant un poids à chaque critère (défini de manière subjective) un score est calculé pour chaque fournisseur en effectuant la somme des performances des vendeurs relatives à chaque critère multipliées par le facteur de pondération associé.
- **Modèles de programmation mathématique** [Current et Weber, 94] : les techniques les plus utilisées sont la programmation linéaire [Pan, 89], la programmation mixte en nombres entiers [Fayoraman et al., 99] [Narasimhan et staynoff, 86] [Bender et al., 85] [Nam et al., 95], et la programmation mathématique multi-objectifs [Weber et Current, 93] [Buffa et Jackson, 83]. Ces modèles sont très peu explorés dans la littérature selon les résultats de l'enquête de Weber [Weber et al., 91]. Le problème général multi-objectifs du choix du fournisseur a été élaboré par Weber [Weber et Current, 93].
- **Des approches statistiques / probabilistes**. Le principe de cette approche est basé sur la définition d'un ensemble de scénarios représentant les comportements futurs du fournisseur [Sokup, 87].

À cette classification, nous rajoutons d'autres techniques utilisées telles que :

- **Les méthodes de classement multi-critères** : c'est la méthode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) qui a été le plus utilisée dans la littérature pour résoudre le problème de sélection des fournisseurs [Narasimhan, 83] [Nydick et Hill, 92]. Nydick et Hill [Nydick et Hill, 92] ont proposé une démarche basée sur la méthode AHP. Le principe de base de la méthode AHP consiste en une comparaison par paire des différents fournisseurs pour déterminer la position relative d'un fournisseur par rapport à un critère donné. L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans le fait que la classification des différentes alternatives dépend du degré de préférence du décideur.

- **Une approche par processus basée sur l'évaluation des coûts par la méthode ABC (Activity Based Costing)**: les approches traditionnelles qui distribuent les frais fixes en fonction des charges directes de la main d'œuvre ne sont plus valides dans le cas de l'entreprise d'aujourd'hui [Lefrancois, 94]. C'est la méthode ABC qui est la mieux adaptée dans le contexte de l'entreprise réseau [D'Amours, 95]. Elle permet d'évaluer les coûts des opérations par activité, en fonction des attributs de la demande, de la qualité des produits et des dates de livraison. Par rapport aux autres méthodes utilisées, la méthode ABC est objective car elle assure une évaluation monétaire des critères, qui sont en général considérés comme étant non financiers (qualité, délai...). Nous trouvons une application de cette méthode dans le cas du processus de sélection du fournisseur chez un donneur d'ordres dans [Roodhooft et Konings, 96] et [Degraeve et Roodhooft, 99].

5.3. Mono-sourcing/multi-sourcing

La problématique du choix de passer contrat avec un seul fournisseur ou de partager l'offre entre plusieurs fournisseurs est très largement traitée dans la littérature. L'une et l'autre présentent des avantages et des inconvénients.

Stratégie à plusieurs vendeurs : la concurrence entre les vendeurs les amène à atteindre le niveau de performance souhaité et augmente le pouvoir de négociation du donneur d'ordres, ce qui limite l'apparition de comportements opportunistes de la part des vendeurs. Toutefois, il est plus coûteux de coordonner ses activités avec plusieurs vendeurs [Porter, 85]. De plus ceci minimise la dépendance de la firme vis-à-vis d'un seul vendeur (problème de grève, de qualité du produit livré...) [Weber et al., 00].

Stratégie à un seul vendeur : Ceci entraîne des comportements opportunistes, ainsi qu'une perte de performance et vulnérabilité. Cependant cette stratégie peut être efficace dans certaines conditions [Deming, 86]. Le développement des relations avec un seul vendeur, à condition que cela soit à long terme permettra de réduire les coûts et d'assurer la qualité. La faible performance du vendeur est due à des problèmes de communication et de coordination ce qui peut être évité avec des relations à long terme.

Ainsi, un compromis doit être fait pour choisir entre l'une ou l'autre des deux stratégies. De plus des contraintes internes (liées au nombre maximum de vendeur à utiliser, les quantités minimales et maximales à commander...), et externes (telles que la capacité de production des vendeurs...) ont une incidence sur le choix du nombre de fournisseurs à contracter [Weber et al., 2000]. Il sera donc intéressant de savoir sous quelles conditions il faut opter pour l'une ou l'autre des stratégies. Plusieurs travaux dans la littérature ont traité cette question.

Fayoraman [Fayoraman et al., 99] soutient l'idée d'utiliser plusieurs fournisseurs en même temps. Adresser la totalité de sa demande à un fournisseur unique (même si c'est le moins cher), pourra être au détriment d'autres critères (tels que qualité et délais). Les fournisseurs doivent être choisis sur la base de leur capacité à répondre aux exigences du client. Un modèle linéaire binaire mixte est établi permettant le choix parmi un ensemble de fournisseurs potentiels, minimisant le coût total fixe (relatif aux fournisseurs choisis) et variable (relatif aux quantités achetées) et répondant aux contraintes de capacité de stockage chez le fournisseur, du nombre maximal de fournisseur à utiliser, des délais de livraison à respecter, des conditions sur les niveaux de qualité acceptables, ainsi que la capacité de production des fournisseurs.

Weber, dans l'un de ses récents travaux, [Weber et *al.*, 00], utilise la programmation mathématique multi-objectifs, ainsi que la méthode du «*Data Envelopment Analysis*» (DEA) pour évaluer le nombre de vendeurs à employer dans une situation de fourniture. Le DEA est utilisé pour analyser l'effet des variations des contraintes sur les alternatives d'achat de la firme. En se basant sur une formulation multi-objectifs du problème (MOP) de la sélection des fournisseurs [Weber et Current, 93], et qui considère le nombre de vendeurs comme étant une contrainte du modèle, la méthode du DEA est utilisée pour mesurer l'effet de la variation de cette contrainte sur la solution donnée par le modèle MOP, ce qui permet de déterminer le nombre de vendeurs le plus efficient.

5.4. Impact des politiques de gestion des stocks

Les modèles de gestion de stock que l'on retrouve dans la littérature classique de gestion industrielle [Giard, 81] se rapportent toujours à un seul fournisseur. En effet, le point de commande et les lots d'approvisionnement (fixe ou variable), en considérant une demande connue (déterministe ou aléatoire), ainsi que des délais de livraison (déterministe ou aléatoire) s'appuient toujours sur l'utilisation d'un seul fournisseur. Dans le cas de plusieurs fournisseurs, les modèles standards des coûts définissant la variation du coût de stockage en fonction du temps changent.

Dans l'objectif d'obtenir un équilibre entre l'utilisation d'un fournisseur ou encore de deux fournisseurs en même temps, Ganeshan [Ganeshan et *al.*, 99] s'est intéressé à la détermination des points de commande associés à chaque fournisseur, ainsi qu'aux quantités à commander auprès de chacun d'eux. Les auteurs supposent que l'entreprise a un fournisseur préféré qui se situe en première position et qui répond à la majorité des ordres placés. Ce fournisseur est défini comme étant « sérieux », et caractérisé par un faible temps de réponse (moyenne et variance). L'entreprise a également la possibilité d'utiliser un second fournisseur qui lui assure une remise de prix. Cependant, ce deuxième fournisseur n'est pas « sérieux » : temps de réponse (moyenne et variance) plus long. Le modèle permet de déterminer, le niveau de remise de prix à partir duquel il est intéressant d'utiliser le second fournisseur, ainsi que la fraction de l'ordre (f) à partager.

Sur la figure 18, nous présentons le modèle de stock correspondant à la fourniture de la part de deux fournisseurs. Le modèle possède deux points de commandes. Le premier point correspondant au premier fournisseur avec une quantité commandée correspondant à la quantité totale (Q) multipliée par la fraction correspondant à ce premier fournisseur ($1-f$). Le second point correspond à l'arrivée du reste de la commande (Qf) de la part du second fournisseur après un certain temps. Nous pouvons constater que par rapport à la fourniture simple (un seul fournisseur utilisé), la firme gagne sur la valeur du stock en s'approvisionnant auprès des deux fournisseurs (figure 18).

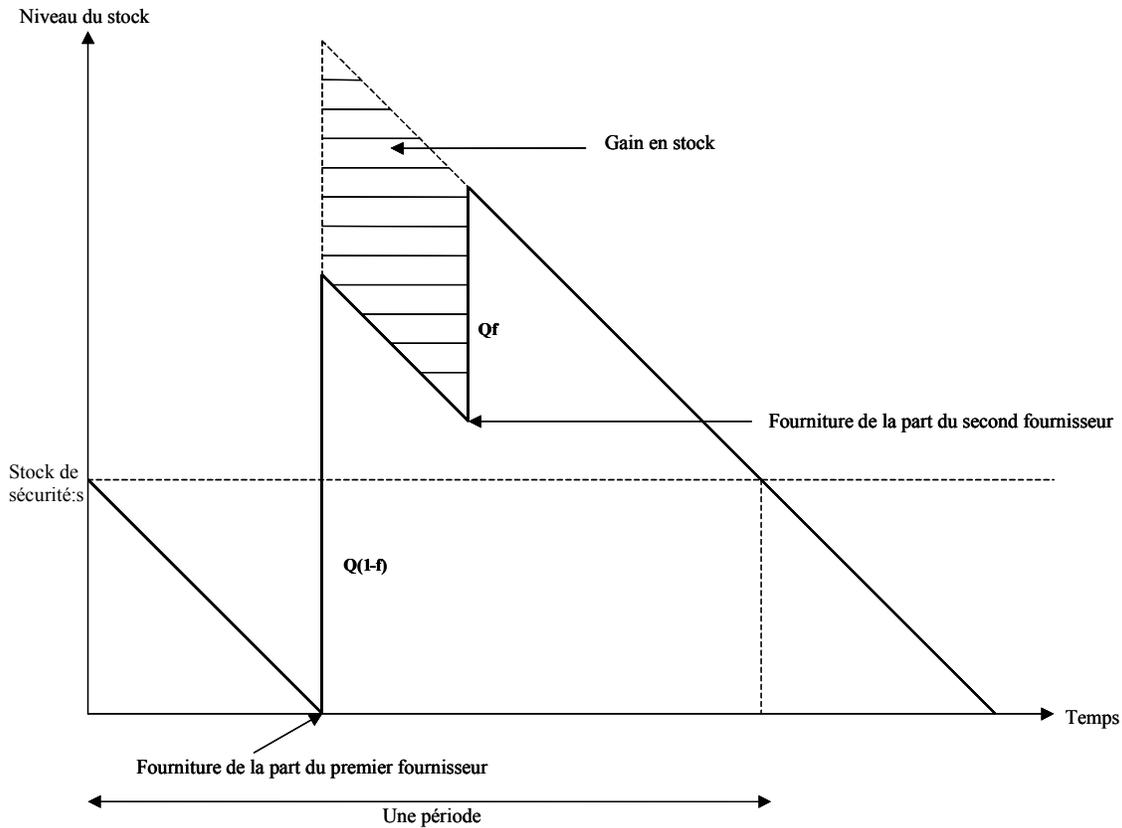


Figure 18 : Le modèle de stock (s,Q) dans le cas d'un approvisionnement de la part de deux fournisseurs

Anupindi et Akella [Anupindi et Akella, 93] ont élaboré un modèle qui permet de déterminer quand est ce qu'il faut opter pour la fourniture simple ou pour la fourniture multiple, ainsi que les points de commande associés. Ils ont considéré différentes stratégies de livraison :

- Une seule livraison pour toute la demande si la totalité est disponible, sinon tous les ordres seront déplacés à la prochaine période.
- Une seule livraison de la fraction de la demande disponible, le reste est annulé.
- Plusieurs livraisons : les quantités disponibles seront livrées et le reste n'est pas perdu mais livré à la prochaine période.

Dans le cas où les délais de livraison sont aléatoires, et où l'entreprise utilise N fournisseurs ($N \geq 2$), Sedarage [Sedarage et *al.*, 99] a élaboré un modèle analytique minimisant le coût total par unité de temps (coût d'achat + coût d'émission de l'ordre + coût de possession + coût de pénurie). Le modèle permet de déterminer le niveau du stock pour lequel il y a émission d'un ordre, ainsi que la quantité à commander pour chaque fournisseur.

Dans un environnement d'incertitude des prix, Li et Kouvelis [Li et Kouvelis, 99] ont formulé un modèle analytique maximisant la valeur actuelle nette du coût d'achat et du coût de possession. Le modèle détermine quand et combien acheter pour les deux stratégies suivantes d'approvisionnement :

- Un seul fournisseur avec aucune flexibilité en quantité.
- Deux fournisseurs avec flexibilité en temps et en quantité.

En guise de conclusion de ce paragraphe, nous pouvons dire que par rapport à la décision de faire ou faire-faire, notre problème revient essentiellement à une optimisation du choix des fournisseurs. Le lien avec la politique de gestion des stocks intervient à un horizon plus court que celui qui concerne la conception stratégique de la chaîne logistique.

6. Conclusion

Pour remplir sa mission, l'entreprise réseau doit s'engager dans une série d'activité d'approvisionnement, de transformation, de transport et d'entreposage. Ces activités constituent les fonctions de sa chaîne logistique. Elle choisit pour chacune de ses activités une option stratégique : faire, faire-faire, faire ensemble, ne pas faire. Pour réaliser ses activités, l'entreprise mise sur ses propres unités économiques (nœuds internes) et sur un ensemble d'entreprises candidates disponibles (nœuds externes : fournisseurs), qui possèdent des expertises et des technologies différentes et localisées un peu partout dans le monde. Ceci fait partie du problème de configuration du réseau qui consiste ainsi à définir explicitement les nœuds et les liens à créer, maintenir, améliorer, ainsi que l'ensemble des activités devant être réalisées par chacun de ces nœuds [D'Amours, 95].

Plus précisément la problématique de "faire ou faire-faire" s'intéresse :

- Au choix de la **localisation** des sites de production (interne ou externe) et d'**allocation** des produits à ces sites. Ceci se traduit par des **problèmes de localisation / allocation** dans la chaîne logistique.
- À la **sélection des fournisseurs** à employer : Lesquels ? Un ou plusieurs en même temps ? Quelle combinaison optimale ? Quelle politique de gestion des stocks à adapter en fonction du fournisseur choisi : quand placer un ordre auprès de ses fournisseurs, et avec quelles quantités, en fonction des délais de livraison pour répondre à la demande de ses clients à temps ?

Nous pouvons ainsi déduire, par rapport aux trois niveaux de gestion d'une chaîne logistique que le choix de faire ou faire-faire concerne principalement le niveau de conception de la chaîne logistique (gestion stratégique de la chaîne). Nous avons montré par ailleurs, au paragraphe 4.3, que les décisions au niveau de la gestion tactique de la chaîne (moyen terme) ont un impact également sur la configuration de la chaîne. Enfin, il faudrait intégrer les critères qualitatifs, liés dans notre cas à la stratégie de faire ou faire-faire tel que nous l'avons vu au paragraphe 4.2 de ce présent chapitre et au chapitre 1.

Chapitre 3 : Problématique & démarche

Nous situons dans ce chapitre la problématique ainsi que notre démarche de recherche.

1. Problématique générale

La décision de faire ou faire-faire fait partie du niveau de gestion à long terme de la chaîne logistique (conception de la chaîne). D'après un premier constat ressortant de notre analyse bibliographique, plusieurs facteurs doivent être pris en considération lors de la conception de la chaîne logistique en réponse au choix de faire ou faire-faire :

- La nécessité de la prise en compte de facteurs émanant de la stratégie globale de l'entreprise.
- La nécessité de faire le lien entre le niveau de gestion à long et à moyen terme de la chaîne. Ce dernier devrait influencer le choix de configuration de la chaîne.

Notre problématique se résume alors en trois questions fondamentales :

- Comment développer une stratégie cohérente pour la décision de faire ou faire-faire ?
- Comment aider l'entreprise à constituer son réseau et à choisir ses partenaires ?
- Comment interagissent les décisions au niveau de la gestion tactique de la chaîne avec celles prises au niveau de la gestion stratégique dans le cadre de la décision de faire ou faire-faire ?

2. Démarche

Nous avons constaté que la conception d'une chaîne logistique passe par une approche qui d'une part intègre la stratégie de l'entreprise et d'autre part permet de faire le lien entre les deux niveaux de décision dans la chaîne logistique (stratégique et tactique).

La démarche que nous proposons comporte trois étapes (figure 19).

La première étape consiste en l'élaboration de **la chaîne logistique potentielle**. Celle-ci représente la chaîne logistique de l'entreprise en tenant compte de sa stratégie de "faire ou faire-faire" et des projets d'expansion en intégrant l'ensemble des fournisseurs potentiels (internes et externes) pouvant intervenir dans chacune des activités, et qui peuvent répondre à la stratégie globale de l'entreprise. Par exemple pour l'activité 1 et pour le produit P_1 correspondant, nous avons le choix de l'effectuer en interne ou encore d'utiliser deux fournisseurs externes (F_{111} et F_{112}).

La deuxième étape consiste en **la conception de la chaîne logistique** (niveau de gestion stratégique) : il s'agit de choisir, à partir de la chaîne logistique potentielle, les fournisseurs qui seront retenus (par exemple F_{211} pour l'activité 2 et produit 1) pour chaque sous-produit ou composant intervenant dans le produit final, ainsi que les quantités de matières qui leur seront demandées pour répondre à la demande du client final.

La troisième étape consiste à établir le lien avec le niveau de **pilotage de la chaîne logistique** (niveau de gestion tactique) et vérifier l'impact des décisions prises au niveau tactique sur le

choix des installations de la chaîne (fournisseurs internes ou externes⁷ ?). En effet, certaines décisions liées au niveau du pilotage, et qui se traduisent par différentes politiques de production, d'inventaire et de qualité au niveau de chacun des nœuds du réseau (interne ou externe) définis dans la phase de la conception de la chaîne, influencent la performance de la chaîne logistique. Le modèle de conception de la chaîne logistique doit ainsi être révisé afin de maintenir une configuration "optimale" de la chaîne.

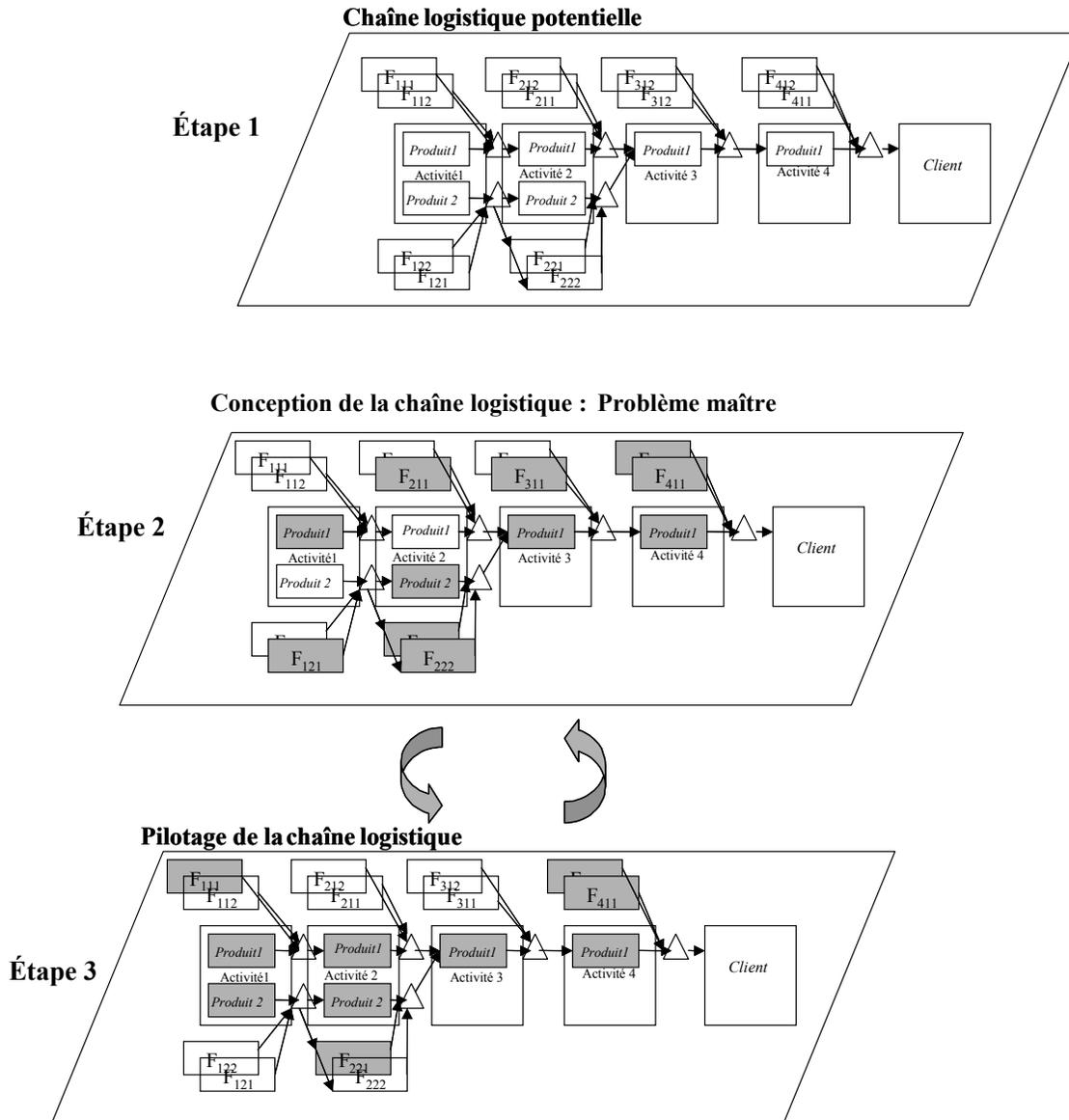


Figure 19 : Une nouvelle démarche pour la conception intégrée d'une chaîne logistique

⁷ Un fournisseur interne désigne une installation (usine, entité, etc.) responsable, autogérée et qui dépend directement du donneur d'ordres, par opposition à fournisseur externe, qui désigne une installation, indépendante et autonome

Nous partons de la structure représentée à la figure 19 et nous définissons l'apport de chaque niveau de décision (stratégique et pilotage tactique) pour notre problème, ainsi que les liens entre ces deux niveaux. Nous proposons le cadre de référence représenté par la figure 20 comme modèle d'aide à la décision.

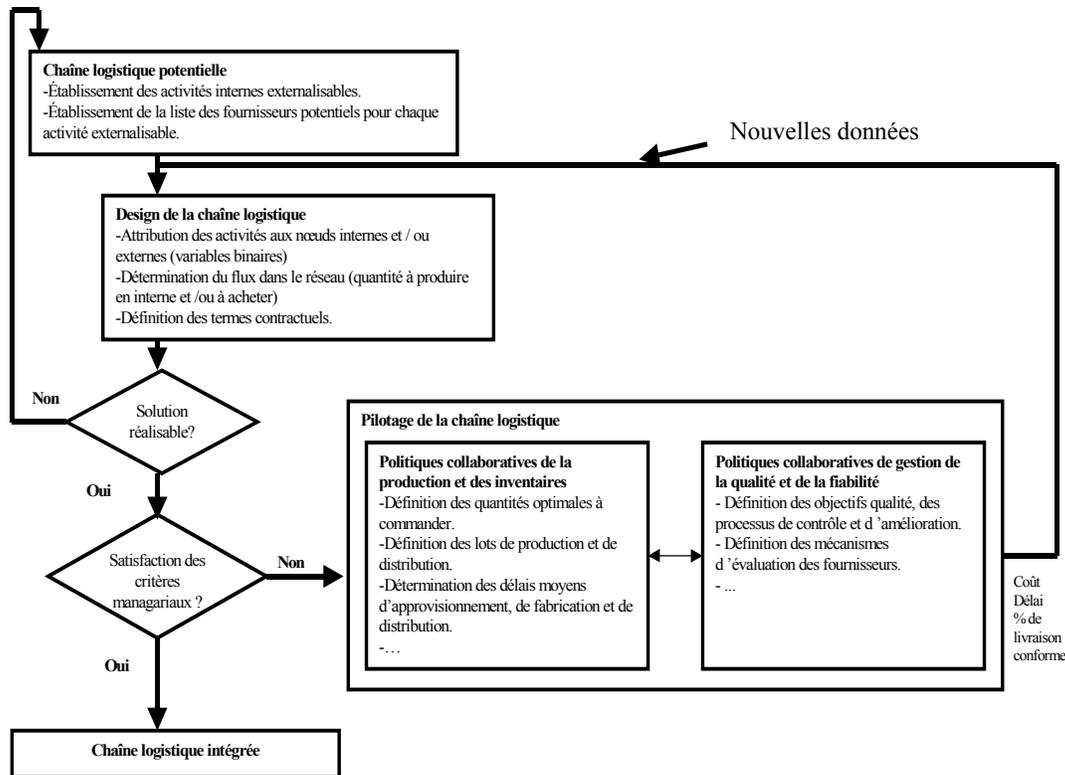


Figure 20 : Cadre de référence pour la conception intégrée d'une chaîne logistique

La démarche que nous proposons pour la conception d'une chaîne logistique prenant compte le choix de faire ou de faire-faire est décrite par l'algorithme d'aide à la décision suivant :

1) La première étape : Détermination de la chaîne logistique potentielle

La détermination de la chaîne logistique potentielle nécessite la prise en compte des critères techniques, stratégiques (émanant de la stratégie de faire ou faire-faire), ainsi qu'une analyse basée sur le coût de transaction pour déterminer les critères de sélection des fournisseurs potentiels. Les phases préliminaires à l'élaboration de la chaîne logistique potentielle sont décrites à la figure suivante :

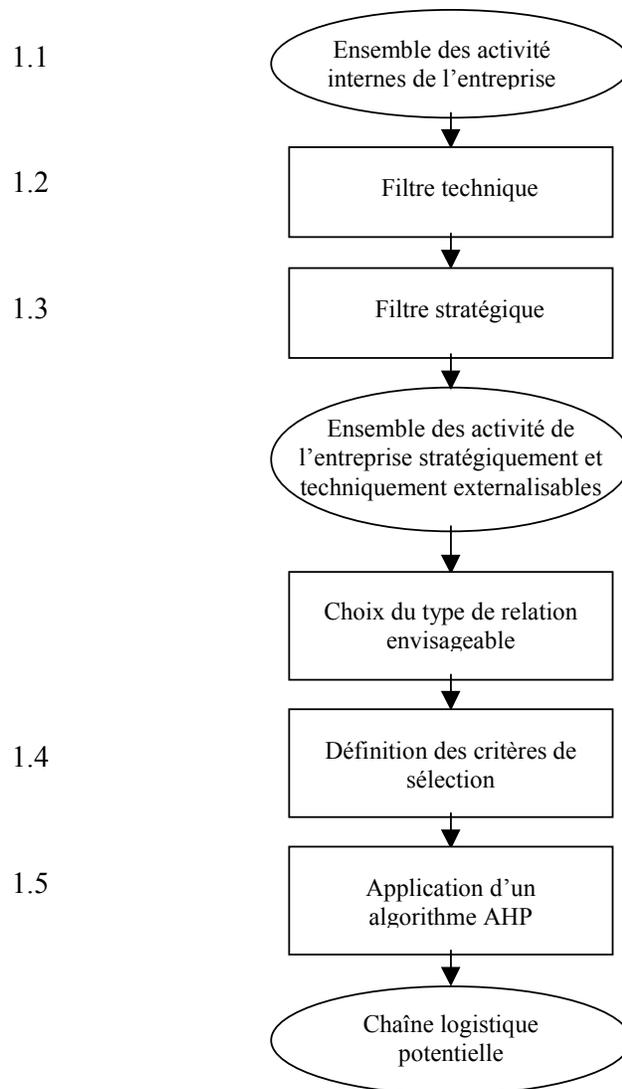


Figure 21 : Les étapes à suivre pour l'élaboration de la chaîne logistique potentielle

1.1 : Définir l'ensemble des activités de l'entreprise.

1.2 : Analyse technique (filtre technique) : définir les activités techniquement externalisables.

À partir des activités internes du processus de fabrication de l'entreprise, nous commençons d'abord par déterminer les activités techniquement externalisables ou internalisables en s'interrogeant sur la faisabilité des processus et de la possibilité d'attribuer une partie à un tiers. Il convient de préciser qu'il peut exister des activités non externalisables techniquement en raison de problèmes :

- de manutention,
- d'emballage,
- de risque de détérioration du produit,
- de nécessité de continuation dans le processus,
- de protection d'un brevet.

1.3 : Analyse stratégique (filtre stratégique) : Définir les activités stratégiquement externalisables.

Il s'agit de se demander si l'entreprise entretient un avantage concurrentiel en effectuant l'activité en interne et d'identifier les compétences clés de l'entreprise. Dans ce cadre là le modèle de Poulin [Poulin et *al.*, 94], pourrait bien s'appliquer pour définir les activités stratégiquement externalisables (cf. tableau 3). La synthèse de l'évaluation de l'activité s'effectue en mesurant **l'importance** de l'activité dans la création de l'avantage concurrentiel de l'entreprise, **sa performance** et **son potentiel d'amélioration** grâce à un système de pastilles (cf. figure 6).

1.4 : Définir les critères de sélection des fournisseurs pour les activités stratégiquement et techniquement externalisables.

Pour les activités internes stratégiquement et techniquement externalisables, nous cherchons des fournisseurs externes qui peuvent les concurrencer et ceci à partir des données du marché, des sites internet des fournisseurs, etc. À partir d'une analyse des coûts engendrés par la transaction (spécificité des actifs, risque) qui influe sur le type de relation envisagé avec ses sous-traitants (occasionnelle, permanente, etc.), le décideur peut décliner des critères de sélection différents, selon le modèle établi par [Mazella et Rangone, 00] (cf. chapitre 2). Les critères de choix du fournisseur peuvent donc se ramener à :

- des variables de sortie des performances (de fabrication et technique) observées directement sur le produit fini offert par le fournisseur.
- des variables d'état, qui permettent d'évaluer l'infrastructure (de fabrication et technique) mise en œuvre par le fournisseur, notamment dans le cas de relations qui misent sur un savoir-faire et un développement technologique.

1.5 : Déterminer la liste des fournisseurs potentiels.

Un algorithme de décision multi-critères basé sur la méthode AHP (*Analytical Hierarchical Process*) est appliqué pour définir la liste des fournisseurs potentiels à partir des données du marché. En effet, à ce stade nous n'avons pas besoin de déterminer les quantités à acheter mais plutôt à classer les fournisseurs du marché selon les préférences des décideurs et ceci au regard des critères de décision que nous fixons en fonction du type de relation envisagé.

Généralement la hiérarchie (figure 22) se compose de trois niveaux [Roy et Bouysson, 93] : l'objectif, les critères et les alternatives de choix. Ces niveaux représentent pour notre problème :

- L'**objectif** est de sélectionner les fournisseurs du marché qui répondent le mieux aux critères de choix du décideur.
- Les **critères** sont ceux arrêtés par le décideur en fonction du type de relations envisagées. Cela concerne soit des critères relatifs au produit fini offert par le fournisseur et qui correspondent à ses performances de fabrication (coût, délai, qualité, service...) ou encore à ses performances techniques (degré d'innovation du produit, options offertes...), soit encore des critères relatifs à l'infrastructure du fournisseur et aux ressources mises en œuvre au niveau de la production (organisation, planification, gestion des ressources), ou encore au niveau technique (gestion des compétences, expertise...)

- Les **alternatives** correspondent aux différents fournisseurs qui peuvent être utilisés sur le marché.

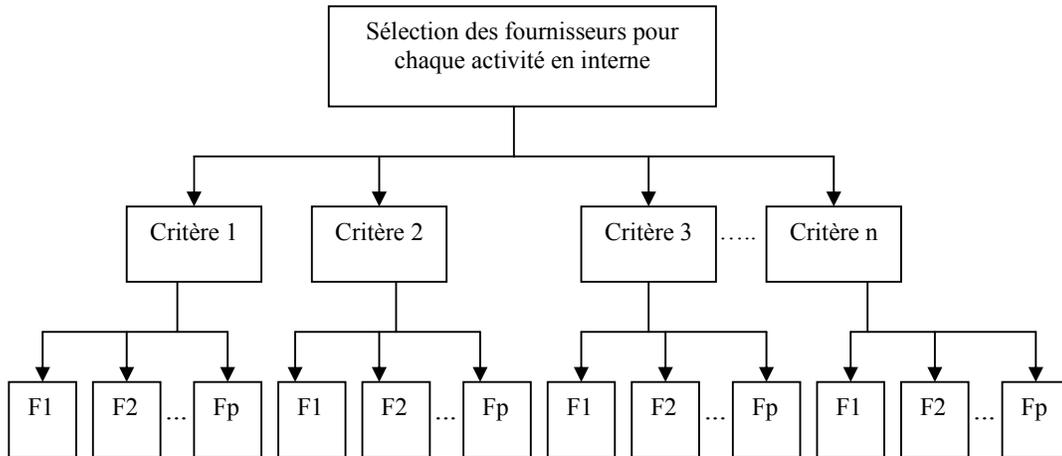


Figure 22 : Application de la méthode AHP pour le problème de sélection des fournisseurs

Ainsi, AHP offre une méthode pour classer différentes actions (choix des fournisseurs) basée sur un jugement du décideur au regard de l'importance des différents critères ainsi que sur la capacité de chaque alternative (fournisseur) à satisfaire chacun des critères. L'analyse se fait en déterminant l'impact de chaque niveau sur le niveau supérieur. Nous commençons par déterminer l'importance relative de chaque critère pour notre objectif et ceci à partir d'une comparaison par paire des différents critères. Ensuite, nous déterminons pour chaque critère l'aptitude de chaque alternative à le satisfaire en se basant également sur une comparaison par paire des différentes alternatives afin d'établir l'importance relative de chaque alternative par rapport à chaque critère de choix. On détermine ainsi l'importance de chacune des alternatives par rapport à l'objectif.

Pour l'évaluation par paire des préférences nous pouvons utiliser l'échelle suivant :

| Préférence | Estimation numérique |
|------------------------|----------------------|
| Extrêmement préféré | 9 |
| Très fortement préféré | 7 |
| Fortement préféré | 5 |
| Moyennement préféré | 3 |
| Egalement préféré | 1 |

Les valeurs intermédiaires 2,4,6 et 8 introduisent les nuances de jugements

Tableau 6 : Une grille d'évaluation des préférences

L'algorithme AHP pour le problème de la sélection des fournisseurs se résume en quatre points successifs :

- a/ : Spécifier les critères de sélection (c_i).
- b/ : Effectuer une comparaison par paire entre les différents critères par rapport à leur importance dans la décision de sélection des fournisseurs (objectif). En déduire le poids relatif (P_{c_i}) de chaque critère (c_i) dans l'atteinte de l'objectif.
- c/ : Evaluer la capacité relative (N_{f_j, c_i}) de chaque fournisseur (f_j) à répondre à chaque critère (c_i) en se basant sur une comparaison par paire des fournisseurs.
- d/ : En utilisant les résultats des points b/ et c/, calculer la priorité de chaque fournisseur à atteindre l'objectif. Ceci correspond à la somme sur tous les critères des produits obtenus en multipliant l'aptitude relative du fournisseur à répondre à un critère donné par le poids relatif de ce dernier par rapport à l'objectif final. Nous obtenons ainsi un classement des différents fournisseurs en se basant sur cette note ($\sum_{c_i} P_{c_i} \times N_{f_j, c_i}$) calculée pour chaque f_j .

2) La deuxième étape : Concevoir la chaîne logistique

À ce niveau, et à partir de la chaîne logistique potentielle, nous procédons à l'optimisation des flux dans la chaîne. Cela consiste à déterminer les installations (internes ou externes) qui peuvent être utilisées pour répondre à la demande des clients. À partir de la demande connue pour une période de planification donnée, nous déterminons pour chaque installation activée la quantité de matière demandée c'est-à-dire à fabriquer en interne pour les ateliers de production en interne et/ou à acheter à des fournisseurs externes. L'objectif retenu serait d'une part de minimiser le coût total de fabrication en interne, le coût d'achat de l'extérieur pour l'entreprise ainsi que le coût des stocks, et d'autre part de maximiser le taux d'utilisation des installations de la chaîne. Les contraintes à respecter sont relatives à la satisfaction de la demande, aux capacités des fournisseurs externes, aux capacités internes des ateliers et des moyens de transport, au partage de ressources (humaine, heure machine), à la conservation des flux de matières pour chaque activité, au délai à respecter pour chaque produit, ainsi qu'à une marge par rapport à un taux d'utilisation maximum des installations de la chaîne permettant de garantir une certaine flexibilité par rapport aux aléas. Le modèle doit prendre en compte la nomenclature du produit et le cas où l'entreprise fournirait la matière à ses sous-traitants pour compléter une partie de la fabrication (ceci est connu sous l'appellation de sous-traitance à façon⁸ ou façonnage).

3) La troisième étape : Tester s'il y a une solution réalisable.

Si on aboutit à une solution réalisable, aller à la quatrième étape. Sinon revenir à la phase 1.4 en modifiant les critères de sélection des fournisseurs, ou encore le nombre de fournisseurs retenus.

⁸ Selon la norme [X 50-300 87], le travail à façon ou façonnage est l'exécution par une entreprise appelée « façonnier », pour le compte d'une entreprise donneuse d'ordres, de certaines opérations sur des matières ou des demi-produits fournis par cette entreprise donneuse d'ordres

4) La quatrième étape : Tester s'il y a satisfaction des critères managériaux.

Pour la configuration de la chaîne ainsi obtenue, nous testons si les critères de décision relatifs aux coûts, qualité, et délai sont satisfaisants ou pas. Si les critères de décisions sont satisfaisants alors aller à la septième étape sinon aller à la cinquième étape.

5) La cinquième étape : Procéder à l'optimisation au niveau du pilotage.

Des modèles analytiques représentant les coûts de stockage, de production, permettent de prendre en compte les aléas au niveau des approvisionnements, et des ateliers de production. Ces modèles sont utilisés afin de faire le lien avec la politique de gestion de production et des inventaires pour une activité qui peut être faite en interne et en externe. En nous basant sur les incertitudes relatives aux délais d'approvisionnements et aux aléas au niveau de la fabrication en interne, nous déterminons avec précision les lots de commande optimaux pour chaque fournisseur retenu du sous-modèle stratégique. Les lots de production en interne et les délais moyens de fabrication et d'approvisionnement seront également fixés. La détermination de ces paramètres influence la structure des coûts. Dans le calcul de ces coûts, il faudrait également tenir compte de la politique qualité de l'entreprise en considérant le taux de pièces non conformes, ainsi que la fiabilité des fournisseurs.

6) La sixième étape : Procéder à la re-configuration de la chaîne.

Nous relançons l'algorithme à partir de la deuxième étape. Sur la base de ces nouvelles données relatives aux coûts, qualité et délai, les fournisseurs potentiels sont invités à soumettre en définissant conjointement avec l'entreprise les informations partagées ainsi que les mécanismes d'une gestion en collaboration. Nous déterminons ainsi les installations qui sont activées pour chaque période considérée, ainsi que les quantités de matières correspondantes.

7) La septième étape : Fin.

3. Illustration sur un exemple

Dans ce paragraphe, nous présentons un exemple de chaîne logistique afin d'illustrer les apports de notre approche par rapport à celle basée uniquement sur une gestion stratégique (à long terme) de la chaîne.

Le cas retenu est celui d'une entreprise localisée en Tunisie spécialisée dans la fabrication de réfrigérateurs [Lakhal, 98]. Elle fabrique deux modèles de base de réfrigérateurs : le réfrigérateur 330L (noté p_{26}) et le réfrigérateur 300L (noté p_{27}).

Le processus de production commence par l'achat de tôles noires qui seront découpées et formées. L'opération soudure permet ensuite de fabriquer les armoires et les portes qui seront peintes et isolées par injection de mousse de polyuréthane (activité 17). On obtient ainsi les armoires et les portes qui passeront sur la chaîne de montage (activités 25 et 26) pour installation des unités frigorifiques. Les produits subissent ensuite les tests et contrôles avant d'être emballés et expédiés au magasin de stockage de produits finis (activité 51 et 52). L'entreprise possède d'autre part une unité de fabrication d'étagères utilisant un processus de chromage (activité 24).

La figure 23 représente les chaînes logistiques potentielles imbriquées des deux produits finis de l'entreprise (p₂₆ et p₂₇). Pour schématiser la chaîne logistique potentielle de l'entreprise, nous avons représenté :

- Les installations (identifiées par des rectangles) désignent soit des activités de production soit des fournisseurs et des sous-traitants externes, soit encore des stocks. Pour simplifier un peu le schéma, nous avons choisi de ne pas représenter les fournisseurs de matières premières. Toutefois les matières premières utilisées par chaque activité sont représentées par des flèches à l'entrée de celle-ci. Les stocks appartiennent toujours à l'entreprise. En annexe 4, nous présentons la liste des activités selon les notations que nous avons adoptées, ainsi que la liste des produits.
- Les flux de matière entre les installations sont des activités de transport qui sont représentées par des flèches.

Les notations que nous adoptons pour schématiser une chaîne logistique sont représentées dans le tableau 7 :

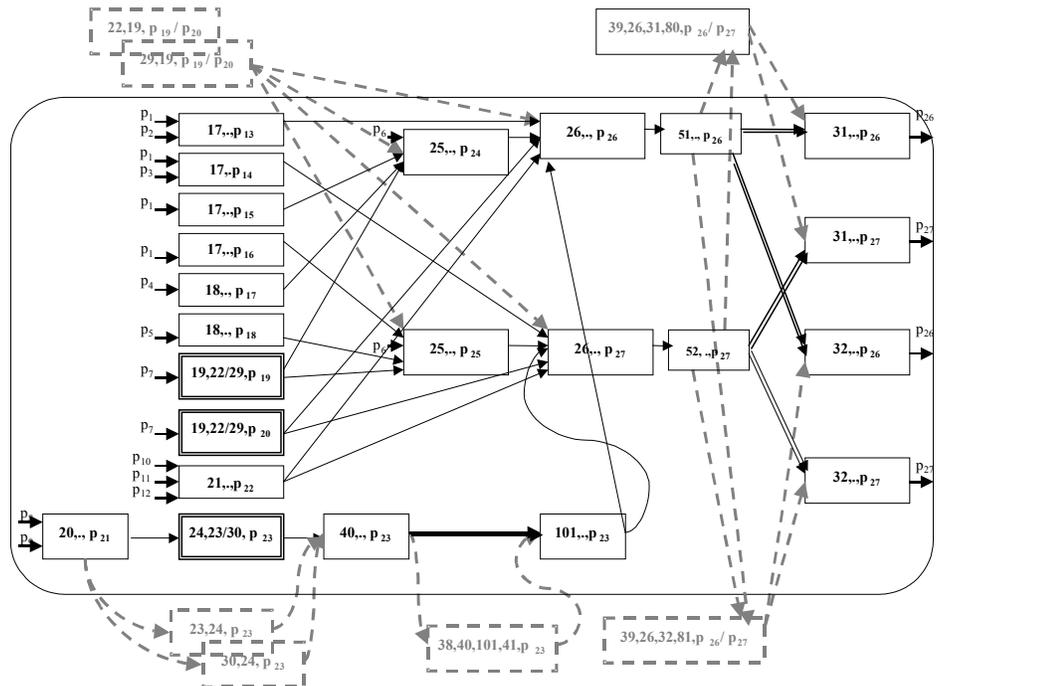
| | | Désignation | |
|---------------------------|--|---|---|
| Activités internes | Activité non stratégiquement et techniquement externalisable | Activité de production | (n° de l'activité en question , . , désignation relative au produit fabriqué par l'activité) |
| | | Activité de stockage | (n° de l'activité en question , . , désignation relative au produit fabriqué par l'activité) |
| | | Activité de transport | (n° de l'activité en question , activité de départ , activité d'arrivée , . , désignation relative au produit transportée) |
| | Activité stratégiquement et techniquement externalisable | Activité de production | (n° de l'activité en question , n° des activités externes concurrentes séparés par une barre oblique «/» , désignation relative au produit fabriqué par l'activité) |
| | Activité de transport | (n° de l'activité en question , activité de départ, activité d'arrivée , n° des activités externes de transport concurrentes séparés par une barre oblique « / » , désignation relative au produit transportée) | |
| Activités externes | Activité de production | (n° de l'activité en question , n° de l'activité interne concurrente , désignation relative au produit fabriqué par l'activité) | |
| | Activité de transport | (n° de l'activité en question , activité de départ, activité d'arrivée , n° de l'activité interne de transport concurrente , désignation relative au produit transportée) | |

Tableau 7 : Tableau représentant les notations adoptées pour les activités de l'entreprise

L'analyse technique et stratégique (étapes 1.2 et 1.3 de l'algorithme) a permis de qualifier les activités suivantes d'activités techniquement et stratégiquement externalisables (cf. figure 23):

- le chromage (activité 24),
- l'injection plastique (activité 19)
- le transport entre l'activité interne de dédouanement des étagères (activité 40) et l'activité de dédouanement proprement dite (activité 101)
- le transport des produits finis depuis les stocks dans l'usine de production (activité 51 et 52) vers les dépôts régionaux (activité 31 et 32).

Ces activités dès lors sont concurrencées par les fournisseurs externes.



Légende :

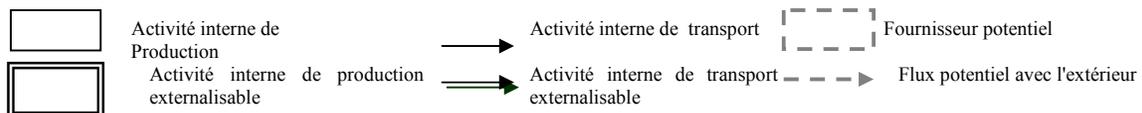


Figure 23 : Chaîne logistique potentielle d'une entreprise de fabrication de réfrigérateur

Nous supposons que l'application d'un modèle mathématique pour la conception de la chaîne permet d'aboutir à la chaîne logistique représentée par la figure 24 pour l'entreprise de fabrication des réfrigérateurs. Ainsi le partenaire externe 30 est retenu pour la plastification des étagères, et pour l'activité interne de chromage (activité 24). En ce qui concerne l'injection plastique le modèle propose de garder en interne la fabrication des produits 19 et 20 tout en utilisant le partenaire 22. Pour le transport entre les stocks de produits finis et les dépôts, le modèle suggère l'utilisation des ressources internes entre le stock p_{26} et le dépôt 32 seulement et entre le stock p_{27} et les dépôts 31 et 32 pour le produit p_{27} . Le transport public est également utilisé pour les produits p_{26} et p_{27} entre les stocks de produits finis correspondant et les dépôts 31 et 32. Pour le transport entre les activités 40 et 101, seul le transport public est utilisé.

Une étape importante de notre travail consistera alors à développer un modèle mathématique qui sera utilisé au niveau de la conception de la chaîne logistique et qui tiendra compte de la décision « faire ou faire-faire », tout en ayant une vision globale de toute la chaîne.

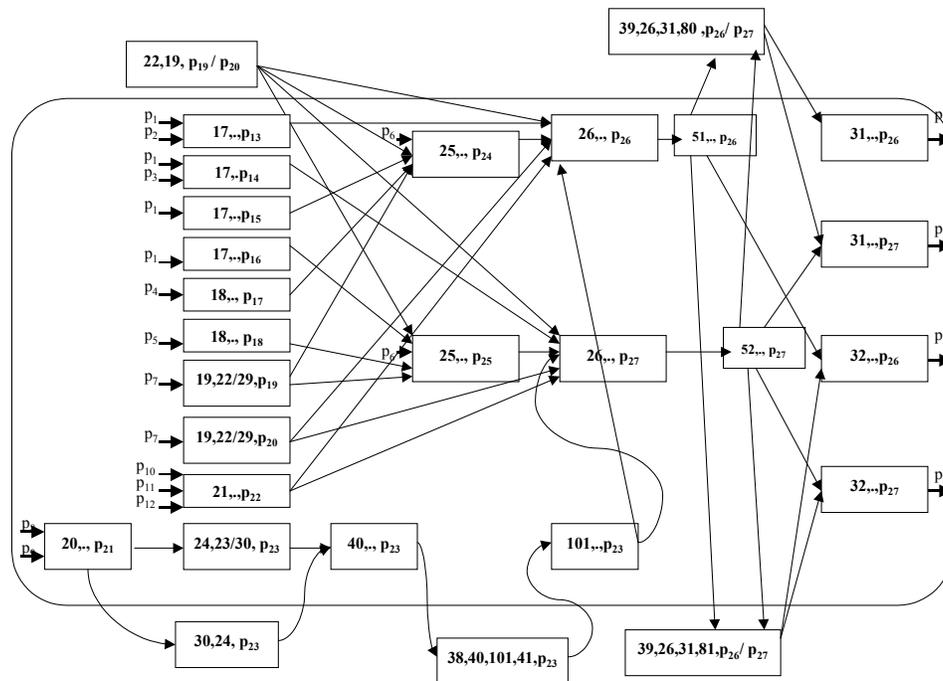


Figure 24 : Configuration de la chaîne logistique de l'entreprise

Il est à noter que la chaîne logistique ainsi configurée peut ne pas répondre aux exigences de coût, délai et qualité fixés par l'entreprise. En effet, l'entreprise peut rencontrer des problèmes de respect des délais vis-à-vis de ses clients finaux dans le cas où les partenaires utilisés ne sont pas assez fiables. De plus, l'entreprise peut avoir des problèmes de qualité (pièces non conformes) à la réception des pièces fournies par ses partenaires ce qui l'amènera à refuser certains lots achetés. Ceci augmente les coûts et éventuellement prolonge les délais.

Parmi les paramètres intervenant dans le pilotage de la chaîne, nous proposons dans cette thèse d'évaluer l'impact des politiques de stockage sur la configuration de la chaîne. Nous allons considérer une politique de gestion de stock basée sur les économies d'échelle. Dans ce cas, le calcul des coûts des inventaires est effectué une fois la chaîne configurée et connaissant les installations en internes et en externes afin d'établir le lien entre le niveau du stock, et le flux de matière dans la chaîne, ainsi que le délai de livraison moyen, en tenant compte de toutes les chaînes (internes et externes) qui contiennent le produit. Ainsi en calculant le coût des inventaires et en le ré-injectant dans le modèle mathématique initialement établi pour la conception de la chaîne prenant en compte le choix de faire ou faire-faire, nous vérifions si la nouvelle solution obtenue correspond bien à la solution initiale. Ceci constitue un moyen de valider la structure de la chaîne en prenant en compte les décisions au niveau de la gestion tactique de la chaîne logistique.

Partie II : Modélisation

Dans cette deuxième partie, nous exposons la manière dont nous avons abordé la modélisation du problème de la décision de "faire ou faire-faire".

Chapitre 4 : Une première modélisation du problème de faire ou faire-faire

Dans le cas d'un réseau, les entreprises mettent en commun leurs ressources afin de mieux répondre aux exigences de leurs donneurs-d'ordres et de partager les commandes entre eux. C'est notamment le cas dans la sous-traitance de capacité : une entreprise peut faire appel aux autres entreprises de son réseau dans le cas où ses capacités en interne ne seraient pas suffisantes.

Dans ce chapitre, nous proposons tout d'abord une modélisation mathématique de la décision "faire ou faire-faire" qui se présente dans le cas de plusieurs produits finis pour lesquels l'entreprise se pose la question de les réaliser en interne (en disposant des ressources nécessaires à cet effet), ou d'utiliser des fournisseurs externes. Nous validons ensuite notre modèle sur un exemple académique, en testant plusieurs scénarios possibles tel que le cas de capacités internes insuffisantes, où l'entreprise est amenée à choisir entre une planification de main d'œuvre supplémentaire ou le recours à des sous-traitants externes. Enfin, nous illustrons un cadre d'application de notre modèle dans le cas d'un mécanisme de négociation de commande d'une entreprise auprès de son donneur d'ordres et qui peut faire appel aux entreprises de son réseau pour répondre au mieux à un appel d'offre, en terme de coût et de délai.

1. Limitation du champ d'étude

Nous nous sommes intéressés dans un premier temps à l'optimisation du critère coût. En effet, dans l'industrie automobile, le coût de la sous-traitance représente 44%⁹ du coût global d'une voiture pour l'assembleur alors que le coût relatif aux opérations de transformation et d'assemblage ne représente que 29% du coût global [Malcom, 97]. Dans cette section, nous effectuons une formulation mathématique générale du problème qui minimise le coût global du faire et du faire-faire amenant l'entreprise à choisir pour chacun de ses produits finis de produire en interne et/ou d'avoir recours à la fourniture du marché, en précisant à quel(s) fournisseur(s) s'adresser à cet effet.

Deux cas dans la littérature ayant traité des situations simples de décision de faire ou de faire-faire ont été identifiés. D'abord un cas qui concerne le choix de faire ou de faire-faire un produit dans le cas d'un seul fournisseur et ceci pour différents horizons de planification [Lee et Zipkin, 89]. Puis un autre cas qui traite ce choix dans le cadre de la sous-traitance de capacité avec un seul fournisseur [Ahmadi et Tang, 94].

1.1. Le cas d'un produit, un fournisseur et plusieurs périodes

Une formulation mathématique du problème de la décision d'acheter (chez un fournisseur présélectionné) ou de produire en interne a été faite dans [Lee et Zipkin, 89] avec l'objectif de minimiser le critère coût. Les éléments considérés dans le coût sont : le coût de production, le coût d'achat et le coût de stockage qui sont tous considérés comme des fonctions concaves respectivement des quantités produites, achetées et en stock.

Les hypothèses considérées sont :

- la capacité de production interne est limitée,
- la fourniture est illimitée. Cette hypothèse est très forte puisque la fourniture est au moins limitée par les capacités internes du fournisseur.

⁹ Ce coût représente aujourd'hui près de 60% du coût global.

Un algorithme a été proposé par les auteurs pour résoudre ce modèle. Dans le cadre de notre problématique, le modèle doit être étendu dans le cas d'une possibilité de partage de l'offre entre plusieurs fournisseurs (*multiple sourcing*).

1.2. Le cas de la sous-traitance de capacité

Ahmadi et Tang [Ahmadi et Tang, 94] ont considéré le cas où une entreprise possède une certaine capacité en interne pour fabriquer certains produits. Face à une augmentation de la demande, l'entreprise pourra être amenée à augmenter ses capacités internes de production. Afin de réduire le risque d'avoir une capacité excessive, l'entreprise pourra décider de sous-traiter la partie additionnelle de la demande : il s'agit alors de sous-traitance de capacité. C'est le "*dual provisioning*" qui constitue une solution à court terme. L'avantage de cette solution est d'avoir la possibilité de lisser la production interne en permettant au fournisseur d'absorber la fluctuation de la demande. Toutefois, il pourra y a des inconvénients majeurs tels que :

- Le risque d'affecter la position concurrentielle de la firme en permettant au fournisseur d'acquérir de nouvelles parts de marché.
- La nécessité d'avoir des relations stables avec le fournisseur afin d'instaurer un climat de confiance.

Le problème consiste pour l'entreprise de décider quelle quantité produire pour chaque type de produit (k), pour chaque période de temps (t), en ayant le choix entre utiliser ses propres équipements et/ou d'avoir recours à un fournisseur extérieur. Les stocks en fin de période ($I_{k,t}$) et les quantités à livrer au client à la fin de chaque période ($S_{k,t}$) constituent également des variables du modèle. Ceci est illustré dans la figure 25.

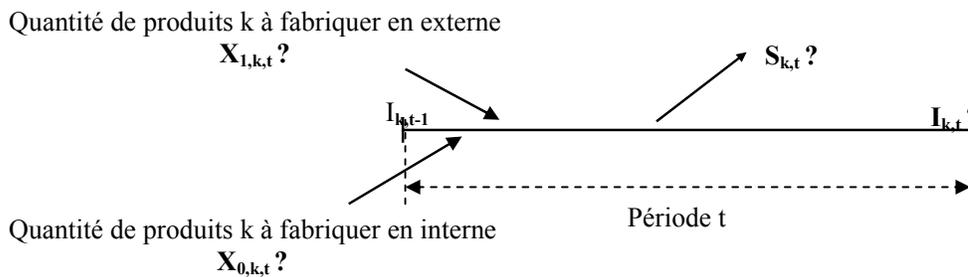


Figure 25 : Illustration des variables de décision du modèle de [Ahmadi et Tang, 94]

L'objectif étant est minimiser le coût total qui est composé :

- du coût de production,
- du coût d'achat,
- du coût de possession du stock,
- du coût de perte de la demande non satisfaite.

Pour modéliser les coûts fixes et les coûts variables relatifs à l'achat et à la production, les auteurs ont utilisé des fonctions binaires. Deux heuristiques ont été proposées pour résoudre ce modèle.

Face à notre problématique d'origine, ce modèle ne permet pas le choix entre plusieurs fournisseurs potentiels. Le bénéfice d'utiliser plusieurs fournisseurs en même temps plutôt

qu'un fournisseur unique a été montré grâce à plusieurs travaux [Anupindi et Akella, 93] [Ganeshan et al., 99] [Ngwenyama et Bryson, 99].

Par rapport aux approches citées précédemment, dans ce chapitre, nous généraliserons ces travaux dans le cas où l'entreprise utiliserait plusieurs fournisseurs en même temps. Ainsi, nous déterminons quels fournisseurs choisir, ainsi que le nombre optimum de fournisseurs à utiliser. Nous compléterons également les contraintes relatives à notre problème, tels que nous rajoutons une contrainte relative au respect des délais. En effet, cela peut être moins cher de s'approvisionner à l'extérieur, toutefois si les délais ne sont pas respectés cela peut engendrer une perte pour l'entreprise. Comme nous considérons la minimisation du critère coût, nous définissons dans la section suivante les coûts relatifs à chaque option ("faire" ou "faire-faire") et ceci pour chaque situation qui puisse se présenter (nouveau produit ou pas).

2. Définition des éléments intervenant dans les coûts

Plusieurs situations peuvent être observées dans le cas de la décision de faire ou de faire-faire (figure 26) :

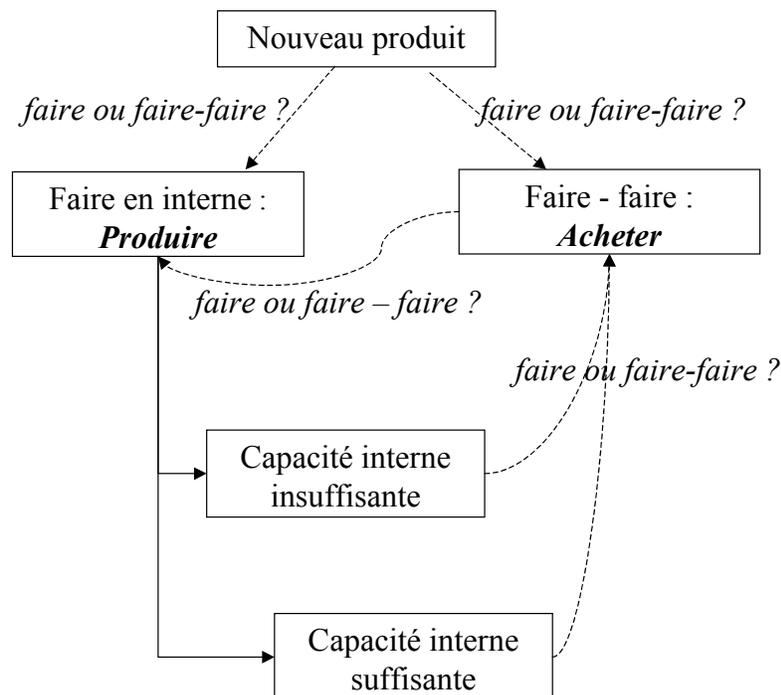


Figure 26 : Les situations possibles de faire ou de faire-faire

L'introduction de nouveaux produits requiert généralement de nouveaux investissements pour mettre en œuvre les processus requis, la décision est celle de faire le produit en interne en considérant un nouvel investissement ou de l'acheter et de déléguer sa fabrication à un tiers.

Dans le cas où l'entreprise dispose déjà des ressources nécessaires pour faire un produit en interne, la décision pourra intervenir dans le cas d'une capacité interne insuffisante pour répondre à une fluctuation de la demande. L'entreprise devra se déterminer sur l'augmentation de ses propres capacités, ou encore sur le recours à la fourniture externe.

Dans le cas d'un produit fait en externe et d'une capacité (interne) suffisante, il pourrait être "judicieux" de ramener la production en interne pour faire face, par exemple, à une augmentation des prix d'achat ou encore à une variation de la fiabilité des fournisseurs externes. Inversement, dans le cas d'une baisse des prix d'achat, et d'une amélioration de la fiabilité des fournisseurs, il pourrait être plus intéressant de s'orienter vers une fourniture externe. Ainsi, nous pouvons constater que nous pouvons basculer facilement d'une situation à l'autre.

La structure des coûts diffère selon la situation considérée. Les éléments du coût pouvant correspondre à chaque situation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

| Produit existant produit en interne | | Nouveau produit |
|--|---|---|
| Capacité interne suffisante | Capacité interne non suffisante | |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût de faire en interne : - Coût de matière première - Coût de main d'œuvre - Coût de fabrication (transformation) - Coût administratif - Coût de stockage ▪ Coût de faire en externe : - Coût d'acquisition qui se compose du : <ul style="list-style-type: none"> • Coût d'achat • Coût de spécification, négociation, et sélection des fournisseurs. • Coût de réception et d'inspection. - Coût de possession du produit qui représente le coût relatif à l'assurance que le produit conforme aux spécifications est disponible. Il se compose du : <ul style="list-style-type: none"> • Coût de possession du stock • Coût de transport et manutention - Coût de soutien relatif à l'assurance que la conformité sera maintenue dans le futur. Il se compose du : <ul style="list-style-type: none"> • Coût d'audit des fournisseurs • Coût de la mise en place d'actions préventives | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coût de faire en interne : - idem sauf prise en compte des coûts supplémentaires de la main d'œuvre additionnelle. ▪ Coût de faire en externe : - Coût d'acquisition : idem - Coût de possession : idem - Coût de soutien : idem | <p>Les coûts supplémentaires par rapport aux deux premiers cas sont relatifs aux coûts de mise en œuvre de nouveaux processus, ceci devra considérer :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le coût d'achat de nouveaux équipements - Le coût de formation associé - Le coût de main d'œuvre spécifique <p>Dans ce cadre, une analyse basée sur les coûts n'est plus suffisante. Certains indicateurs financiers doivent être considérés pour la prise de décision, comme le retour sur l'investissement, etc.</p> |

Tableau 8 : Définition des coûts engagés selon les différentes situations de faire ou de faire-faire

Dans le cas où l'entreprise dispose de toutes les ressources nécessaires pour les produire en interne tout en ayant la possibilité d'une utilisation des fournisseurs externes, les coûts relatifs (sauf le coût des stocks) peuvent être regroupés en coûts fixes (qui dépendent seulement de l'option choisie) ou variables (qui dépendent des quantités achetées ou produites). Ceux-ci sont exprimés dans le tableau 9.

| | Coût fixe | Coût variable |
|---|-----------|---------------|
| Coût de faire en interne : | | |
| - Coût de matière première | | x |
| - Coût de main d'œuvre | | x |
| - Coût de fabrication (transformation) | x | x |
| - Coût administratif | x | |
| Coût de faire en externe : | | |
| - Coût d'acquisition : | | |
| - Prix d'achat | | x |
| - Coût de spécification, négociation, sélection du fournisseur... | x | |
| - Coût de réception, inspection... | x | |
| - Coût de possession du produit : | | |
| - Coût de transport et manutention | | x |
| - Coût de soutien | | |
| - Coût d'audit des fournisseurs | x | |
| - Coût de la mise en place d'actions préventives | x | |

Tableau 9 : Définition des composantes fixes et variables des coûts

Dans le paragraphe suivant, nous nous basons sur cette structure des coûts afin de proposer, une première modélisation de notre problème basée sur le critère coût.

3. Modélisation mathématique

3.1. Les indices et les données du problème

Nous considérons les indices suivants :

P : ensemble de tous les produits.

$p \in P$: indice relatif à un produit,

F_p : ensemble des fournisseurs externes relatifs au produit p .

$f_p \in F_p$: indice relatif à un fournisseur potentiel du produit p .

T : ensemble des périodes de planification.

$t \in T$: indice relatif à une période considérée.

Nous considérons les données suivantes :

$D_{p,t}$: demande pour chaque produit p à la période t .

$CAPMin_p$: capacité minimale de production du produit p en interne

$CAPMax_p$: capacité maximale de production du produit p en interne.

$CAPtranMin_{fp}$: capacité minimale de transport du produit p si on utilise le fournisseur potentiel f_p .

$CAPtranMax_{fp}$: capacité maximale de transport du produit p si le fournisseur potentiel f_p est utilisé.

$I_{p,t}$: stock du produit p en fin de période t .

$Cvar_p$: coût variable de faire en interne (cf. tableau 9) pour le produit p .

$Cfix_p$: coût fixe de faire en interne (cf. tableau 9) pour le produit p .

$Cach_{fp}$: prix unitaire d'achat de la part du fournisseur f_p .

$Ctransp_{fp}$: coût unitaire de transport de la part du fournisseur f_p .

$Cfix_{fp}$: coût fixe relatif au choix du fournisseur f_p (cf. tableau 9).

h_p : coût de possession par unité de stock.

3.2. Les variables de décision

$$Z_{p,fp,t} = \begin{cases} 1 & \text{si le fournisseur } f_p \text{ est utilisé pour produire } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$X_{p,fp,t}$: quantité de produit p , fourni par le fournisseur f_p , à la période t .

$$Z_{p,i,t} = \begin{cases} 1 & \text{si les ressources internes sont utilisées pour produire } p \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

$X_{p,i,t}$: quantité de produit p , fabriquée en utilisant les ressources internes, à la période t .

3.3. La fonction objectif

L'objectif considéré est celui de minimiser les coûts (fixes et variables) relatifs à l'option de "faire" et de "faire-faire" ainsi que le coût de stockage qui est commun aux deux options.

La fonction objectif s'écrit ainsi :

$$\text{Min} \sum_t \sum_p \left\{ \underbrace{[(Cvar_p * X_{p,i,t} + Cfix_p * Z_{p,i,t})]}_{\text{Faire}} + \underbrace{[\sum_{f_p} (Cacha_{f_p} + Ctransp_{f_p}) X_{p,fp,t} + \sum_{f_p} Cfix_{f_p} Z_{p,fp,t}]}_{\text{Faire - Faire}} + \underbrace{h_p I_{p,t}}_{\text{Stock}} \right\}$$

3.4. Les contraintes

- Capacités internes :

$$CAPMin_p Z_{p,i,t} \leq X_{p,i,t} \leq CAPMax_p Z_{p,i,t} \quad \forall p, t$$

A chaque fois que l'option "faire" est choisie ($Z_{p,i,t} = 1$), la quantité à produire est limitée par une capacité minimale relative à l'économie d'échelle et une capacité maximale relative aux moyens de production et aux ressources disponibles. Ceci est valable pour chaque produit et pour chaque période de planification. Grâce à cette contrainte, nous pourrions vérifier également que si $Z_{p,i,t} = 0$ (on décide de ne pas faire en interne), alors $X_{p,i,t} = 0$.

- Demande :

$$X_{p,i,t} + \sum_{f_p} X_{p,fp,t} \leq D_{p,t} \quad \forall p, f_p, t$$

Cette contrainte permet d'exprimer que les quantités produites en interne et fournies de l'extérieur, sont limitées par la demande prévisionnelle pour chaque produit et pour chaque période de planification.

- Capacités de transport :

$$CAPtranMin_{fp} Z_{p,fp,t} \leq X_{p,fp,t} \leq CAPtranMax_{fp} Z_{p,fp,t} \quad \forall p, f_p, t$$

Les quantités achetées à l'extérieur pour chaque produit (p) sont bornées par les capacités maximales de transport relatives au fournisseur correspondant (capacités des moyens de transport...). Nous vérifions grâce à cette contrainte que si on décide de ne pas faire-faire ($Z_{p,fp,t} = 0$), alors $X_{p,fp,t} = 0$.

- Etat du stock :

$$I_{p,t} = I_{p,t-1} + X_{p,i,t} + \sum_{f_p} X_{p,fp,t} - D_{p,t} \quad \forall p, t$$

Cette contrainte permet d'exprimer le fait que le stock à la fin de la période de planification (t) est fonction de la quantité en stock à la fin de la période précédente (t-1), des quantités produites en interne, des quantités achetées éventuellement à l'extérieur diminuée de la demande prévue pour la période considérée (t) et ceci pour chacun des produits.

- $I_{p,0} = cte$ $\forall p$

Le stock en début de période de planification est fixé afin d'initialiser la relation de récurrence sur l'état du stock.

$$- I_{p,t} \geq I_{p,ss} \quad \forall p$$

Dans certains cas, une contrainte supplémentaire est rajoutée sur l'état des stocks en fin de période en le fixant au moins égal à un niveau de stock de sécurité ($I_{p,ss}$). Dans le cas contraire, la minimisation du critère coût peut conduire à des stocks nuls.

$$- X_{p,i,t} \geq 0 ; X_{p,fp,t} \geq 0 ; I_{p,t} \geq 0 \quad \forall p, f_p, t$$

Cette contrainte est relative au signe des variables de décision. Les quantités à produire en interne ou à acheter éventuellement à l'extérieur doivent être positives.

$$- Z_{p,i,t} ; Z_{p,fp,t} \in \{0,1\} \quad \forall p, f_p, t$$

Ces variables binaires sont relatives au choix de faire ou de faire-faire. Cependant la possibilité de choisir les deux options en même temps (faire ensemble) n'est pas exclue.

4. Exploitation du modèle

Nous considérons l'exemple d'une entreprise ayant trois produits et d'une seule période de planification. Nous supposons que le stock au début de la période est connu (pour P_1 : $I_1 = 100$, pour P_2 : $I_2 = 400$, pour P_3 : $I_3 = 50$) et que le stock en fin de période devrait être nul pour chaque produit (cas idéal).

Pour chaque produit, nous supposons qu'une liste de fournisseurs potentiels a été établie. Ces fournisseurs sont classés par ordre de préférence par le décideur. Nous avons retenu les deux ou les trois premiers fournisseurs classés pour chaque produit pour tester différents scénarios optimisant le coût total entre les deux options, "faire" ou "faire-faire", et permettant de choisir l'option réalisant le coût optimal ainsi que le (les) « meilleur(s) » fournisseur(s) parmi ceux retenus.

Les données relatives à l'option "faire" :

| | P_1 | P_2 | P_3 |
|------------|-------|-------|-------|
| $Cvar_p$ | 90 | 100 | 120 |
| $Cfix_p$ | 20 | 30 | 20 |
| D_p | 1500 | 1500 | 1500 |
| $CAPMin_p$ | 100 | 100 | 100 |
| $CAPMax_p$ | 1100 | 500 | 500 |

Les données relatives à l'option "faire-faire" :

| | P_1 | | | | |
|----------|--------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|
| | $Cacha_{fp}$ | $Ctrasp_{fp}$ | $Cfix_{fp}$ | $CAPtranMin_{fp}$ | $CAPtranMax_{fp}$ |
| F_{11} | 60 | 30 | 10 | 100 | 500 |
| F_{12} | 60 | 10 | 20 | 300 | 1100 |

| | | | | | |
|-----------------|----|----|----|-----|------|
| F ₁₃ | 70 | 10 | 10 | 500 | 1100 |
|-----------------|----|----|----|-----|------|

| P ₂ | | | | | |
|-----------------|--------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|
| | $Cacha_{fp}$ | $Ctrasp_{fp}$ | $Cfix_{fp}$ | $CAPtranMin_{fp}$ | $CAPtranMax_{fp}$ |
| F ₂₁ | 80 | 30 | 20 | 100 | 300 |
| F ₂₂ | 80 | 10 | 30 | 500 | 1500 |

| P ₃ | | | | | |
|-----------------|--------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|
| | $Cacha_{fp}$ | $Ctrasp_{fp}$ | $Cfix_{fp}$ | $CAPtranMin_{fp}$ | $CAPtranMax_{fp}$ |
| F ₃₁ | 100 | 10 | 20 | 1000 | 1500 |
| F ₃₂ | 130 | 10 | 20 | 500 | 1500 |
| F ₃₃ | 90 | 10 | 10 | 700 | 1500 |

Dans notre exemple, nous avons distingué des cas de fournisseurs "types".

Pour le produit P₁, nous avons choisi le cas de deux fournisseurs qui offrent le même prix d'achat, le deuxième sur la liste (F₁₂) présentant l'avantage d'être plus proche géographiquement que le premier (F₁₁), ce qui se traduit par des coûts de transport plus bas. Le deuxième fournisseur est toutefois caractérisé par un coût fixe plus important, c'est-à-dire par un coût de soutien et de gestion de la relation qui est plus important. Le troisième fournisseur présélectionné (F₁₃) est situé dans la même zone géographique que F₁₂ (coût de transport identique) avec un coût fixe moins important, cependant il présente un coût beaucoup plus faible.

Pour le produit P₂, les deux fournisseurs présélectionnés offrent le même prix d'achat, cependant F₂₁ se situe dans une zone géographique plus défavorisée que F₂₂ avec un coût fixe, moins important, relatif à la gestion de la transaction.

Pour le produit P₃, tous les fournisseurs sont situés dans la même zone géographique. Le fournisseur ayant un coût fixe le plus bas (F₃₃) présente également le prix d'offre le plus bas. Les deux autres ont le même coût relatif au soutien et à la gestion de la relation, supérieur à celui de F₃₃, proposent des prix d'achat différents.

5. Tests de scénarios

Par rapport à ces exemples de fournisseurs "types" qui se distinguent par leur localisation géographique, le prix de l'offre et le coût relatif à la gestion et au soutien de la relation¹⁰, on se propose de déterminer :

- Quelle option choisir : faire en interne ou faire-faire en externe ?
- Si nous choisissons de faire-faire, quel(s) fournisseur(s) utiliser ?

en fonction des capacités internes disponibles, des capacités de transport et de la demande prévisionnelle, et ce de façon à optimiser le coût global de faire et de faire-faire pour l'entreprise.

¹⁰ Ce coût est en corrélation avec le risque engendré par la relation. En effet, plus il y a des problèmes de qualité, plus il y a nécessité de mettre en œuvre des actions préventives et d'aider le fournisseur à mieux organiser son système de production, et plus le coût d'inspection à la réception est important. Ce coût est compris dans le coût fixe d'achat.

Pour cela, nous avons testé plusieurs scénarios avec LINDO qui permet de résoudre des programmes linéaires mixtes jusqu'à 32 000 contraintes du modèle et 200 000 variables. Ci-dessous nous présentons un bilan des différents scénarios.

Scénario 1 : Cas d'une capacité interne insuffisante

C'est le cas de l'exemple cité ci-dessus. Les capacités internes ne sont pas suffisantes pour répondre à la demande en totalité. On se propose de regarder quelle politique optimale il convient de suivre pour répondre à la demande : faut-il produire une partie en interne et s'approvisionner pour le reste à l'extérieur ou encore utiliser exclusivement les capacités des fournisseurs externes. Nous pouvons constater que la solution optimale consiste à partager l'offre pour le produit P_1 entre F_{12} et F_{13} ($X_{12} = 900$; $X_{13} = 500$), d'utiliser F_{22} pour le produit P_2 ($X_{22} = 1100$) et F_{33} exclusivement pour le produit P_3 ($X_{33} = 1450$).

Scénario 2 : Effet d'une baisse de la demande

Dans le cas d'une baisse sensible de la demande, avec :

- $D_1 = 1000$
- $D_2 = 1000$
- $D_3 = 1000$

la solution change. Nous aurons ainsi une fourniture exclusive de F_{12} pour P_1 et toujours de F_{22} pour P_2 et F_{33} pour P_3 .

Scénario 3 : Effet d'une augmentation de la demande

Dans le cas d'une augmentation sensible de la demande, avec :

- $D_1 = 2500$
- $D_2 = 2500$
- $D_3 = 2500$

nous aurons un changement de la stratégie de réseautage pour satisfaire ce changement de la demande.

- Pour le produit P_1 , nous aurons ainsi à utiliser F_{11} (200), F_{12} (1100) et aussi F_{13} (1100). Ayant épuisé les capacités maximales sur une période pour F_{12} et F_{13} , nous serons amenés à utiliser plutôt F_{11} que les ressources internes pour répondre à la demande du produit P_1 .
- Pour le produit P_2 , le fournisseur F_{22} est utilisé ainsi que les ressources internes au maximum ($X_{22} = 1500$; $X_{20} = 500$) de même que F_{12} avec une quantité qui correspond au seuil minimum de la commande ($X_{21} = 100$) car c'est l'option la plus chère.
- Pour le produit P_3 , le fournisseur F_{33} est toujours utilisé (le moins cher) avec sa capacité maximale cette fois ($X_{33} = 1450$).

Scénario 4: Cas d'une capacité interne insuffisante et d'une augmentation des prix d'achat

À partir du cas 1, nous observons dans quel cas il y a un changement du choix de réseautage lorsqu'il y a une variation des prix d'achat.

Dans le cas d'une augmentation du prix de l'offre ($Cacha_{12} = 70$, $Cacha_{13} = 80$, $Cacha_{22} = 100$), nous constatons que pour le produit P_1 , nous aurons plutôt F_{11} et F_{12} (élimination du fournisseur F_{13} qui a été utilisé dans le cas 1). Pour le produit P_2 , il serait judicieux d'utiliser maintenant les ressources internes ainsi que le fournisseur F_{22} ($X_{20} = 500$, $X_{22} = 600$). Pour le produit P_3 , le fournisseur F_{33} est toujours utilisé.

Scénario 5 : Prise en considération d'une main d'œuvre supplémentaire

À partir du cas 1 pour lequel les capacités internes ne sont pas suffisantes pour répondre à la variation de la demande, l'entreprise réfléchit à deux options pour la période à venir :

- Soit utiliser les ressources externes pour répondre à la demande. On se ramène alors au cas 1 de la simulation
- Soit augmenter sa capacité interne en planifiant une main d'œuvre additionnelle. Ceci requiert un coût variable en interne supplémentaire et se traduit par une augmentation du coefficient relatif à X_{10} , X_{20} et X_{30} (soit respectivement 100, 110 et 130). Dans ce cas de figure, nous pouvons remarquer que la stratégie ne change pas par rapport au cas 1, en effet nous utilisons toujours les mêmes partenaires, avec toujours les mêmes coûts (valeur de la fonction objectif). En effet, même si nous réfléchissons à une augmentation des capacités internes de production en prévoyant de la main d'œuvre supplémentaire, il serait plus économique d'utiliser la fourniture externe en raison de la compétitivité des coûts offerts par rapport aux coûts internes. Ceci est confirmé par l'analyse de la sensibilité de la solution initiale.

Scénario 6 : Cas d'une capacité interne suffisante

Si nous considérons les mêmes données que le cas 1, avec toutefois des capacités internes disponibles ($CAPMax_{p1} = CAPMax_{p2} = CAPMax_{p3} = 2500$) pour répondre à la demande, nous constatons que :

- Pour le produit P_1 , nous avons toujours recours aux fournisseurs F_{12} et F_{13} ($X_{12} = 900$; $X_{13} = 500$)
- Pour le produit P_2 , par contre, nous considérons cette fois les ressources internes ($X_{20} = 1100$) plutôt que F_{22} .
- Pour le produit P_3 nous utilisons toujours le fournisseur F_{33} économiquement plus intéressant.

Les résultats des simulations sont rapportés à la figure 27 :

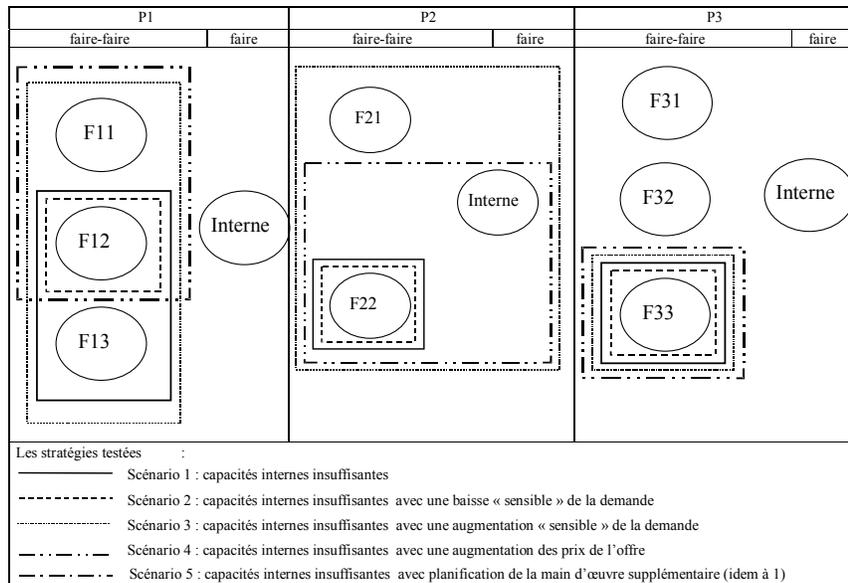


Figure 27 : Les résultats de simulation

Nous pouvons déduire par rapport à l'exemple considéré et en analysant les résultats portés sur la figure 27 que :

- Dans le cas d'une capacité interne insuffisante, il sera toujours plus intéressant de recourir à la sous-traitance de capacité plutôt que de planifier de la main d'œuvre supplémentaire. Ceci ne fait qu'augmenter les coûts internes. En effet, nous avons obtenu la même solution pour les scénarios 5 et 1.
- Dans le cas d'une capacité interne insuffisante, nous avons toujours recours à la fourniture externe plus intéressante au niveau des coûts (scénarios 1, 2). Toutefois, nous aurons recours aux ressources internes pour le produit P2, dans le cas d'une augmentation des prix de l'offre (scénario 4) ou dans le cas d'une augmentation sensible de la demande (scénario 3).

6. Un cadre d'application

L'exemple étudié est celui d'une entreprise spécialisée dans la production mécanique. Cette entreprise est en relation avec deux types de partenaires : les donneurs d'ordres (DO) qui commandent le produit fini (PF) et les sous-traitants (ST) de capacités qui peuvent absorber une partie de la production interne. L'entreprise considérée ainsi que ses sous-traitants de capacités spécialisés dans le décolletage de vis en aluminium et situés dans la vallée de l'Arve [Pecqueur *et al.*, 96]. Ces entreprises s'associent pour répondre à l'appel d'offre d'un donneur d'ordre (cf. figure 28). Cet exemple de regroupement constitue un cas de coopération qui porte sur des relations horizontales¹¹ et représente le cas d'un **réseau d'entreprise** (réseau fédéré selon [Paché, 96] ou réseau horizontal selon [Jacob *et al.*, 96]). C'est une forme d'alliance qui porte, de façon complémentaire, sur certaines phases du processus de production ou sur

¹¹ Une relation interentreprises horizontale concerne deux entreprises situées au même stade de production. Par opposition, une relation interentreprises verticale concerne deux entreprises qui se situent à des stades différents d'un processus de production [Baudry, 95].

l'accomplissement de certaines *fonctions communes* [Bossuet et *al.*, 97]. Cette forme réticulaire consiste à combiner les ressources de plusieurs acteurs pour mieux répondre au besoin des marchés, dans ou hors d'une aire géographique donnée [Paché, 96]. Par opposition l'**entreprise réseau** (réseau concentré selon [Paché, 96] ou réseau vertical selon [Jacob et *al.*, 96]) suppose une *dimension verticale* des opérations autour d'une entreprise pivot (firme centrale selon [Paché, 96]). Les entreprises collaborent à des étapes différentes de la chaîne de valeur [Jacob et *al.*, 96].

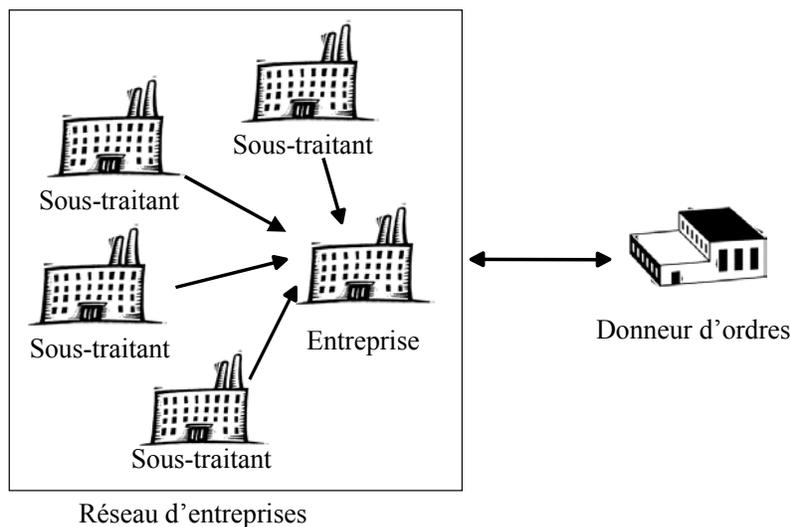


Figure 28 : Schématisation d'un réseau d'entreprise

À la réception d'une nouvelle commande, l'entreprise peut répondre à l'appel d'offre de trois façons complémentaires (cf. figure 29) :

- elle peut réaliser la commande en respectant les contraintes en coût et délai,
- elle peut la refuser,
- elle peut aussi faire une proposition de modification :
 - en relaxant certaines contraintes :
 - sur les délais en cherchant un délai d'insertion au plus tôt tout en respectant les coûts.
 - sur les coûts en respectant les délais et en cherchant la meilleure option entre la planification de la main d'œuvre supplémentaire en interne ou le recours à ses sous-traitants.
 - en effectuant une analyse multi-critères sur les coûts et les délais afin de trouver un compromis qui satisfasse au mieux ces deux critères.

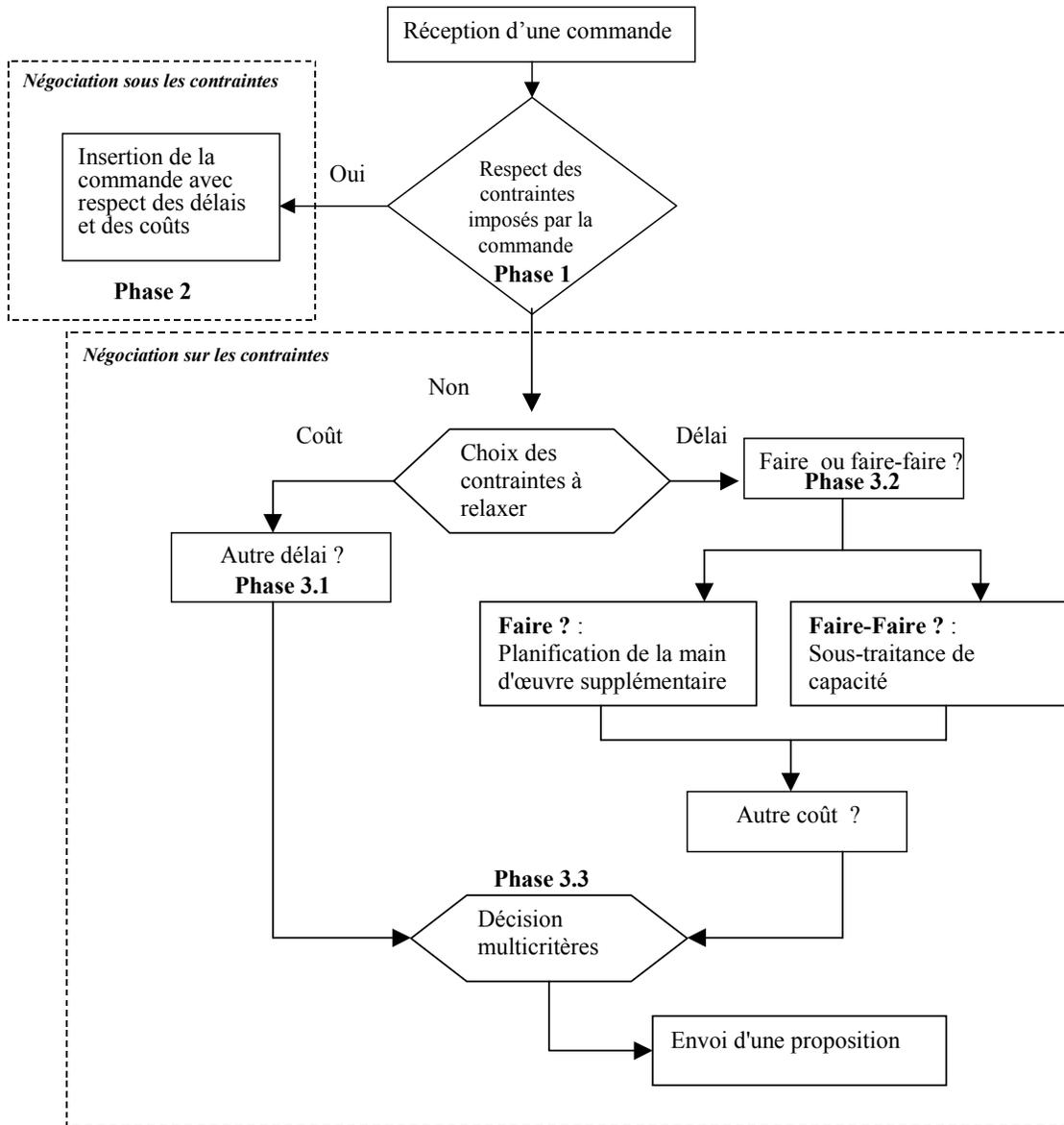


Figure 29 : Mécanisme proposé pour la négociation d'une commande

Les données relatives à une commande sont :

- Q_p : la quantité à livrer du produit p ;
- L_p : le délai de livraison demandé ;
- C_p : le coût associé au produit p .

La démarche que nous avons proposée pour la négociation de la commande du donneur d'ordres pour le cas de ce réseau d'entreprise se résume en 3 phases :

- **Phase 1** : Cette phase permet d'effectuer une évaluation de la faisabilité de la commande par comparaison entre la quantité demandée, et le niveau de stock pour vérifier la possibilité d'une livraison sur stock. Dans le cas où les stocks seraient suffisants, l'entreprise est en mesure d'accepter la commande de son donneur d'ordres. Dans le cas contraire, nous passons à la phase 2.

- **Phase 2** : Décision sous les contraintes [Camalot, 00] : l'objectif de cette phase est la recherche d'une date qui correspond à la possibilité d'insertion de la nouvelle commande, tout en respectant la charge maximale de l'activité de production en interne. La détermination de cette date est basée sur la comparaison entre la marge libre (qui représente la différence entre la capacité maximale et la charge de la production planifiée pour la période considérée) ainsi que la nouvelle charge induite par la nouvelle commande. L'algorithme correspondant à cette phase est développé dans [Monteiro, 01]. Dans le cas où le délai exigé (L_p) ne pourrait pas être respecté, nous passons à la phase 3.
- **Phase 3** : Décision sur les contraintes [Camalot, 00]. Dans le cas d'un défaut d'autonomie, les contraintes doivent être modifiées pour la réalisation de la commande. On parle alors de décision sur les contraintes. Pour cela, trois cas sont possibles :
 - **Phase 3.1** : Décision avec respect des coûts. Dans ce cas l'objectif est d'essayer de répondre au mieux à la demande initiale en définissant une date d'insertion possible au plus tôt tout en gardant la même charge en interne. Ceci présente l'avantage de garder le même coût pour la commande, toutefois le délai initial sera modifié en fonction des contraintes internes de l'entreprise. Cette dernière envoie une proposition à son donneur d'ordres qui peut l'accepter ou la refuser. L'algorithme développé pour cette phase est décrit dans [Monteiro et al., 01].
 - **Phase 3.2** : Décision avec respect des délais. Dans ce cas l'entreprise considère le délai comme exigence à respecter et cherche ainsi à réaliser la commande soit :
 - en planifiant de la main d'œuvre supplémentaire en interne afin d'augmenter ses capacités en interne,
 - en ayant recours à la sous-traitance de capacité, et ceci en sollicitant le reste des entreprises du groupement.

Le choix entre ces deux alternatives a une incidence sur les coûts de la commande qui devraient augmenter. Afin de choisir la meilleure solution, nous proposons d'appliquer le modèle développé dans le paragraphe 3 pour le choix de faire ou de faire-faire le produit fini objet de l'échange. Par rapport au modèle, la demande du produit fini est représentée ici par la surcharge en interne qui devrait conduire soit à faire en interne en planifiant de la main d'œuvre supplémentaire, soit à acheter en externe chez les sous-traitants de capacités (f_p), sans exclure les deux options en même temps. Nous appliquons notre modèle pour le cas d'une seule période de planification et nous rajoutons une nouvelle contrainte permettant de respecter le délai fixé par le donneur d'ordres pour la réalisation d'un produit p . Ainsi, la contrainte relative au respect des délais est modélisée comme suit:

$$\text{Max}_{f_p} \left\{ \Delta_{p,i} \frac{X_{p,i}}{Q_{p,i}}, \Delta_{p,fp} \frac{X_{p,fp}}{Q_{p,fp}} \right\} \leq L_p \quad \forall p$$

Dans cette formule $\Delta_{p,i}$ désigne le temps requis pour faire un lot de produit en interne ($Q_{p,i}$ étant la quantité de produit p qui correspond à un lot en interne). Ce temps est déterminé en fonction des capacités des ressources en internes (nombre, disposition en parallèle ou en série, etc.) et de la cadence des moyens de production dont l'entreprise dispose. De la même manière $\Delta_{p,fp}$ désigne le délai prononcé par le fournisseur f_p pour fournir un lot de

produit p pour l'entreprise considérée ($Q_{p,fp}$ étant la quantité de produit p qui correspond à un lot d'approvisionnement chez le fournisseur f_p). Ceci étant fonction des ressources internes dont le fournisseur dispose pour le produit p , de la capacité de ces ressources de production, et de la capacité des ressources de transport dont il dispose.

Ainsi le délai qui correspond à la réalisation d'un produit est le maximum entre le délai de réalisation en interne et celui de l'approvisionnement chez les fournisseurs externes. En effet, dans le cas où l'option "faire-faire" serait retenue, le délai correspond au fournisseur qui a les délais les plus longs. De la même manière si l'option "faire-ensemble" est retenue, le délai correspond au maximum entre le délai interne et celui des fournisseurs externes choisis afin de réaliser le produit p . Le délai ainsi calculé doit être inférieur ou égal au délai exigé par la commande (L_p).

Pour la résolution du modèle et afin d'obtenir une expression linéaire des différentes contraintes, la contrainte relative au respect des délais est alors exprimée comme suit :

$$\Delta_{p,i} \frac{X_{p,i}}{Q_{p,i}} \leq L_p \quad \forall p$$

$$\Delta_{p,fp} \frac{X_{p,fp}}{Q_{p,fp}} \leq L_p \quad \forall p, f_p$$

L'application de notre modèle dans sa nouvelle forme, après intégration de la contrainte relative au respect des délais permet à l'entreprise considérée de :

- Décider de l'option la plus économique entre le choix de faire en interne en testant le cas du recours à de la main d'œuvre supplémentaire ou le recours à la sous-traitance de capacité, sans exclure les deux options en même temps, et de préciser les quantités correspondantes.
- Déterminer le nouveau coût de la commande dans le cas où l'entreprise respecterait les délais exigés et qui sera proposé à son donneur d'ordres. Ce nouveau coût correspond aux deux premiers termes de la fonction objectif après détermination des variables de décision.
- **Phase 3.3 :** Décision multi-critères.

En réponse à la commande (représentée par le point $C(L_p, C_p)$ sur la figure 30) et dans l'hypothèse où le donneur d'ordres serait incapable de satisfaire les coûts et les délais en même temps, plusieurs cas peuvent être envisagés :

- Le délai (L_p) est respecté tout en envisageant soit de considérer de la main d'œuvre supplémentaire soit la sous-traitance de capacité pour pallier la surcharge interne (phase 3.2). Le point $A(L_p, C_{max_p})$ correspond à ce cas (cf. figure 30). C_{max_p} est donné par les deux premiers termes de la fonction objectif et correspond éventuellement au coût de faire en interne en considérant de la main d'œuvre supplémentaire et/ou de faire-faire en ayant recours aux fournisseurs externes,
- Le coût considéré par la commande (C_p) est respecté tout en cherchant un délai d'insertion au plus tôt en fonction de la charge interne de production (phase 3.1).

Ce cas est représenté par le point B (L_{max_p} , C_p). L_{max_p} est déterminé grâce à un algorithme développé dans [Monteiro et al., 01],

- Les points A et B (cf. figure 30) limitent une zone de l'espace de recherche représentant un ensemble de scénarios possibles (M_i) qui constituent des propositions qui pourraient mieux répondre à la demande du donneur d'ordres dans le cas où l'entreprise ne pourrait répondre ni au coût, ni au délai. En effet, en cherchant à respecter le délai, les coûts peuvent augmenter considérablement (heures supplémentaires, sous-traitance, etc.) et inversement en voulant respecter les coûts, cela peut entraîner un allongement au niveau des délais. Pour définir cet ensemble de scénarios, nous considérons à chaque fois un nouveau délai (L_i) compris entre L_p et L_{max_p} et nous déterminons le coût correspondant (C_i) en envisageant soit de faire en interne, soit de faire-faire pour la surcharge observée pour le nouveau délai, et ceci par application de notre modèle dans sa nouvelle forme.

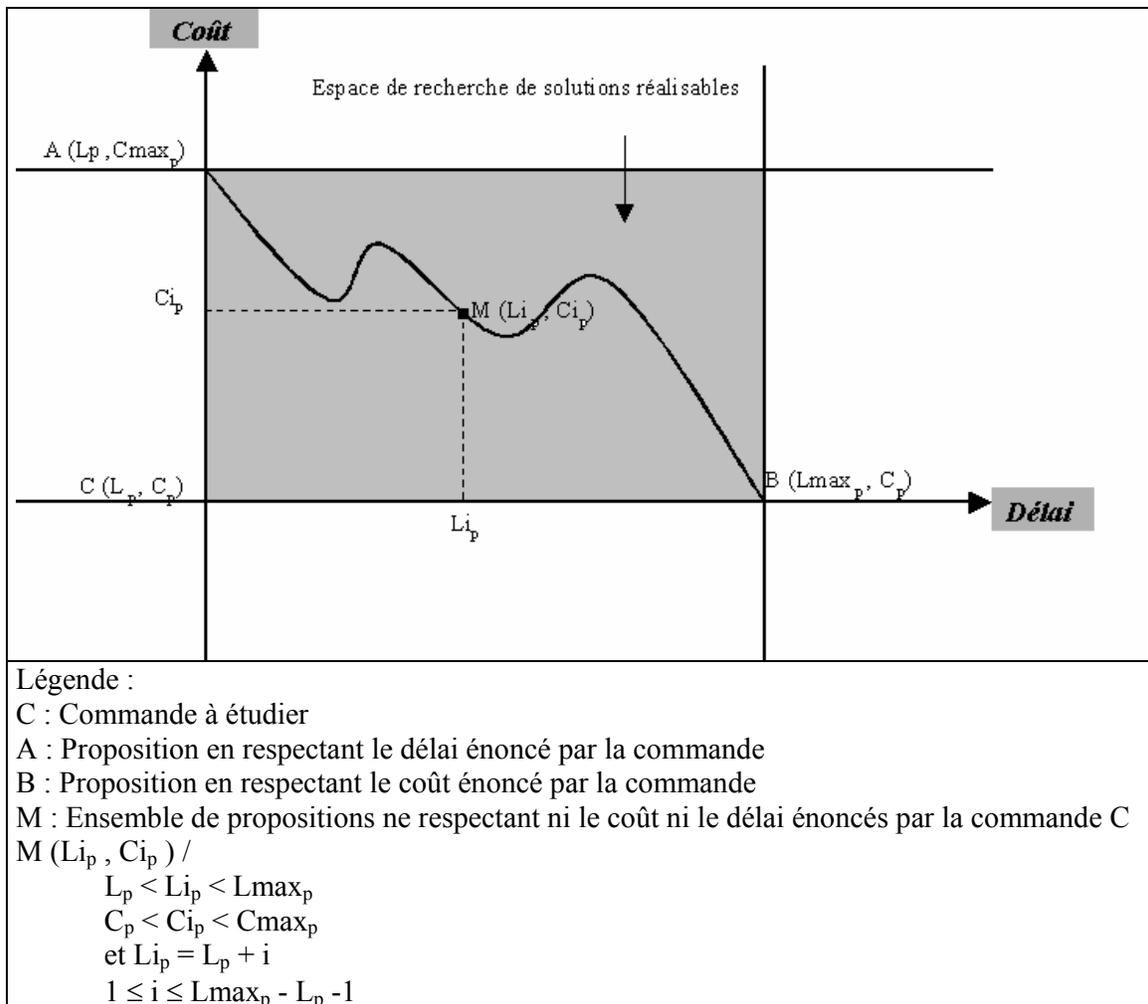


Figure 30 : L'espace des solutions proposées

Pour l'évaluation des scénarios dans l'objectif de proposer au donneur d'ordres un scénario qui répond au mieux à sa commande, nous proposons une méthode basée sur une analyse géométrique. La méthode consiste à :

- Calculer le pourcentage d'écart avec la commande au niveau des coûts et délais et ceci pour chaque couple de points (A, B, Mi),
- Multiplier les écarts relatifs aux coûts et délai par un coefficient de pondération qui représente l'importance relative du coût et du délai comme critère dans la négociation. Cela dépend du type de relation et du degré d'exigence du donneur d'ordres. A partir de ces deux étapes, nous obtenons un nouvel ensemble de points A', B', M'i de coordonnées :

$$A' = \left(0, c_2 \frac{C_{\max_p} - C_p}{C_p} \right), \text{ pour le scénario A respectant les délais,}$$

$$B' = \left(c_1 \frac{L_{\max_p} - L_p}{L_p}, 0 \right), \text{ pour le scénario B respectant les coûts,}$$

$$M'_i = \left(c_1 \frac{L_i - L_p}{L_p}, c_2 \frac{C_i - C_p}{C_p} \right), \text{ pour chaque scénario } M_i \text{ proposé ne respectant ni les coûts, ni les délais,}$$

avec c_1 et c_2 qui représentent l'importance relative accordée respectivement au retard et au surcoût.

- Calculer la norme du vecteur donné par chaque nouveau point A', B', M'i qui représente l'écart pondéré par rapport à la commande. Les scénarios qui permettent d'avoir la distance la plus faible par rapport à l'origine correspondent à l'ensemble des scénarios que l'entreprise peut proposer à son donneur d'ordres et qui peuvent lui amener satisfaction.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés dans un premier temps à une formulation mathématique du problème de la décision de faire ou de faire-faire plusieurs produits dans le cas où une entreprise peut utiliser plusieurs sous-traitants pour répondre à la demande. L'objectif est de minimiser le coût total relatif à l'option de faire, de faire-faire, ainsi que le coût de stockage qui dépend de l'option choisie. Dans un second temps, nous avons considéré une extension de notre modèle en considérant le respect des délais comme contrainte. Finalement, nous avons trouvé un cadre d'application de notre modèle dans le cas de la négociation d'une commande pour un groupement d'entreprises qui peuvent s'associer pour répondre au mieux, en termes de coût et délai, à l'appel d'offre de leur donneur d'ordres.

Jusqu'à présent, nous ne nous sommes pas occupés de la nomenclature des produits car nous nous intéressons à des produits finis. Dans le chapitre suivant, nous considérons le fait que la décision de faire ou de faire-faire peut également concerner les composants.

**Chapitre 5 : Une modélisation du problème
de la conception d'une chaîne logistique en
réponse au choix de faire ou faire-faire**

Contrairement au chapitre précédent, nous abordons ici le problème de la décision de "faire ou faire-faire" en tenant compte non seulement du produit fini, mais également de l'ensemble des composants constituant le produit fini et qui peuvent être concernés par le choix de faire ou de faire-faire. Nous sommes ainsi amenés à considérer l'ensemble des sous-traitants potentiels qui peuvent être utilisés pour fabriquer les différents composants des produits finis. Il s'agit de considérer l'ensemble de la chaîne logistique du produit en choisissant l'ensemble des installations en interne ou en externe qui peuvent être utilisées pour la fabrication des composants, ainsi que les quantités de matières correspondantes. On se ramène alors à un problème de conception de chaîne logistique qui intègre le choix de faire ou de faire-faire.

Nous présentons tout d'abord ici l'approche suivie pour la modélisation de la chaîne logistique de l'entreprise. Ensuite, nous exposons la manière dont nous avons modélisé la contrainte de conservation des flux de produits dans toute la chaîne. Nous présentons le modèle mathématique élaboré avec ses objectifs et ses contraintes. Enfin, nous appliquons les méthodes du "non permeetive goal programming" et de l' " ϵ -constraint" pour résoudre notre modèle linéaire multi-objectifs, chacune dans un but bien défini.

1. Modélisation de la chaîne logistique

Dans notre modélisation de la chaîne logistique de l'entreprise nous considérons un point de vue basé sur l'activité. Nous définissons une activité (i) comme étant une entité permettant de transformer un ensemble de produits en entrée (input) en un ensemble de produits en sortie (output) et dispose d'un ensemble de ressources (r_i) qui sont de deux types humaine et matérielle. Ces ressources seront partagées entre tous les produits fabriqués par l'activité en question. Pour chaque produit (p_i) fabriqué par une activité stratégiquement externalisable (i), l'entreprise possède un ensemble de fournisseurs externes (f_{pi}) concurrençant les ressources internes. Pour chaque activité et pour chaque produit correspondant l'entreprise possède un stock en interne (I_{pi}) qui sera alimenté conjointement par l'activité en interne ainsi que par les fournisseurs externes concurrents (figure 31).

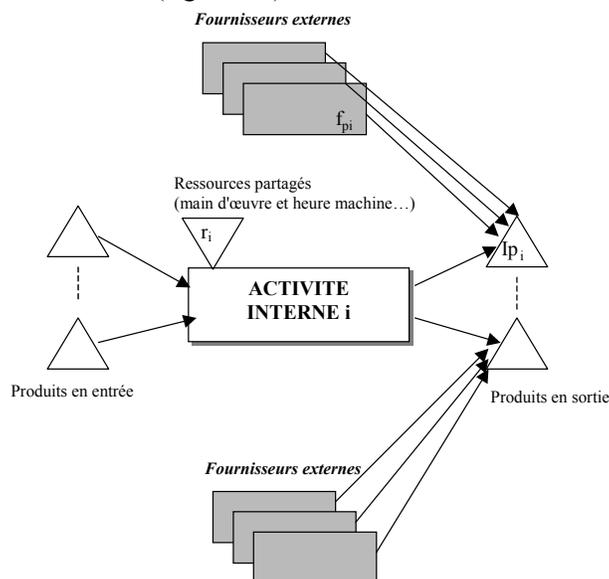


Figure 31 : Représentation d'une activité stratégiquement externalisable

Chaque produit en sortie d'une activité i sera consommé par une activité k en aval de la chaîne, selon la nomenclature du produit, pour fabriquer le produit correspondant p_k (figure 32). Dans le cas d'une sous-traitance à façon (cf. note 8), tel que c'est le cas du produit p_j de l'activité j (figure 32), le stock correspondant sera également consommé par des fournisseurs externes, en l'occurrence ici les fournisseurs f_{pk} du produit p_k . Ces fournisseurs utiliseront le produit p_j fourni par l'entreprise pour compléter une partie de la fabrication.

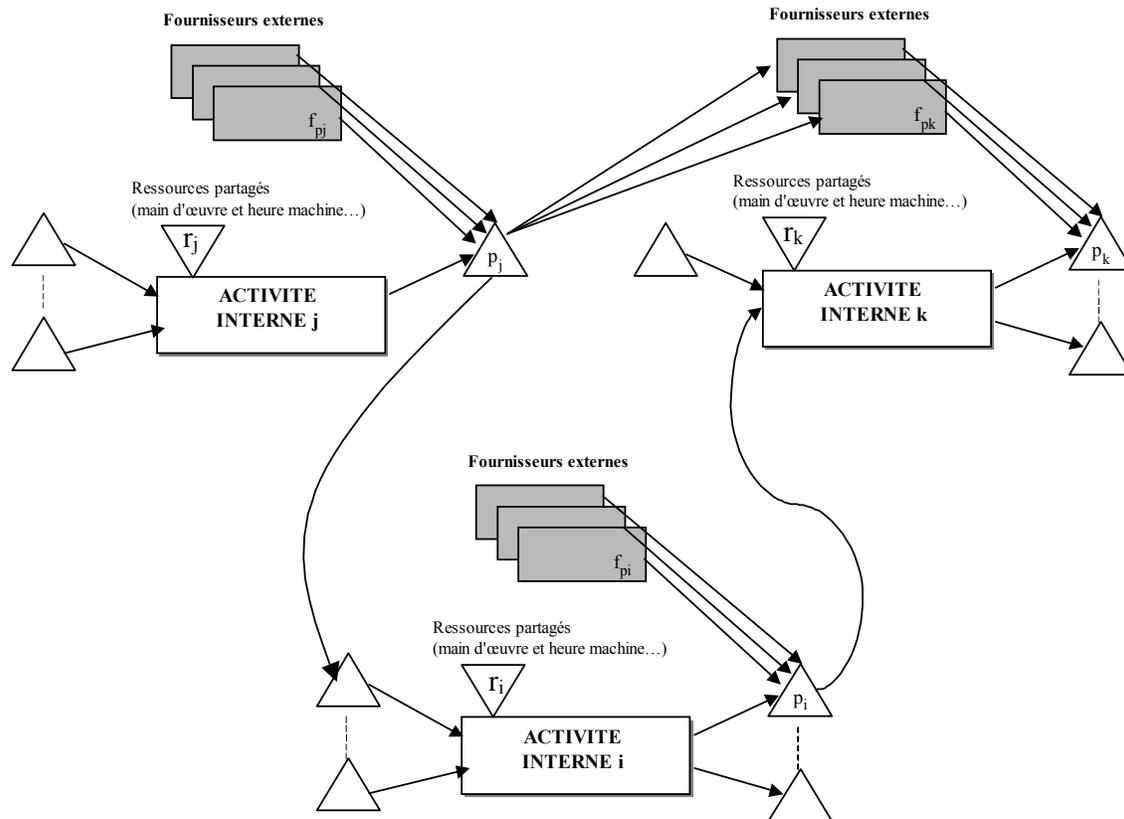


Figure 32 : Représentation d'une partie de l'enchaînement des activités

2. Modélisation de la contrainte de conservation des flux

Cette contrainte permet d'exprimer un bilan de matière pour chaque stock de produit correspondant à une activité donnée de la chaîne (cf. figure 33). Le bilan de matière permet une cohérence globale sur l'ensemble de la chaîne de point de vue de la consommation des différentes matières.

A. Martel [Martel, 01 d] définit d'une manière générale la contrainte de conservation du flux dans le cas du problème de la conception d'une chaîne logistique comme étant un bilan permettant de s'assurer qu'il y a un équilibre entre les flux qui entrent dans un nœud du réseau, ceux qui y sont produits, stockés ou consommés et ceux qui en sortent.

Dans notre cas, nous essayons d'adapter le principe de cette modélisation pour le problème de la décision de faire ou faire-faire à partir des informations dont nous disposons suite à la modélisation que nous avons faite.

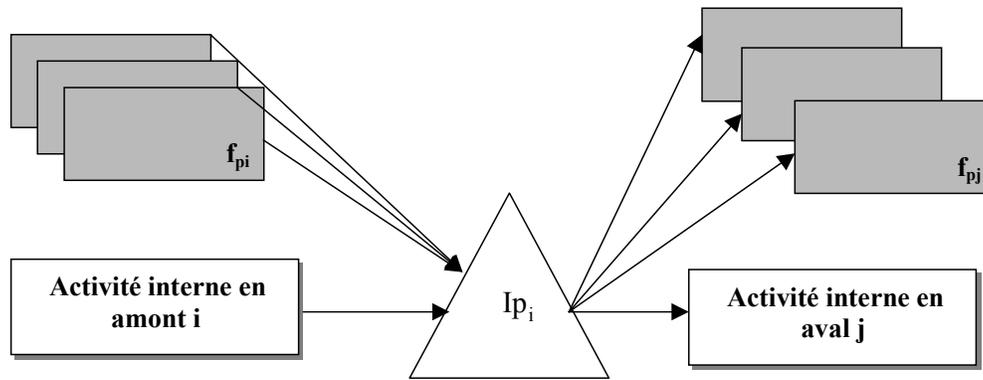


Figure 33 : Bilan de matière au niveau des stocks

Le bilan de matière s'exprime mathématiquement comme suit :

L'état du stock en début de période = L'état du stock en fin de période + Σ (Quantités de matières entrant dans le stock par période) - Σ (Quantités de matières sortant du stock par période)

Ainsi cette équation représente un bilan de flux de matière car nous considérons des quantités de matière par période de planification.

Σ (Quantités de matières entrant dans le stock par période) représente l'ensemble des quantités de matières qui alimentent le stock. Ces matières peuvent provenir des activités internes en amont, ou encore des fournisseurs externes qui leur sont concurrents.

Σ (Quantités de matières sortant du stock par période) représente l'ensemble des quantités de matières qui seront consommées par des activités en interne en aval, selon la nomenclature du produit et éventuellement par des fournisseurs externes concurrençant ces activités dans le cas de sous-traitance à façon.

Σ (Quantités de matières entrant le stock par période) - Σ (Quantités de matières sortant du stock par période) représente alors la consommation du stock par période. Ceci est représenté par la variable I_{pi} dans le paragraphe suivant, en supposant un stock nul au début de la période de planification considérée.

Pour modéliser cette contrainte nous adoptons une vision matricielle afin de remonter toute la chaîne. En effet, la consommation du stock est définie de proche en proche en définissant le besoin des activités en aval en fonction de la demande des clients finaux et selon la nomenclature du produit. Ceci est illustré dans le paragraphe 3.5.4.

3. Modèle mathématique

Le but de cette modélisation mathématique est de permettre à l'entreprise de choisir, pour l'ensemble de ses produits et sous-produits, entre l'option de faire en interne ou de faire-faire en choisissant les fournisseurs qui seront sollicités. Nous nous plaçons ainsi du côté de l'entreprise qui cherche à minimiser le coût total relatif aux deux options, ainsi que maximiser le taux d'utilisation des installations de la chaîne. Ce dernier critère traduit une bonne utilisation des installations de la chaîne qui seront activées. En effet, si une entreprise décide de recourir à la fourniture externe en utilisant un fournisseur donné, elle doit l'utiliser au maximum de ses capacités afin de minimiser les coûts fixes engendrés par l'activation d'une installation donnée. D'un autre côté, si une ressource exécute la même activité la majeure partie de son temps elle doit devenir plus efficace par un phénomène d'apprentissage et le reste du réseau pourra être plus disponible pour réaliser d'autres activités.

Nous nous limiterons ici au cas d'une seule période de planification pour laquelle nous connaissons la demande finale des produits finis. Comme nous l'avons vu dans la littérature qui traite des problèmes de conception de la chaîne logistique, les auteurs considèrent, dans la plupart des cas, une seule période de planification (cf. tableau 4). Cette période représente l'horizon stratégique, et doit être de l'ordre de l'année.

Pour atteindre nos objectifs de modélisation, nous avons besoin de définir les indices et les données suivants.

3.1. Les indices et les ensembles

i : indice relatif à une activité externalisable.

n : indice relatif à une activité correspondant à un produit fini.

I : ensemble de toutes les activités qui sont externalisables.

p_i : un produit fabriqué par l'activité i .

P_i : ensemble de tous les produits fabriqués par l'activité i .

p_n : un produit fini fabriqué par l'activité n .

P_n : l'ensemble de tous les produits finis fabriqués par l'activité n .

f_{p_i} : un fournisseur externe concurrençant l'activité interne i pour la fabrication du produit p_i .

F_{p_i} : ensemble de tous les fournisseurs externes qui peuvent remplacer l'activité en interne i pour fabriquer p_i .

3.2. Les variables de décision

X_{i,p_i} : Quantité de produit p_i fabriquée en interne par l'activité i durant la période considérée.

Z_{i,p_i} : Production assurée par l'activité interne i durant la période considérée, 1 si i produit p_i et 0 sinon.

$X_{i,p_i,f_{p_i}}$: Quantité de produit p_i fabriquée en externe durant la période considérée par le fournisseur f_{p_i} concurrençant l'activité interne i .

$Z_{i,p_i,f_{p_i}}$: Production assurée par le fournisseur externe f_{p_i} durant la période considérée, 1 si f_{p_i} produit p_i et 0 sinon.

I_{p_i} : Etat de stock en fin de la période considérée

3.3. Les données

Nous définissons ci dessous les données du modèle ainsi que les unités qui leur correspondent:

$CVarProd_{i,p_i}$: coût variable de production en interne du produit p_i par l'activité i (\$\text{unité}).

$CFixProd_{i,p_i}$: coût fixe de production en interne du produit p_i par l'activité i (\$).

$CvarAcha_{f_{p_i}}$: coût variable d'achat du produit p_i de la part du fournisseur f_{p_i} qui concurrence l'activité interne i (\$\text{unité}).

$CFixAchat_{f_{p_i}}$: coût fixe d'achat du produit p_i de la part du fournisseur f_{p_i} qui concurrence l'activité interne i (\$).

h_{p_i} : coût de possession du stock p_i (\$\text{unité de stock} \cdot \text{unité de période}).

$CvarTransp_{f_{p_i}}$: coût variable de transport du produit p_i par le fournisseur f_{p_i} qui concurrence l'activité interne i (\$\text{unité}).

$ChargHeur_{i,p_i}$: nombre d'heures-machine requis pour produire une unité du produit p_i au niveau de l'activité i (heure-machine\text{unité}).

$ChargeHeurSetUP_{i,p_i}$: charge de mise en œuvre dans le cas où l'activité i est utilisée pour produire p_i , qui correspond par exemple au temps de réglage et de réchauffement de la machine (heure-machine).

$ChargHomm_{i,p_i}$: nombre d'hommes requis pour fabriquer une unité du produit p_i pour l'activité i (homme\text{unité}).

$ChargHommSetUP_{i,p_i}$: charge de mise en œuvre qui correspond par exemple au changement d'outil dans le cas où l'on décide de fabriquer p_i par l'activité i (homme).

$ChargHeurMax_i$: charge horaire maximale de l'activité i par période (heure-machine).

$ChargHommMax_i$: charge humaine maximale au niveau de l'activité i par période (homme).

$CapaProd_{i,p_i}$: capacité maximale de production, par période, de l'activité interne i pour le produit p_i (unité).

$MinProd_{i,p_i}$: volume minimal de production, par période, de l'activité interne i pour le produit p_i (unité).

$ChargMax_i$: charge maximale pour chaque activité interne i (unité).

$CapTranspMax_{f_{p_i}}$: capacité maximale de transport en utilisant les ressources externes pour i (unité de la capacité de transport).

$CapTranspMin_{f_{pi}}$: capacité minimale de transport en utilisant les ressources externes pour i (unité de la capacité de transport).

ε_i : coefficient de pondération fixé par le décideur et qui traduit sa préférence vis-à-vis de l'utilisation d'une activité de production interne i dans la chaîne logistique ($\in [0,1]$).

$\varepsilon_{f_{pi}}$: coefficient de pondération fixé par le décideur et qui traduit sa préférence vis-à-vis de l'utilisation d'un fournisseur (f_{pi}) externe pour la réalisation d'un produit (p_i) ($\in [0,1]$)¹².

l_{i,p_i} : délai moyen pour fabriquer un lot de produits p_i en interne par l'activité i (unité de temps\lot de produit en interne).

l_{f_{pi},p_i} : délai moyen pour fabriquer un lot de produit p_i en utilisant le fournisseur f_{pi} concurrençant l'activité interne i pour la fabrication du produit p_i (unité de temps\lot de produit en externe).

L_{p_i} : délai moyen à respecter pour la fabrication du produit p_i , en utilisant les ressources internes et/ou externes (unité de temps).

Q_{i,p_i} : lot de production en interne du produit p_i par l'activité interne i .

Q_{f_{pi},p_i} : lot d'approvisionnement en externe du produit p_i de la part du fournisseur externe f_{pi} .

I_{p_i} : stock de produit p_i , en aval de l'activité i , qui sera alimenté par l'activité interne i ou par les fournisseurs externes (f_{pi}) (unité).

$P_{f_{pi}}$: fiabilité du fournisseur externe f_{pi} : probabilité de recevoir des livraisons conformes (en quantité, délai et qualité) de la part du fournisseur externe f_{pi} ($\in [0,1]$).

α_{p_i,p_j} : quantité de produit p_i nécessaire pour la fabrication d'une unité de p_j .

d_{pn} : demande finale relative au produit p_n pour la période de planification considérée.

3.4. Les objectifs

Pour notre modélisation du problème, nous adoptons une approche multi-objectifs. Les objectifs que nous avons considérés sont : le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne.

Comme, il y a plusieurs sources d'incertitudes il est important de concevoir une chaîne logistique flexible [Sabri et Beamon, 00]. Lee et Billington [Lee et Billington, 92] affirment que parmi les pièges rencontrés lors de la détermination de la performance de la chaîne logistique globale on trouve les exclusions des incertitudes. Plusieurs auteurs [Vidal et Goetschalckx, 96] [Kogut, 85] mettent l'accent sur l'impact des incertitudes dans la conception et l'optimisation de la chaîne logistique globale. En ce qui nous concerne, et dans le calcul du taux d'utilisation des installations de la chaîne, nous intégrons dans la

¹² Avec $\sum_i (\varepsilon_i + \sum_{f_{pi}} \varepsilon_{f_{pi}}) = 1$

modélisation de notre problème, les incertitudes liées à la fiabilité des fournisseurs ce qui nous permet d'avoir une idée sur la flexibilité de la chaîne en volume.

D'un autre côté les objectifs "coût" et "taux d'utilisation des installations" devraient être antagonistes. En effet, un gain en taux d'utilisation entraîne une augmentation des coûts et, inversement, en essayant de limiter les coûts, on génère une perte en taux d'utilisation. Ainsi nous devons chercher à aboutir à un compromis entre la gestion des coûts et l'utilisation des installations de la chaîne. Ces deux objectifs sont modélisés comme suit.

Objectif 1 : Minimiser le coût total

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_i \sum_{p_i} [(C \text{ var Prod}_{i,p_i} \times X_{i,p_i} + C \text{ fix Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i}) + \sum_{fp_i} (C \text{ var Achat}_{fp_i} \times X_{i,p_i,fp_i} + \\ C \text{ var Transp}_{fp_i} \times X_{i,p_i,fp_i} + C \text{ fix Achat}_{fp_i} \times Z_{i,p_i,fp_i})] + \sum_i \sum_{p_i} h_{p_i} (I_{p_i}) \end{aligned} \quad [1]$$

Cet objectif reflète pour les activités externalisables la minimisation des coûts en interne et en externe. Les coûts en interne sont représentés par les coûts de transformation en interne et par les coûts fixes de production liés aux activités de production. Les coûts de l'option de faire-faire sont relatifs aux coûts variables et fixes d'achat pour les activités de fabrication et au coût variable de transport induit par le choix du fournisseur. La dernière partie de la fonction représente le coût de possession de stock en interne.

Objectif 2 : Maximiser le taux d'utilisation des ressources internes et externes

$$\text{Max} \sum_i [(\varepsilon_i \frac{\sum_{p_i} X_{i,p_i}}{\text{Ch arg Max}_i}) + \sum_{p_i} \sum_{fp_i} (\varepsilon_{fp_i} \frac{P_{fp_i} \times X_{i,p_i,fp_i}}{\text{Cap Prod Four}_{fp_i}})] \quad [2]$$

Cet objectif traduit la maximisation de l'utilisation des ressources internes et externes ce qui implique une bonne utilisation des installations de la chaîne. Ce critère permet aussi d'avoir une idée sur la flexibilité de la chaîne en volume. Lors de l'activation d'une installation, un coût fixe (relatif à l'utilisation de cette installation) est comptabilisé automatiquement (cf. objectif 1). C'est pourquoi, lorsqu'une installation est utilisée, il est important de l'utiliser à sa capacité maximale, afin d'éviter d'activer d'autres installations et ainsi engendrer des coûts fixes supplémentaires. Il s'agit ainsi d'un critère important pour la décision du choix des installations de la chaîne (internes et externes). D'un autre côté, lors de la sélection des fournisseurs, il est important de concevoir une chaîne logistique flexible et qui permet de répondre aux aléas, d'où l'importance de la prise en compte de la fiabilité des fournisseurs (P_{fp_i}) pour le calcul du taux d'utilisation des installations externes.

3.5. Les contraintes

3.5.1. Relatives au partage des ressources

- Humaines

$$\sum_{p_i} [(Ch \text{ arg Homm}_{i,p_i} \times X_{i,p_i}) + (Ch \text{ arg Homm SetUP}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i})] \leq Ch \text{ arg Homm Max}_i \quad [3]$$

Cette contrainte garantit la disponibilité des ressources humaines pour chaque activité de production et ceci pour l'ensemble des produits qu'elle fabrique. En effet, la charge humaine (fixe et variable) induite par la fabrication en interne des produits p_i fabriqués par l'activité i doit être inférieure ou égale à la capacité maximale en hommes affectée à l'activité.

- Heures machine

$$\sum_{p_i} [(ChargHeur_{i,p_i} \times X_{i,p_i}) + (ChargHeurSetUP_{i,p_i} \times Z_{i,p_i})] \leq ChargHeurMax_i \quad [4]$$

Cette contrainte tient compte de la charge en heures machine (fixe et variable) allouée à chaque activité de production pour la période considérée. En effet, le nombre d'heures machine requis à la fabrication des produits p_i par l'activité i doit être inférieur à la charge horaire maximale de l'activité. La composante fixe de la charge horaire correspond par exemple au temps de réglage des machines.

3.5.2. Relatives aux capacités internes de production

$$MinProd_{i,p_i} \times Z_{i,p_i} \leq X_{i,p_i} \leq CapaProd_{i,p_i} \times Z_{i,p_i} \quad [5]$$

La contrainte [5] permet d'exprimer le fait que les quantités produites en interne sont limitées par les capacités de production minimales (correspondant à un lot de production économique) et maximales par période. On vérifie bien grâce à cette contrainte que si on ne choisit pas l'option de faire en interne ($Z_{i,p_i} = 0$), alors $X_{i,p_i} = 0$.

$$\sum_{p_i} X_{i,p_i} \leq ChargMax_i \quad [6]$$

Nous prenons également en compte les capacités de production par rapport à l'activité pour l'ensemble des produits qu'elle est susceptible de fabriquer [6].

3.5.3. Relatives aux capacités externes

$$CapTranspMin_{fp_i} \times Z_{i,p_i,fp_i} \leq r_{fp_i} X_{i,p_i} \leq CapTranspMax_{fp_i} \times Z_{i,p_i,fp_i} \quad [7]$$

Cette contrainte tient compte des capacités de transport des fournisseurs externes pour les quantités qu'ils peuvent fournir par période. On vérifie bien grâce à cette contrainte que si on ne choisit pas l'option de faire en externe ($Z_{i,p_i,fp_i} = 0$), alors $X_{i,p_i,fp_i} = 0$.

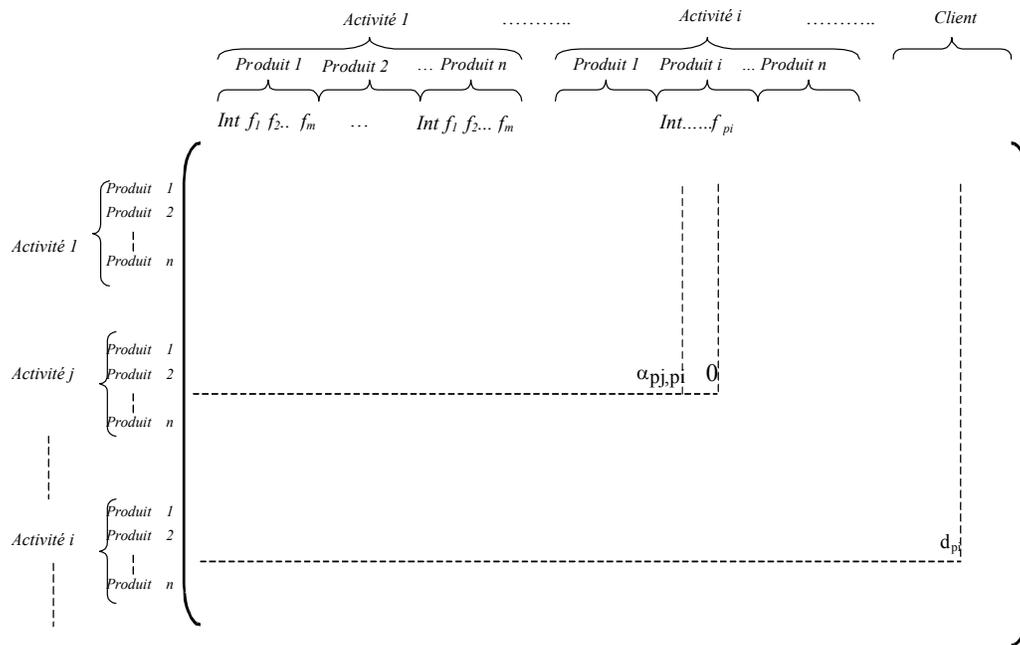
3.5.4. Relatives à la conservation du flux :

Cet ensemble de contraintes permettent de prendre en compte, comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe 2, la conservation des flux de matière au niveau des stocks (en-cours et produits finis). Trois paramètres sont ainsi modélisés :

- La nomenclature du produit : pour les en-cours la consommation du stock dépend de l'activité en aval. Ce stock est alimenté par une activité en amont et éventuellement par les fournisseurs potentiels concurrents de cette activité en interne.

- La demande de produits finis : pour les stocks de produits finis, la consommation du stock est déterminée par la demande du client final.
- La sous-traitance à façon : Dans ce cas de figure, il faut tenir compte des quantités de matières fournies aux sous-traitants dans la consommation du stock de ces matières.

Pour modéliser cet ensemble de paramètres nous utilisons la matrice de la nomenclature de produit M (cf. figure 34)



Cas d'un façonnage :

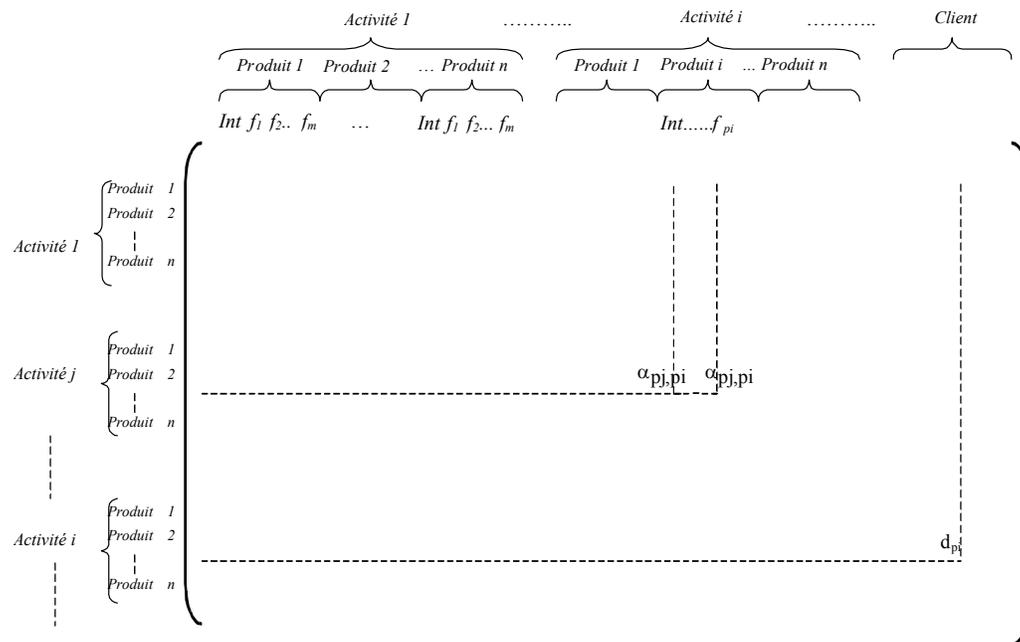


Figure 34 : La matrice de la nomenclature du produit et de la demande (M)

Cette matrice présente en colonnes pour chaque p_i de chaque activité le fournisseur interne et les fournisseurs externes possibles. Elle indique en lignes les produits p_j entrant dans la composition des produits p_i . Les éléments de M indiquent pour chacun p_j :

- la quantité (α_{p_j,p_i}) entrant dans la fabrication en interne d'une unité de p_i . Cette partie de la matrice M est déterminée en se basant sur la nomenclature du produit.
- éventuellement dans le cas de sous-traitance à façon les quantités de matières (α_{p_j,p_i}) qui correspondent à la réalisation d'une unité de p_i par les sous-traitants.

La dernière colonne de la matrice correspond à la demande ultime du client. Ainsi, pour chaque produit fini, nous indiquons sur la ligne correspondante et dans la dernière colonne de la matrice la demande du client vis-à-vis de ce produit.

Le nombre de lignes de la matrice M est $\sum_i (p_i)$ et le nombre de colonnes est $1 + \sum_i (p_i + \sum_{p_i} f_{p_i})$.

Nous introduisons également le vecteur W (cf. figure 35) :

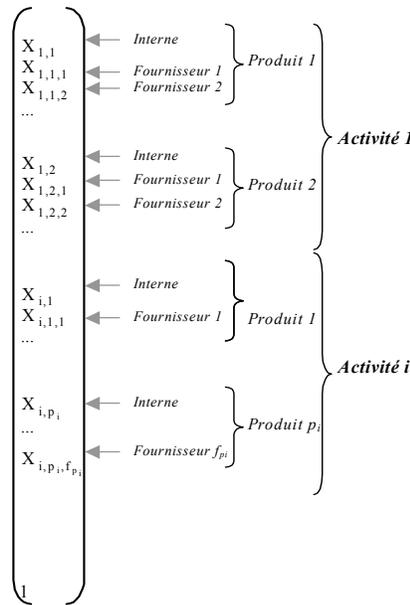


Figure 35 : le vecteur des flux (W)

Ce vecteur a une dimension = $1 + \sum_i (p_i + \sum_{p_i} f_{p_i})$. Les éléments du vecteur W correspondent au flux de produit dans la chaîne. Pour chaque activité i et pour chaque produit fabriqué (p_i) fourni par cette activité, nous introduisons dans le vecteur successivement, les quantités produites en interne (X_{i,p_i}) et celles fournies par les fournisseurs externes ($X_{i,p_i,f_{p_i}}$).

Soit le vecteur F de dimension $\sum_i (p_i)$. Ce vecteur est défini comme suit :

$$F = \left[X_{i,p_i} + \sum_{f_{p_i}} X_{i,p_i,f_{p_i}} \right] \leftarrow \begin{array}{l} \text{Indice relatif au produit } p_i \text{ de} \\ \text{l'activité } i \end{array}$$

Chaque élément de ce vecteur qui correspond à un produit p_i relatif à une activité i représente la somme des quantités produites en interne et celles fournies par les fournisseurs externes (f_{p_i}). Cette somme représente les quantités alimentant le stock.

Nous introduisons également le vecteur des stocks, de dimension $\sum_1(p_i)$:

$$S = \begin{bmatrix} I_{p_i} \end{bmatrix} \leftarrow \begin{matrix} \text{Indice relatif au produit } p_i \text{ de} \\ \text{l'activité } i \end{matrix}$$

Ce vecteur représente pour chaque activité i et pour chaque produit p_i fourni par cette activité le stock de produit correspondant. Ce stock serait alimenté éventuellement par les ressources internes (activité i) et les fournisseurs externes concurrents (fournisseurs f_{p_i}). Il sera consommé par les activités en aval en fonction de la nomenclature du produit.

Dans la modélisation que nous faisons, nous supposons que les stocks sont toujours à la possession de l'entreprise. En effet, nous considérons un type de configuration où l'on se ramène toujours à des stocks en interne avant de dispatcher les produits vers les fournisseurs du reste de la chaîne.

Ainsi l'ensemble des contraintes relatives à la conservation des flux est donné par le produit matriciel $F=S+MW$. Le produit MW donne la consommation des stocks des en-cours et produits finis.

Pour exprimer mathématiquement cet ensemble de contraintes, on considère les notations suivantes en plus de celles adoptées au début :

$AV(i)$: ensemble des activités en aval de l'activité i .

$av(i)$: indice relatif à une activité en aval de i .

$p_{av(i)}$: un produit de l'activité $av(i)$ en aval de l'activité i et nécessitant l'utilisation du produit p_i .

$\alpha_{p_i, p_{av(i)}}$: quantité de produits p_i utilisée pour la fabrication d'une unité de produit $p_{av(i)}$.

p_n : un produit fini relatif à une activité n en amont du client.

On a d'après le produit matriciel :

$$X_{i,p_i} + \sum_{fp_i} X_{i,p_i,fp_i} = I_{p_i} + \sum_{av(i) \in AV(i)} M_{i,av(i)} W_{av(i),1} \quad [8]$$

Plus explicitement, on a :

- Pour $p_i \neq p_n$, alors on a deux cas possibles selon l'indice de i de l'activité :
 - Si la sous-traitance à façon est considérée :

$$X_{i,p_i} + \sum_{fp_i} X_{i,p_i,fp_i} = I_{p_i} + \sum_{p_{av(i)}} \alpha_{p_i,p_{av(i)}} (X_{av(i),p_{av(i)}} + \sum_{fp_{av(i)}} X_{av(i),p_{av(i)},fp_{av(i)}}) \quad [8.1]$$

- Si pas de façonnage :

$$X_{i,p_i} + \sum_{fp_i} X_{i,p_i,fp_i} = I_{p_i} + \sum_{p_{av(i)}} \alpha_{p_{av(i)},p_{av(i)}} X_{av(i),p_{av(i)}} \quad [8.2]$$

- Pour $p_i = p_n$

$$X_{n,p_n} + \sum_{fp_n} X_{n,p_n,fp_n} = I_{p_n} + d_{pn} \quad [8.3]$$

3.5.5. Relatives au respect des délais

$$\text{Max} \left\{ l_{i,p_i} \frac{X_{i,p_i}}{Q_{i,p_i}}, l_{fp_i,p_i} \frac{X_{i,p_i,fp_i}}{Q_{fp_i,p_i}} \right\} \leq L_{p_i} \quad [9]$$

Cette contrainte garantit le respect des délais fixés (déterminés suite à une analyse des besoins à partir de la date exigée par les clients finaux) pour la réalisation d'un produit en interne et/ou en externe. Ce délai de réalisation correspond au maximum entre les délais de réalisation en interne et en externe. Dans le cas de sources de fournitures multiples, le délai correspond à la source la plus longue dans le temps. Les délais de réalisation en interne sont fonction des délais moyens de réalisation d'un lot de produit en interne et du nombre des lots qui seront lancés pendant la période de planification, et ainsi de même pour les délais externes.

Comme nous pouvons le constater cet ensemble de contrainte calcule les delais qui correspondent aux composants et produits finis et impose que cela doit etre inferieur au delai exigee pour la fabrication du composant ou du produit en question.

Afin de garantir une linéarité des contraintes, nous exprimons la contrainte relative au respect des délais comme suit :

$$l_{i,p_i} \frac{X_{i,p_i}}{Q_{i,p_i}} \leq L_{p_i} \quad [9.1]$$

$$l_{fp_i,p_i} \frac{X_{i,p_i,fp_i}}{Q_{fp_i,p_i}} \leq L_{p_i} \quad [9.2]$$

3.5.6. Relative à la flexibilité de la chaîne en volume

$$\sum_i \left[(\varepsilon_i \frac{\sum_{p_i} X_{i,p_i}}{\text{ChargMax}_i}) + \sum_{p_i} \sum_{fp_i} (\varepsilon_{fp_i} \frac{P_{fp_i} \times X_{i,p_i,fp_i}}{\text{CapProdFour}_{fp_i}}) \right] \leq \beta \quad [10]$$

Cette contrainte permet de garantir une marge de manœuvre par rapport à un seuil maximum d'utilisation des installations de la chaîne. Pour garantir une réactivité face aux risques, il est important de définir un seuil sur les capacités β que l'on ne doit pas dépasser. Ce seuil est fixé par le décideur en fonction de son degré d'appréciation du risque.

3.5.7. Relatives aux variables de décision

$$Z_{i,p_i} + \sum_{fp_i} Z_{i,p_i,fp_i} \geq 1 \quad [11]$$

Cette contrainte permet d'exprimer le fait que chaque produit ait au moins soit une source en interne, soit une source externe pour sa réalisation.

Nous nous ramenons ainsi à un problème linéaire mixte multi-objectifs. En annexe 2, nous passons en revue les méthodes appliquées pour résoudre de tels problèmes [Guitouni, 00][Hiller et Liberman, 01]. Nous choisissons d'appliquer d'une part la méthode du goal programming et d'autre part la méthode de l' ϵ constraint, chacune dans un but bien précis.

4. Application du goal programming

L'approche de base du goal programming (programmation par objectif ou encore programmation par but) est d'établir un but numérique spécifique pour chaque objectif, et chercher une solution qui minimise la somme (pondérée) des écarts de ces fonctions objectives de leur but respectif. Comme les objectifs ont des degrés de préférence comparables (pas de hiérarchie entre les objectifs), nous nous situons dans le cas du "*non-preemptive goal programming*" (cf. annexe 2). Pour appliquer la méthode du goal programming, nous procédons comme suit :

- Nous résolvons notre modèle avec une minimisation du coût du «faire ou faire-faire» pour seul objectif. Nous déterminons ainsi le goal qui correspond au coût (G1). Ce Goal doit constituer une borne inférieure car une augmentation du taux d'utilisation des installations de la chaîne entraîne une augmentation des coûts.
- Nous résolvons notre modèle avec une maximisation du taux d'utilisation des installations de la chaîne pour seul objectif. Nous déterminons ainsi le goal qui correspond au taux d'utilisation des installations (G2). Ce goal doit constituer une borne supérieure car la prise en compte des coûts entraîne une diminution de ce taux.
- Comme nos deux critères ont des ordres de grandeur différents car le taux d'utilisation des installations de la chaîne est exprimé en pourcentage (<1) et le coût en unité monétaire ($>> 1$), nous ne pouvons pas appliquer la méthode dans sa forme standard et nous devons dans un premier temps, procéder à une normalisation des deux objectifs. Nous considérons ainsi une première variable auxiliaire (δ_1^+) qui représente le pourcentage de l'écart positif par rapport à G1 et une seconde variable auxiliaire (δ_2^-) qui représente le pourcentage de l'écart négatif par rapport à G2. Deux contraintes additionnelles sont rajoutées. Elles tiennent compte du pourcentage de l'écart des deux objectifs de leur goal respectif. Notre problème se ramène à minimiser la somme (pondérée) des pourcentages

des écarts. Soient α_1 et α_2 les coefficients de pondération relatifs respectivement au coût et au taux d'utilisation des installations de la chaîne. Ces coefficients traduisent les préférences du décideur vis-à-vis de ces deux critères ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1$). Notre problème se ramène ainsi au modèle présenté à l'encadré 1.

Nous aboutissons à chaque fois à un programme linéaire mixte qui peut être résolu par les méthodes de résolution classique tel que le branch and bound [Sakarovitch 84 b].

$$\text{Min } \alpha_1 \delta_1^+ + \alpha_2 \delta_2^-$$

Sujet à :

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_{p_i} [(C \text{ var Prod}_{i,p_i} \times X_{i,p_i} + C \text{ fix Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i}) + \sum_{fp_i} (C \text{ var Achat}_{fp_i} \times X_{fp_i,p_i} \\ & - + C \text{ var Transp}_{fp_i} \times X_{i,p_i,fp_i} + C \text{ fix Achat}_{fp_i} \times Z_{fp_i,p_i})] + \sum_i \sum_{p_i} h_{p_i} I_{p_i} - G_1 \delta_1^+ = G_1 \\ & - \sum_i [(\epsilon_i \frac{\sum_{p_i} X_{i,p_i}}{\text{Ch arg Max}_i}) + \sum_{p_i} \sum_{fp_i} (\epsilon_{fp_i} \frac{P_{fp_i} \times X_{fp_i,p_i}}{\text{Cap Prod Four}_{fp_i}})] + G_2 \delta_2^- = G_2 \\ & - \sum_{p_i} [(Ch arg Homm_{i,p_i} \times X_{i,p_i}) + (Ch arg Homm Set UP_{i,p_i} \times Z_{i,p_i})] \leq Ch arg Homm Max_i \quad \forall i \\ & - \sum_{p_i} [(Ch arg Heur_{i,p_i} \times X_{i,p_i}) + (Ch arg Heur Set UP_{i,p_i} \times Z_{i,p_i})] \leq Ch arg Heur Max_i \quad \forall i \\ & - \text{Min Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i} \leq X_{i,p_i} \leq \text{Capa Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i} \quad \forall i, p_i \\ & - \sum_{p_i} X_{i,p_i} \leq \text{Ch arg Max}_i \quad \forall i \\ & - \text{Cap Transp Min}_{fp_i} \times Z_{i,p_i,fp_i} \leq r_{fp_i} X_{i,p_i} \leq \text{Cap Transp Max}_{fp_i} \times Z_{i,p_i,fp_i} \quad \forall i, p_i, fp_i \\ & - X_{i,p_i} + \sum_{fp_i} X_{i,p_i,fp_i} = I_{p_i} + \sum_{av(i) \in AV(i)} M_{i,av(i)} W_{av(i),1} \quad \forall i, p_i \\ & - l_{i,p_i} \frac{X_{i,p_i}}{Q_{i,p_i}} \leq L_{p_i} \quad \forall i, p_i \\ & - l_{fp_i,p_i} \frac{X_{i,p_i,fp_i}}{Q_{fp_i,p_i}} \leq L_{p_i} \quad \forall i, p_i, fp_i \\ & - \sum_i [(\epsilon_i \frac{\sum_{p_i} X_{i,p_i}}{\text{Ch arg Max}_i}) + \sum_{p_i} \sum_{fp_i} (\epsilon_{fp_i} \frac{P_{fp_i} \times X_{i,p_i,fp_i}}{\text{Cap Prod Four}_{fp_i}})] \leq \beta \\ & - Z_{i,p_i} + \sum_{fp_i} Z_{i,p_i,fp_i} \geq 1 \quad \forall i, p_i \\ & - \delta_1^+ \geq 0; \delta_2^- \geq 0 \\ & - X_{i,p_i} \geq 0; I_{p_i} \geq 0; Z_{i,p_i} \in \{0,1\} \quad \forall i, p_i \\ & - X_{i,p_i,fp_i} \geq 0; Z_{i,p_i,fp_i} \in \{0,1\} \quad \forall i, p_i, fp_i \end{aligned}$$

Encadré 1 : Application de la méthode du goal programming (MILP)

En appliquant cette méthode, nous cherchons à évaluer plusieurs scénarios par rapport aux deux objectifs, coût et taux d'utilisation des installations de la chaîne, afin de générer des règles de décision pour la conception de la chaîne logistique en réponse au choix de faire ou faire-faire. Nous testons ainsi l'effet de la variation de paramètres (tels que prix d'achat, l'augmentation de la demande, la capacité interne non disponible, la fiabilité des fournisseurs) sur le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne ainsi que sur la stratégie de faire ou faire-faire.

5. Application de la méthode de l' ε -constraint

Dans l'application de cette méthode, nous considérons seulement le coût comme objectif, et nous choisissons une borne inférieure pour l'objectif "taux d'utilisation de la chaîne" que nous exprimons comme contrainte. Notre modèle se ramène ainsi :

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_i \sum_{p_i} [(C \text{ var Prod}_{i,p_i} \times X_{i,p_i} + C \text{ fix Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i}) + \sum_{f_{p_i}} (C \text{ var Achat}_{f_{p_i}} \times X_{i,p_i,f_{p_i}} + \\ C \text{ var Transp}_{f_{p_i}} \times X_{i,p_i,f_{p_i}} + C \text{ fix Achat}_{f_{p_i}} \times Z_{i,p_i,f_{p_i}})] + \sum_i \sum_{p_i} h_{p_i} (I_{p_i}) \end{aligned}$$

Sujet à :

- $\sum_i [(\varepsilon_i \frac{p_i}{\text{Ch arg Max}_i}) + \sum_{p_i} \sum_{f_{p_i}} (\varepsilon_{f_{p_i}} \frac{P_{f_{p_i}} \times X_{f_{p_i},p_i}}{\text{Cap Pr od Four}_{f_{p_i}}})] \geq \varepsilon$
- Contraintes de [3] à [11]
- $X_{i,p_i} \geq 0; I_{p_i} \geq 0; Z_{i,p_i} \in \{0,1\} \quad \forall i, p_i$
- $X_{i,p_i,f_{p_i}} \geq 0; Z_{i,p_i,f_{p_i}} \in \{0,1\} \quad \forall i, p_i, f_{p_i}$

Encadré 2 : Application de la méthode des seuils sur les objectifs (MILP')

Nous appliquons cette méthode en faisant varier la borne inférieure (ε) du critère "taux d'utilisation des installations de la chaîne", et nous observons la variation du coût en fonction de ce taux. Nous cherchons à déterminer le taux minimum d'utilisation des installations de la chaîne au-delà duquel les coûts augmentent considérablement. C'est l'indice ε à partir duquel on ne gagne plus en taux d'utilisation car les coûts augmentent amplement, étant donné que ces deux critères sont antagonistes. Ce critère est important pour la conception de la chaîne d'une part car il permet de garantir une bonne utilisation des installations de la chaîne tout en minimisant les coûts et d'autre part car il permet d'avoir une idée sur la flexibilité de la chaîne en volume qui devrait être au moins égal à ε (sinon on risque une sous-utilisation des installations de la chaîne).

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un modèle mathématique pour la conception d'une chaîne logistique prenant en compte le choix de faire ou faire-faire. Notre modèle permet d'avoir une vision globale de toute la chaîne et prend en considération deux critères importants qui sont le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne. Ce dernier critère permet une meilleure exploitation des ressources disponibles, ainsi qu'une bonne

réaction vis-à-vis des aléas dus à la prise en compte de la fiabilité des fournisseurs dans le calcul de ce taux d'utilisation des installations de la chaîne. Notre modèle tient compte dans les contraintes formulées des aspects liés au respect des délais, aux capacités internes et externes, à la conservation des flux de matière dans la chaîne, ainsi qu'une marge par rapport à une borne supérieure sur l'utilisation des ressources. Nous avons retenu deux méthodes pour la résolution et l'exploitation de notre modèle. Les résultats obtenus sur un exemple considéré de chaîne logistique seront présentés dans le chapitre 6.

Dans notre modélisation, nous avons considéré une structure linéaire sur les coûts. C'est une hypothèse qui sera relevée plus tard au niveau du chapitre 7.

Partie III : Validation et extensions du modèle

Cette troisième partie verra dans un premier temps l'implémentation de notre modèle avec l'objectif de garantir son utilisation dans le cas général d'une chaîne logistique et de permettre le test de plusieurs scénarios en faisant varier ses paramètres. Dans un second temps, nous présenterons une extension du modèle dans le cas de la prise en compte des économies d'échelle dans les coûts de transport ainsi que dans les coûts de stock.

Chapitre 6 : Un Outil d'aide à la décision, exemples de tests

Dans ce chapitre, nous présentons l'application développée comme support à la conception de la chaîne logistique en réponse au choix de faire ou faire-faire et qui permettra de tester plusieurs stratégies de faire ou faire-faire.

Considérant le modèle que nous avons développé dans le chapitre 5, et qui permet d'avoir une vision globale de toute la chaîne logistique dans une décision de faire ou de faire-faire, nous avons constaté que celui-ci intègre plusieurs paramètres qui dépendent fortement des préférences du décideur. Afin de pouvoir réaliser les tests de plusieurs scénarios, et dans l'objectif de garantir une exploitation de notre modèle dans le cas général d'une chaîne logistique, nous avons procédé au développement d'un outil d'aide à la décision permettant une optimisation du modèle. Dans un premier temps, nous présentons une brève description de l'architecture générale de l'outil. Dans un second temps, et sur l'exemple d'une chaîne logistique, nous présentons les scénarios et les analyses réalisés avec notre modèle en appliquant d'une part la méthode des seuils sur les objectifs (ϵ -constraint), et d'autre part la méthode de la programmation par but (goal programming).

1. Description générale de l'outil

Pour permettre une utilisation de notre modèle dans le cas le plus général d'une chaîne logistique, et vu le nombre de paramètres qu'il possède, nous avons développé un outil qui permet à l'utilisateur de rentrer les données du modèle une seule fois, de les faire varier et d'accéder directement aux résultats des tests effectués. L'application a été développée sous Delphi 5.0 (environnement de programmation visuel basé sur le Pascal Objet), en utilisant une bibliothèque de fonction EZMod 3.0 (Easy Modelling). Ces fonctions EZMod permettent de générer le modèle mathématique, de faire appel à des solveurs (tels que Cplex 6.0 dans notre cas) pour le résoudre, et renvoient des statistiques sur les résultats obtenus (tels que le nombre de contraintes et variables de décision, le temps de résolution, etc.).

L'outil se compose de quatre interfaces de base (cf. figure 36):

- Un écran qui permet le choix du critère d'optimisation (soit le coût, soit le taux d'utilisation de la chaîne soit encore les deux critères simultanément).
- Trois écrans correspondant chacun au critère considéré. Dans l'écran qui correspond à l'optimisation selon le coût, l'utilisateur rentre les données du modèle et qui seront pris en compte au niveau des autres écrans (et ceci grâce à la structure objet de l'application) correspondant respectivement au modèle d'optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne et au modèle d'optimisation multi-objective. Chaque écran possède un menu avec des rubriques, permettant entre autre et par un simple clic, de générer le modèle automatiquement à partir des données introduites, d'accéder au rapport des résultats, de basculer vers le premier écran de choix des critères afin de changer de critères d'optimisation, ou encore de modifier certaines données introduites afin d'effectuer des simulations du modèle.

Pour plus de détail sur les logiciels utilisés ainsi que le fonctionnement de l'outil développé, se référer à l'annexe 3.

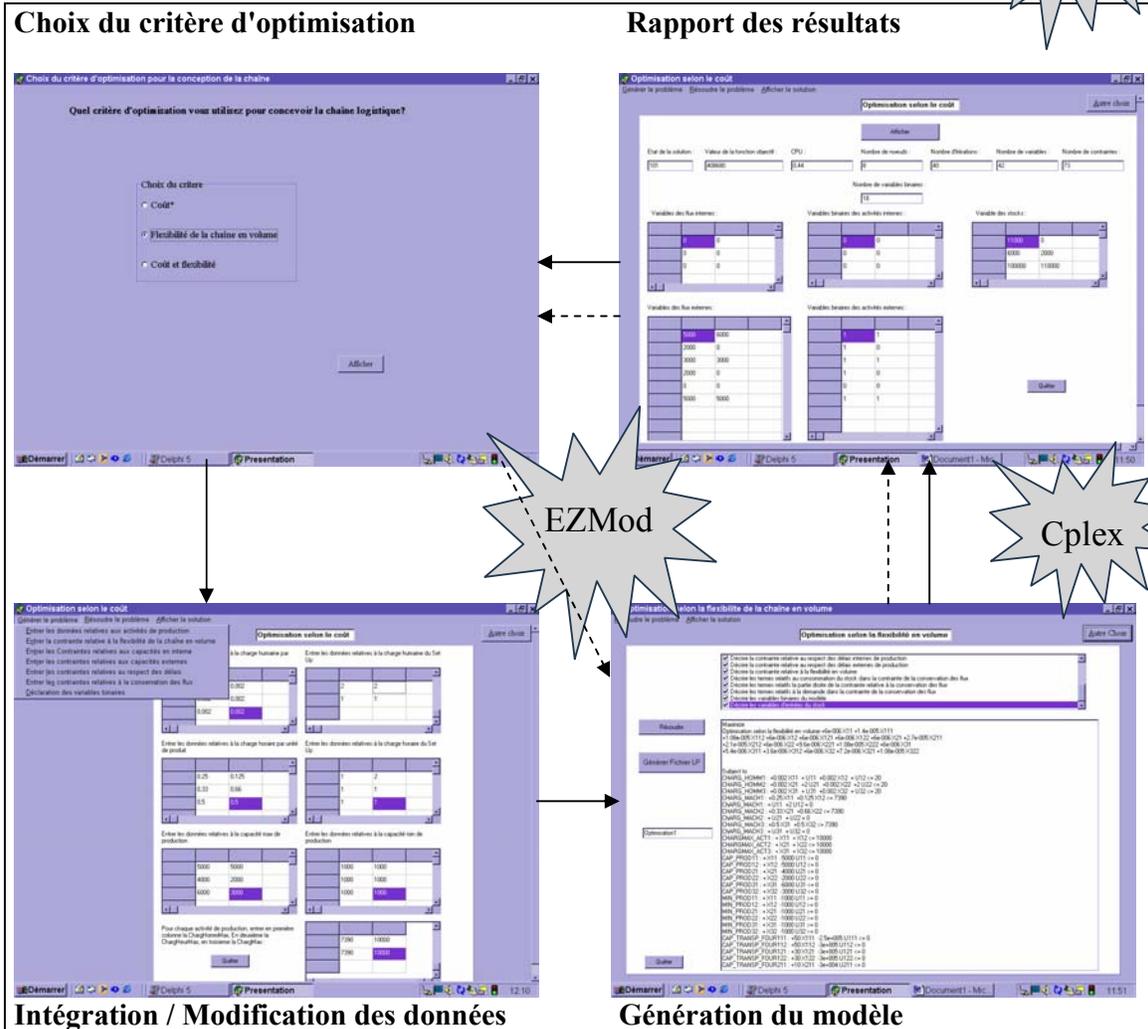


Figure 36 : Architecture générale de l'outil

2. Exemple d'application

2.1. Description

Afin d'effectuer des tests de scénarios sur l'application décrite ci-dessus, nous considérons l'exemple de la chaîne logistique représentée à la figure 37. Sur cet exemple on suppose que l'entreprise possède trois activités de production. Chacune des activités produit deux produits et dispose d'un ensemble de ressources allouées (humaines et matérielles) qui seront partagées entre les produits qu'elle fabrique. Pour chaque produit fabriqué par une activité, l'entreprise possède un ensemble de fournisseurs externes concurrençant les ressources internes. Par exemple, l'activité 1 fournit les deux produits P₁₁ et P₁₂, dispose d'un ensemble des ressources internes R1 (heures machine, main d'œuvre), possède les fournisseurs externes

F_{111} et F_{112} concurrençant le produit P_1 en interne, ainsi que les fournisseurs F_{121} et F_{122} concurrençant le produit P_2 en interne.

Pour chaque activité et pour chaque produit correspondant l'entreprise possède un stock en interne qui sera alimenté conjointement par l'activité en interne et par les fournisseurs externes concurrents. Ce stock sera consommé par les activités de l'entreprise en aval en fonction de la nomenclature du produit, et éventuellement par des fournisseurs externes dans le cas où il s'agirait de sous-traitance à façon avec des sous-traitants qui utiliseraient ces produits fournis par l'entreprise pour compléter une partie de la fabrication. Par exemple, le produit 2 de l'activité 2 (P_{22}) sera utilisé pour fabriquer le produit 1 de l'activité 3 (P_{31}) ainsi que le produit 2 de l'activité 3 (P_{32}) selon respectivement un coefficient $\alpha_{22,31}$ (représentant le nombre d'unités de P_{22} nécessaires pour la fabrication d'une unité de P_{31}) et $\alpha_{22,32}$ (représentant le nombre d'unités de P_{22} nécessaires pour la fabrication d'une unité de P_{32}). Le cas de façonnage est observé avec les fournisseurs F_{221} et F_{222} qui fournissent le produit 2 de l'activité 2 (P_{22}) et qui doivent utiliser dans ce cas le produit interne P_{12} de l'entreprise selon un coefficient $\alpha_{12,22}$ (représentant le nombre d'unités de P_{12} nécessaires pour la fabrication d'une unité de P_{22}). Sur la figure 37, nous illustrons les variables de décision de notre modèle qui correspondent au choix des activités internes ou externes (Z), au flux de matière fourni par chaque activité choisie (X), ainsi que le niveau des stocks (S) qui est fonction des flux en interne et en externe. Par exemple Z_{11} est une variable binaire qui vaut 1 si on choisit les ressources internes pour fabriquer le produit P_{11} , et 0 sinon. X_{11} est le flux correspondant. Z_{111} est une variable binaire qui vaut 1 si on choisit le fournisseur F_{111} pour fabriquer P_{11} et 0 sinon. X_{111} est le flux correspondant.

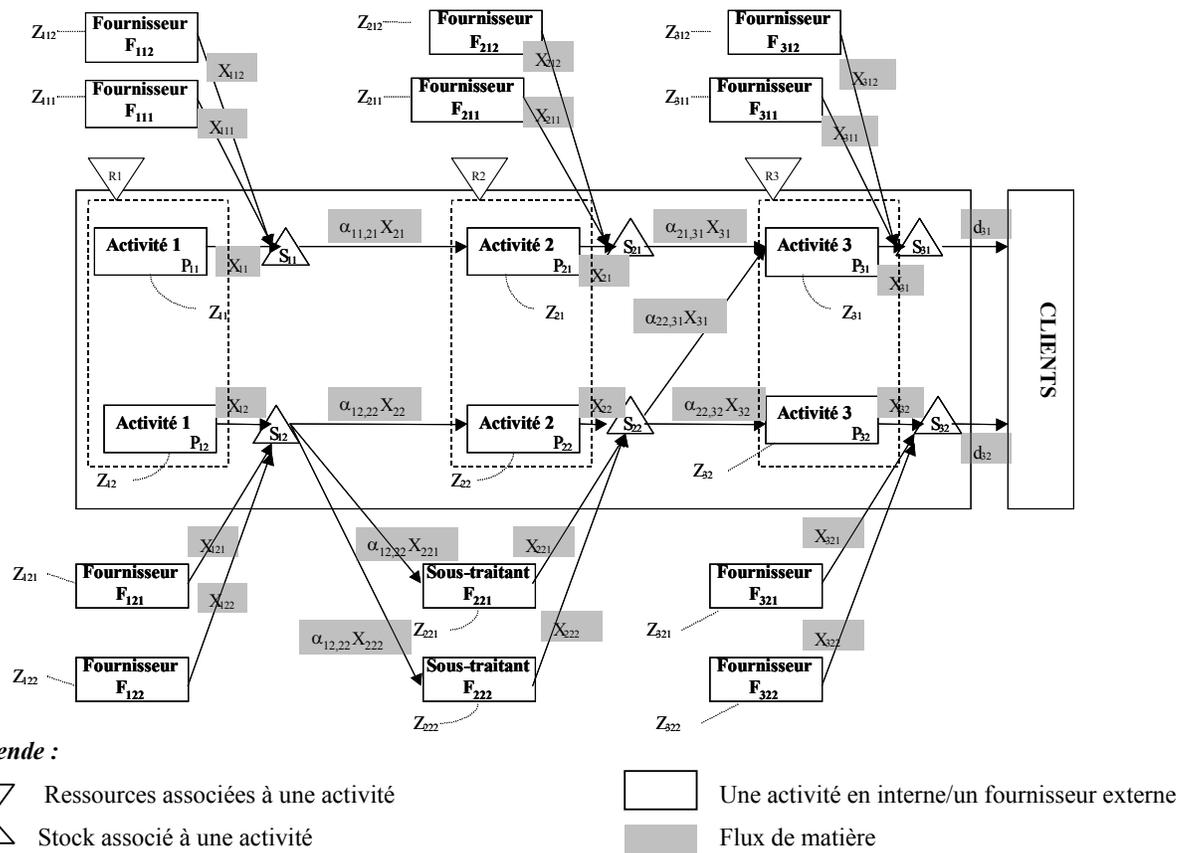


Figure 37 : Un exemple de chaîne logistique

2.2. Les données ("scénario 0")

Nous représentons ici les données de base (dit scénario 0), à partir desquelles nous allons changer certains paramètres pour tester des scénarios qui peuvent se présenter au décideur. L'objectif que nous cherchons est de déterminer la meilleure stratégie de faire ou faire-faire. Dans les données présentées ci-dessous, la période considérée est de 900 jours.

2.2.1. Les données relatives aux coûts

Les coûts représentés ci-dessous sont exprimés en \$.

| Les coûts fixes de production | | |
|-----------------------------------|------------------|------------------|
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 5 | 15 |
| <i>Activité 2</i> | 10 | 20 |
| <i>Activité 3</i> | 30 | 40 |
| Les coûts variables de production | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 20 | 30 |
| <i>Activité 2</i> | 30 | 50 |
| <i>Activité 3</i> | 20 | 40 |

| Les coûts fixes d'achat | | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 5 | 10 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 10 | 20 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 10 | 15 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 20 | 20 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 35 | 35 |
| <i>Activité 3,Produit2</i> | 50 | 40 |
| Les coûts variables d'achat | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 3 | 5 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 5 | 2 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 1 | 5 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 5 | 4 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 3 | 5 |
| <i>Activité 3,Produit2</i> | 4 | 5 |
| Les coûts variables de transport | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 7 | 5 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 5 | 8 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 14 | 5 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 5 | 6 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 7 | 5 |
| <i>Activité 3,Produit2</i> | 16 | 5 |

2.2.2. Les données relatives à la flexibilité de la chaîne en volume

Pour les simulations présentées dans ce chapitre, nous choisissons une borne maximale sur le taux d'utilisation de la chaîne $\beta = 90\%$.

Pour l'utilisation des ressources internes et externes, nous supposons que le décideur accorde une préférence égale pour toutes les installations de la chaîne, d'où un coefficient de pondération de l'ordre de 6% pour chaque installation.

| Les coefficients de pondération relatifs à l'utilisation des ressources internes | |
|--|------|
| <i>Activité 1</i> | 0.06 |
| <i>Activité 2</i> | 0.06 |
| <i>Activité 3</i> | 0.06 |

| Les coefficients de pondération relatifs à l'utilisation des ressources externes | | |
|--|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0.06 | 0.06 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0.06 | 0.06 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0.06 | 0.06 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0.06 | 0.06 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0.06 | 0.06 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0.06 | 0.06 |

| La fiabilité des fournisseurs | | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 1 | 1 |

| La capacité maximale de production des fournisseurs (unités) | | |
|--|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 30000 | 50000 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 80000 | 80000 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 20000 | 20000 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 50000 | 50000 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 100000 | 100000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 50000 | 50000 |

2.2.3. Les données relatives aux capacités en interne

| Charge humaine par unité de produit (hommes/unité de produit) | | |
|---|------------------|------------------|
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 0.002 | 0.002 |
| <i>Activité 2</i> | 0.002 | 0.002 |
| <i>Activité 3</i> | 0.002 | 0.002 |
| Charge humaine du "Set up" (hommes) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité 2</i> | 2 | 2 |
| <i>Activité 3</i> | 1 | 1 |
| Charge horaire par unité de produit (centième de minute/unité de produit) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 0.25 | 0.125 |
| <i>Activité 2</i> | 0.33 | 0.66 |
| <i>Activité 3</i> | 0.5 | 0.5 |
| Charge horaire du "Set up" (centième de minute) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 1 | 2 |
| <i>Activité 2</i> | 1 | 1 |
| <i>Activité 3</i> | 1 | 1 |
| Capacité Max. de production (unités) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 200000 | 200000 |
| <i>Activité 2</i> | 400000 | 200000 |
| <i>Activité 3</i> | 500000 | 300000 |
| Capacité Min. de production (unités) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 1000 | 1000 |
| <i>Activité 2</i> | 1000 | 1000 |
| <i>Activité 3</i> | 1000 | 1000 |

| Charge par activité | | | |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
| | <i>Charge humaine (hommes)</i> | <i>Charge horaire (heure machine)</i> | <i>Capacité de production (unités)</i> |
| <i>Activité 1</i> | 100000 | 100000 | 400000 |
| <i>Activité 2</i> | 100000 | 100000 | 600000 |
| <i>Activité 3</i> | 100000 | 100000 | 800000 |

2.2.4. Les capacités de transport des fournisseurs

| L'unité de transport (m ³ /unité de produit) | | |
|---|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 50 | 50 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 30 | 30 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 10 | 10 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 70 | 70 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 10 | 10 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 20 | 20 |
| La capacité Max de transport (m ³) | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 1500000 | 2500000 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 2400000 | 2400000 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 200000 | 200000 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 3500000 | 3500000 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 1000000 | 1000000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 1000000 | 1000000 |
| La capacité Main de transport (m ³) | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 500000 | 500000 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 300000 | 300000 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 100000 | 100000 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 700000 | 700000 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 100000 | 100000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 200000 | 200000 |

2.2.5. Les données relatives aux délais

| Délai exigé par produit (jour) | | |
|--|------------------|------------------|
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 400 | 500 |
| <i>Activité 2</i> | 600 | 700 |
| <i>Activité 3</i> | 800 | 900 |
| Taille d'un lot de production (unités) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 500 | 500 |
| <i>Activité 2</i> | 100 | 100 |
| <i>Activité 3</i> | 200 | 200 |
| Délai de production d'un lot en interne (jour/lot) | | |
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 0.001 | 0.001 |
| <i>Activité 2</i> | 0.001 | 0.001 |
| <i>Activité 3</i> | 0.001 | 0.001 |

2.2.7. Les données relatives à la demande finale

| | |
|---------------------------|--------|
| <i>Activité3,Produit1</i> | 100000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 100000 |

3. Test de scénarios

3.1. Application de la méthode du seuil sur les objectifs

Nous appliquons la méthode du seuil sur les objectifs, ou méthode de l' "*ε-constraint*", afin de déterminer le taux d'utilisation minimum des installations de la chaîne. Ce taux correspond à la valeur minimale de ε au-delà de laquelle nous avons une augmentation très importante des coûts. A cet effet, pour le modèle MILP' (cf. encadré 2), nous faisons varier ε et nous relevons la variation du coût en fonction du taux d'utilisation des installations de la chaîne.

Nous avons effectué cette analyse d'abord pour une fiabilité moyenne des fournisseurs externes (probabilité de respecter les coûts, les délais, ainsi que la qualité < 1), ensuite pour une fiabilité maximale pour tous les fournisseurs (probabilité égale à 1).

3.1.1. Fiabilité moyenne des fournisseurs (probabilité <1) : Scénario 1

Par rapport au scénario 0, nous considérons ici une fiabilité moyenne des fournisseurs, d'où les données suivantes que nous avons utilisées :

| La fiabilité des fournisseurs | | |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0.7 | 0.9 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0.8 | 0.8 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0.9 | 0.7 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0.8 | 0.9 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0.9 | 0.6 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0.6 | 0.9 |

| La capacité maximale de production des fournisseurs (unités) | | |
|--|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 30000 | 50000 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 50000 | 50000 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 20000 | 20000 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 30000 | 30000 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 50000 | 50000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 50000 | 50000 |

Comme nous supposons que la capacité maximale de transport des fournisseurs correspond à leur capacité maximale de production par période, nous supposons que le changement par

rapport aux capacités maximales de production des fournisseurs se répercute sur leur capacité de transport (à un coefficient multiplicatif près qui correspond à l'unité de transport).

| | Capacité Max de production (unités) | |
|------------|-------------------------------------|-----------|
| | Produit 1 | Produit 2 |
| Activité 1 | 10000 | 10000 |
| Activité 2 | 20000 | 20000 |
| Activité 3 | 30000 | 30000 |

Cette modification devrait se répercuter également sur la capacité maximale de production d'une activité que nous avons considérée par hypothèse comme mettant la somme des capacités de production de ses produits.

Avec les données que nous avons considérées et en considérant une demande de 50000 pour chaque produit fini, nous arrivons à faire varier ε jusqu'à 0.7

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau 10. Nous indiquons, pour chaque valeur de ε , la valeur de la fonction objectif qui correspond au coût, la valeur du taux d'utilisation des installations de la chaîne après détermination des variables de décision, ainsi que les variables de décisions qui correspondent au flux de matière en interne et en externe, et les états de stock.

| | | $\varepsilon = 0$ | $\varepsilon = 0,1$ | $\varepsilon = 0,2$ | $\varepsilon = 0,3$ | $\varepsilon = 0,4$ | $\varepsilon = 0,5$ | $\varepsilon = 0,6$ | $\varepsilon = 0,7$ |
|---|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Taux d'utilisation des installations | | 0,117 | 0,117 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| Coût | | 1130345 | 1130345 | 1538056 | 2184043 | 2935905 | 3823066 | 5051510 | 7467783 |
| Quantités en interne | X ₁₁ | 1000 | 1000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| | X ₁₂ | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 5098 | 10000 | 10000 |
| | X ₂₁ | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 |
| | X ₂₂ | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6666 |
| | X ₃₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6000 | 30000 |
| | X ₃₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Quantités achetées chez les fournisseurs externes | X ₁₁₁ | 0 | 0 | 0 | 27429 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X ₁₁₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₁₂₁ | 0 | 0 | 10000 | 10000 | 46094 | 10000 | 50000 | 50000 |
| | X ₁₂₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44902 | 50000 | 50000 |
| | X ₂₁₁ | 0 | 0 | 10000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X ₂₁₂ | 0 | 0 | 16381 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X ₂₂₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 16094 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X ₂₂₂ | 0 | 0 | 10000 | 10000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X ₃₁₁ | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₃₁₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 50000 |
| | X ₃₂₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| | X ₃₂₂ | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| Etat des stocks | S ₁₁ | 0 | 0 | 1000 | 37429 | 40000 | 90000 | 90000 | 70000 |
| | S ₁₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 43333 |
| | S ₂₁ | 1000 | 1000 | 26381 | 40000 | 40000 | 40000 | 34000 | 30000 |
| | S ₂₂ | 1000 | 1000 | 10000 | 10000 | 46094 | 60000 | 54000 | 36667 |
| | S ₃₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56000 | 80000 |
| | S ₃₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |

Tableau 10 : Résultats obtenus en faisant varier ε (dans le cas d'une fiabilité moyenne des fournisseurs)

Nous pouvons conclure de ces résultats que :

- en augmentant ε , nous remarquons qu'il y a plus d'installations (internes et externes) qui sont utilisées,
- une augmentation de l'indice minimum d'utilisation des installations de la chaîne (ε) entraîne certes une meilleure utilisation des ressources internes et externes, mais engendre également une augmentation des niveaux des stocks. Ceci explique les causes de l'augmentation des coûts. Les stocks ont un rôle important pour garantir une certaine flexibilité car ils permettent de maîtriser les risques face aux aléas. Toutefois et en considérant comme critère supplémentaire la minimisation des coûts (dont les stocks), les niveaux de stocks devraient être limités.
- pour $\varepsilon = 0$, on est amené dans le cas d'un problème mono-objectif dont l'objectif est de minimiser les coûts, nous trouvons la même solution,
- en augmentant ε (à partir de $\varepsilon = 20\%$), la solution qui minimise le critère coût correspond à un taux d'utilisation des installations de la chaîne qui est égal exactement au taux minimum (20%),
- dans la plupart des cas, les installations qui sont utilisées (en interne ou en externe) sont utilisées à leur niveau de capacité maximale.

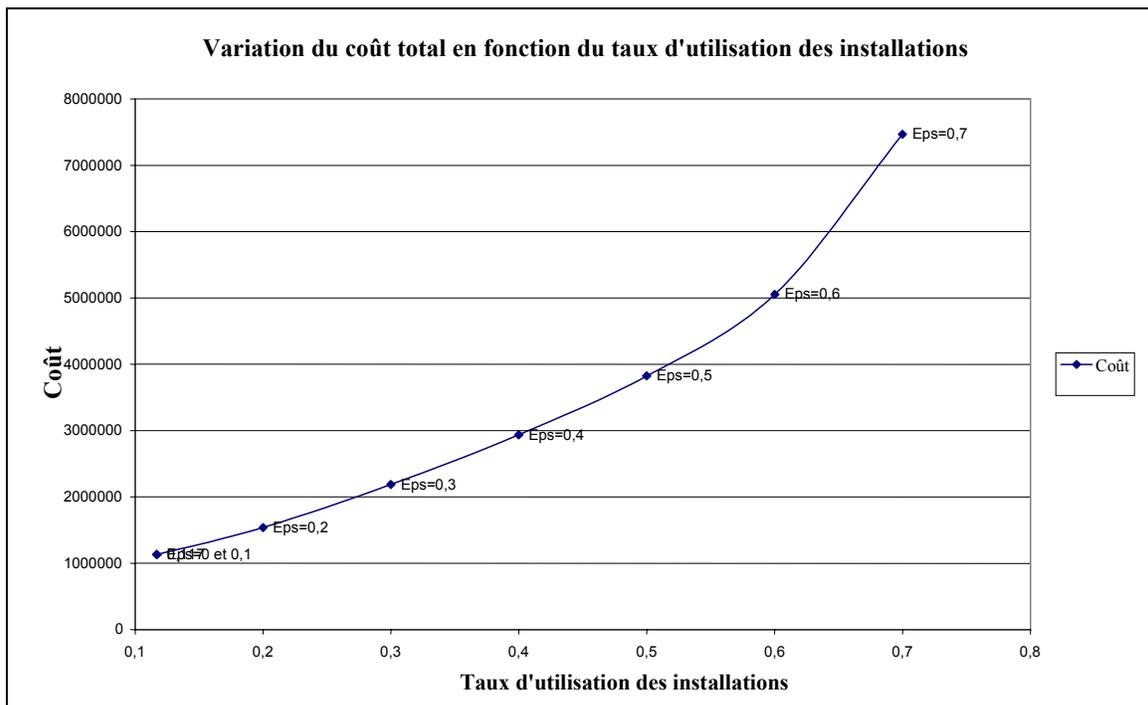


Figure 38 : L'effet de la variation de ε sur le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne (dans le cas d'une fiabilité moyenne des fournisseurs)

En regardant l'allure de la courbe (cf. figure 38) de variation du coût (en \$) en fonction du taux d'utilisation des installations de la chaîne pour différentes valeurs de ε , nous pouvons remarquer qu'au-delà d'une certaine valeur, il n'est pas intéressant d'augmenter encore ε , car ceci n'entraîne qu'une augmentation importante des coûts. On constate (figure 38), qu'à partir de $\varepsilon = 0.5$ les coûts augmentent considérablement. Donc, nous pouvons tolérer à minima une utilisation de 50% des installations de la chaîne à activer). Cet indice constitue un compromis

entre les coûts et le taux d'utilisation des installations de la chaîne. Nous avons ainsi une bonne utilisation des installations de la chaîne tout en limitant l'augmentation des coûts.

3.1.2. Une fiabilité maximale des fournisseurs (probabilité=1) : Scénario 2

Nous reprenons ici les mêmes données que dans le scénario 1, en modifiant les données relatives à la fiabilité des fournisseurs qui devienne égal à 1 (fiabilité maximale des fournisseurs). Nous pouvons ici aboutir à une solution réalisable pour notre problème jusqu'à un seuil = 0.9 (la borne maximale tolérée pour garantir une certaine flexibilité en volume pour la chaîne).

| | | $\varepsilon = 0$ | $\varepsilon = 0,1$ | $\varepsilon = 0,2$ | $\varepsilon = 0,3$ | $\varepsilon = 0,4$ | $\varepsilon = 0,5$ | $\varepsilon = 0,6$ | $\varepsilon = 0,7$ | $\varepsilon = 0,8$ | $\varepsilon = 0,9$ |
|---|------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Taux d'utilisation | | 0,129 | 0,129 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Coût | | 1130345 | 1130345 | 1368375 | 1847175 | 2436292 | 3068107 | 3872765 | 4731407 | 6335520 | 9334490 |
| Quantités en interne | X ₁₁ | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 2667 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| | X ₁₂ | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3333 | 10000 | 10000 |
| | X ₂₁ | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 |
| | X ₂₂ | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 |
| | X ₃₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 30000 |
| | X ₃₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 |
| Quantités achetées chez les fournisseurs externes | X ₁₁₁ | 0 | 0 | 1000 | 14000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X ₁₁₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₁₂₁ | 0 | 0 | 0 | 10000 | 31250 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₁₂₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 25000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₂₁₁ | 0 | 0 | 0 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X ₂₁₂ | 0 | 0 | 18500 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X ₂₂₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X ₂₂₂ | 0 | 0 | 0 | 10000 | 21250 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X ₃₁₁ | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₃₁₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X ₃₂₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 50000 |
| | X ₃₂₂ | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| Etat des stocks | S ₁₁ | 0 | 0 | 10000 | 14000 | 30000 | 32667 | 40000 | 90000 | 90000 | 70000 |
| | S ₁₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15000 | 43333 | 50000 | 30000 |
| | S ₂₁ | 1000 | 1000 | 18500 | 40000 | 40000 | 40000 | 40000 | 40000 | 20000 | 30000 |
| | S ₂₂ | 1000 | 1000 | 1000 | 10000 | 31250 | 60000 | 60000 | 60000 | 40000 | 20000 |
| | S ₃₁ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 50000 | 70000 | 80000 |
| | S ₃₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 80000 |

Tableau 11 : Résultats obtenus en faisant varier ε (dans le cas d'une fiabilité maximale des fournisseurs)

D'après le tableau 11, nous constatons que :

- par rapport au scénario précédent (fiabilité moyenne pour les fournisseurs), le taux d'utilisation des installations de la chaîne est beaucoup plus grand. En effet, nous pouvons atteindre jusqu'à un seuil égal 90% . Ceci est dû au fait que la fiabilité des fournisseurs est beaucoup plus grande.
- comme précédemment, à partir de $\varepsilon = 0.2$ et à l'optimum, le taux d'utilisation des installations activées dans la chaîne correspond exactement à l'indice minimum d'utilisation des installations de la chaîne,
- par rapport au scénario précédent et en comparant les niveaux de stocks intermédiaire pour la même valeur de ε , nous pouvons constater, que ces stocks sont plus bas dans la cas ou les fournisseurs ont une fiabilité maximale. Dans le scénario précédent, étant donnée que les fournisseurs ont une fiabilité moyenne, les niveaux de stocks sont plus

important car cela permettra de réagir face aux aléas d'approvisionnement (très importants dans ce cas).

- par rapport au scénario précédent, il y a une baisse globale des coûts, pour chaque $\varepsilon < 0.7$. En effet, les fournisseurs ici sont plus fiables,
- pour $\varepsilon = 0.9$, toutes les installations de la chaîne sont utilisées et à leur niveau de capacité maximum. Ce qui correspond à un cas de figure extrême car nous pouvons remarquer que les stocks sont très importants dans ce cas.

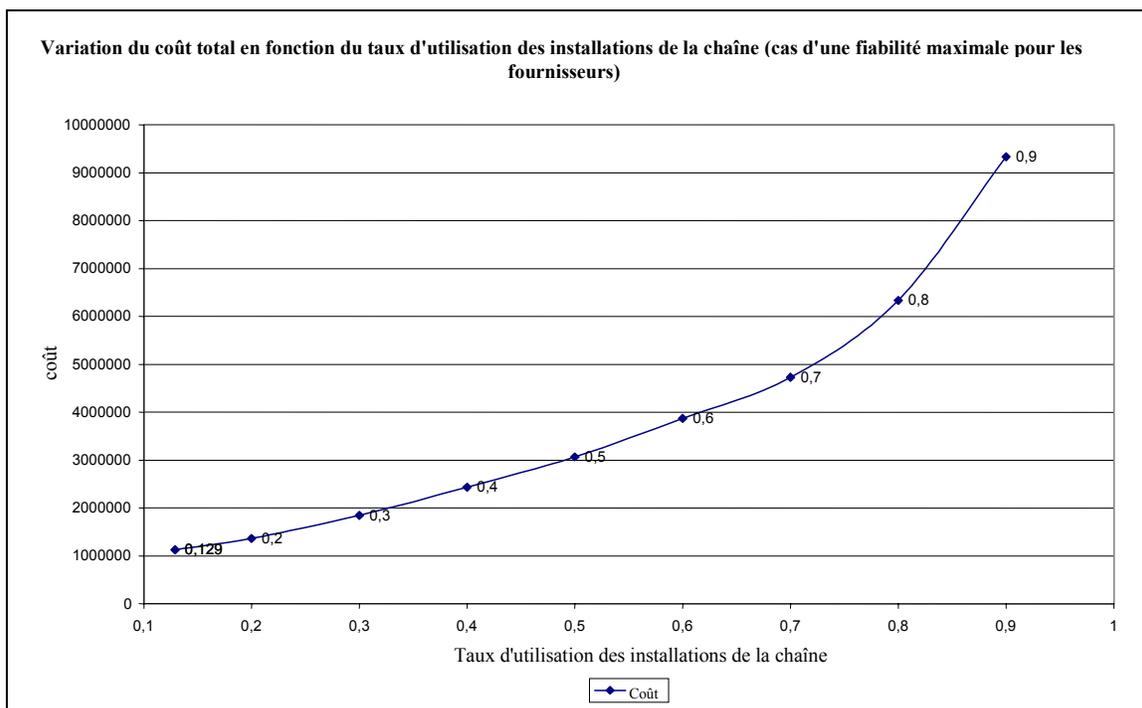


Figure 39 : L'effet de la variation de ε sur le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne (cas d'une fiabilité maximale des fournisseurs)

Selon l'allure de la courbe (figure 39), nous pouvons en déduire graphiquement que l'on ne doit pas descendre au-delà d'un taux minimum d'utilisation des installations de la chaîne qui est de l'ordre de 70% car on doit avoir une sous utilisation des installations de la chaîne qui sont actives. Par rapport au scénario précédent, nous confirmons que dès lors que les fournisseurs sont plus fiables, nous pouvons tolérer une utilisation des installations de la chaîne jusqu'à 70% (un taux plus élevé que le scénario précédent) : le besoin en flexibilité de la chaîne est plus bas puisque les fournisseurs sont plus performants.

3.2. Application de la méthode du goal programming : évaluation de l'impact des préférences du décideur

Nous rappelons la procédure développée au chapitre 5 pour l'application du goal programming :

- phase 1 : résolution du modèle avec comme objectif la minimisation des coûts (obtention du "goal" G1)
- phase 2 : résolution du modèle avec comme objectif la maximisation du taux d'utilisation des installations de la chaîne (obtention du "goal" G2)
- résolution du modèle avec comme objectif la minimisation de la somme pondérée des pourcentages des écarts par rapport aux "goals" (cf. encadré 1). Dans ce cas, nous considérons les données relatives au scénario 0 et nous nous intéressons à analyser l'impact des degrés d'importance qu'accorde le décideur vis-à-vis de chaque critère (coefficient de pondération relatif à chaque critère).

Dans le tableau suivant, nous présentons, dans la première colonne le résultat obtenu (variable binaire) à la suite de la minimisation du critère coût, dans la seconde colonne le résultat de l'optimisation selon le taux d'utilisation des installations de la chaîne et dans la dernière colonne le résultat obtenu en prenant en compte les deux objectifs en même temps et en attribuant à chaque fois un poids différent à chacun des deux critères lors de l'application du goal programming.

| | | Objectif 1 | Objectif 2 | Les deux objectifs simultanément | | | | | |
|---|------------------|------------|------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | 50%-50% | 30%-70% | 20%-80% | 10%-90% | 60%-40% | 90%-10% |
| Activités | act1,prod1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | act1,prod2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | act2,prod1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | act2,prod2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| | act3,prod1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | act3,prod2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Activités extemes | act1,prod1,four1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | act1,prod1,four2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | act1,prod2,four1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | act1,prod2,four2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | act2,prod1,four1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | act2,prod1,four2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | act2,prod2,four1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| | act2,prod2,four2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | act3,prod1,four1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | act3,prod1,four2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | act3,prod2,four1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | act3,prod2,four2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| But | 2630395 | 62.4% | | | | | | | |
| % des écarts par rapport au goal "coût" | | | | 6,50% | 29% | 64% | 121% | neg. | neg. |
| % des écarts par rapport au goal "taux d'utilisation des installations" | | | | 61,40% | 42% | 27% | 2% | 71% | 71 % |

Tableau 12 : L'effet des préférences du décideur sur la solution finale

Une première analyse permet de conclure que :

- si nous considérons un degré de préférence égal par rapport aux deux objectifs, nous obtenons une nouvelle utilisation des installations de la chaîne différente de celle obtenue suite à la prise en compte d'un seul objectif à la fois (cf. colonne 3,2 et 1 du tableau 12). Pour ce scénario, et considérant les critères "coût" et "taux d'utilisation des installations", nous remarquons une baisse de l'utilisation des ressources internes. En considérant les deux objectifs séparément, ce sont toujours les mêmes ressources en internes qui sont utilisées. En maximisant le taux d'utilisation des installations de la chaîne, nous remarquons toutefois que les fournisseurs externes sont plus utilisés,
- en attribuant un poids plus important au critère "taux d'utilisation des installations" qu'au critère "coût", on augmente les écarts (positifs) entre la solution obtenue et l'objectif (goal) coût (cf. figure 40) ; on réduit l'écart (négatif) vis-à-vis de l'objectif (goal) qui correspond au taux d'utilisation des installations de la chaîne (cf. figure 41).

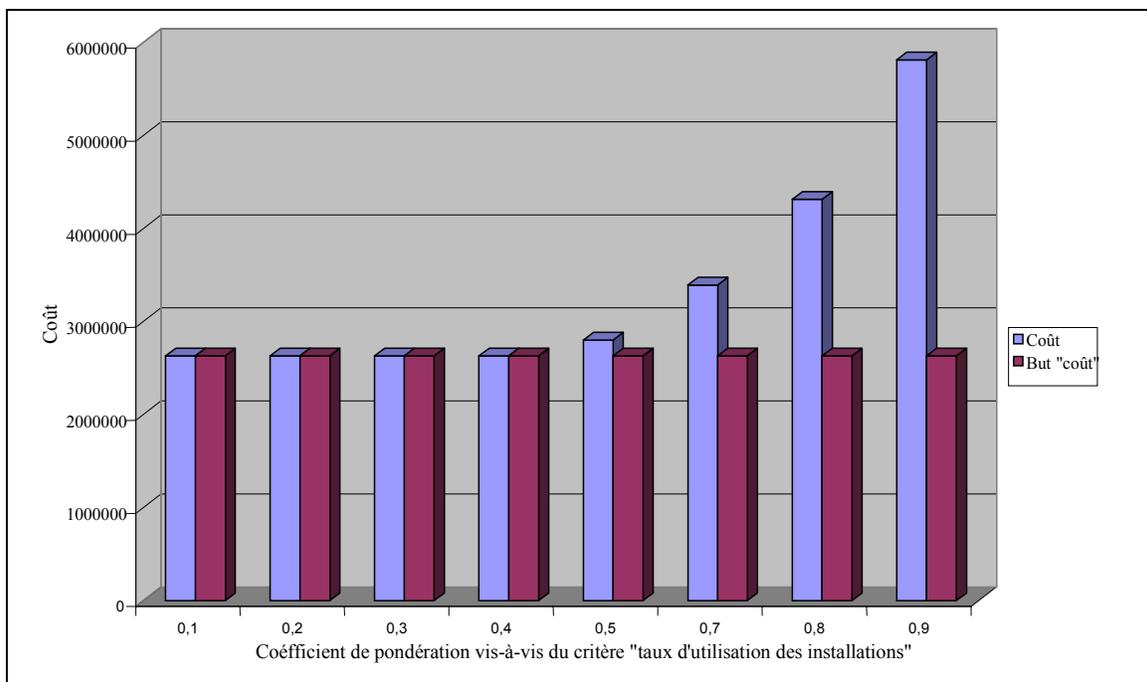


Figure 40 : Variation du coût selon les coefficients de pondération des critères de décision

Inversement, pour un coefficient de pondération faible vis-à-vis du critère "taux d'utilisation des installations de la chaîne", nous obtenons toujours un écart négligeable entre la solution obtenue et l'objectif (goal) coût (cf. figure 40), ce qui correspond à un taux très bas d'utilisation des installations de la chaîne (cf. figure 41).

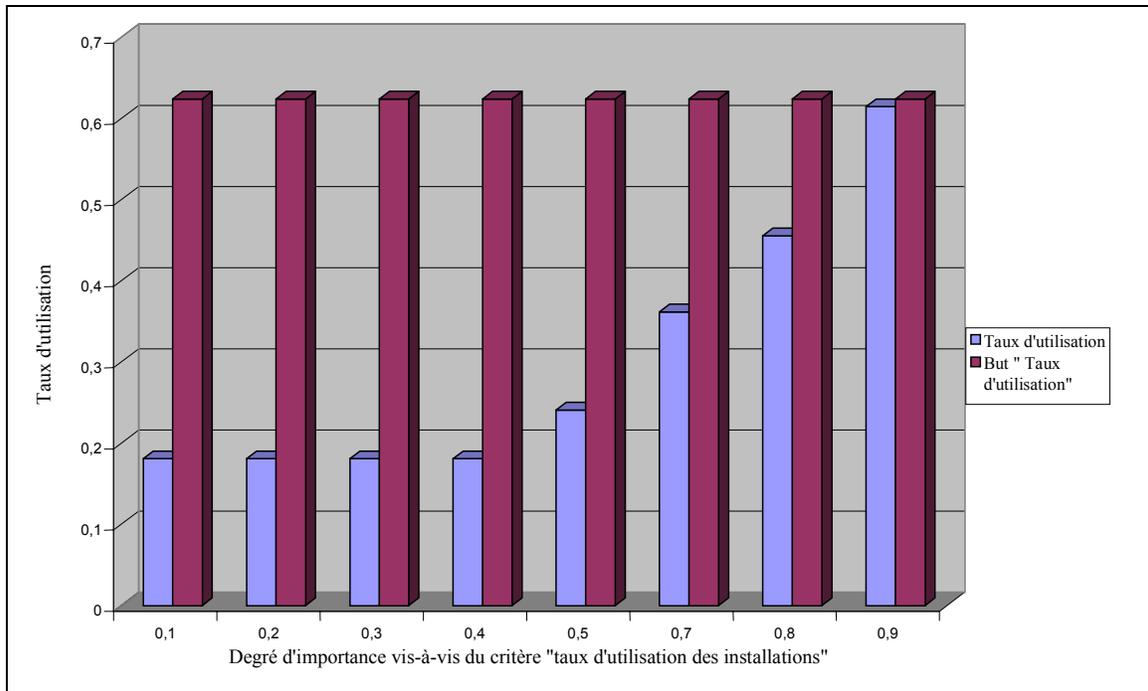


Figure 41 : Variation du taux d'utilisation des installations de la chaîne selon les coefficients de pondération des critères de décision

3.3. Application de la méthode du goal programming : génération de règles pour la conception de la chaîne

3.3.1. Impact de la variation de la demande

Nous faisons varier la demande et nous notons à partir de quelle limite la stratégie de "réseautage" change. Pour cela nous avons fait varier la demande entre 60 000 et 200 000 et nous avons relevé la variation du coût et du taux d'utilisation de la chaîne en fonction de la demande. Pour cet ensemble de scénarios, nous considérons des coefficients de pondérations de 0.4 et 0.6 par rapport au coût et au taux d'utilisation des installations de la chaîne.

Nous constatons que :

- Pour une demande variant entre 60 000 et 100 000 (scénarios 0 à 4), la stratégie ne change pas. En effet, ce sont toujours les mêmes installations internes et externes (fournisseurs) qui sont utilisées (cf. tableau 13). Seules les flux de matières (quantités par période) changent afin de répondre à la variation de la demande, notamment les flux qui correspondent à l'approvisionnement de la part des fournisseurs F_{311} (fournisseur 1 du produit 1 correspondant à l'activité 3) et F_{321} (fournisseur 1 du produit 2 correspondant à l'activité 3). Pour cette plage de données, nous obtenons une variation linéaire du coût et du taux d'utilisation des installations de la chaîne, en fonction de la demande (cf. figure 42).
- A partir d'une demande qui vaut 101 000 (scénario 5), la stratégie commence à changer. En effet, à partir de cette limite les ressources internes relatives au produit 2 de l'activité 3 sont utilisées (cf. tableau 13) ainsi que le fournisseur 2 du produit 1 correspondant à l'activité 3.

- Entre 101 000 et 110 000 (scénarios 5 à 7), la stratégie à suivre pour la décision de faire ou faire-faire varie énormément. Nous pouvons remarquer que nous tendons vers une exploitation des fournisseurs plus que des ressources internes (cf. tableau 13).
- La meilleure stratégie commence à se stabiliser de nouveau à partir du scénario 8 qui correspond à une demande de 120 000 : les mêmes partenaires sont utilisés (scénarios 8 à 12) et nous obtenons de nouveau une variation linéaire du coût et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction de la demande (cf. figure 42). Par rapport au premier groupe de scénarios testés, nous constatons que lorsque la demande devient très importante, ce sont les fournisseurs externes qui sont de plus en plus sollicités pour répondre à cette augmentation de la demande.
- Le coût et le taux d'utilisation des installations de la chaîne augmentent globalement avec la demande, sauf dans la zone où la stratégie change : scénarios 5 à 7 (cf. figure 42).

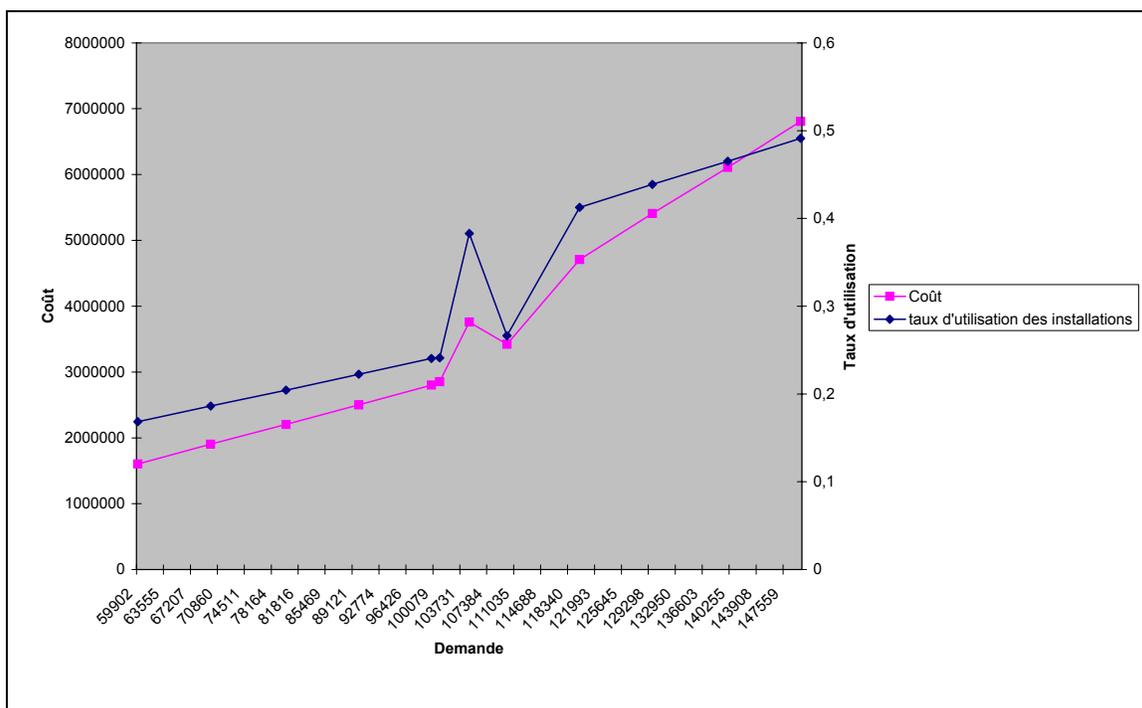


Figure 42 : Variation du coût et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction de la demande

| | | Scénario 1 | Scénario 2 | Scénario 3 | Scénario 4 | Scénario 0 | Scénario 5 | Scénario 6 | Scénario 7 | Scénario 8 | Scénario 9 | Scénario 10 | Scénario 11 | Scénario 12 |
|----------------------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Demande | | 60000 | 70000 | 80000 | 90000 | 100000 | 101000 | 105000 | 110000 | 120000 | 130000 | 140000 | 150000 | 200000 |
| Flux interne | X11 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X12 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1000 | 5000 | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 |
| Flux externe | X111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30000 | 0 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | X112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 | 20000 |
| | X122 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 80000 |
| | X211 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20000 | 0 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X212 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X221 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 | 50000 |
| | X222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 |
| | X311 | 60000 | 70000 | 80000 | 90000 | 100000 | 91000 | 10000 | 100000 | 100000 | 30000 | 40000 | 50000 | 100000 |
| | X312 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10000 | 95000 | 10000 | 20000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 |
| | X321 | 10000 | 20000 | 30000 | 40000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X322 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| Stocks | S11 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 30000 | 1000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 | 30000 |
| | S12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S21 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 40000 | 20000 | 40000 | 40000 | 40000 | 40000 | 40000 |
| | S22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 5000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| But "coût" | 1430395 | 1730395 | 2030395 | 2330395 | 2630395 | 2680360 | 3000905 | 3250355 | 3950355 | 4650355 | 5350355 | 6050355 | 9550395 | |
| But "taux d'util." | 59,18% | 59,78% | 60,38% | 60,98% | 62,42% | 62,48% | 62,72% | 63,02% | 64% | 64,22% | 64,82% | 65,42% | 73,22% | |
| Ecart "coût" | 12,04% | 9,95% | 8,48% | 7,39% | 7% | 6% | 25,24% | 5,29% | 19,17% | 16,29% | 14,15% | 12,52% | 7,93% | |
| Ecart "taux d'util." | 71,54% | 69% | 66,15% | 63,53% | 61% | 61,41% | 38,95% | 57,73% | 35,16% | 31,68% | 28,26% | 24,91% | 14,98% | |
| Coût | 1602615 | 1902569 | 2202572 | 2502611 | 2802423 | 2852439 | 3758333 | 3422299 | 4707638 | 5407898 | 6107430 | 6807859 | 10307741 | |
| "taux d'util." | 16,84% | 18,64% | 20,44% | 22,24% | 24,04% | 24,11% | 38,29% | 26,64% | 41,25% | 43,88% | 46,50% | 49,12% | 62,25% | |

Tableau 13 : Résultats des tests effectués relatifs à la variation de la demande

3.3.2. Impact de la variation des coûts

Nous gardons ici toutes les données du scénario 0 sauf pour les coûts (scénario 1) :

| Les coûts variables d'achat (\$) | | |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 10 | 15 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 40 | 20 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 15 | 50 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 30 | 25 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 10 | 15 |
| <i>Activité 3,Produit2</i> | 20 | 30 |
| Les coûts variables de transport (\$) | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 10 | 10 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 10 | 10 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 15 | 10 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 10 | 10 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 10 | 10 |
| <i>Activité 3,Produit2</i> | 20 | 10 |

Il faut noter que par la suite la numérotation des scénarios est propre à chaque paragraphe correspondant à la variation du paramètre considéré.

a. Variation des coûts de transport

Les scénarios 2, 3 et 4 sont obtenus à partir du scénario 1 (scénario de base) en faisant varier les coûts de transport respectivement de 50%, 70% et 80% par rapport au scénario de base. En considérant des coefficients de pondération 30% et 70% respectivement au coût et au taux d'utilisation des installations de la chaîne, nous obtenons les résultats reportés dans le tableau 14.

| | | Scénario 1 | Scénario 2 | Scénario 3 | Scénario 4 |
|----------------------|------|------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | ↗ de 50% des coûts | ↗ de 70% des coûts | ↗ de 80% des coûts |
| Flux interne | X11 | 0 | 0 | 0 | 1000 |
| | X12 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | X21 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | X31 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X32 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flux externe | X111 | 30000 | 30000 | 30000 | 0 |
| | X112 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X121 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X122 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X211 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X212 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X221 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X222 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X311 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X312 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 |
| | X321 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X322 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| Stocks | S11 | 30000 | 30000 | 30000 | 1000 |
| | S12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S21 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | S22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | S31 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S32 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| But "coût" | | 6130395 | 7370325 | 7866325 | 8114325 |
| But "taux d'util." | | 62,42% | 62,42% | 62,42% | 62,42% |
| Ecart "coût" | | 27% | 26,66% | 26,56% | 16,37% |
| Ecart "taux d'util." | | 51,90% | 51,90% | 51,90% | 61,48% |
| Coût | | 7785601,65 | 9335253,65 | 9955620,92 | 9442640 |
| Taux d'utilisation | | 30,02% | 30,02% | 30,02% | 24,04% |

Tableau 14 : Résultats obtenus suite à la variation des coûts de transport

A partir des tests effectués, nous constatons qu'un changement au niveau de la stratégie de "réseautage" est observé au-delà d'une variation de 80% des coûts de transport. En effet, jusqu'à une variation de 80% des coûts de transport, nous utilisons toujours les mêmes installations avec toujours les mêmes flux de matière. Cela engendre une augmentation des coûts (en raison de l'augmentation des coûts de transport), toutefois nous avons toujours le même taux d'utilisation des installations de la chaîne. Ainsi, dans ce cas, et même en tenant compte des deux critères en même temps, la solution qui constitue un compromis entre ces deux critères présente toujours le même écart par rapport à l'objectif "taux d'utilisation". Ce dernier ne change pas car la variation des coûts n'a aucun effet sur le problème de l'optimisation selon le critère "taux d'utilisation des installations" considéré tout seul.

On peut remarquer que si on considère le critère "taux d'utilisation" tout seul comme objectif, on tend vers une utilisation de 62.42% des installations alors que si on considère les objectifs "coût" et "taux d'utilisation" ensemble, on tend vers une utilisation de l'ordre de 30% des installations. Pour une augmentation de 80% des coûts de transport et comme nous effectuons

une analyse multi-critères, on a cette fois une baisse du taux d'utilisation (tout en garantissant une bonne utilisation des ressources utilisées) et donc une meilleure flexibilité de la chaîne.

A partir d'une variation de 80% des coûts de transport (cf. figure 43), la stratégie évolue radicalement vers une baisse de l'utilisation des installations externes et une augmentation de l'utilisation des ressources internes. Ainsi le fournisseur 1 relatif au produit 1 de l'activité 1 (F111) n'est plus utilisé et le produit 1 de l'activité 1 est entièrement fabriqué en interne. Ce nouveau choix entraîne une baisse des coûts ainsi qu'un taux d'utilisation plus bas par rapport aux scénarios précédents.

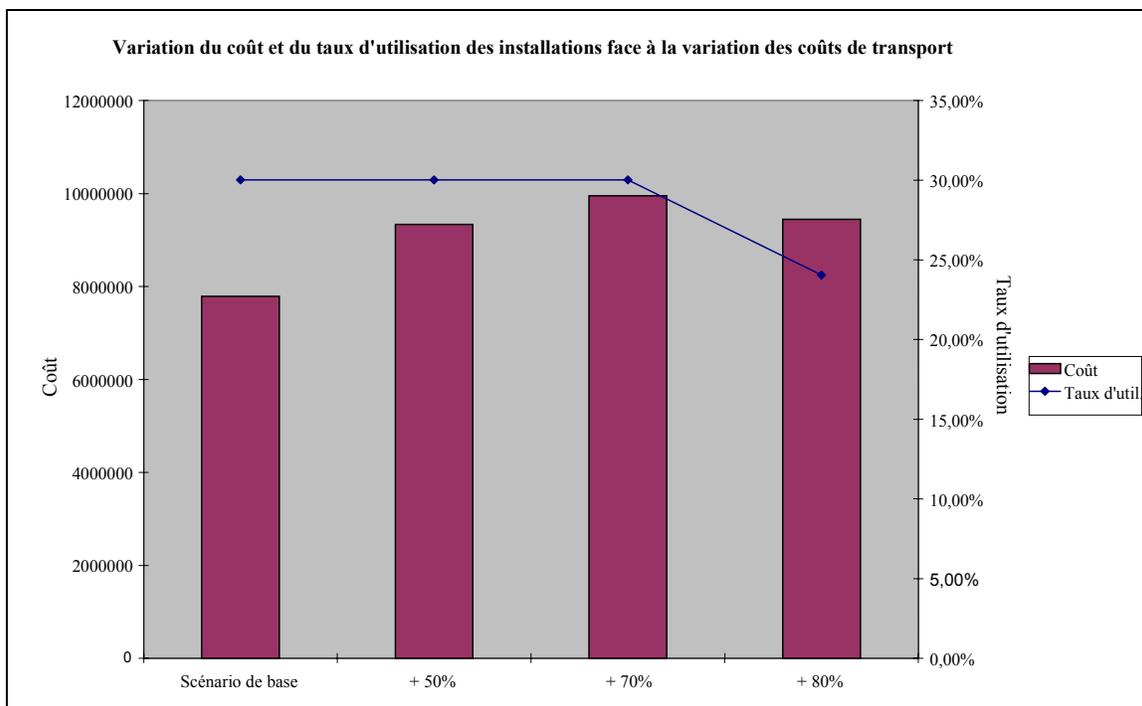


Figure 43 : Variation des coûts et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction des coûts de transport

b. Variation des coûts d'achat

Les scénarios 2, 3 et 4 sont obtenus à partir du scénario 1 (scénario de base) en faisant varier les coûts d'achat respectivement de 30%, 50%, 60% et 70% par rapport au scénario de base indiqué au paragraphe 4.3.2. En considérant des coefficients de pondération 30% et 70% respectivement au coût et au taux d'utilisation de la chaîne, nous obtenons les résultats reportés dans le tableau 15.

| | | Scénario 1 | Scénario 2 | Scénario 3 | Scénario 4 | Scénario 5 |
|----------------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | ↗ de 30% | ↗ de 50% | ↗ de 60% | ↗ de 70% |
| Flux interne | X11 | 0 | 0 | 0 | 1000 | 1000 |
| | X12 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | X21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | X31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Flux externe | X111 | 30000 | 30000 | 30000 | 0 | 0 |
| | X112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X122 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X211 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | X212 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X221 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X311 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | X312 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 |
| | X321 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| | X322 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 |
| Stocks | S11 | 30000 | 30000 | 30000 | 1000 | 1000 |
| | S12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S21 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 |
| | S22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | S31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| But "coût" | | 6130395 | 7171325 | 7865325 | 8212325 | 8559325 |
| But "taux d'util." | | 62,42% | 62,42% | 62,42% | 62,42% | 62,42% |
| Ecart "coût" | | 27% | 27,81% | 28,23% | 19,12% | 19,31% |
| Ecart "taux d'util." | | 51,90% | 51,90% | 51,90% | 61,48% | 61,48% |
| Coût | | 7785602 | 9165670 | 10085706 | 9782522 | 10212131 |
| Taux d'utilisation | | 30,02% | 30,02% | 30,02% | 24,04% | 24,04% |

Tableau 15 : Résultats obtenus relatifs à la variation des coûts d'achat

Nous obtenons une variation des coûts d'achat d'une allure semblable aux scénarios qui correspondent à une variation des coûts de transport. Nous avons une première zone dans laquelle la stratégie de "réseautage" ne change pas avec les mêmes installations utilisées et les mêmes flux de matière, avec toutefois une augmentation des coûts due à l'augmentation des coûts d'achat (cf. figure 44). Le taux d'utilisation des installations de la chaîne demeure constant dans cette zone. A partir d'une variation de 60% des coûts d'achat, la stratégie change en favorisant l'utilisation des ressources en interne, puis se stabilise avec l'utilisation des mêmes partenaires (scénarios 4 et 5). Comme nous effectuons une analyse multi-critères, le taux d'utilisation des installations de la chaîne baisse aussi à partir d'une variation de 60% des coûts d'achat, puis demeure constant tant que la stratégie ne change pas (scénarios 4 et 5).

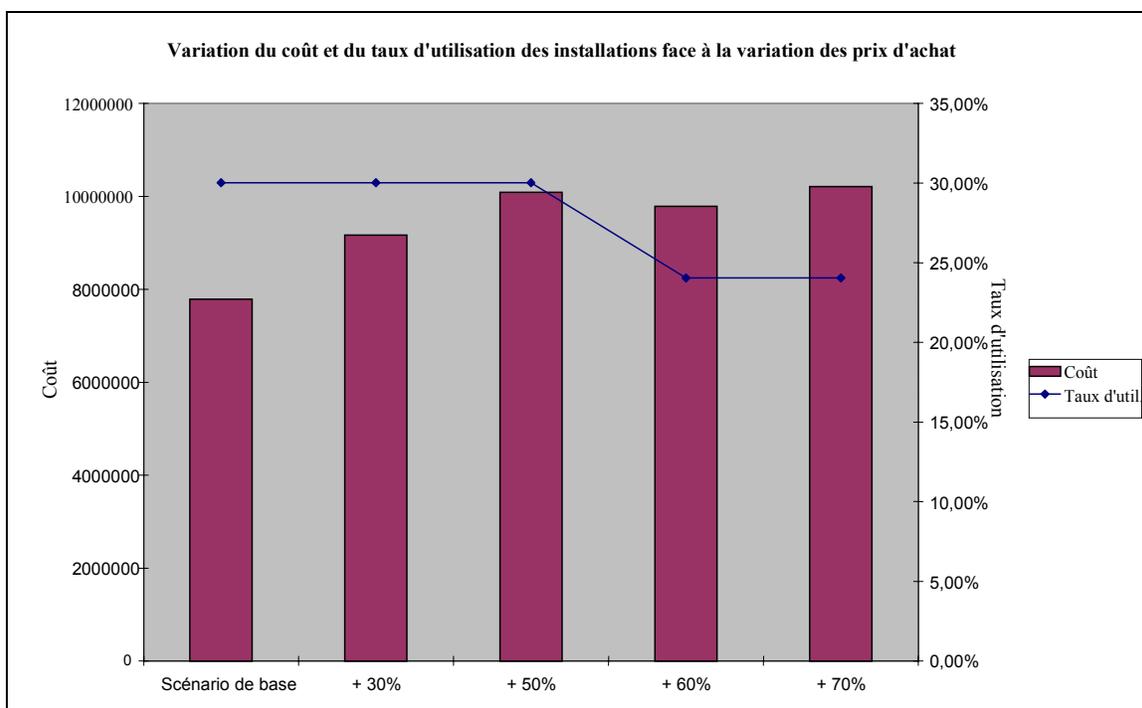


Figure 44 : Variation des coûts et du taux d'utilisation des installations de la chaîne en fonction des coûts d'achat

3.3.3. Cas de capacités internes insuffisantes

À partir du scénario 0 nous modifions les capacités en interne, celles des fournisseurs et la demande des produits finis afin d'obtenir des capacités internes suffisantes dans le scénario1, et des capacités internes insuffisantes dans le scénario2. Nous testons également la possibilité d'une planification de main d'œuvre supplémentaire (scénario3), dans le cas de capacités insuffisantes, afin de déterminer la meilleure stratégie à suivre : produire en interne en planifiant de la main d'œuvre supplémentaire ou acheter à l'extérieur.

Les données relatives aux capacités maximales de production sont :

| | Capacité maximale de production des fournisseurs (unités) | |
|---------------------------|---|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 30000 | 50000 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 80000 | 80000 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 20000 | 20000 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 50000 | 50000 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 800000 | 800000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 800000 | 800000 |

Nous obtenons les capacités maximales de transport des fournisseurs suivantes :

| | Capacité maximale de transport des fournisseurs (m ³) | |
|---------------------------|---|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 1500000 | 2500000 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 2400000 | 2400000 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 200000 | 200000 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 3500000 | 3500000 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 8000000 | 8000000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 16000000 | 16000000 |

Nous choisissons des capacités maximales de production en interne tel que :

| | Capacité Max de production (unités) | |
|-------------------|-------------------------------------|------------------|
| | <i>Produit 1</i> | <i>Produit 2</i> |
| <i>Activité 1</i> | 200000 | 200000 |
| <i>Activité 2</i> | 400000 | 200000 |
| <i>Activité 3</i> | 400000 | 300000 |

Ceci induit des capacités maximales par activité :

| | Charge maximale par activité (unités) |
|-------------------|---------------------------------------|
| <i>Activité 1</i> | 400000 |
| <i>Activité 2</i> | 600000 |
| <i>Activité 3</i> | 700000 |

Nous modifions également les données correspondant à la demande finale afin d'obtenir d'une part le scénario qui correspond à une capacité interne suffisante (scénario 1) et d'autre part les scénarios qui correspondent à une capacité interne insuffisante (scénario 2 et 3).

| Scénario 1 : capacités suffisantes en interne (unités) | |
|--|--------|
| Demande finale | |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 100000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 100000 |
| Scénario 2 : capacités insuffisantes en interne (unités) | |
| Demande finale | |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 500000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 300000 |
| Scénario 3 : capacités insuffisantes en interne (unités) | |
| Demande finale | |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 500000 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 300000 |

Le recours à une main d'œuvre supplémentaire engendre certes des coûts additionnels qui se répercutent sur les coûts variables de production en interne, mais implique une augmentation de la capacité maximale de l'activité. Considérons par exemple les données suivantes :

- une variation des coûts unitaires de production en interne de 50% par rapport au scénario 0 (20→30)
- une capacité de production en interne qui passe de 400 000 à 500 000. Ainsi la charge maximale de l'activité 3 passe à 800 000.

A partir de l'ensemble de ces données, nous aboutissons aux résultats suivants en considérant des coefficients de pondération de 40% et 60% respectivement aux critères "coût" et "taux d'utilisation" (cf. tableau 16) :

| | | Scénario 1 | | Scénario 2 | | Scénario 3 | |
|----------------------|------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------------|--|------------|
| | | Capacités interne | suffisantes en | Capacités interne | insuffisantes en | Capacités insuffisantes + main d'œuvre supplémentaire | |
| Flux interne | X11 | | 0 | | 61008 | | 60000 |
| | X12 | | 1000 | | 200000 | | 200000 |
| | X21 | | 0 | | 141008 | | 140000 |
| | X22 | | 1000 | | 81008 | | 80000 |
| | X31 | | 0 | | 181008 | | 180000 |
| | X32 | | 0 | | 0 | | 0 |
| Flux externe | X111 | | 30000 | | 30000 | | 30000 |
| | X112 | | 0 | | 50000 | | 50000 |
| | X121 | | 0 | | 0 | | 0 |
| | X122 | | 0 | | 0 | | 0 |
| | X211 | | 20000 | | 20000 | | 20000 |
| | X212 | | 20000 | | 20000 | | 20000 |
| | X221 | | 0 | | 50000 | | 50000 |
| | X222 | | 0 | | 50000 | | 50000 |
| | X311 | | 100000 | | 160000 | | 160000 |
| | X312 | | 0 | | 160000 | | 160000 |
| | X321 | | 0 | | 180000 | | 180000 |
| | X322 | | 100000 | | 120000 | | 120000 |
| Stocks | S11 | | 30000 | | 0 | | 0 |
| | S12 | | 0 | | 18992 | | 20000 |
| | S21 | | 40000 | | 0 | | 0 |
| | S22 | | 1000 | | 0 | | 0 |
| | S31 | | 0 | | 1008 | | 0 |
| | S32 | | 0 | | 0 | | 0 |
| But "coût" | | | 2130345 | | 25200350 | | 27000350 |
| But "taux d'util." | | | 45,08% | | 62,61% | | 62,42% |
| Ecart "coût" | | | 35,56% | | 16,75% | | 15,19% |
| Ecart "taux d'util." | | | 56,69% | | 22,80% | | 22,94% |
| Coût | | | 2887895,68 | | 29421408,6 | | 31101703,2 |
| Taux d'utilisation | | | 19,52% | | 48,33% | | 48,10% |

Tableau 16 : Résultats obtenus dans le cas où les capacités internes deviennent insuffisantes

Nous constatons que lorsque les capacités en interne deviennent insuffisantes (scénario 2) face à l'augmentation de la demande, les ressources en internes sont beaucoup plus utilisées. Le produit 2 de l'activité 1, par exemple, est exclusivement produit en interne (les fournisseurs potentiels ne sont toujours pas sollicités) avec des quantités qui correspondent aux capacités maximales de production en interne. D'un autre côté, nous remarquons que pour le scénario 2,

les fournisseurs externes sont plus sollicités que dans le scénario 1, et dans la plupart des cas jusqu'au niveau de leur capacité maximale (F_{111} , F_{112} , F_{211} , F_{212} , F_{221} , F_{222}). Par rapport au scénario 1, nous remarquons une augmentation des coûts en raison de l'augmentation des quantités à produire ou à acheter face à l'augmentation de la demande. Toutefois nous obtenons une meilleure utilisation des installations avec des niveaux de stocks plus bas. Avec le scénario 2, nous pouvons remarquer que nous tendons vers une utilisation maximale des installations de la chaîne (internes et externes) qui sont activées.

En comparant les scénarios 2 et 3 (cf. figure 45), et dans le cas où une planification de main d'œuvre supplémentaire est envisagée, nous constatons que ce sont toujours les mêmes installations (internes et externes) qui sont sollicitées. Toutefois, nous remarquons une augmentation des coûts ainsi qu'une baisse légère du taux d'utilisation de la chaîne. Ainsi, à notre sens, le scénario 2 correspondrait, dans ce cas, à la meilleure stratégie à suivre et l'idée d'augmenter les capacités en internes en planifiant de la main d'œuvre supplémentaire n'est pas plus intéressante dans ce cas de figure car ceci ne fait qu'augmenter les coûts.

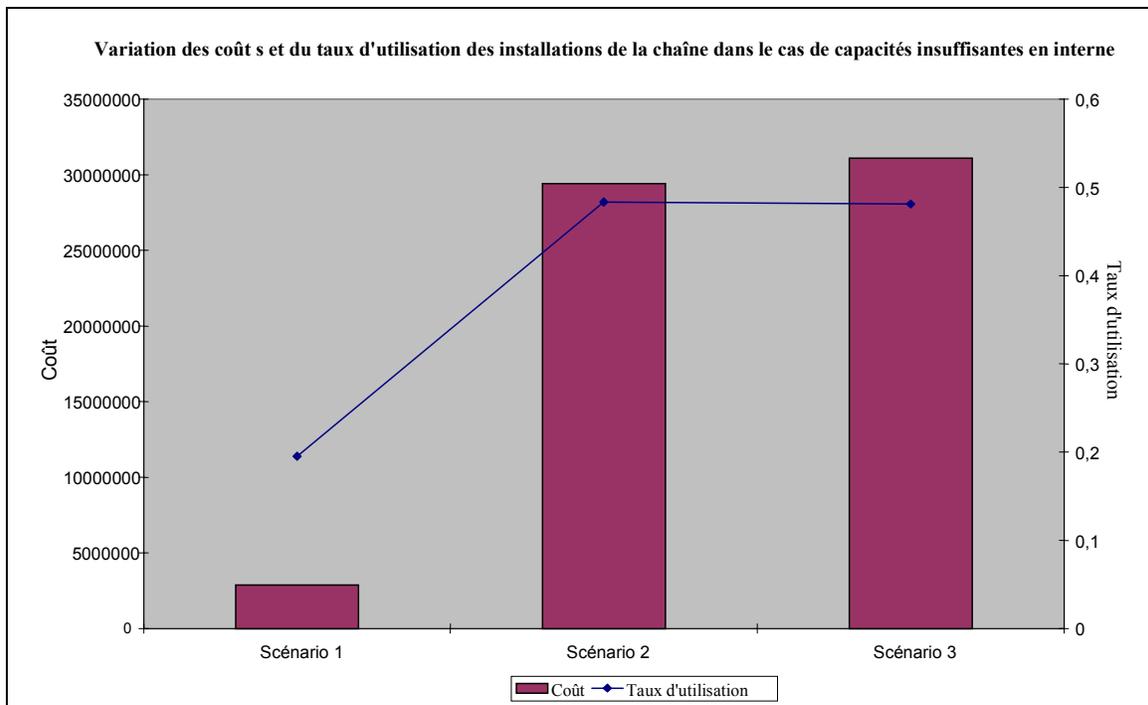


Figure 45 : Variation du coût et du taux d'utilisation des installations de la chaîne dans le cas où les capacités internes deviennent insuffisantes

3.3.4. Impact de la variation de la fiabilité des fournisseurs

Les scénarios que nous avons testés dans ce cas sont décrits dans le tableau suivant :

| Scénario 0 | | |
|--|----------------------|----------------------|
| fiabilité = 1 pour tous les fournisseurs | | |
| Scénario 1 | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0,7 | 0,9 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0,8 | 0,8 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0,9 | 0,7 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0,8 | 0,9 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0,9 | 0,6 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0,6 | 0,9 |
| Scénario 2 | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0,6 | 0,8 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0,7 | 0,7 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0,8 | 0,6 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0,7 | 0,8 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0,8 | 0,6 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0,6 | 0,8 |
| Scénario 3 | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0,9 | 0,8 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0,8 | 0,7 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0,9 | 0,7 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0,8 | 0,6 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0,9 | 0,6 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0,7 | 0,6 |
| Scénario 4 : inversion de la fiabilité | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0,8 | 0,9 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0,7 | 0,8 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0,7 | 0,9 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0,6 | 0,8 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0,6 | 0,9 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0,6 | 0,7 |
| Scénario 5 | | |
| fiabilité = 0,7 pour tous les fournisseurs | | |
| Scénario 6 | | |
| fiabilité = 0,5 pour tous les fournisseurs | | |
| Scénario 7 | | |
| fiabilité = 0,4 pour tous les fournisseurs | | |
| Scénario 8 | | |
| fiabilité = 0,1 pour tous les fournisseurs | | |

| Scénario 9 | | |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0.9 | 0.8 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0.9 | 0.8 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0.9 | 0.8 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0.9 | 0.8 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0.9 | 0.8 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0.9 | 0.8 |
| Scénario 10 | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0.9 | 0.7 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0.9 | 0.7 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0.9 | 0.7 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0.9 | 0.7 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0.9 | 0.7 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0.9 | 0.7 |
| Scénario 11 | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0.9 | 0.6 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0.9 | 0.6 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0.9 | 0.6 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0.9 | 0.6 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0.9 | 0.6 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0.9 | 0.6 |
| Scénario 12 | | |
| | <i>Fournisseur 1</i> | <i>Fournisseur 2</i> |
| <i>Activité1,Produit1</i> | 0.9 | 0.5 |
| <i>Activité1,Produit2</i> | 0.9 | 0.5 |
| <i>Activité2,Produit1</i> | 0.9 | 0.5 |
| <i>Activité2,Produit2</i> | 0.9 | 0.5 |
| <i>Activité3,Produit1</i> | 0.9 | 0.5 |
| <i>Activité3,Produit2</i> | 0.9 | 0.5 |

Les résultats de simulation obtenus en considérant respectivement un poids de 0.3 et 0.7 associés aux critères "coût" et "taux d'utilisation des installations de la chaîne", sont reportés dans le tableau 17.

| | | Scénario 0 | Scénario 1 | Scénario 2 | Scénario 3 | Scénario 4 | Scénario 5 | Scénario 6 | Scénario 7 | Scénario 8 | Scénario 9 | Scénario 10 | Scénario 11 | Scénario 12 | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Flux interne | X11 | 0 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 1000 | 0 | 1000 | 0 | 0 | 1000 | 0 | 0 | |
| | X12 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | |
| | X21 | 0 | 1000 | 1000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1000 | 1000 | 0 | |
| | X22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 0 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | |
| | X31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Flux externe | X111 | 30000 | 0 | 0 | 30000 | 30000 | 0 | 30000 | 0 | 30000 | 30000 | 0 | 30000 | 30000 | |
| | X112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X122 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X211 | 20000 | 0 | 0 | 20000 | 20000 | 0 | 20000 | 0 | 20000 | 20000 | 0 | 0 | 20000 | |
| | X212 | 20000 | 0 | 0 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 0 | 0 | 0 | |
| | X221 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X311 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 |
| | X312 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | X321 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | |
| | X322 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | 50000 | |
| Stocks | S11 | 30000 | 0 | 0 | 30000 | 30000 | 1000 | 30000 | 1000 | 30000 | 30000 | 0 | 29000 | 30000 | |
| | S12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | S21 | 40000 | 1000 | 1000 | 40000 | 40000 | 20000 | 40000 | 20000 | 40000 | 40000 | 1000 | 1000 | 20000 | |
| | S22 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 50000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | |
| | S31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | S32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| But "coût" | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | 2630395 | |
| But "taux d'utilisation" | 62,40% | 65,90% | 65,90% | 52,30% | 52,30% | 59,30% | 23,70% | 35,20% | 6,40% | 54% | 65,40% | 59,20% | 51,50% | | |
| Ecart "coût" | 29% | neg. | neg. | 28,8% | 28,8% | 6,5% | 64% | 6,5% | 28,8% | 28,8% | neg. | 10,7% | 21,1% | | |
| Ecart "taux d'utilisation" | 42% | 78% | 77,8% | 46% | 50,6% | 71,6% | 3,6% | 72,6% | 43,6% | 42,2% | 76,7% | 66,5% | 52,2% | | |
| Coût | 3393209,55 | 2630395 | 2630395 | 3387949 | 3387949 | 2801371 | 4313848 | 2801371 | 3387949 | 3387949 | 2630395 | 2911847 | 3185408 | | |
| Taux d'util. | 36,19% | 14,49% | 14,62% | 28,24% | 25,83% | 16,84% | 22,84% | 9,64% | 3,60% | 31,21% | 15,23% | 19,83% | 24,61% | | |

Tableau 17 : Effet de la variation de la fiabilité des fournisseurs

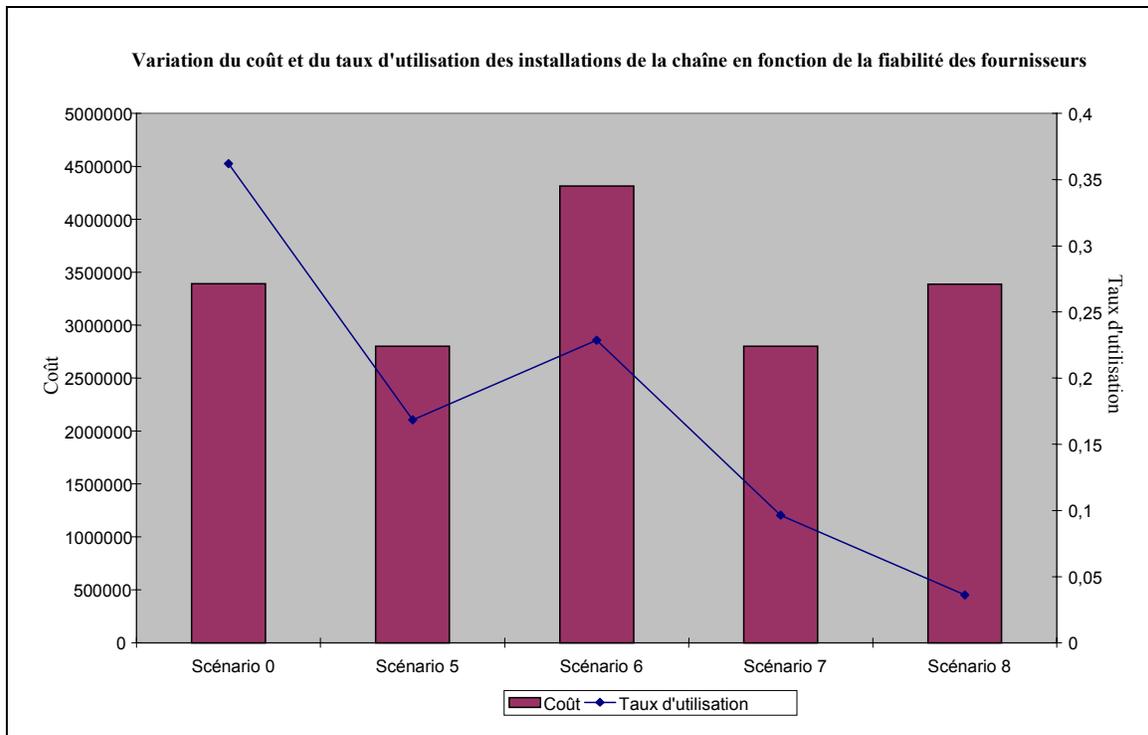


Figure 46 : Variation du coût et du taux d'utilisation dans le cas d'une baisse générale de la fiabilité des fournisseurs

Nous pouvons vérifier en analysant le tableau 17, que la variation de la fiabilité n'a aucun effet sur le goal "coût" obtenu à partir de l'optimisation du modèle selon le critère coût seulement. Toutefois en tenant compte des deux critères simultanément, le coût augmente.

En ce qui concerne le taux d'utilisation des installations, nous pouvons dire qu'elle est globalement en baisse (cf. figure 46) si la fiabilité diminue et ceci permettra de garantir une bonne flexibilité de la chaîne dans le cas où les fournisseurs ne sont pas performants (fiabilité basse). Toutefois, nous ne pouvons pas déduire de règles générales quant-à la variation de la fiabilité, cela nécessite une analyse au cas par cas (cf. tableau 46).

Nous pouvons constater, en analysant les scénarios 9,10,11 et 12, que si le fournisseur 1 a une fiabilité plus élevée que le fournisseur 2 (et ceci pour tous les produits), c'est toujours le fournisseur 1 qui est utilisé en premier lieu. En effet, en comparant les scénarios 9 et 12 (avec une fiabilité qui passe de 0.8 à 0.5 pour le second fournisseur), nous pouvons remarquer que pour le produit 1 de l'activité 2, le fournisseur 2 n'est plus utilisé.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des tests effectués avec l'outil d'aide à la décision développé en se basant sur un exemple de chaîne logistique (cf. figure 37). Ces tests nous ont permis d'effectuer des analyses sur la chaîne de logistique et de déduire des règles de décision pour le choix de faire ou faire-faire.

Nous avons introduit dans l'outil développé des fonctions permettant d'obtenir des statistiques sur la résolution du modèle afin d'avoir une idée sur sa complexité. Les paramètres considérés

sont par exemple : le temps de résolution, le nombre de contraintes et le nombre de variables. Pour l'exemple considéré, nous avons obtenu 42 variables dont 18 binaires, et 76 contraintes. En utilisant EZMod 3.0, sous DELPHI 5.0 et avec CPLEX 6.0, nous avons obtenu un CPU = 0.386 pour le modèle relatif au coût, un CPU = 0.079 pour le modèle maximisant le taux d'utilisation des installations de la chaîne, et un CPU = 0.006 pour le modèle prenant en compte les deux objectifs, et ceci avec un Pentium III, 700 MHz.

Jusqu'à présent nous avons considéré l'hypothèse d'une structure linéaire pour les coûts. Dans le chapitre suivant nous allons relever cette hypothèse en prenant en compte les économies d'échelle pour les coûts de transport et des stocks.

Chapitre 7 : Prise en compte des économies d'échelle

Dans leur modélisation des problèmes stratégiques de la chaîne logistique, les auteurs utilisent plusieurs données agrégées liées aux coûts, aux capacités des ressources et à la demande. Ils ont également besoin de faire de nombreuses hypothèses simplificatrices afin de réduire la complexité du problème. C'est ainsi que dans la littérature qui traite les problèmes de conception de la chaîne logistique (cf. tableau 4), la plupart des auteurs font l'hypothèse que les coûts sont linéaires. Ils ne prennent donc pas en compte les économies d'échelle associées aux moyens de transport, aux technologies d'entreposage et de fabrication, ainsi qu'aux méthodes de pilotage des flux utilisés. Pourtant, c'est en profitant intelligemment des opportunités d'économie d'échelle que les entreprises de classe mondiale réussissent à développer un avantage concurrentiel durable [Martel, 01 c].

Dans ce chapitre, et dans un premier temps, nous relevons l'hypothèse que nous avons considérée au chapitre 4 (cf. tableau 10) et qui stipule que les coûts de transport sont directement proportionnels aux quantités achetées. En pratique cette hypothèse n'est pas vérifiée en raison des économies d'échelle. Nous montrons comment sont modélisés ces coûts de transport de façon plus adéquate dans la littérature et nous proposons une approche qui tient compte des économies d'échelle dans les coûts de transport ainsi qu'une méthode pour résoudre notre modèle dans sa nouvelle forme, non linéaire.

Dans un second temps, nous considérons les économies d'échelle dans les coûts de stock. Cela suppose une chaîne configurée au préalable (les installations internes et externes sont connues ainsi que les flux de matière dans la chaîne) afin d'évaluer les paramètres de la fonction économique des coûts des inventaires pour une politique donnée de pilotage de flux. Nous nous basons ainsi sur une première configuration de la chaîne obtenue après optimisation du modèle de conception de la chaîne (en considérant pour simplifier notre problème comme seul objectif la minimisation des coûts) développé au chapitre 5, afin de déterminer avec plus de précision, et de manière statistique sur plusieurs périodes d'observation, la fonction économique des coûts de stockage. Nous proposons une méthode pour résoudre notre modèle dans sa nouvelle forme (non linéaire) afin de valider la configuration initiale de la chaîne et de vérifier si cela a une influence sur la structure de la chaîne (choix des installations internes et externes).

1. Intégration des économies d'échelle dans les coûts de transport

1.1. La modélisation des coûts de transport dans la littérature

On trouve dans la littérature différentes manières de modéliser les coûts de transport :

- Les coûts de transport sont linéaires et dépendent des quantités achetées (des coûts variables). C'est la forme standard la plus utilisée dans la littérature dans les problèmes de conception d'une chaîne logistique [Arntzen et al., 95] [Sabri et Beamon, 00] et qui stipule que pour chaque unité supplémentaire transportée, le coût encouru augmente d'un taux fixe (v en unité monétaire) qui correspond au coût unitaire de transport. C'est cette méthode que nous avons adoptée jusqu'à présent pour la modélisation des coûts de transport. Ainsi la courbe du coût de transport est donnée par la Figure 47:

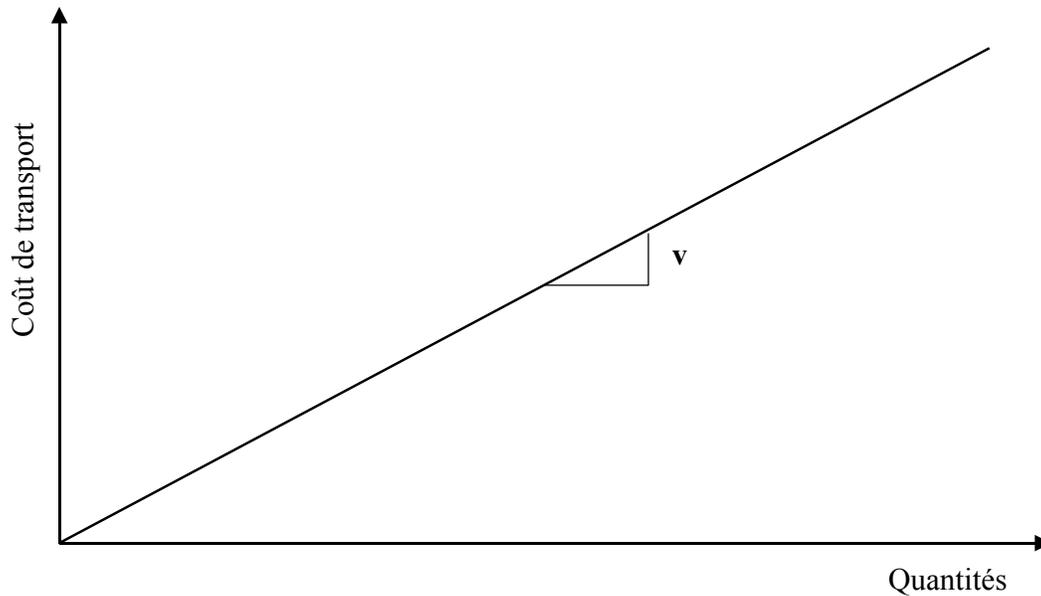


Figure 47 : Représentation d'un coût de transport variable

- Les coûts de transport ne sont pas linéaires et reflètent des économies d'échelle que l'entreprise peut réaliser en transportant de plus grandes charges. En effet, le coût marginal diminue au fur et à mesure qu'il y a augmentation des quantités transportées. Plusieurs travaux commencent à intégrer les économies d'échelle dans la problématique de conception d'une chaîne logistique [Lakhal et *al.*, 01][Martel et Vankatadri, 99]. Les économies d'échelle résultent de plusieurs facteurs [Martel, 01 a] :
 - l'effet d'apprentissage,
 - l'utilisation de technologies plus performantes,
 - une meilleure utilisation des capacités disponibles,
 - une meilleure utilisation des ressources,
 - les escomptes de quantités offertes par les fournisseurs et transporteurs, etc.

Ainsi l'allure de la variation des coûts de transport en fonction des quantités achetées peut être représentée comme suit (cf. Figure 48):

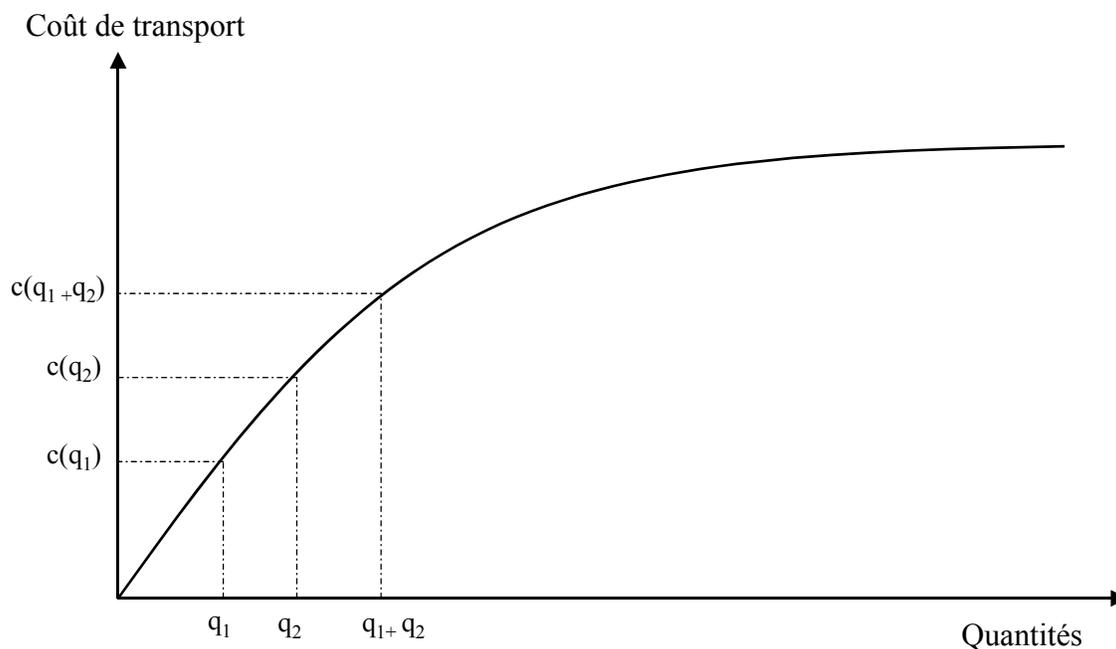


Figure 48 : Représentation des économies d'échelle

Nous remarquons ainsi, qu'il y a économies d'échelle lorsque :

$$c(q_1) + c(q_2) > c(q_1 + q_2)$$

Ainsi, les économies d'échelle peuvent être modélisées adéquatement par une fonction exponentielle [Martel, 01 a][Lee et Zipkin, 89].

Nous passons en revue, ci-dessous, les approches les plus utilisées dans la littérature pour modéliser les économies d'échelle dans les coûts de transport :

a) A. Martel [Martel, 01 b] retient l'allure exponentielle (cf. Figure 48) de la variation des coûts de transport et propose l'expression approximative suivante :

$$C_t = a'd^\alpha Q^b = aQ^b \quad [1]$$

Avec

- C_t : coût de transport de la cargaison, de l'origine à la destination.
- d : distance aller-retour de l'origine à la destination.
- Q : taille de la cargaison.
- a', α, b : paramètres obtenus par régression multiple.
- a : paramètre calculé pour une origine-destination donnée ($a = a'd^\alpha$).

Cette expression des coûts de transport, en fonction des distances parcourues et des quantités transportées, peut mener à des modèles non linéaires difficiles.

b) A. Martel [Martel, 01 b] a proposé une deuxième approximation adéquate, plus simple que la première, qui consiste à trouver une approximation linéaire des coûts de transport par régression (cf. Figure 49) entre une origine et une destination données.

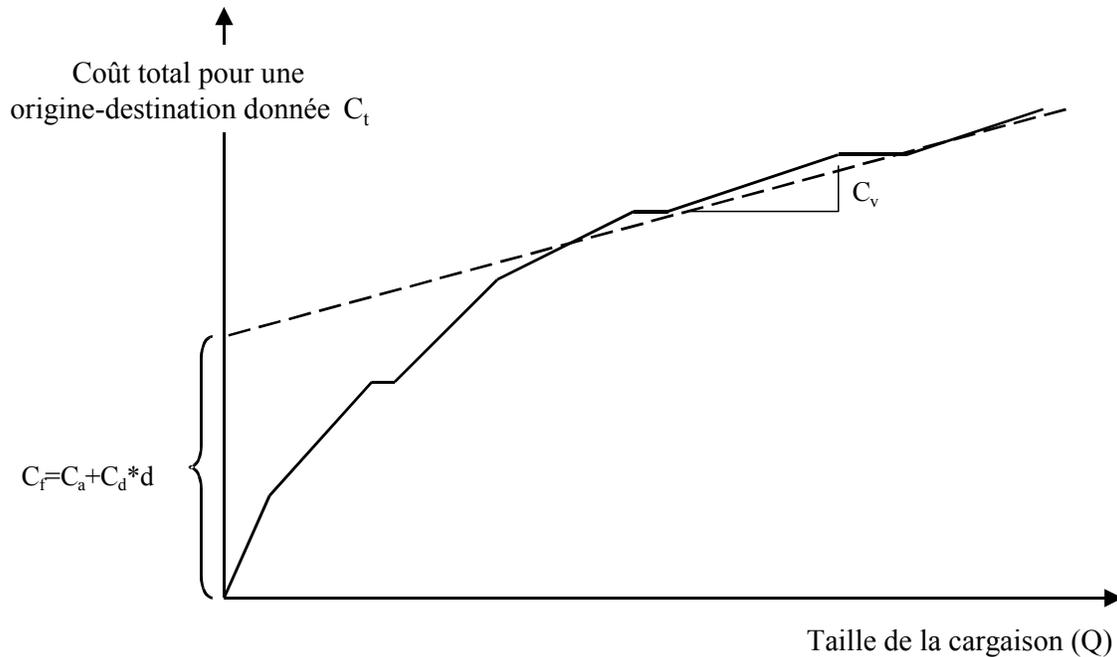


Figure 49 : Approximation linéaire par régression des coûts de transport

Ainsi la fonction des coûts de transport correspond à l'expression linéaire suivante :

$$C_t = C_a + C_d d + C_v Q = C_f + C_v Q \quad [2]$$

avec

- C_a, C_d, C_v : paramètres obtenus par régression multiple et ayant la signification physique suivante :
 - C_a : coût d'arrêt (indépendant de la distance à parcourir et du contenu du chargement) encouru en particulier à cause du temps perdu au départ et à l'arrivée.
 - C_d : coût de distance (indépendant du contenu du chargement) et correspond en général au coût de l'essence, du chauffeur, etc. (par kilomètre parcouru).
 - C_v : coût de charge (indépendant de la distance parcourue) encouru par chaque article inclus dans le véhicule (chargement et déchargement de l'article, manutention dans le véhicule).
 - C_f : paramètre calculé pour une origine et destination donnée ($C_f = C_a + C_d d$).
 - Q : taille d'une cargaison

A partir de cette expression, nous pouvons déduire que le coût unitaire de transport est :

$$C_{ut} = C_f/Q + C_v \quad [3]$$

Ainsi, si la demande par période est X et que chaque cargaison contient Q produits, pour satisfaire la commande, il faudrait expédier X/Q cargaisons, ce qui correspond à un coût total de transport par période :

$$C_{total_t} = (C_f + C_v Q)X/Q = C_f X/Q + C_v X \quad [4]$$

- c) D'autres travaux postulent que les coûts de transport par lot d'expédition sont fixes et ne dépendent pas des quantités correspondant à un lot d'expédition.

Burns [Burns et *al.*, 85] postulent que le coût de transport par lot d'expédition est

$$C_t = \gamma + \sigma + \alpha d \quad [5]$$

γ : coût d'initialisation d'une distribution.

σ : coût fixe d'arrêt.

α : coût de transport par unité de distance.

d : distance entre l'entreprise et son fournisseur.

Ainsi, si Q correspond à la quantité d'un lot, le coût unitaire de transport est :

$$C_{ut} = (\gamma + \sigma + \alpha d) / Q \quad [6]$$

Ce résultat est confirmé par Tyworth et Ruis-Torres [Tyworth et Ruis-Torres, 00] qui stipulent que les coûts unitaires de transport sont de la forme

$$C_{ut} = K / Q \quad [7]$$

où K désigne le coût fixe qui correspond à un lot d'expédition Q .

Ainsi, à la différence des travaux de Martel [Martel, 01 b] [Martel, 01 a], Burns [Burns et *al.*, 85] ainsi que Tyworth et Ruis-Torres [Tyworth et Ruis-Torres, 00] n'incluent pas dans leur modélisation des coûts de transport la composante variable (C_v) par unité transportée et qui comporte le coût de chargement/déchargement ainsi que les coûts de manutentions. Les expressions [6][7] proposées par les deux derniers auteurs reflètent également la prise en compte des économies d'échelle puisque nous pouvons vérifier que si Q augmente les coûts unitaires baissent.

Ainsi nous pouvons conclure à la fin de ce paragraphe qu'il existe plusieurs façons de modéliser les coûts de transport dans la littérature. On aboutit en général à des fonctions de transport ayant des formes assez complexes. Dans le paragraphe suivant, nous présenterons le modèle que nous avons retenu pour représenter les économies d'échelle, ainsi que la méthode de résolution que nous proposons pour résoudre notre problème.

1.2. Modélisation des coûts de transport

Nous retenons la variation exponentielle des coûts de transport [Martel, 01 b] qui considère des coûts de transport par lot dépendant de la quantité par lot. L'étude que nous présentons ci-dessous est valable dans les cas suivants :

- Un lot d'expédition (cargaison) correspond à toute la demande correspondant à une période. Ce cas de figure correspond par exemple à l'utilisation des moyens de transport publics (tels que le train, dont les capacités sont beaucoup plus importantes que celles des véhicules) par les fournisseurs.
- Des expéditions à fréquence fixe tels que des navettes qui sont utilisées à des fréquences (f) fixes (exemple tous les trois mois). Ainsi, nous avons une relation linéaire entre la quantité transportée qui correspond à la demande totale par période (X) et la taille d'un lot de cargaison (Q) : $X = Q * f$.

D'où nous pouvons affirmer que dans les deux cas cités ci-dessus l'allure concave (fonction exponentielle : cf. Figure 48) correspond à la variation du coût de transport en fonction des quantités transportées (et pas seulement en fonction du lot de cargaison). Les économies d'échelle correspondent alors à des rabais que peut offrir le fournisseur sur les quantités.

Les coûts de transport de la part de chaque fournisseur dépendent des quantités achetées. La variation du coût de transport en fonction des quantités est une fonction concave. En effet, il est possible de transporter une certaine quantité avec un certain coût et une quantité supplémentaire avec un coût marginal plus bas. Ainsi nous considérons l'allure suivante pour représenter les coûts de transport relatifs à chaque fournisseur potentiel (cf. Figure 50) :

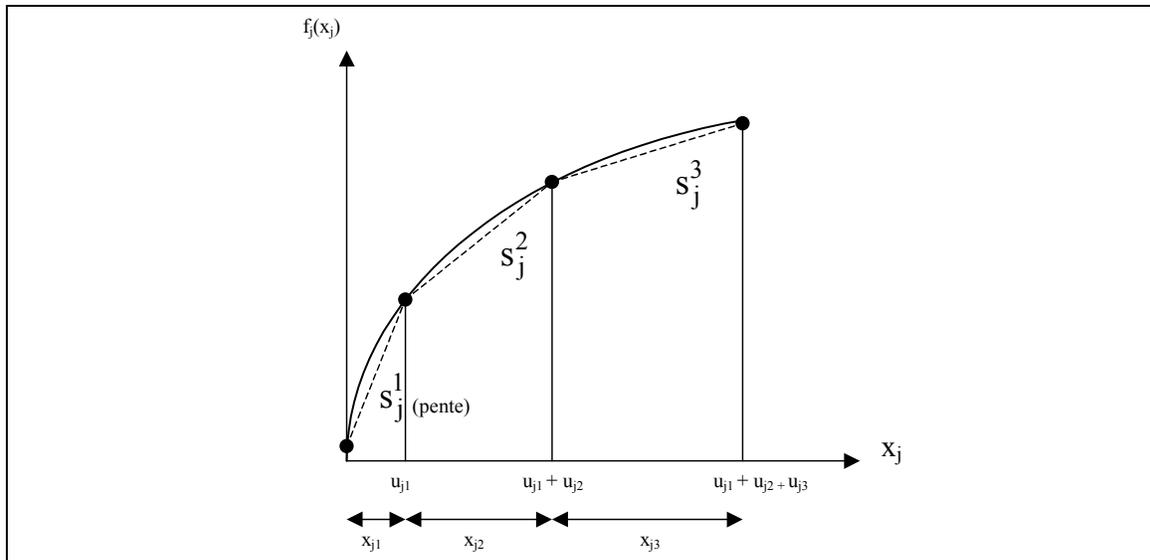


Figure 50 : Une approximation de la fonction des coûts de transport par une fonction concave

1.3. Méthode de résolution

En tenant compte des économies d'échelle, nous nous ramenons à des fonctions de coûts de transport non linéaires. Ainsi, nous nous retrouvons, dans le cas de :

- un programme non linéaire,
- une fonction objectif concave,
- des fonctions des coûts de transports séparables c'est-à-dire que chaque terme de la fonction, qui correspond à un fournisseur donné, dépend d'une seule variable qui est la quantité à transporter,
- des contraintes du modèle ayant toujours une forme linéaire.

Selon les hypothèses référencées plus haut nous pourrions déduire que :

- La partie de la fonction objectif, qui correspond aux coûts de transport, et qui est non linéaire, peut être écrite comme la somme de fonctions concaves (qui correspond au coût de transport de la part de chaque fournisseur f_{pi}) à une seule variable (qui correspond aux quantités transportées $X_{i,pi,f_{pi}}$ de la part du fournisseur f_{pi}). Pour chaque fournisseur f_{pi} le coût de transport possède l'allure indiquée à la Figure 50.
- L'hypothèse de séparabilité implique l'additivité c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'interaction entre la contribution respective des différents fournisseurs dans le coût total.

- L'hypothèse que la fonction des coûts de transport est concave implique que le coût marginal demeure constant ou décroît (ne croît jamais) quand les quantités augmentent, ce qui correspond aux économies d'échelle.

Selon les hypothèses citées ci-dessus et qui s'appliquent bien à notre cas d'étude, nous pouvons conclure que nous sommes en présence d'une classe particulière de programmes non linéaires appelés programmes séparables. Pour cette classe de programmes non linéaires une méthode a été développée pour les résoudre en se ramenant à la programmation linéaire. Le principe de cette méthode est d'essayer d'approcher la fonction des coûts de transport, qui correspond à chaque fournisseur, par des fonctions linéaires par morceaux (cf. Figure 50). Ainsi les méthodes de résolution classiques (programmation linéaire) peuvent être appliquées. Toutefois des variables supplémentaires sont introduites dans le modèle. Cette idée de la séparation par morceaux telle que nous l'avons tirée de [Hiller et Liberman, 01] suppose de :

- a) Remplacer dans la fonction objectif la partie concave, $f_j(x_j)$, par des segments de droite

qui correspondent à $\sum_{k=1}^{n_j} s_{jk} x_{jk}$ et ceci pour tout j .

avec

n_j : le nombre d'intervalles considérés pour la fonction $f_j(x_j)$.

s_{jk} : la pente du segment approchant la fonction à l'intervalle $k \in 1 \dots n_j$.

- b) Remplacer dans tout le modèle la variable de décision x_j par la $\sum_{k=1}^{n_j} x_{jk}$ et ceci pour tout j .

- c) Imposer des contraintes supplémentaires sur les variables additionnelles (x_{jk}). Ces contraintes correspondent à :

$$x_{jk} \leq u_{jk} \quad \forall k = 1, 2 \dots n_j ; \forall j$$

$$x_{jk} \geq 0 \quad \forall k = 1, 2 \dots n_j ; \forall j$$

La question qui se pose en appliquant cette méthode développée ci-dessous est comment choisir le nombre d'intervalles (n_j) pour approcher au mieux la fonction concave des coûts de transport fournie par les fournisseurs. Certes, plus nous avons un nombre élevé d'intervalles plus nous aurons une meilleure approximation de la solution recherchée, mais cela entraîne une explosion au niveau du nombre de variables du modèle.

1.4. Algorithme de recherche par dichotomie

Afin de réduire la complexité de notre problème, nous considérons comme objectif seulement la minimisation du critère coût, et nous adoptons la méthode développée au chapitre 5 pour modéliser notre problème. Nous obtenons un programme linéaire mixte (MILP). En considérant cette fois les économies d'échelle dans les coûts de transport, et en reprenant les notations que nous avons adoptées au chapitre 5, pour chaque produit (p_i) et pour chaque fournisseur correspond (f_{pi}), le coût de transport ($C_{\text{transp}_{i,p_i,f_{pi}}}$) correspondant suit l'allure donnée par la Figure 51, et notre problème devient alors non linéaire (NLP).

Une application de la méthode présentée dans le paragraphe 2.2 entraîne une explosion au niveau du nombre de variables dans notre modèle car cela dépend du nombre d'intervalles (n_j) à considérer pour approcher la fonction concave. Afin de réduire le nombre de variables dans le modèle, nous choisissons d'appliquer un algorithme par dichotomie pour la recherche de la solution Figure 51.

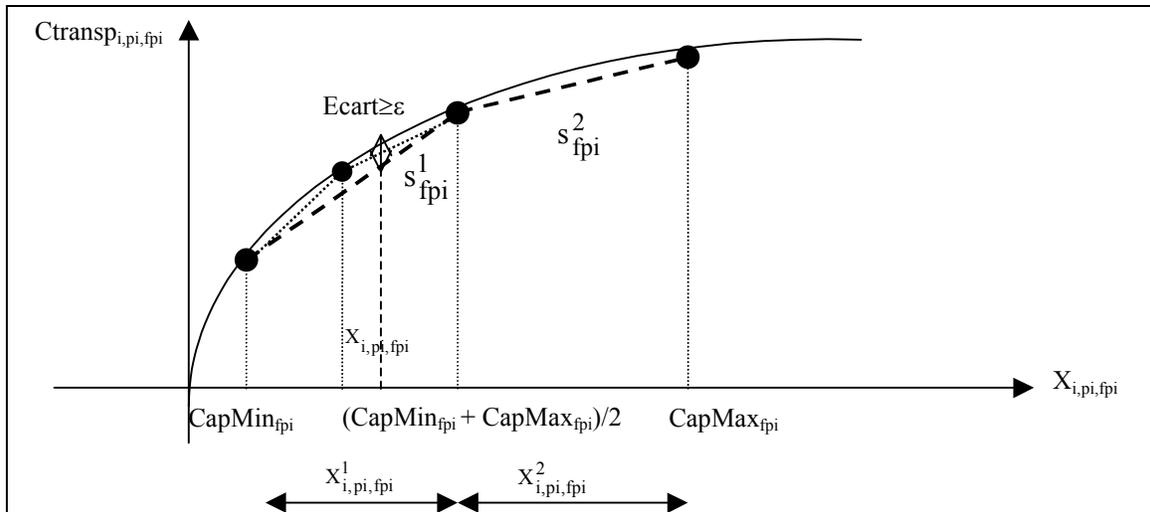


Figure 51 : Application d'une analyse par dichotomie pour la recherche de solution

La première étape consiste à appliquer la méthode développée dans la section précédente pour les fonctions des coûts de transport pour tous les fournisseurs et ceci en considérant les points donnés par les capacités minimales et maximales de transport ainsi que le milieu entre ces deux points. Nous vérifions pour la solution obtenue si l'écart entre la solution approchée et la solution réelle est inférieur à ϵ (un infiniment petit fixé par le décideur). Pour les fournisseurs tels que la différence entre le coût réel induit par la solution trouvée et le coût approché pour cette même solution est supérieure à ϵ , on reprend l'algorithme avec le nouvel intervalle contenant la solution trouvée et en affinant la recherche en considérant deux nouveaux segments dans ce même intervalle. Pour les fournisseurs tels que l'écart est inférieur à ϵ , l'algorithme est repris en considérant l'ancien intervalle considéré.

L'algorithme est représenté sous forme de logigramme dans la Figure 52.

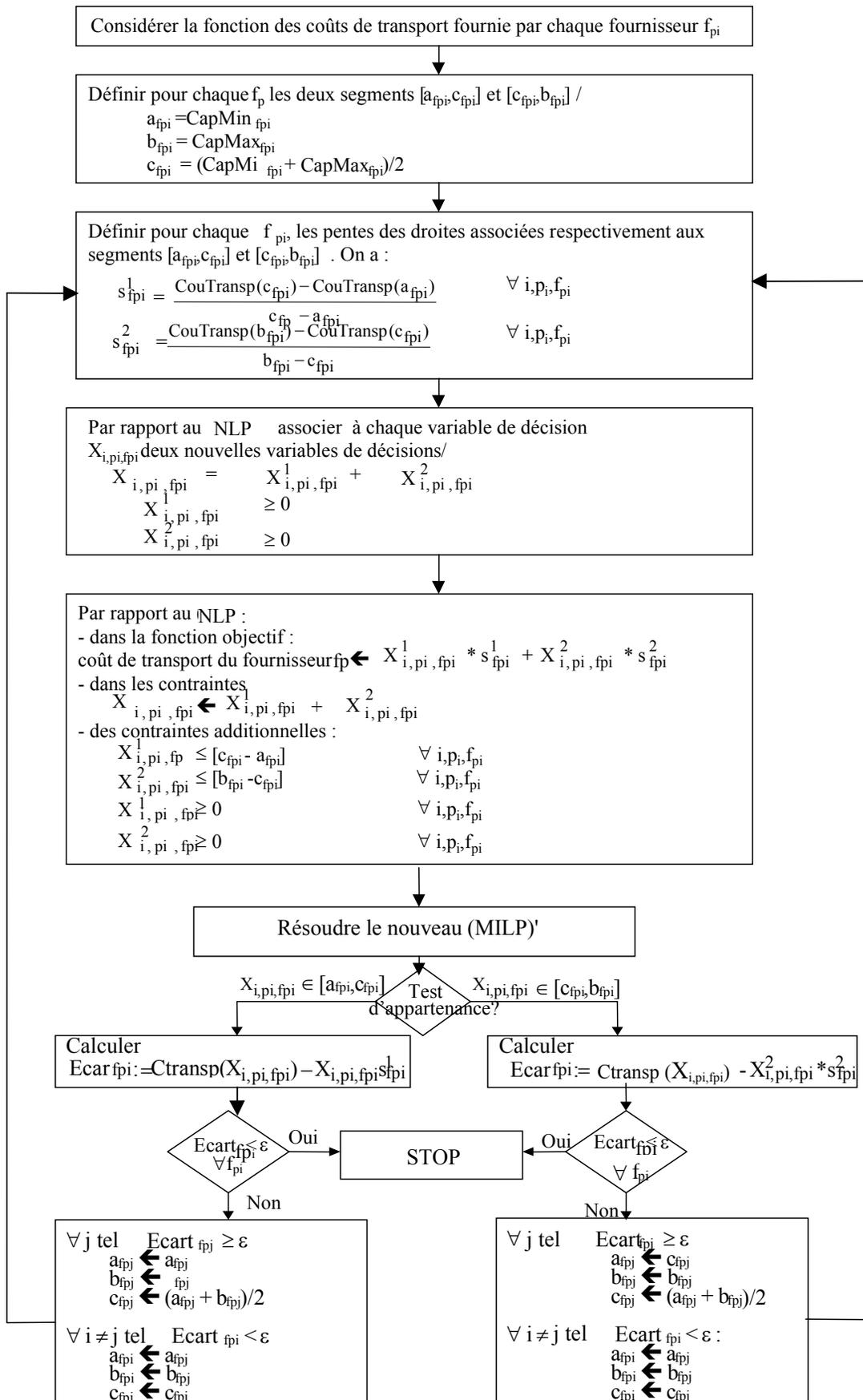


Figure 52 : L'algorithme de recherche d'une solution par dichotomie

2. Validation de la configuration de la chaîne en prenant en compte les économies d'échelle dans les coûts de stock

Nous rappelons que l'objectif de la modélisation et des tests effectués aux chapitres 5 et 6 est la conception de la chaîne logistique en réponse au choix de faire ou faire-faire : choix des installations internes et externes (fournisseurs) et détermination des flux de matière (quantités de matière par période) dans chaque installation. Ceci représente l'étape 2 (cf. Figure 53) de l'approche proposée au chapitre 3. Jusque là, nous avons adopté une structure linéaire pour les coûts.

L'étape 1 est une phase préliminaire dont l'objectif est de déterminer l'ensemble des activités stratégiquement et techniquement externalisables/internalisables, ainsi que l'ensemble des fournisseurs potentiels de l'entreprise qui peuvent répondre à sa stratégie globale.

Comme les politiques de pilotage de la chaîne ont une incidence sur la configuration de la chaîne et sur le choix de ses installations, nous proposons à l'étape 3 de la démarche de valider la configuration de la chaîne initialement obtenue à l'étape 2 en fonction des paramètres considérés pour le pilotage. Nous proposons dans ce paragraphe d'étudier l'impact des politiques de contrôle et de gestion de stock sur la configuration de la chaîne et notamment sur le choix entre les installations internes et externes.

Si l'entreprise possède un système approprié de planification et de contrôle des flux, elle peut généralement réaliser des économies d'échelle. Dans ce cas de figure, le coût des stocks dans la chaîne est fonction du flux de matière dans la chaîne, du délai de livraison moyen, de la valeur moyenne du produit dans le stock (qui dépend des coûts unitaires de production/approvisionnement sur les nœuds et des coûts unitaires de transport sur les arcs, situés en amont du stock), et ceci pour toutes les chaînes d'approvisionnement qui contiennent le produit et le stock en question. Ainsi, en utilisant un modèle analytique de calcul du coût de stock, tenant compte des économies d'échelle, établi par A. Martel [Martel, 01 c], nous déterminons les paramètres de cette fonction pour un système de planification et de contrôle de flux donné, et ce en se basant sur la première configuration de la chaîne obtenue à l'étape 2. La fonction des coûts de stock ainsi obtenue est une fonction exponentielle des flux de produits dans le stock. En la ré-injectant dans le modèle mathématique de conception de la chaîne (chapitre 5), et en prenant comme objectif uniquement la minimisation des coûts (pour des raisons de simplification du problème), nous obtenons un programme non linéaire séparable qui peut être résolu par la méthode décrite dans la section précédente (analyse par dichotomie). En comparant la solution ainsi trouvée avec la première (obtenue dans le cas de structure linéaire pour les coûts), nous pourrions vérifier si la prise en compte des économies d'échelle a un effet sur la configuration de la chaîne. En effet, cela représente un moyen pour valider la première configuration de la chaîne en tenant compte d'une politique de gestion des stock basée sur les économies d'échelle.

A partir de cette nouvelle configuration de la chaîne, nous vérifions si les critères managériaux (objectifs fixés par rapport aux critères : coût, délai et qualité) sont satisfaits ou pas. Dans le cas contraire, l'algorithme est réitéré à partir de l'étape 1 en revoyant les critères de présélection des fournisseurs jusqu'à satisfaction des critères managériaux. Nous obtenons alors une chaîne logistique unique dont la structure est validée au niveau stratégique et de pilotage (cf. Figure 53).

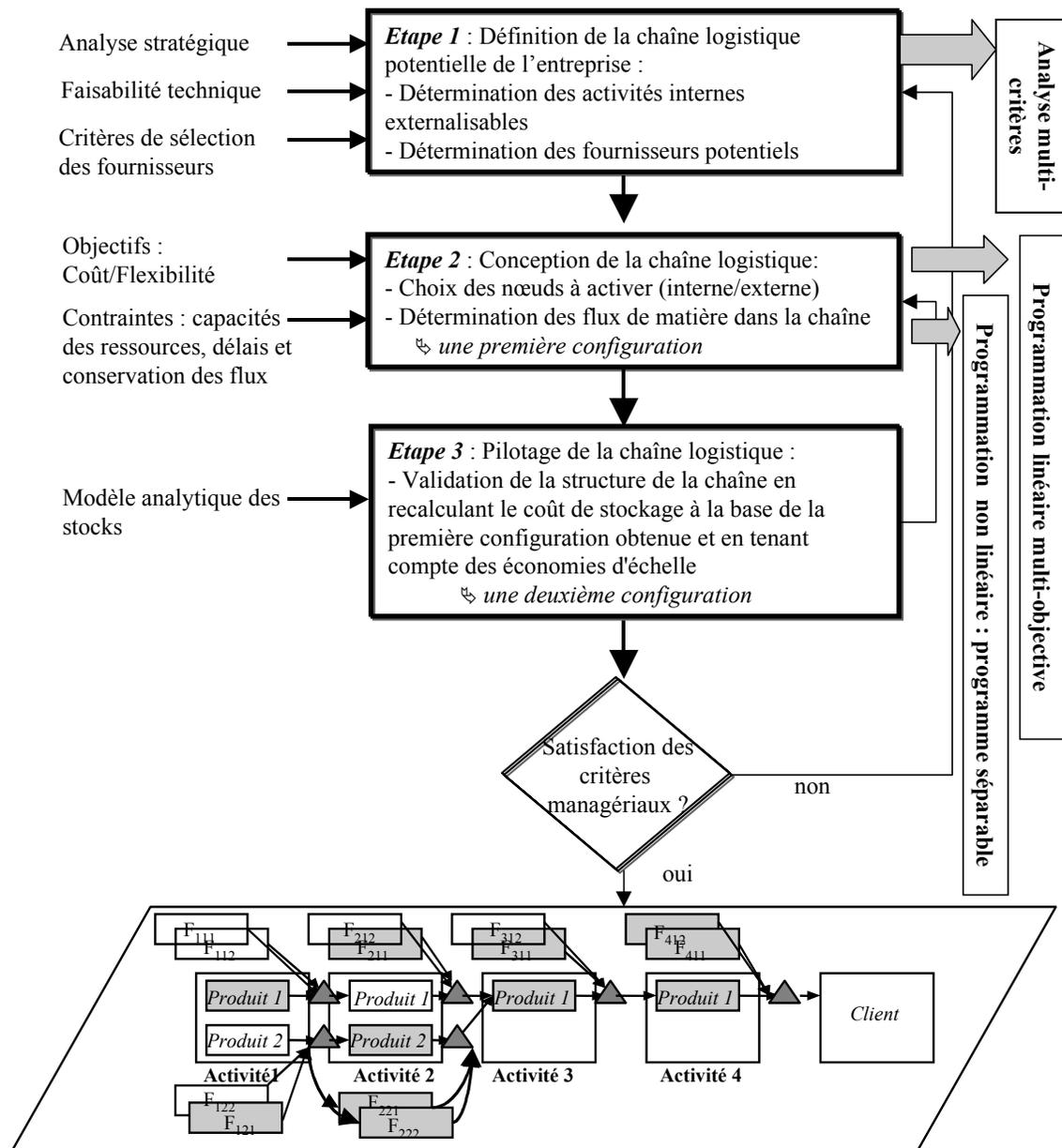


Figure 53 : L'approche proposée pour la conception intégrée de la chaîne logistique

2.1. Modèle analytique des coûts des stocks

a) Estimation du niveau de stock moyen

Il est plus raisonnable de supposer que les stocks nécessaires (I_{pi}) pour supporter un flux de produits ($X_{pi,w}$) pour une période donnée peuvent être estimés avec une relation de la forme suivante [Martel, 01 c] :

$$I_{pi}(X_{pi,w}) = a'_{pi} \tau_{pi,w}^c X_{pi,w}^b = a_{pi} X_{pi,w}^b, \quad a_{pi} = a'_{pi} \tau_{pi,w}^c \quad [8]$$

avec

I_{pi} : niveau de stock moyen.

$X_{pi,w}$: demande par période (flux).

$\tau_{pi,w}$: délai de livraison moyen.

Le niveau de stock dans la chaîne dépend des flux de matières et des délais d'approvisionnement moyens. Ainsi si $b < 1$ des économies d'échelle sont possibles, on obtient une allure de la forme suivante (cf. Figure 54) :

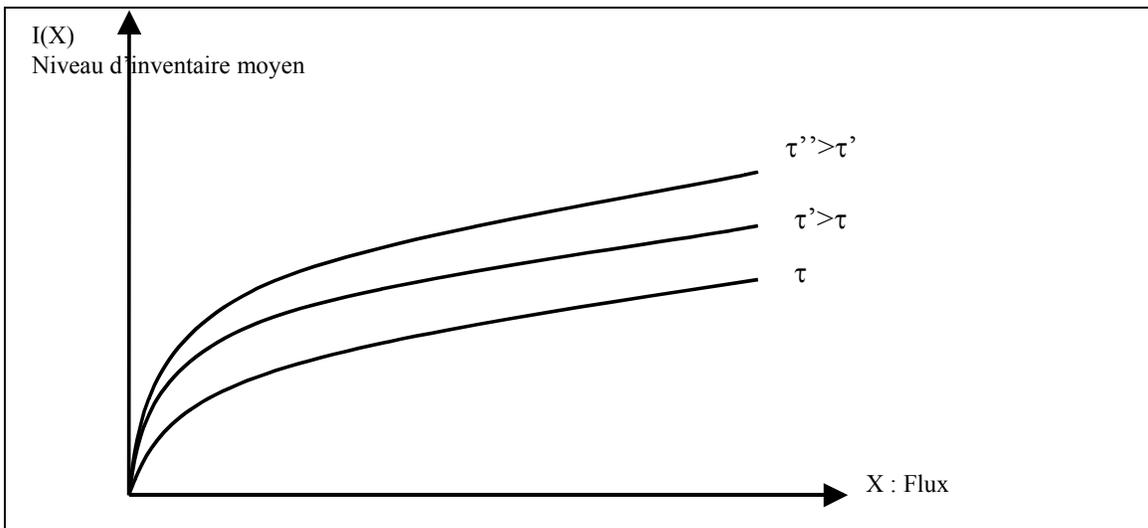


Figure 54 Relation entre le niveau de stock et le flux en présence d'économie d'échelle

Pour un système de planification et contrôle donné, et après plusieurs périodes d'observations les paramètres a' , c et b sont estimés par régression à l'aide de l'un des deux modèles suivant :

$$\log(I_{pi}) = \log(a_{pi}) + b_{pi} \log(X_{pi,w}) \quad [9]$$

$$\log(I_{pi}) = \log(a'_{pi}) + b_{pi} \log(X_{pi,w}) + c_{pi} \log(\tau_{pi,w}) \quad [10]$$

b) Estimation des paramètres de la fonction des coûts de stock

La fonction des coûts de stockage d'un produit p_i dans un nœud w est obtenue en multipliant la fonction du niveau de stock estimée par le taux d'immobilisation du produit p_i et par la valeur moyenne du produit p_i en w :

$$\begin{aligned}
h_{pi,w}(X_{pi,w}, V_{pi,w}, T_{pi,w}) &= r_{pi,w} \left(\frac{V_{pi,w}}{X_{pi,w}} \right) I_{pi}(X_{pi,w}, T_{pi,w}) \\
&= (r_{pi,w} a'_{pi}) \left(\frac{V_{pi,w}}{X_{pi,w}} \right) \left(\frac{T_{pi,w}}{X_{pi,w}} \right)^{c_{pi}} X_{pi,w}^{b_{pi}} \\
&= (r_{pi,w} a'_{pi}) (v_{pi,w}) (\tau_{pi,w})^{c_{pi}} X_{pi,w}^{b_{pi}} \quad [11]
\end{aligned}$$

Avec

$r_{pi,w}$: taux d'immobilisation du produit p_i (valeur en capital, taux du risque, etc.),

$V_{pi,w}$: valeur du flux total du produit p_i dans le stock w ,

$\frac{V_{pi,w}}{X_{pi,w}} = v_{pi,w}$: valeur moyenne des produits p_i dans le stock w ,

$T_{pi,w}$: délai d'approvisionnement cumulatif des produits p_i au stock w ,

$\frac{T_{pi,w}}{X_{pi,w}} = \tau_{pi,w}$: délai d'approvisionnement moyen des produits p_i dans w ,

a'_{pi} , c_{pi} et b_{pi} : constantes estimées par régression (équations [9] et [10]) sur plusieurs périodes d'observation, pour un système de gestion des flux donné, et en analysant les historiques des flux de matières dans le stock (cela suppose que la chaîne est configurée a priori et que l'on connaisse la répartition des flux de matière dans la chaîne, ainsi que les installations internes et externes utilisées). On obtient la même fonction pour chaque p , dans le cas où le système de gestion des stocks est inchangé.

Afin de simplifier l'expression du coût de stockage, nous supposons par la suite que les coûts d'immobilisation de stocks sont concaves mais ne dépendent pas des délais de livraison, ce qui nous ramène à supposer que $c_{pi}=0$ (cf. équation [11]).

Dans notre cas, nous utilisons la relation pour calculer le coût de stockage de p_i dans chaque stock I_{pi} (représenté par le nœuds w), et ceci pour les chaînes internes et externes qui fournissent p_i dans le stock I_{pi} . En effet, le produit p_i circulant dans le stock I_{pi} provient de plusieurs chaînes d'approvisionnements différentes (Figure 55) :

- une chaîne en interne, dans le cas où le produit p_i serait fabriqué en interne,
- des chaînes externes correspondant à chaque fournisseur externe sélectionné.

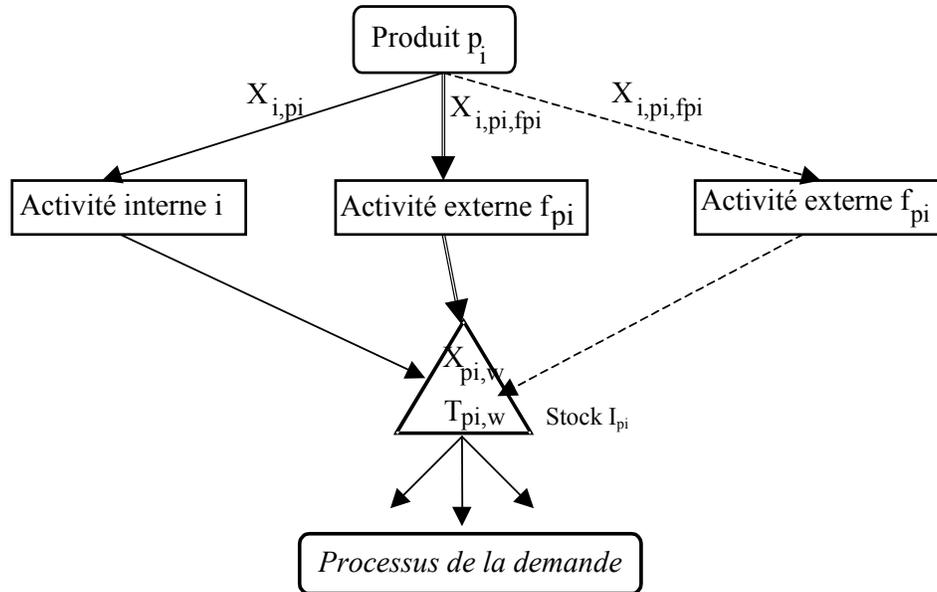


Figure 55 : Les analogies avec notre problème

Nous aurons dans ce cas :

- $X_{pi,w}$: flux total du produit p_i dans le nœud w ce qui désigne dans notre cas le flux total de p_i dans le stock I_{pi}

$$= \sum_j F_j$$

avec F_j le flux total dans la chaîne j contenant p_i et le stock I_{pi}

$$= X_{i,p_i} + \sum_{f_{p_i}} X_{i,p_i,f_{p_i}}$$

(cf. Figure 55 et notations au chapitre 5).
- $V_{pi,w}$: la valeur du flux total du produit p_i dans le nœud w

= la somme des valeurs des produits p_i sur toutes les chaînes qui contiennent p_i et w

$$= \sum_j v_{wj} F_j$$

(avec F_j qui désigne le flux de produit dans la chaîne j contenant le produit p_i et le nœud w et v_{wj} : la valeur moyenne du produit p_i au nœud w pour la chaîne j contenant le produit p_i et le stock w).

Nous verrons dans le paragraphe suivant comment est calculée cette valeur totale des produits.

c) Estimation de la valeur moyenne des produits dans le stock

La valeur moyenne d'un produit en un nœud donné est la somme des coûts unitaires précédents sur la chaîne d'approvisionnement. Cette valeur est calculée de manière séquentielle en remontant la chaîne échelon par échelon, connaissant la configuration du réseau, et en calculant les coûts unitaires de production/approvisionnement dans les nœuds précédents, ainsi que les coûts unitaires de transport sur les arcs. Pour calculer la valeur

unitaire d'un produit en un nœud, il faut examiner toutes les chaînes de valeurs contenant le produit et le nœud en question.

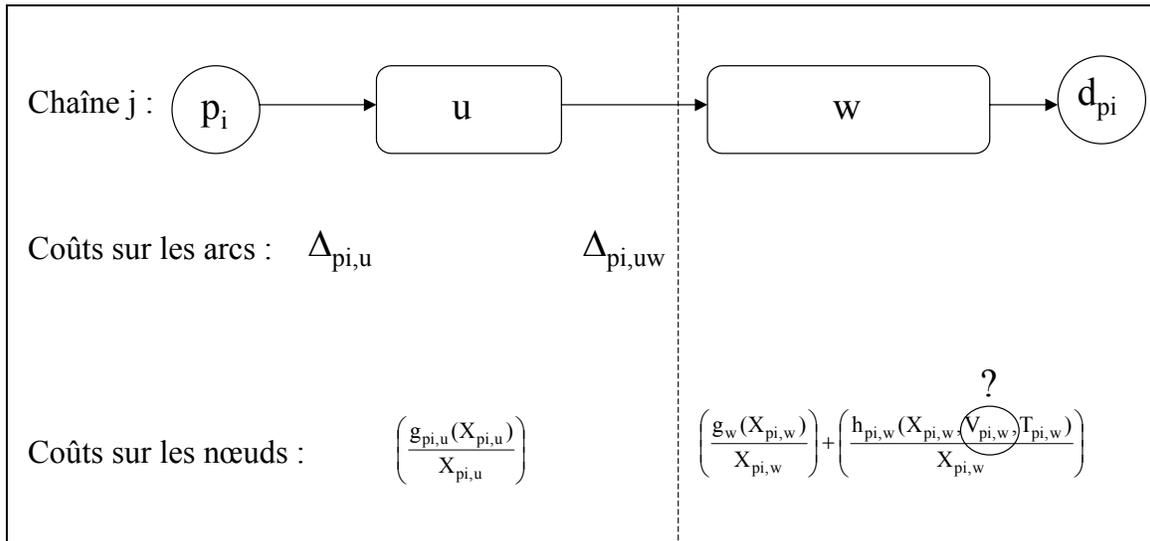


Figure 56 : Les coûts unitaires de la chaîne de valeur

Sur la Figure 56, nous avons reporté les coûts unitaires correspondant aux nœuds et aux arcs. Nous avons alors :

- u : site d'usine (un fournisseur externe ou une unité de fabrication interne selon la nature de la chaîne d'approvisionnement j considéré),
- w : un nœud du réseau contenant le stock I_{p_i} ,
- $\Delta_{p_i,u}$: valeur moyenne des matériaux requis pour fabriquer p_i . Cela inclut le prix d'achat des matières premières, le coût de passation des commandes et de transport (ramenés tous par rapport à une unité de produit),
- $\Delta_{p_i,uw}$: coût moyen de transport du produit p_i entre u et w (dans le cas où u serait une unité de fabrication en interne, ce coût est négligeable quand il s'agit d'une installation en interne),
- $g_{p_i,u}$: coût de production en u qui dépend du type de technologie de production utilisée soit par le fournisseur, soit par l'usine en interne. Comme des économies d'échelle peuvent être généralement réalisées, ce coût peut être modélisé par une fonction concave. Pour simplifier un peu le problème nous considérons ce coût linéaire d'où un coût unitaire de production qui est constant ($\alpha_{p_i,u}$) pour chaque produit p_i en u ,
- $g_{p_i,w}$: coût d'entreposage en w qui dépend du type de technologie de manutention et de stockage utilisé. Ce coût dépend des capacités d'entreposage utilisées (exemple : produits conservés à l'intérieur, à l'extérieur ou dans des frigos) et peut être modélisé par une fonction exponentielle dans le cas où les économies d'échelle seraient réalisées. Nous supposons ici également que le coût unitaire d'entreposage est une constante ($\alpha_{p_i,u}$) pour chaque p_i et w ,
- $h_{p_i,w}$: coût de possession de stock en w , qui dépend du flux de produit p_i en w ($X_{p_i,w}$), du délai d'approvisionnement moyen ($T_{p_i,w}$) dans le cas où $c_{p_i} \neq 0$, et de la valeur du produit p_i en w ($V_{p_i,w}$) que nous cherchons à calculer (cf. équation [11]).

Rappelons que $V_{pi,w} = \sum_j v_{wj} F_j$ avec j indice de chaîne qui contient p_i et w et v_{wj} : la valeur moyenne du produit p_i au nœud w pour la chaîne j contenant le produit p_i et le stock w .
Et pour la chaîne de valeur j (contenant p_i et w), la valeur moyenne du produit p_i (cf. Figure 56) est donc :

$$v_{wj} = \Delta_{pi,u} + \alpha_{pi,u} + \Delta_{pi,uw} \quad [12]$$

Lorsqu'il y a un seul échelon, les valeurs v_{wj} sont à peu près les mêmes pour toutes les chaînes et nous pouvons supposer que l'erreur que nous faisons en remplaçant la valeur moyenne ($V_{pi,w}/X_{pi,w}$) dans l'expression des coûts d'immobilisation des stocks (équation [11]) par la valeur moyenne, $v_{pi,w}$, estimée statistiquement à partir de données historiques est négligeable [Martel, 01 c]. Le coût d'immobilisation des stocks se réduit à l'expression :

$$h_{pi,w}(X_{pi,w}) = (r_{pi,w} a'_{pi})(v_{pi,w}) X_{pi,w}^{b_p} \quad [13]$$

Ainsi, il suffit de calculer $v_{pi,w}$ en se basant sur la première configuration de la chaîne obtenue suite à la première optimisation de notre modèle qui minimise le critère coût en supposant une structure linéaire pour les coûts et sur les historiques des données. Cette valeur est facile à calculer connaissant les coûts unitaires sur les nœuds et les arcs, ainsi que les flux de matière pour un scénario donné. Nous illustrons sur l'exemple suivant comment nous calculons $v_{pi,w}$.

Exemple :

Dans le cas où on aurait trois chaînes différentes pour le produit le produit P1 (produit en interne, et utiliser deux fournisseurs externes en même temps), les analogies qu'on peut faire sont représentées dans la Figure 57 :

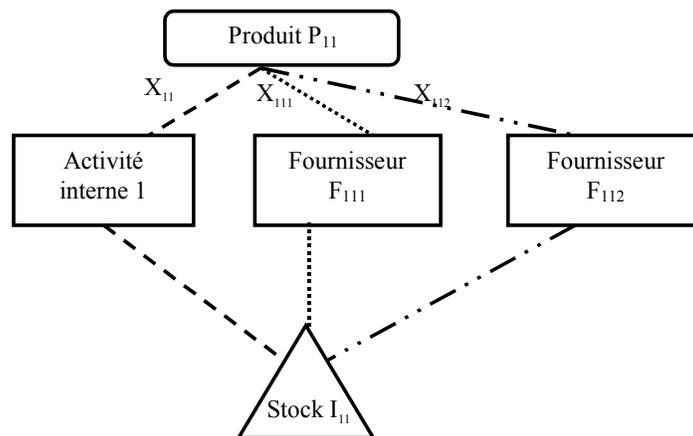


Figure 57 : Exemple de calcul de la valeur d'un produit en stock

Dans ce cas, nous avons

$V_{pi,w}^0 = [(Valeur\ de\ P_{11}\ au\ niveau\ de\ l'activite\ interne\ 1\ qui\ est\ egale\ à\ 0,\ car\ il\ n'y\ a\ pas\ d'activites\ en\ amont\ pour\ le\ produit\ P_{11}\ sur\ cette\ chaîne)$

$+(Coût\ unitaire\ de\ production\ en\ 1)$

$+(Coût\ unitaire\ de\ transport\ entre\ l'activite\ interne\ 1\ et\ I_{11}\ qui\ est\ égal\ à\ 0,\ car\ ce\ coût\ peut\ être\ négligé\ comme\ il\ s'agit\ de\ transport\ interne)] * X_{11}^0$

$+[(Valeur\ de\ P_{11}\ au\ niveau\ de\ l'activite\ externe\ de\ production\ F_{111}\ qui\ est\ égale\ à\ 0,\ car\ il\ n'y\ a\ pas\ d'activites\ en\ amont\ pour\ le\ produit\ P_{11}\ sur\ cette\ chaîne)$

$+(Coût\ unitaire\ d'achat\ depuis\ F_{111})$

$+(Coût\ unitaire\ de\ transport\ entre\ F_{111}\ et\ I_{11})] * X_{111}^0$

$+[(Valeur\ de\ P_{11}\ au\ niveau\ de\ l'activite\ externe\ de\ production\ F_{112}\ qui\ est\ égale\ à\ 0,\ car\ il\ n'y\ a\ pas\ d'activites\ en\ amont\ pour\ le\ produit\ P_{11}\ sur\ cette\ chaîne)$

$+(Coût\ unitaire\ d'achat\ depuis\ F_{112})$

$+(Coût\ unitaire\ de\ transport\ entre\ F_{112}\ et\ I_{11})] * X_{112}^0$

D'où $v_{pi,w} = \frac{V_{pi,w}^0}{X_{11}^0 + X_{111}^0 + X_{112}^0}$ et c'est cette valeur qui sera injectée dans l'expression [13].

2.2. Reconfiguration de la chaîne

Ainsi, pour la fonction économique du coût d'immobilisation du stock :

$$h_{pi,w}(X_{pi,w}) = (r_{pi,w} a'_{pi})(v_{pi,w}) X_{pi,w}^{b_{pi}}$$

Nous avons :

- $r_{pi,w}$ est connue
- a'_{pi} et b_{pi} qui sont estimés par régression à l'aide du modèle donné par l'équation [10] après des études statistiques sur plusieurs périodes.
- $v_{pi,w}$ est calculé a priori, en se basant sur une chaîne préalablement configurée et sur les historiques des données pour un système de pilotage et de gestion des stocks

Nous pourrions alors tracer l'allure de la variation du coût d'immobilisation en fonction du flux de matière. Par conséquent cette fonction est non linéaire, mais elle est séparable. Ainsi en la ré-injectant dans notre modèle mathématique dont l'objectif est la minimisation des coûts, nous effectuons une analyse par dichotomie (similaire à celle appliquée dans la première section pour les coûts de transport) afin de linéariser la partie non linéaire de la fonction objectif, ce qui implique une duplication des variables $X_{pi,w}$. Une nouvelle contrainte

est rajoutée au modèle pour exprimer le lien entre la variable $X_{p_i,w}$ et les variables de flux c'est-à-dire X_{i,p_i} et $X_{i,p_i,f_{p_i}}$.

Le programme non linéaire séparable obtenu est :

$$\text{Min} \sum_i \sum_{p_i} [(C \text{ var Prod}_{i,p_i} \times X_{i,p_i} + C \text{ fix Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i}) + \sum_{f_{p_i}} (C \text{ var Achat}_{f_{p_i}} \times X_{i,p_i,f_{p_i}} + C \text{ var Transp}_{f_{p_i}} \times X_{i,p_i,f_{p_i}} + C \text{ fix Achat}_{f_{p_i}} \times Z_{i,p_i,f_{p_i}})] + \left\{ \sum_{i,p_i} h(X_{p_i,w}) \right\}$$

Sujet à :

$$\sum_{p_i} [(Charg \text{ Homm}_{i,p_i} \times X_{i,p_i}) + (Charg \text{ HommSetUP}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i})] \leq Ch \text{ arg HommMax}_i \quad \forall i \in I, p_i \in P_i$$

$$\sum_{p_i} [(Ch \text{ arg Heur}_{i,p_i} \times X_{i,p_i}) + (Ch \text{ arg HeurSetUP}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i})] \leq Ch \text{ arg HeurMax}_i \quad \forall i \in I, p_i \in P_i$$

$$\text{Min Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i} \leq X_{i,p_i} \leq \text{Capa Prod}_{i,p_i} \times Z_{i,p_i} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i$$

$$\sum_{p_i} X_{i,p_i} \leq Ch \text{ arg Max}_i \quad \forall i \in I$$

$$\text{CapTranspMin}_{f_{p_i}} \times Z_{i,p_i,f_{p_i}} \leq r_{f_{p_i}} X_{i,p_i} \leq \text{CapTranspMax}_{f_{p_i}} \times Z_{i,p_i,f_{p_i}} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i, f_{p_i} \in F_{p_i}$$

$$X_{i,p_i} + \sum_{f_{p_i}} X_{i,p_i,f_{p_i}} = I_{p_i} + \sum_{av(i) \in AV(i)} M_{i,av(i)} W_{av(i),1} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i$$

$$l_{i,p_i} \frac{X_{i,p_i}}{Q_{i,p_i}} \leq L_{p_i} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i$$

$$l_{f_i,p_i} \frac{X_{i,p_i,f_{p_i}}}{Q_{f_{p_i},p_i}} \leq L_{p_i} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i, f_{p_i} \in F_{p_i}$$

$$X_{p_i,w} = X_{i,p_i} + \sum_{f_{p_i}} X_{i,p_i,f_{p_i}} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i, f_{p_i} \in F_{p_i}$$

$$Z_{i,p_i} + \sum_{f_{p_i}} Z_{i,p_i,f_{p_i}} \geq 1 \quad \forall i \in I, p_i \in P_i, f_{p_i} \in F_{p_i}$$

$$X_{i,p_i} \geq 0; X_{p_i,w} \geq 0; I_{p_i} \geq 0; Z_{i,p_i} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i$$

$$X_{i,p_i,f_{p_i}} \geq 0; Z_{i,p_i,f_{p_i}} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, p_i \in P_i, f_{p_i} \in F_{p_i}$$

Encadré 3 : Problème non linéaire (NLP) obtenu dans le cas où des économies d'échelle sont réalisées sur les coûts de stockage

L'algorithme que nous proposons pour résoudre le modèle ci-dessus est le suivant :

1. Considérer la fonction concave des coûts des inventaires pour chaque p_i au niveau de chaque stock I_{p_i} dont les paramètres ainsi que l'allure sont connus.
2. Considérer le flux initial ($X_{p_i,w}^0$) donné par la première configuration de la chaîne. A partir de l'origine et de ce point, nous définissons les deux premiers segments de droites qui pourraient approcher la fonction économique des coûts de stock. Soient les deux segments $[a_{p_i}, c_{p_i}]$ et $[c_{p_i}, b_{p_i}]$ tels que :

$$a_{pi} = 0$$

$$b_{pi} = X_{pi,w}^0$$

$$c_{pi} = (X_{pi,w}^0)/2$$

3. Définir pour chaque p_i , s_{pi}^1 et s_{pi}^2 les pentes des droites associées respectivement aux segments $[a_{pi}, c_{pi}]$ et $[c_{pi}, b_{pi}]$. On a :

$$s_{pi}^1 = \frac{h(c_{fpi}) - h(a_{fpi})}{c_{fpi} - a_{fpi}}$$

$$s_{pi}^2 = \frac{h(b_{fpi}) - h(c_{fpi})}{b_{fpi} - c_{fpi}}$$

4. Par rapport au (NLP), associer à chaque variable de décision $X_{pi,w}$ deux nouvelles variables de décisions $X_{pi,w}^1$ et $X_{pi,w}^2$ tel que

$$X_{pi,w} = X_{pi,w}^1 + X_{pi,w}^2$$

$$X_{pi,w}^1 \geq 0$$

$$X_{pi,w}^2 \geq 0$$

5. Dans (NLP),

- la fonction objectif : remplacer chaque terme non linéaire de la fonction qui correspond au coût des inventaires pour chaque stock : $h(X_{pi,w})$ par $X_{pi,w}^1 * s_{pi}^1 + X_{pi,w}^2 * s_{pi}^2 \quad \forall i, p_i$

- dans la contrainte supplémentaire (cadre en pointillé sur l'encadré 3), remplacer :

$$X_{pi,w} \leftarrow X_{pi,w}^1 + X_{pi,w}^2 \quad \forall i, p_i$$

- rajouter les contraintes suivantes :

$$X_{pi,w}^1 \leq c_{pi} - a_{pi} \quad \forall i, p_i$$

$$X_{pi,w}^2 \leq b_{pi} - c_{pi} \quad \forall i, p_i$$

$$X_{pi,w}^1 \geq 0 \quad \forall i, p_i$$

$$X_{pi,w}^2 \geq 0 \quad \forall i, p_i$$

6. En tenant compte de toutes les modifications indiquées ci-dessus et apportées à (NLP), nous obtenons un nouveau programme linéaire que nous pourrions résoudre en utilisant Cplex.

7. Calculer

$$X_{pi,w} = X_{pi,w}^1 + X_{pi,w}^2 \quad \forall i, p_i, f_{pi}$$

8. Tester si $X_{p_i, w} \in [a_{p_i}, c_{p_i}]$ ou $[c_{p_i}, b_{p_i}]$ $\forall i, p_i, f_{p_i}$

8.1. $\forall i, p_i / X_{i, p_i, f_{p_i}} \in [a_{p_i}, c_{p_i}]$, calculer

$$\text{Ecart}_{p_i} := h(X_{p_i, w}) - X_{p_i, w} s_{p_i}^1$$

8.2. $\forall i, p_i / X_{p_i, w} \in [c_{p_i}, b_{p_i}]$, calculer

$$\text{Ecart}_{p_i} := h(X_{p_i, w}) - X_{p_i, w}^2 * s_{p_i}^2$$

9. Tester Si $\forall i, p_i$, nous avons $\text{Ecart}_{p_i} < \varepsilon$ alors

9.1. Si oui : arrêt

9.2. Sinon

9.2.1. $\forall j$ tel que $\text{Ecart}_{p_j} \geq \varepsilon$ reprendre l'algorithme à l'étape 3 avec pour p_j

9.2.1.1. Si $X_{p_j, w} \in [a_{p_j}, c_{p_j}]$:

$$\begin{aligned} a_{p_j} &\leftarrow a_{p_j} \\ b_{p_j} &\leftarrow c_{p_j} \\ c_{p_j} &\leftarrow (a_{p_j} + b_{p_j})/2 \end{aligned}$$

9.2.1.2. Si $X_{p_j, w} \in [c_{p_j}, b_{p_j}]$:

$$\begin{aligned} a_{p_j} &\leftarrow c_{p_j} \\ b_{p_j} &\leftarrow b_{p_j} \\ c_{p_j} &\leftarrow (a_{p_j} + b_{p_j})/2 \end{aligned}$$

9.2.2. $\forall i \neq j$ tel que $\text{Ecart}_{p_i} < \varepsilon$ reprendre l'algorithme à l'étape 3 en gardant le même intervalle c'est à dire :

$$\begin{aligned} a_{p_i} &\leftarrow a_{p_j} \\ b_{p_i} &\leftarrow b_{p_j} \\ c_{p_i} &\leftarrow c_{p_j} \end{aligned}$$

3. Conclusion

Dans ce dernier chapitre et dans un premier temps, nous avons présenté une extension de notre modèle mathématique dans le cas de la prise en compte des économies d'échelle dans les coûts de transport. En effet, dans le cas de rabais qui peuvent être offerts de la part des fournisseurs, il est possible de payer une certaine quantité avec un certain prix, et une quantité supérieure avec un prix marginal plus bas. Dans ce cas de figure, nous obtenons une fonction des coûts de transport qui a une allure concave. On se retrouve ainsi dans un cas particulier de programmes non linéaires : les programmes séparables pour lesquels des méthodes de résolution ont été développées pour linéariser la fonction des coûts (fonction linéaire par morceau) en introduisant des variables supplémentaires qui représentent les quantités de

matière dans chaque intervalle considéré. Afin d'éviter une explosion au niveau du nombre de variables dans notre modèle, nous avons proposé un algorithme d'analyse par dichotomie en considérant à chaque fois deux segments de droite pour linéariser la fonction des coûts de transport et en testant à chaque fois si l'écart entre la solution obtenue qui correspond à la fonction linéarisée et celle qui correspond à la fonction réelle des coûts est inférieur à un infiniment petit (ϵ).

Dans un second temps, nous avons considéré les économies d'échelle dans le cas du calcul du coût des inventaires dans la chaîne. Pour cela, nous avons utilisé le modèle des coûts établi par A. Martel [Martel, 01 c]. Toutefois ce calcul est effectué une fois la chaîne configurée et connaissant les installations en interne et en externe afin d'établir le lien entre le niveau du stock, le flux de matière dans la chaîne, le délai de livraison moyen, en tenant compte de toutes les chaînes d'approvisionnement qui contiennent le produit et le stock en question. Ainsi en calculant les paramètres relatifs à la fonction des coûts des inventaires (a priori), cette dernière est séparable et nous aboutissons ainsi à un problème non linéaire séparable que nous pouvons résoudre également grâce à un algorithme de recherche de solution par dichotomie afin de réduire la complexité du problème. La résolution du modèle dans sa nouvelle forme permet de tester si le choix des installations en interne ou en externe évolue par rapport à la solution initiale. Ceci constitue un moyen de valider la structure de la chaîne en prenant en compte les décisions au niveau de la gestion tactique de la chaîne logistique.

Conclusion et perspectives

La décision de faire ou de faire-faire fait partie du niveau de gestion à long terme de la chaîne logistique (conception de la chaîne : choix de **localisation** des sites de production et d'**allocation** des produits à ces sites). Plusieurs facteurs doivent être pris en considération lors de la conception d'une chaîne logistique en réponse au choix de faire ou faire-faire :

- La nécessité de prendre en compte des facteurs émanant de la stratégie globale de l'entreprise et influençant la décision de "faire ou faire-faire" : l'analyse stratégique est le point de départ de toute décision de faire ou de faire-faire car elle permet de tenir compte du noyau de compétences de l'entreprise, de sa position par rapport à ses concurrents et de ses facteurs clés de succès par rapport aux clients cibles.
- La nécessité de faire le lien avec le niveau de gestion à moyen terme de la chaîne qui influence le choix de configuration et de conception de la chaîne. En effet, plusieurs paramètres liés à la prise en compte des aléas et des différentes politiques d'approvisionnement peuvent influencer le choix des installations de la chaîne (internes et externes) à activer.

Le premier point a été exposé au chapitre 1, le second point a été détaillé au chapitre 2. La démarche globale pour la conception de la chaîne en réponse au choix de faire ou de faire-faire et qui intègre ces deux points, est illustrée sur un exemple dans le chapitre 3.

L'approche que nous avons proposée se compose de trois phases :

1. L'élaboration de **la chaîne logistique potentielle**

La chaîne logistique potentielle de l'entreprise constitue une représentation de la chaîne logistique existante de l'entreprise augmentée des projets d'expansion envisageables pour mettre la stratégie de l'entreprise en œuvre. Nous représentons l'ensemble des activités de production de l'entreprise ainsi que les fournisseurs potentiels pouvant concurrencer ces activités en interne. Une présélection des fournisseurs est effectuée en fonction du type de la relation envisagé, ainsi qu'une évaluation du coût de transaction en fonction du risque qui peut être engendré par la relation (spécificité des actifs). Un algorithme d'aide à la décision basé sur la méthode AHP (*Analytical Hierarchical Process*) est ensuite appliqué pour établir la liste des fournisseurs potentiels.

2. **La conception de la chaîne logistique**

Une fois la décision de l'entreprise établie en ce qui concerne les activités stratégiquement externalisables / internalisables, et une fois l'ensemble de ses fournisseurs potentiels connu, l'entreprise doit choisir les fournisseurs externes avec lesquels elle va passer contrat, et décider des quantités à allouer pour les ressources internes et externes qui sont disponibles, en tenant compte de l'ensemble des contraintes internes à l'entreprise, externes qui concernent ses fournisseurs externes et la demande des clients.

Dans un premier temps (chapitre 4), nous nous sommes intéressés à une formulation mathématique du problème de la décision de faire ou de faire-faire plusieurs produits dans le cas d'une entreprise qui peut utiliser plusieurs sous-traitants pour ces produits. L'objectif est

de minimiser le coût total relatif à l'option de faire, de faire-faire, ainsi que le coût de stockage qui dépend de l'option choisie. Dans cette modélisation nous avons considéré une structure linéaire pour les coûts. Nous avons également considéré une extension de notre modèle en considérant le respect des délais. Nous avons présenté un cadre d'application dans le cas de la négociation d'une commande pour un groupement d'entreprises qui peuvent s'associer pour répondre au mieux, en terme de coût et délai, à l'appel d'offre de leur donneur d'ordres. Toutefois, le modèle ainsi développé ne permet pas de prendre en compte la nomenclature des produits, ni les incertitudes liées à la fiabilité des fournisseurs, qui constituent un critère important dans la sélection des fournisseurs.

Dans un second temps (chapitre 5), nous avons effectué une deuxième modélisation du problème en considérant l'entreprise au-delà de sa structure habituelle et dans un flux qui la dépasse en prenant en compte l'ensemble de sa chaîne logistique, en considérant l'ensemble de ses sous-traitants et clients. A partir de la chaîne logistique potentielle de l'entreprise et connaissant la demande pour une période de planification donnée, nous procédons à l'optimisation des flux dans la chaîne afin de déterminer pour chaque installation activée, la quantité de matière demandée c'est-à-dire à fabriquer en interne pour les ateliers de production en interne et/ou à acheter auprès des sous-traitants externes. Nous avons considéré une approche multi-objectif pour la modélisation du problème en prenant en compte la minimisation des coûts et la maximisation du taux d'utilisation des installations de la chaîne. Nous intégrons ainsi un ensemble de contraintes relatives à la conservation des flux et qui permet de réaliser un bilan de matière en tenant compte de toute la chaîne, d'une part au niveau des stocks des en-cours en tenant compte de la nomenclature du produit ainsi que de la sous-traitance à façon dans le cas où l'entreprise fournirait de la matière à ses sous-traitants, et d'autre part au niveau du stock des produits finis en prenant en compte la demande du client final. Dans le cas d'une structure linéaire pour les coûts, nous obtenons un modèle linéaire multi-objectifs. Dans le chapitre 6 nous avons résolu ce modèle par la technique du *goal programming* afin d'aboutir à des règles pour la conception de la chaîne, définissant à partir de quelle limite la stratégie de réseautage change. Egalement, nous avons appliqué la méthode de l' ϵ *constraint* dans le but de déterminer le seuil minimum d'utilisation des installations de la chaîne permettant d'avoir une bonne utilisation de la chaîne ainsi qu'une idée sur la borne inférieure sur la flexibilité de la chaîne que l'on ne doit pas dépasser. Cet ensemble de tests a été effectué grâce à un outil d'aide à la décision développé sous Delphi en utilisant la bibliothèque de fonction EZMod ainsi que le solveur Cplex.

Dans le chapitre 7, et toujours dans le cadre de la conception de la chaîne en réponse au choix de faire ou de faire-faire, nous avons présenté, dans une première partie, une extension de notre modèle dans le cas de la prise en compte des économies d'échelle dans les coûts de transport. Dans ce cas de figure, le modèle devient non linéaire et nous proposons un algorithme de recherche d'une solution par dichotomie, afin d'approcher la fonction objectif par des fonctions linéaires par morceaux sur des intervalles et d'obtenir ainsi un problème linéaire.

3. Validation de la structure de la chaîne

Dans la deuxième partie du chapitre 7, en se basant sur une première configuration de la chaîne en réponse au choix de faire ou de faire-faire, selon l'approche développée jusque là, nous proposons d'effectuer une analyse plus fine des coûts d'inventaire et ceci après plusieurs périodes d'observation sur la chaîne ainsi configurée. En prenant en compte les économies d'échelle, le niveau de stock moyen pour les différentes installations en interne est déterminé

en fonction du flux de matière dans la chaîne, ainsi que du délai de livraison moyen, en tenant compte de toutes les chaînes d'approvisionnement qui contiennent le produit. Ce coût des inventaires est réinjecté dans le modèle initialement établi pour la configuration de la chaîne. Ainsi, nous obtenons une fonction des coûts qui est séparable et nous aboutissons ainsi à un problème non linéaire séparable que nous pouvons résoudre également grâce à un algorithme de recherche de solution par dichotomie afin de réduire la complexité du problème. La résolution du modèle dans sa nouvelle forme permet de tester si cela influe sur le choix des installations en interne ou en externe, par rapport au choix précédemment trouvé. Ceci constitue un moyen de valider la structure de la chaîne en prenant en compte les décisions au niveau de la gestion tactique de la chaîne logistique.

A notre sens, ce travail ouvre la voie à plusieurs perspectives de recherche qui peuvent constituer des axes de recherches à court et à long terme.

a) Les axes de recherche à court terme :

- Implémentation de l'algorithme d'analyse par dichotomie : nous proposons dans un premier temps de programmer les algorithmes développés dans le dernier chapitre et de les appliquer en considérant des fonctions réelles de coûts de transport et d'inventaires afin de valider notre approche.
- Etude de la complexité du modèle : nous proposons également d'étudier de près la complexité du modèle retenu. Nous pouvons, certes, avoir une idée sur la complexité du problème grâce aux statistiques obtenus avec EZMod, donnant le temps de résolution ainsi que le nombre de contraintes et de variables du modèle, mais en étudiant la complexité du problème tel que nous l'avons modélisé, nous cherchons des techniques de résolution approchée pour le résoudre dans le cas où le nombre de variables et de contraintes dépasserait les capacités du solveur (Cplex 6.0)

b) Les axes de recherche à long terme :

- Intégration de l'analyse stratégique de la question "faire ou faire-faire" dans l'outil d'aide à la décision développé.

Comme nous l'avons vu, l'analyse stratégique est le point de départ de toute décision de faire ou de faire-faire. C'est pourquoi, nous avons amorcé, lors d'un sujet de DEA en Génie Industriel [Adiche, 02], une réflexion sur les critères stratégiques à considérer, ainsi que sur la méthode à suivre pour définir l'ensemble des activités stratégiquement externalisables. Les critères stratégiques, recensés à partir de la littérature, que nous avons retenus sont : l'importance stratégique, la compétence stratégique [Akbari Jokar, 01], la performance managériale et le risque d'approvisionnement [Padillo et Diaby, 99]. Nous avons décliné ces critères en attributs et nous les avons évalués grâce à un algorithme basé sur la méthode AHP. Nous avons défini la structure et les modèles de données en utilisant le formalisme UML permettant d'effectuer une telle analyse. Les principales fonctionnalités de cette base, ainsi que ses interactions avec l'outil développé pour la conception de la chaîne sont représentées dans la figure suivante.

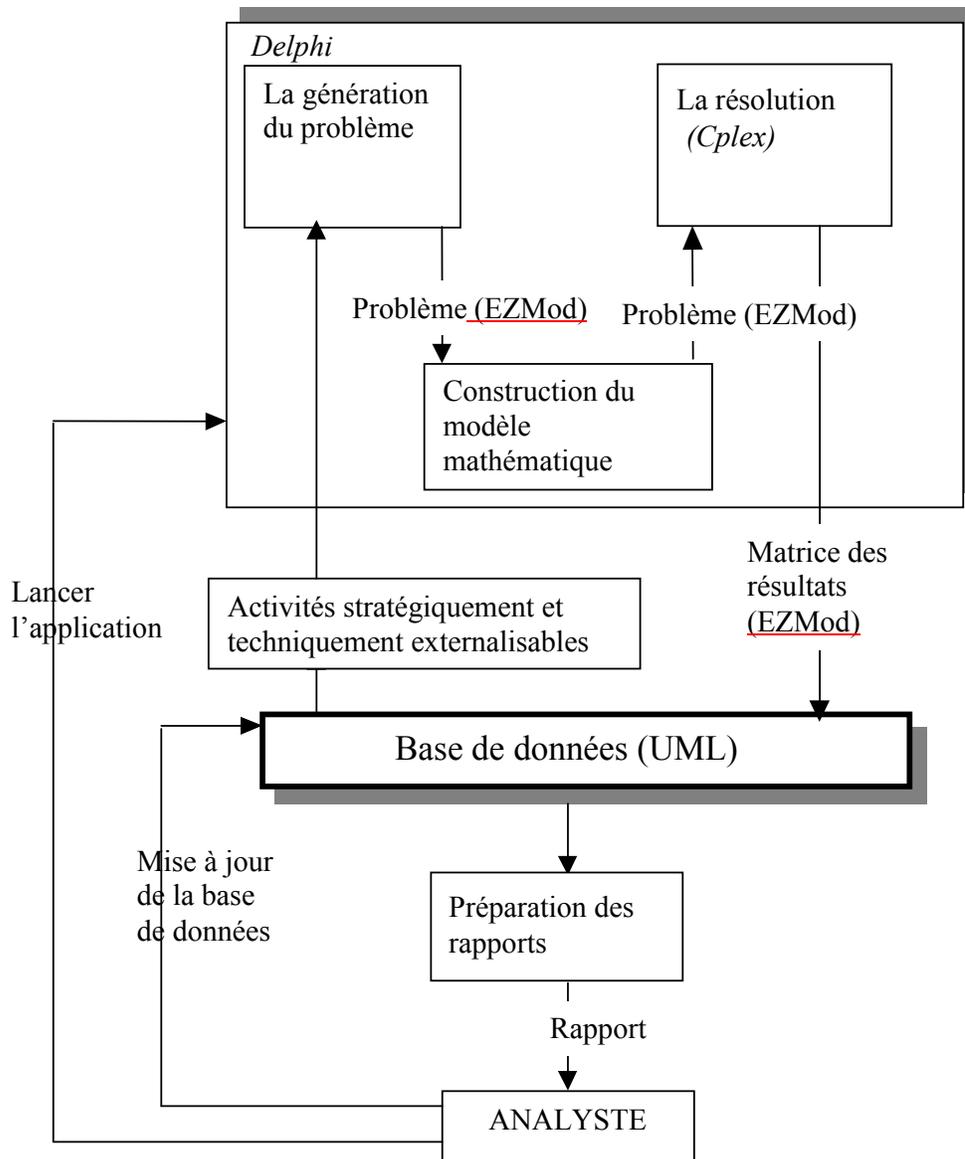


Figure 58 : Interaction entre la base de données et l'outil développé sous Delphi

- Intégration de l'impact des différents politiques d'approvisionnement sur le choix et la sélection des fournisseurs.

Dans le cadre d'un sujet de DEA en Génie Industriel [Fourar-Laidi, 02], nous avons conduit une réflexion sur le nombre optimum de fournisseurs à solliciter minimisant les coûts de stock, une fois décidé de "faire-faire". On se situe à un horizon de décision plus court que la décision de "faire ou faire-faire". En fonction de la nature de la demande (constante ou aléatoire) des politiques d'approvisionnement (fréquence de livraison fixe ou variable, avec ou sans pénurie, etc.), cela revient à considérer un modèle analytique différent traduisant la fonction des coûts de stockage.

- Valider la démarche et les modèles développés sur des cas réels de chaînes logistiques.

Pour cela, il faudrait s'interroger d'abord sur la spécificité du secteur de l'industrie à considérer, et notamment en ce qui concerne la définition des critères stratégiques de prise de décision ainsi que sur la nature des contraintes du modèle.

- Approfondir les investigations de manière plus précise sur l'impact des décisions de pilotage à moyen terme sur le choix (à long terme) de la configuration de la chaîne logistique.

Ce point a été traité seulement au niveau de la dernière partie du chapitre 7, en essayant d'évaluer l'impact d'une gestion des stocks basée sur la prise en compte des économies d'échelle dans le choix de configuration de la chaîne et des installations internes et externes. Nous proposons de réfléchir sur l'impact de différentes politiques d'approvisionnement et de production sur la décision de conception de la chaîne en utilisant à cet effet les techniques de la simulation.

Bibliographie

[Adiche, 02] Z.A Adiche, "Développement d'un module d'aide à la décision pour le choix faire ou faire faire", *Mémoire de DEA*, École Nationale Supérieure de Génie Industriel – Institut National Polytechnique de Grenoble, France, Juin (2002).

[Ahmadi et Tang, 94] R.H. Ahmadi et C.S. Tang, "Production allocation with dual provising", *European journal of operational research*, vol 75, pp186-199, (1994).

[Akbari Jokar, 01] R. Akbari Jokar, "Sur la conception d'un système logistique industriel", *Thèse de doctorat*, Institut Nationale Polytechnique de Grenoble, Décembre (2001).

[Anderson et Schimittlein, 84] E. Anderson et D. Schimittlein; "Integration of the sales force : an empirical examination", *Rand journal economies*, vol 15, pp 385-395, Autumn (1984).

[Anderson et Weitz, 86] E. Anderson et B.A Weitz, "Make or buy decisions : vertical integration and marketing productivity", *Sloan Management Review*, pp 3-19, Spring, (1986).

[Anupindi et Akella, 93] R. Anupindi et R. Akella, "Diversification under supply uncertainty", *Management Science*, vol 39, N°8, pp 944-963, Août (1993).

[Arntzen et al., 95] B.C. Arntzen, G.G. Brown, T.P. Harrison, L.L Traflon, "Global supply chain management at digital equipment corporation", *Interfaces*, vol 25, N°1, pp 69-93, (1995).

[Ballou, 95] R. H. Ballou, "Logistics Network Design : Modeling and informational considerations", *The International Journal of Logistics Management*, vol. 6, N° 2, pp 39-54, (1995).

[Barreyre, 88] P.Y Barreyre, "The concept of "impartition" policies : a different approach to vertical integration strategies", *Strategic Management Journal*, vol. 9, pp 507-520, (1988).

[Bartmess et Cerny, 93] A. Bartmess et K. Cerny, "Building competitive advantage through a global network of capabilities", *California management review*, pp 78-103, winter (1993).

[Baudry, 95] B.Baudry, *L'économie des relations inter-entreprises*, Edition la découverte, Paris, (1995).

[Beamon, 98] B.M. Beamon, "Supply chain design and analysis : models and methods", *International Journal of production economics*, vol. 55, pp 281-294, (1998).

[Bender et al., 85] P.S. Bender, R.W Brown, M.H Issac et J.F. Shapiro, "Improving purchasing productivity at IBM with a normative decision support system", *Interfaces*, vol 15, pp 106-115, (1985).

[Bossuet et *al.*, 97] C. Bossuet, J. Lamothe, G. Lacoste, "Analyse des formes de coopération interentreprises : influence des niveaux informationnels", *2^{ème} congrès franco-Québécois, "Le Génie industriel dans un monde sans frontière"*, Albi, France, 3 au 5 septembre (1997).

[Bouchriha et *al.*, 02 a] H. Bouchriha, P. Ladet, et S D'Amours, "Un modèle mathématique pour la conception d'une chaîne logistique en réponse au choix de faire ou faire-faire", *Conférence Internationale francophone d'Automatique*, Nantes, France, juillet (2002).

[Bouchriha et *al.*, 02 b] H. Bouchriha, S D'Amours et P. Ladet, "A make or buy decision model with economies of scale", *IEEE international Conference on System, Man and Cybernetic*, October (2002).

[Bouchriha et *al.*, 02 c] H. Bouchriha, S D'Amours et P. Ladet, "Vers un outil d'aide à la décision pour la conception d'une chaîne logistique prenant en compte la décision faire ou faire-faire", *Note interne*, Laboratoire d'Automatique de Grenoble, CoteAP02-048, (2002).

[Bouchriha et Ladet, 01] H. Bouchriha et P. Ladet, "Une modélisation mathématique du problème de la décision de « faire ou faire-faire »", *3^{ème} Conférence Francophone de Modélisation et SIMulation "Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels"*, (2001).

[Bouchriha et Ladet, 02] H. Bouchriha et P. Ladet, "Une modélisation mathématique de la décision de faire ou faire-faire", *Journal Européen des Systèmes Automatisés, "Conception et planification des chaînes de production"*, vol 36, N°1, pp 131-148, (2002).

[Bouchriha, 99] H. Bouchriha, "Etude d'une relation de sous-traitance du point de vue du fournisseur : fonctions et perturbations", *Mémoire de DEA*, École Nationale Supérieure de Génie Industriel – Institut National Polytechnique de Grenoble, France, Juin (1999).

[Brown et *al.*, 87] G. Brown, G. Graves et M. Honczarenko, "Design and operation of a multicommodity production/distribution system using primal goal decomposition", *Management science*, vol. 33, N°11, pp 1469-1480, November (1987).

[Buffa et Jackson, 83] F.P. Buffa et W.M. Jackson, "A goal programming model for purchasing planning", *Journal of Purchasing and Materials Management*, pp 27-34, (1993).

[Burns et *al.*, 85] L. D. Burns, R. W. Hall et D. E. Blumenfeld, "Distribution strategies that minimize transportation and inventory costs", *Operation research*, vol 33, pp 469-490, May-June (1985).

[Calvi, 98] R. Calvi, "L'externalisation des activités d'achat : l'apport de la théorie des coûts de transaction", *Série recherche, C.E.R.A.G.*, 15 p, Septembre (1998).

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

[Camm et al., 97] J.D. Camm, T.E. Chorman, F.A Dill, J.R Evans, D.J. Sweeney et G.W Wegryn, "Blending OR/MS, Judgment, and GIS : Restructuring P&G's supply chain", *Interfaces*, vol 27, N°1, pp 128-142, January-February (1997).

[Capet et Hoflack, 78] M. Capet et J. Hoflack, *Gestion de l'entreprise Sous-traitante*, Economica, (1978).

[Capet, 89] M. Capet, *Sous-traitance : Aspects économiques et financiers*, Encyclopédie de gestion, Economica, (1989).

[Chaillou, 79] B. Chaillou, "Définition et typologie de la sous-traitance", *Revue économique*, (1979).

[Coase, 37] R.H. Coase, "The nature of the firm", *Economica*, vol 4, pp 386-405, (1937).

[Cohen et Lee, 88] M.A Cohen et H.L Lee, "Strategic analysis of integrated production-distribution systems : Models and methods", *Operation research*, vol. 36, N°2, pp 216-228, (1988).

[Cohen et Lee, 89] M.A Cohen et H.L Lee, "Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks", *Journal of manufacturing and operation management*, vol 2, pp 81-104, (1989)

[Cohen et Moon, 91] M. Cohen et S. Moon, "An integrated plant loading model with economies of scale and scope", *European journal of operation research*, N° 50, pp 266-279, June (1991).

[Cplex, 98] *Cplex 6.0 documentation supplement*, ILOG, 322 p, (1998).

[Current et Weber, 94] J.R. Current et C.A. Weber, "Application of facility location modeling constructs to vendor selection problems", *European Journal Of Operational Research*, N° 76, pp 387-392, (1994).

[D'Amours et al., 96] S D'Amours, B. Montreuil, et F. Soumis "Price-based planning and scheduling of multiproduct orders in symbiotic manufacturing network", *European journal of operational research*, vol 96, N°1, pp148-166, (1996).

[D'Amours, 95] S. D'Amours, "La planification des opérations en réseaux manufacturiers symbiotiques", *Thèse de doctorat*, École Polytechnique de Montréal, août (1995).

[Darréon et Faiçal, 93] J. L. Darréon et S. Faiçal, "Les enjeux des partenariats stratégiques entre grandes entreprises et PME", *Revue Française de Gestion*, Septembre - octobre (1993).

[Degraeve et Roodhooft, 99] S.A, Zeger Degraeve et Filip Roodhooft, "Improving the efficiency of purchasing process using total cost of ownership information : the case of

heating electrodes at at cockerill Sambre", *European journal of operational research*, N° 112, pp 42-53, (1999).

[Deming, 86] W.E Deming, *Out of the crisis*, MIT center of advance engineering study, (1986).

[Dickson, 66] G.W. Dickson, "An analysis of vendor selection systems and decisions", *Journal of Purchasing*, Vol 2, N° 1, pp 5-17, (1966).

[Dussauge et Garette, 91] P. Dussauge et B. Garette, "Alliances stratégiques : mode d'emploi", *Revue française de gestion*, septembre-octobre (1991).

[EZMod, 01] *EZMod, User guide for Windows 95/98 and Windows NT*, version 2.0 (Delphi Version), MODELLIUM INC, 80 p, (2001).

[Fayoraman et al., 99] V. Fayoraman, R. Srivastava et B.C. Benton, "Supplier selection and Order Quantity Allocation: A comprehensive Model", *The journal of supply chain management*, pp 50-58, Spring (1999).

[Ford et al., 93] D. Ford, B. Cotton, D. Farmer, A. Gross, et I. Wilkinson, "Make or buy decisions and their implications", *Industrial Marketing Management*, N°22, pp 207-214, (1993).

[Ford et Farmer, 86] D. Ford et D. Farmer, "Make or buy – a key strategic issue", *Long Range Planning*, vol. 19, N° 5, pp 54-62, (1986).

[Fourar-Laidi, 02] F. Fourar-Laidi, "Le choix du fournisseur en fonction des différentes politiques d'approvisionnement", *Mémoire de DEA*, École Nationale Supérieure de Génie Industriel – Institut National Polytechnique de Grenoble, France, Juin (2002).

[Ganeshan et al., 99] R. Ganeshan, J. Tyworth, Y. Guo, "dual sourced supply chains : the discount supplier option", *Transportation research part E*, N° 35, pp 11-23, (1999).

[Geoffrion et Graves, 74] A. M. Geoffrion et G. W. Graves, "Multicommodity distribution system design by benders decomposition", *Management science*, vol 20, N° 5, pp 822-844, January (1974).

[Giard, 81] V. Giard, *Gestion de la production : calcul économique*, Economica, 667 p, Paris, (1981).

[Gregory, 86] R.E. Gregory, "Source selection : a matrix approach", *Journal of purchasing and materials management*, pp 24-29, (1986).

[Greis et Kasarda, 97] N. P. Greis et J. D. Kasarda, "Entreprise Logistics in the information Era", *California Management Review*, vol 39, N° 3, pp 55-78, Spring (1997).

[Guitouni, 00] A. Guitouni, "Aide à la décision", *Notes de cours*, faculté des sciences d'administration, Université Laval, Québec - Canada, (2000).

[Hall, 96] D. Hall, *Teach yourself Delphi 2*, New York, NY : MIS:Press, 322 p, (1996).

[Hammami et al., 01] A. Hammami, P. Burlat et J-P Campagne, "Contribution à la conception et au pilotage d'une entreprise réseau, 3^{ème} *Conférence Francophone de Modélisation et SIMulation "Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels"*, (2001).

[Harrigan, 88] K.R. Harrigan, "Joint ventures and competitive strategy", *Strategic Management Journal*, vol 9, pp 141-158, (1988).

[Hiller et Liberman, 01] F.S. Hillier et G.J. Liberman, *Introduction to operation research*, Mac Graw Hill, 1214 p, New York (2001).

[Jacob et al., 96] R. Jacob, P-A Julien, et L. Raymond, "Un modèle de l'entreprise réseau : concepts, technologies et expériences", *Entreprise étendue et commerce électronique, II^{ème} colloque international du management des réseaux d'entreprise*, Ecole des HEC, Université de Lausanne, Suisse, septembre (1996).

[John et Weitz,88] G. John et B.A Weitz, "Forwar integration into distribution : an empirical test of transaction cost analysis", *Journal of Law, Economics, and Organization*, N°4, pp 337-355, (1988).

[Kaffel et al., 99] H. Kaffel, S. D'Amour et D. Aït-Kadi, "une approche réseau pour la conception d'un système de gestion de la maintenance", 3^{ème} *congrès international de génie industriel*, (1999).

[King, 94] W.R. King, "Strategic outsourcing decision", *Information systems management*, pp 58-61, fall (1994).

[Kogut, 85] B. Kogut, "Designing global strategies : profiting from operational flexibility", *Sloan Management review*, pp 27 – 38, fall (1985).

[Laios et Moshuris, 97] L. Laios et S. Moshuris, "A decision support system for make or buy in an aircraft maintenance facility", *Production and inventory management journal*, pp 22-27, fourth quarter (1997).

[Laios et Moshuris, 99] L. Laios et S. Moshuris, "An empirical investigation of outsourcing decision", *The journal of supply chain management*, pp 33-41, Winter (1999).

[Lakhal et al., 01] S. Lakhal, A. Martel, O. Kettani et M. Oral, "On the optimization of supply chain networking decisions", *European journal of operational research*, N° 129, pp 259-270, (2001).

[Lakhal, 98] S. Lakhal, "Vers une approche formelle d'aide à la décision dans l'entreprise réseau", *Thèse de doctorat*, Université Laval, Québec, (1998).

[Lakhal et al., 98] S. Lakhal, A. Martel, O. Kettani et M. Oral, "Un modèle mathématique de réseautage des activités de l'entreprise réseau", *Document de travail* 1998-012, Faculté des Sciences de l'Administration, Université Laval, Québec, Canada, (1998).

[Le Blanc, 93] L.A. Le Blanc, "Strategic sourcing for information processing functions", *Proceedings of the ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, Indianapolis, USA, pp 782- 789, (1993).

[Lee et Billington, 92] H.L. Lee et C. Billington, "Managing supply chain inventory : Pitfalls and opportunities", *Sloan Management review*, pp 65-73, spring (1992).

[Lee et Billington, 93] H.L. Lee et C. Billington, "Material management in decentralized supply chain", *Operation research*, vol 41, N°5, pp 835-847, (1993).

[Lee et Zipkin, 89] S.B Lee et P.H. Zipkin, "A dynamic lot-size model with make or buy decision", *Management sciences*, vol 35, No 4, pp 447-458, April (1989).

[Lefrançois, 94] J.P Lefrançois, "Costing production operations for coordinated cost-directed distributed scheduling", *Document de travail 94-60*, Centre de service d'orientation et de recherche sur la compétitivité internationale et l'ingénierie de l'entreprise réseau, Université Laval, (1994).

[Levy, 85] D.T Levy, "The transaction cost approach to vertical integration : an empirical investigation", *Review of Economics and Statistics*, N°67, pp 438-445, (1985).

[Li et Kouvelis, 99] C.L Li et P. Kouvelis, "Flexible and risk-sharing supply contracts under price uncertainty", *Management Science*, Vol 45, N° 10, pp 1378-1398, Octobre (1999).

[MacCormack et al., 94] A. D MacCormack, L.J. Newman III et D.B Rosenfield, "The new dynamics of global manufacturing site location", *Sloan management review*, pp 69-80, Summer (1994).

[Malcom, 97] S. Malcom, *Strategic purchasing & supply chain management*, The institute of purchasing and supply, Finacial Times, Prentice Hall, second édition (1997).

[Malhoney, 92] J.T. Malhoney, "The choice of organisational form : vertical financial ownership versus other methods of vertical integration", *Strategic Management Journal*, N° 13, pp 559-584, (1992).

[Martel et al., 97] A. Martel, M. Oral, S. Lakhal et B. Montreuil, "Network companies and competitiveness : a framework for analysis", *Document de travail*, Centre de recherche Centor, Université Laval, (1997).

[Martel et Vankatadri, 99] A. Martel et U. Vankatadri, "Optimizing supply network structures under economies of scale", *Document de travail*, Centor, Université Laval, janvier (1999).

[Martel, 01 a] A. Martel, "Coûts logistiques et création de valeur", *Cours MBA gestion manufacturière et logistique : Conception et Gestion de chaînes logistiques*, chapitre 2, pp 51-94, Faculté de sciences et d'Administration, Université Laval, Québec, Canada, (2001).

[Martel, 01 b] A. Martel, "Le choix de moyens de transport", *Cours MBA gestion manufacturière et logistique : Conception et Gestion de chaînes logistiques*, chapitre 4, pp 130-166, Faculté de sciences et d'Administration, Université Laval, Québec, Canada, (2001).

[Martel, 01 c] A. Martel, "Généralisation du modèle d'optimisation d'un réseau de ravitaillement", *Cours MBA gestion manufacturière et logistique : Conception et Gestion de chaînes logistiques*, chapitre 7, pp 221-256, Faculté de sciences et d'Administration, Université Laval, Québec, Canada, (2001).

[Martel, 01 d] A. Martel, "Un modèle général pour l'optimisation de réseaux logistiques", *4^{ème} congrès international de génie industriel*, Marseille, France, Juin (2001).

[Martel, 98] A. Martel, "Mission et localisation des installations du réseau logistique", *cours de baccalauréat*, Université Laval, (1998).

[Mazella et Rangone, 00] C. Mazella et A. Rangone, "A contingent approach to the design of vendor selection systems for different types of cooperative customer / supplier relationships", *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, No.1, pp 70-84, (2000).

[Masten, 84] S. Masten, "the organization of production : evidence from the aerospace industry", *Journal of law and economics*, N°27, pp 403-417, (1984).

[Milgrom et Roberts, 97] R. Milgrom et J. Roberts, *Economie, Organisation et Management*, traduit de l'américain sous la dir. de Bernard Ruffieux, Presses Universitaires de Grenoble et De Boeck & Larcier, 829 p, Grenoble, France, (1997).

[Monczka et Trecha, 88] R.M. Monczka et S.J Trecha, "Cost based supplier performance evaluation", *Journal of Purchasing and Materials Management*, pp 2-7, (1988).

[Monteiro et al., 02] T. Monteiro, P. Ladet et H. Bouchriha , "Multi-criteria negotiation for a distributed control of a client/provider relationship", Accepté dans *Journal of Decision System*.

[Monteiro et al., 01] T. Monteiro, H. Bouchriha et P. Ladet, "Multi-criteria decision in a client/provider relationship", *7th IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*, Miedzyzdroje (Pologne), août (2001).

- [Monteiro, 01] T. Monteiro, "Conduite distribuée d'une coopération entre entreprises : le cas d'une relation donneur d'ordres-fournisseur", *Thèse de doctorat*, Institut Nationale Polytechnique de Grenoble, France, (2001).
- [Nam et al., 95] K. Nam, A. Chaudhury, H. Rao, "A mixed integer model of bidding strategies for outsourcing", *European Journal Of Operational Research*, N° 87, pp 257-273,(1995).
- [Narasimhan et Staynoff, 86] R. Narasimhan et L.K. Staynoff, "Optimizing aggregate procurement allocation decision", *Journal of Purchasing and Materials Management*, N° 30, pp 23-30, (1986).
- [Narasimhan, 83] R. Narasimhan, "An analytical approach to supplier selection", *Journal of purchasing and material management*, vol. 19, n°1, pp 27-32, winter (1983).
- [Ngwenyama et Bryson, 99] O.K. Ngwenyama et N. Bryson, "Making the information systems outsourcing decision : A transaction cost approach to analyzing outsourcing decision", *European Journal Of Operational Research*, N°115, pp 351-367, (1999).
- [Nydick et Hill, 92] R.L. Nydick et R.P. Hill, "Using the analytic Hierarchy Process to structure the supplier selection procedure", *International Journal of Purchasing and Materials Management*, Spring (1992).
- [Osier et al., 97] D. Osier, S. Batson et S. Grobman, *Apprenez Delphi 3 en 14 jours*, Le programmeur, 568 p, (1997).
- [Paché 96] G. Paché, *L'entreprise en réseau entre mythes et réalités*, Gestion 2000, (1996).
- [Padillo et Diaby, 99] J.M. Padillo et M Diaby, "A multi criteria decision methodology for make or buy problem", *International Journal of Production Research*, vol 37, N° 14, pp 3203-3229, (1999).
- [Padillo et Meyersdorf, 96] J.M. Padillo et D. Meyersdorf, "The make or buy problem : a multidimensional perspective of foundry decisions", *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, (1996).
- [Pan, 89] A.C. Pan, "Allocation of order quantity among suppliers", *Journal of Purchasing and Materials Management*, pp 36-39, (1989).
- [Pecqueur et al., 96] B. Pecqueur, S. Thivin, et C. Zampa, "La diversité des formes de coopération interentreprises : le cas des PME du sillon alpin, dans *Mutation économique et territoire:Quelles réalités en Rhône-Alpes*, IRPED, p 177-190, (1996).
- [Perrotin et Loubere, 96] R. Perrotin et J. M. Loubere, *Nouvelles stratégies d'achat*, les éditions Organisation, 285 p, Paris (1996).

- [Porter, 85] M. Porter, *The Competitive advantage of nations*, Free Press, New York, (1985).
- [Poulin et al., 94] D. Poulin, B. Montreuil, S. Gauvin, *L'entreprise réseau, bâtir aujourd'hui l'organisation de demain*, Publi-Relais, (1994).
- [Powell, 90] W.Powell, "Neither market nor hierarchy : Network forms of organization", *Research in organizational behavior*, vol. 12, pp 295-336, (1990).
- [Quinn et Hilmer, 94] J.B. Quinn et F.G. Hilmer, "Strategic Outsourcing", *Sloan Management Review*, pp 43-55, summer (1994).
- [Rensmann, 96] J. Rensmann, *Delphi 2*, Micro Application, Formation, (1996).
- [Roodhooft et Konings, 96] F. Roodhooft et J. Konings, "Vendor selection and evaluation : an activity based costing approach", *European Journal Of Operational Research*, N° 96, pp 97-102, (1996).
- [Rota, 98] K. Rota, "Coordination temporelle de centres gérant de façon autonome des ressources - application aux chaînes logistiques intégrées en aéronautique", *Thèse de doctorat*, Université Paul Sabatier et ONERA, Toulouse, France, (1998).
- [Roy et Bouysson, 93] B. Roy et D. Bouysson, *Aide multicritère à la décision*, Economica, Paris, (1993).
- [Sabri et Beamon, 00] E.H Sabri, B.M Beamon, "A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design", *OMEGA, The International Journal of Management Science*, N°28, pp 581-598, (2000).
- [Sakarovitch, 84 a] M. Sakarovitch, *Optimisation Combinatoire : Graphes et programmation linéaire*, Herman, Enseignement des sciences, 249 p, (1984).
- [Sakarovitch, 84 b] M. Sakarovitch, *Optimisation Combinatoire : Programmation discrète*, Herman, Enseignement des sciences, 269 p, (1984).
- [Sedarage et al., 99] D. Sedarage, O. Fujiwara, et H.T. Luong, "Determining optimal order splitting and reorder level for N-supplier inventory systems", *European Journal Of Operational Research*, N°116, pp 389-404, (1999).
- [Sehan, 99] J.F Sehan, *Delphi 4, Formation rapide, l'autoformation par l'exemple*, Dunod, (1999).
- [Sicard, 97] C. Sicard, "l'audit de la stratégie", Dunon, Paris, (1997).
- [Simchi-Levi et al., 00] D. Smichi-Levi, P. Kaminsky et E. Smichi-Levi, "Designing and managing the supply chain : concepts, strategies and cases studies", The Irwin/MCGRAW-HILL, 321 pages, (2000).

[Slats et al., 97] P.A.Slats, B. Bhola, J. Evers, G. Dijkhuizen, "Logistic Chain modeling, Logistic Chain modeling", *European Journal Of Operation Research*, vol 87, N°1, pp 1-20, (1997).

[Sokup, 87] W.R Soukup, "Supplier selection strategies", *Journal of Purchasing and Materials Management*, pp 7-12, (1987).

[Stevens, 85] J. Stevens, "The make or buy decision", *The purchasing Mix*, pp 207-219, (1985).

[Stucky et White, 93] J. stucky et D. White, "When and when not to vertically integrate", *Sloan management review*, pp 71-83, spring (1993).

[Swaminathan et Shanthikumar, 99] J.M. Swaminathan et G. Shanthikumar, "Supplier diversification : effect of discrete demand", *Operations research letters*, N°24, pp 213-221, (1999).

[Tayur et al., 00] S. Tayur, R. Ganeshan et M. Mgazine, *Quantitative models for supply chain management*, Kluwer Academic Publishers, 885 pages, (2000).

[Thomas et Griffin, 96]] S. Thomas et R. Griffin, "Coordinated supply chain management", *European Journal Of Operational Research*, N° 94, pp 1-15, (1996).

[Timmerman, 86] E. Timmerman, "An approach to vendor performance evaluation", *Journal of Purchasing and Materials Management*, pp 2-8, (1986).

[Tyworth et Ruis-Torres, 00] J.E. Tyworth et A. Ruis-Torres, "Transportation's role in the sole – versus dual-sourcing decision", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol 30, N° 2, pp 128-144, (2000).

[Vidal et Goetschalckx, 96] C. Vidal et M. Goetschalckx, *The role and limitations of quantitative techniques in the startegic design of global logistic system*, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, 29p, (1996).

[Vidal et Goetschalckx, 97] C. Vidal, M. Goetschalckx, "Strategic production-distribution models : a critical review whith emphasis on global supply chain models", *European Journal Of Operational Research*, N°98, pp 1-18, (1997).

[Viswanathan, 98] S. Viswanathan, "Optimal strategy for the integrated vendor-buyer inventory model", *European Journal of operation research*, N°105, pp 38-42, (1998).

[Walker et Weber, 84] G. Walker et D. Weber, "A transaction Cost approach to make or buy decisions", *Administrative science quaterly*, N°29, pp 373-391, Septembre (1984).

[Walker, 88] G. Walker, "Strategic Sourcing, vertical integration and transaction costs", *Interfaces*, vol 18, N°3, pp 62-73, May-June, (1988).

[Weber et al., 00] C.A. Weber, J.R. Current et A. Desai, An optimization approach to determining the number of vendors to employ, *Supply Chain management : An international journal*, vol 5, N° 2, pp 90-98, (2000).

[Weber et al., 91] C.A. Weber, J.R. Current et W.C Benton, "Vendor selection criteria and methods", *European Journal Of Operational Research*, N° 50, pp 2-18, (1991).

[Weber et Current, 93] C.A. Weber et J.R. Current, "A multiobjective approach to vendor selection", *European Journal Of Operational Research*, N° 68, pp 173-184, (1993).

[Welch et al. , 92] J.M Welch, A.D. Little, et P.R. Nayak, "Strategic Sourcing : A progressive approach to make or buy decision", *Academy Of Management Executive*, vol 6, N°1, pp 23-31, (1992).

[Williamson 85] O.E Williamson, *The Economic Institutions of Capitalism*, The free Press, New York, (1985).

[Williamson, 75] O.E Williamson, *Markets and hierarchies : analysis and antitrust implications*, New York : Free Press, (1975).

[Williamson, 81] O.E Williamson, "The economics of organization : the transaction cost approach", *American Journal of sociology*, Vol. 87, pp 548-577, November (1981).

[Williamson, 94] O.E Williamson, *Les institutions de l'économie*, Inter Edition, Paris, (1994).

[Wind et Robinson, 68] Y. Wind et P.J. Robinson, "The determinants of vendor selection : the evaluation of function approach", *Journal of Purchasing and Materials Management* , pp 29-41, (1968).

[X 50-300, 87] **Norme française X 50-300** : Organisation et gestion de la production industrielle : sous-traitance industrielle, vocabulaire.

Annexes

**Annexe 1 : Une grille d'analyse des critères
influençant la décision de faire ou faire-faire**

1. Les facteurs influençant le choix de faire - faire

| Les facteurs qualitatifs | | | |
|--|-----------------------|--|---|
| Qualité du produit | Conception du produit | Existence de dessins et spécification | |
| | | Réunion de spécifications requises | Sécurité d'usage Exigences du client Planning de production |
| | | Contrôle qualité | Existence de manuel de contrôle qualité |
| | | Existence d'équipement de contrôle qualité | |
| | | Existence de procédure de contrôle qualité | |
| | | | |
| Position financière de la firme | Liquidité | | |
| | Existence de capitaux | | |
| Fiabilité de l'offre | | | |
| Désir de développer des sources externes d'offre | | | |
| Les facteurs économiques | | | |
| Coût d'achat | Prix d'achat | | |
| | Coût de transport | Frets | |
| | | Tarifs | |
| | | Assurances | |
| | Coût de réception | | |
| Coût de contrôle qualité | | | |
| Echéances de paiement | | | |
| Les facteurs techniques | | | |
| Adéquation de la capacité de production | Personnel | Expérience | |
| | | Nombre d'employées | |
| | | Habilité d'occupation dans des postes différents | |
| | Equipement | Forme physique | |
| | | Taux d'obsolescence technologique | |

| | | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| | | Habilité d'occupation dans des postes différents | |
| Temps requis pour acheter le produit | Temps requis pour la négociation | | |
| | Temps d'exécution | | |
| | Délais | Charge de travail | |
| | | Déficit dans la matière première | |
| | | Grèves | |
| Capacité de production inadéquate | | | |

2. Les facteurs influençant le choix de faire

| Les facteurs qualitatifs | | | | |
|-----------------------------|---|---------------------------------------|---|--|
| Qualité du produit | Conception du produit | Existence de dessins et spécification | | |
| | | Réunion de spécifications requises | Sécurité d'usage Exigences du client Planning de production | |
| | | Contrôle qualité | Existence de manuel de contrôle qualité Existence d'équipement de contrôle qualité Existence de procédure de contrôle qualité | |
| | Position financière de la firme | Liquidité | | |
| | | Existence de capitaux | | |
| | Le désir d'une intégration verticale | | | |
| La réduction d'incertitudes | L'assurance des flux de matière | | | |
| | Le contrôle direct sur le processus de production | | | |
| | Contrôle direct du stock | | | |
| | Capacité à prévoir les fluctuations | | | |

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| | Fréquence des changements attendus au niveau des spécifications | | | |
| | Probabilité de progrès technologiques | | | |
| Le secret de conception | | | | |
| Les facteurs économiques | | | | |
| Coût de production | Coût de planification de la production | | | |
| | Coût d'installation | | | |
| | Coût d'achat de matériel indispensable | Matière première | | |
| | | Pièces de rechange | | |
| | Investissement requis | Equipement | | |
| | | Outils | | |
| | | Dépréciation du capital | | |
| | Coût de recherche et développement | Etablissement des cahiers de charges | | |
| | | Acquisition des manuels | | |
| | Coût de la main d'œuvre | Main d'œuvre directe | | |
| Main d'œuvre indirecte | | | | |
| Coût de contrôle qualité | | | | |
| Coût d'inventaire | | | | |
| Coût de maintenance des équipements | | | | |
| Les facteurs techniques | | | | |
| Adéquation de la capacité de production | Personnel | Expérience | | |
| | | Nombre d'employées | | |
| | | Habilité d'occupation dans des postes différents | | |
| | Equipement | Forme physique | | |
| | | Taux d'obsolescence technologique | | |
| | | Habilité d'occupation dans des postes différents | | |

| | | | | |
|------------------------|---|-----------------------------------|--|--|
| Temps faire le produit | Temps requis pour la conception | | | |
| | Délai d'exécution pour les outils et les biens d'équipement | | | |
| | Délai de transformation de la matière première | | | |
| | délais exigés pour le processus de fabrication | | | |
| | délais exigés pour le contrôle de la qualité | | | |
| | délais exigés pour le stockage du produit | | | |
| | Délais | Charge de travail | | |
| | | Déficit dans la matière première | | |
| | | Grèves | | |
| | | Capacité de production inadéquate | | |

Annexe 2 : Les méthodes de résolution des problèmes linéaires mixtes multi-objectifs

Les approches utilisées dans la littérature pour résoudre les problèmes linéaires avec objectifs multiples sont de deux types [Guitouni, 00] :

1. Une démarche classique

Elle consiste à :

- Appliquer le principe de dominance afin de réduire l'ensemble des actions à l'ensemble des actions efficaces ou encore non-dominées. Le principe de dominance est le suivant:

$$x'Dx \Leftrightarrow g_j(x') \geq g_j(x) \quad \forall j \text{ et } \exists j_0 / g_{j_0}(x') > g_{j_0}(x)$$

- utiliser les préférences du décideur pour explorer cet ensemble et le réduire à une seule solution.

Les méthodes utilisées sont :

- **la méthode de la somme pondérée** : avec cette méthode tous les objectifs sont agrégés en une fonction de valeur en leur attribuant des coefficients d'importance. Pour déterminer l'ensemble des solutions efficaces, nous faisons varier les coefficients de pondération entre [0,1].
- **la méthode avec seuil sur les objectifs** : c'est la méthode de l' ϵ -constraint ou la méthode des contraintes : cette méthode identifie les solutions non inférieures en optimisant l'un des objectifs sous les contraintes des valeurs des autres objectifs en leur définissant une borne inférieure. On obtient alors un nouveau problème mono-objectif. La formulation mathématique standard de cette méthode est la suivante :

$$\begin{aligned} \max_{\underline{x}} \underline{g}(\underline{x}) &\Leftrightarrow \max_{\underline{x}} \underline{g}_j(\underline{x}) \\ \text{sujet à } \underline{g}_k(\underline{x}) &\geq \varepsilon_k \text{ avec } k = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, n \\ \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n &\text{ étant les bornes inférieures des objectifs } \underline{g}_1, \underline{g}_2, \dots, \underline{g}_n \end{aligned}$$

2. Une démarche à objectif unique

Elle consiste à déterminer une fonction de valeur qui permet d'agrégier toutes les fonctions objectives :

- La méthode du **critère global** (aucune articulation des préférences)
- La méthode du **compromise programming** (avec articulation des préférences)
- La méthode du **goal programming**. C'est la méthode la plus utilisée. L'approche de base du goal programming (programmation par objectif ou encore programmation par but) est d'établir un but numérique spécifique pour chaque

objectif et de chercher une solution qui minimise la somme (pondérée) des écarts de ces fonctions objectifs de leur but respectif. Selon le degré d'importance de chaque critère vis-à-vis de l'autre, nous distinguons deux cas de figures : [Hiller et Liberman, 01]

- **Non-preemptive goal programming** : les différents objectifs ont un degré d'importance comparable. Le nouvel objectif qui est considéré minimise la pénalité de l'écart par rapport aux buts (b_j), sous contraintes que les premiers objectifs (g_j) soient satisfaits en tenant compte des écarts positifs et négatifs par rapport aux buts (variables auxiliaires). La formulation de la méthode du non-preemptive goal programming dans sa forme standard est :

$$\begin{aligned} \min_{\underline{x} \in A} \sum_{j=1}^n |g_j(\underline{x}) - b_j| & \Leftrightarrow \min_{\underline{x} \in A} \sum_{j=1}^n (\delta_j^+ - \delta_j^-) \\ \text{Sujet à } C_1(\underline{x}) \leq 0 \quad 1 = 1, 2, \dots, L & \quad \text{Sujet à } C_1(\underline{x}) \leq 0 \quad 1 = 1, 2, \dots, L \\ & \quad g_j(\underline{x}) - \delta_j^+ + \delta_j^- = b_j \\ & \quad \delta_j^+, \delta_j^- \geq 0 \end{aligned}$$

- **Preemptive goal programming** : une certaine priorité est accordée à chaque objectif (hiérarchie). Dans ce cas, nous distinguons les objectifs de première priorité, les objectifs de seconde priorité et les objectifs de troisième priorité. Deux méthodes peuvent être appliqués :
 - **The sequential procedure** : appliquer la méthode Simplexe avec un seul objectif qui correspond à celui de première priorité [Sakarovitch, 84 a]. Si on aboutit à une seule solution, c'est la solution à considérer. Si plusieurs solutions sont possibles, ré-appliquer la méthode simplexe en tenant compte de l'objectif de seconde priorité cette fois-ci, ainsi qu'une solution trouvée par la première optimisation.
 - **The streamlined procedure** : Attribuer un facteur de pondération important (M) pour la pénalité qui correspond à l'écart par rapport à l'objectif de première priorité. Le nouvel objectif à considérer correspond à la somme pondérée des pénalités des écarts par rapport aux buts (idem que non-preemptive goal programming). On obtient alors un problème linéaire mono-objectif qui sera résolu par les méthodes usuelles selon la valeur de M considérée.

Annexe 3 : Description de l'outil développé

1. Présentation des logiciels utilisés

1.1. Présentation générale d'EZMod

1.1.1. L'architecture générale d'EZMod

Pour construire notre outil d'aide à la décision, nous nous sommes basés sur le logiciel EZMod commercialisé par la société MODELLIUM. EZMod regroupe un ensemble de composants logiciels qui facilitent le développement des applications contenant des modules d'optimisation. Les composantes logicielles du système EZMod permettent de modéliser et de résoudre les problèmes de programmation linéaire et non linéaire à variables continues et discrètes [EZMod, 01].

EZMod possède une bibliothèque de fonctions pour la modélisation et la résolution de programmes linéaires, en nombres entiers, mixtes ainsi que quadratiques en nombres entiers et mixtes. Il permet également d'avoir un accès transparent pour les solveurs commerciaux tels que CPLEX, XPRESS-MP et FRONTLINE SYSTEMS, ce qui rend la modélisation complètement indépendante du solveur utilisé. Les composants d'EZMod fonctionnent sous Windows 95/98, NT 4.0/ 2000, et sont accessibles, selon les préférences du développeur, à partir de plusieurs environnements de programmation tels que Delphi, Borland C/C++, Microsoft Visual C ou Visual Basic, ce qui permet au développeur d'implémenter des logiciels basés sur la programmation mathématique sans avoir une expertise des solveurs utilisés. EZMod permet ainsi de gérer toute interaction entre votre l'application et le solveur.

Il s'agit donc pour le développeur de modéliser le modèle mathématique (fonctions objectives et contraintes) en utilisant les fonctions EZMod. L'utilisateur devra ensuite pouvoir rentrer ses données ou encore les faire varier au sein de l'application et accéder directement à la solution grâce à des fonctions EZMod programmés par le développeur. L'architecture d'EZMod est présentée à la figure 59.

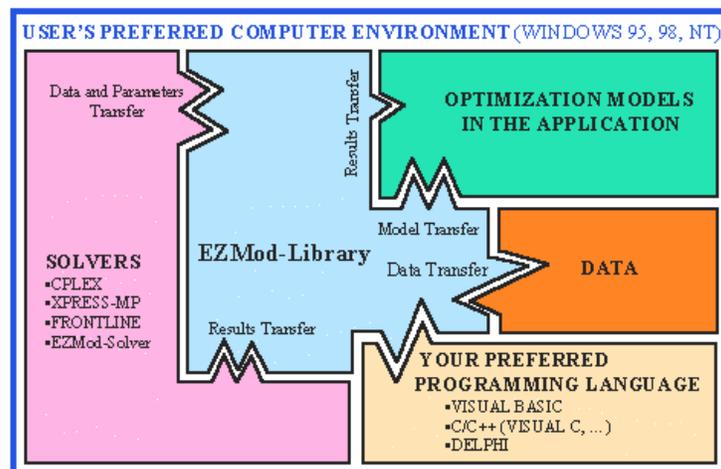


Figure 59 : L'architecture d'EZMod

1.1.2. Les fonctions d'EZMod

Plus de 200 fonctions sont disponibles dans EZMod permettant de construire des logiciels basés sur la programmation mathématique. Ces fonctions sont de deux types : EZMod-MBE et EZMod-MSE. Le premier type de fonctions permettent de construire le modèle, le deuxième type de fonctions permettent de résoudre le problème. Ces dernières sont étroitement liées au solveur utilisé.

Les fonctions d'EZMod permettent de :

- Créer le problème, ses variables, ses fonctions objectifs et ses contraintes.
- Décrire et modifier les données du problème.
- Résoudre le problème.
- Choisir et modifier les paramètres du solveur.
- Accéder aux résultats
- Accéder aux statistiques du problème ce qui permet d'effectuer une analyse post-optimisation, en suivant les paramètres tels que le temps CPU, le nombre d'itération effectué pour obtenir la solution optimale, le nombre de nœuds etc.
- Générer des rapports tel que le fichier format .LP qui illustre le modèle généré par les fonctions EZMod et qui sera utilisé par les solveurs.

1.1.3. Le format général du problème et exemple de fonctions EZMod

Le format type d'un modèle mathématique qui peut être modélisé par les fonctions EZMod est illustré dans la figure 60 :

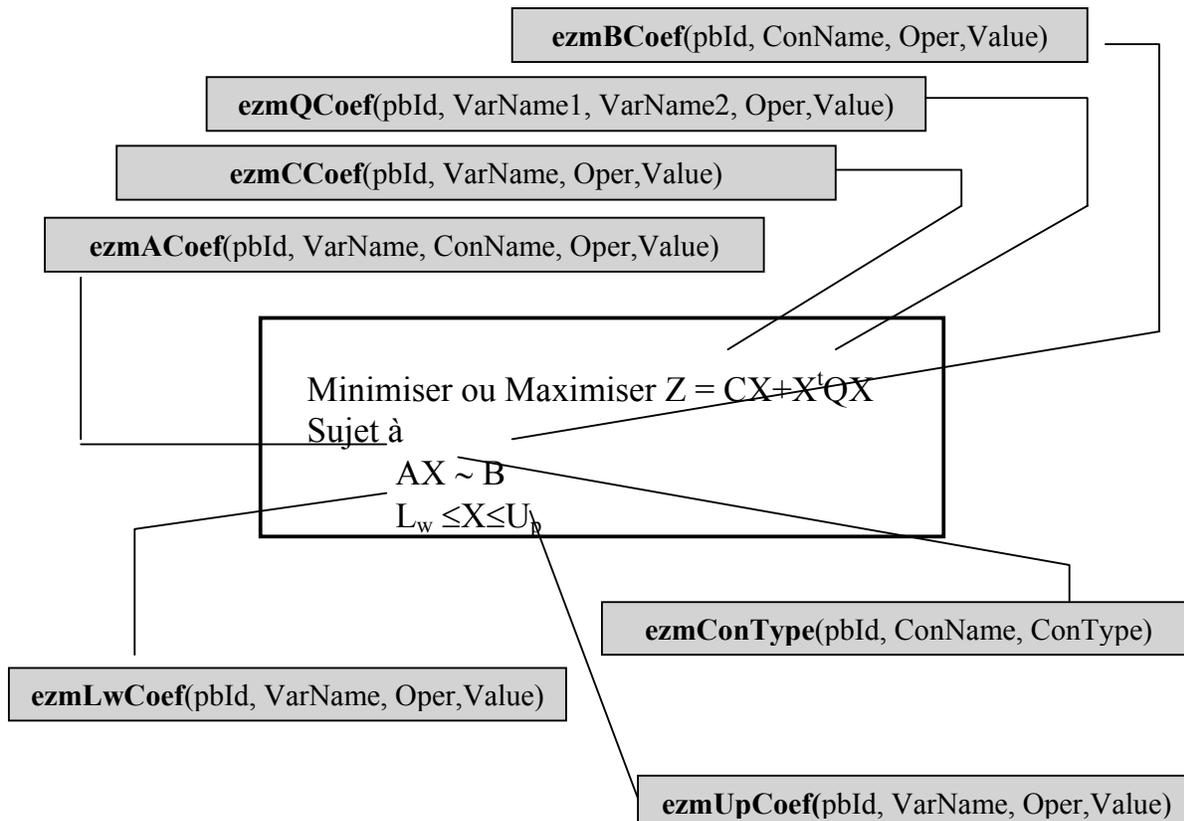


Figure 60 : Format standard d'un modèle mathématique

Avec :

- $X(n,1)$: vecteur représentant les variables de décision qui peuvent être continues, binaires ou entières.
- $C(1,n)$: vecteur représentant les coefficients de la partie linéaire de la fonction objectif.
- $Q(n,n)$: matrice représentant les coefficients de la partie quadratique de la fonction objectif. Pour un problème linéaire Q est la matrice nulle.
- $A(m,n)$: matrice représentant les coefficients des variables de décision dans les équations des contraintes.
- $B(m,1)$: vecteur représentant la partie droite des contraintes.
- $\sim(m,1)$: vecteur définissant le type des contraintes exemple ' \leq ' ; ' $=$ ' ; ' \geq ' ; etc.
- $L_w(n,1)$: vecteur définissant les bornes inférieures des variables de décision.
- $U_p(n,1)$: vecteur définissant les bornes supérieures des variables de décision.

A partir de cette représentation, des fonctions EZMod sont utilisées pour modéliser le problème. Nous citons ici quelques-unes de ces fonctions clés afin d'avoir une idée sur la manière dont le problème est modélisé. Il faut préciser que pour chaque modèle, une variable (PbId) est associée à l'aide de la fonction **ezmOpenPb** dont l'argument correspond au nom du problème et dont le résultat est le paramètre du modèle (PbId). Ceci permet de manipuler plusieurs modèles mathématiques en même temps, ce qui est notre cas car en appliquant la méthode du goal programming, nous sommes amenés à résoudre notre modèle plusieurs fois, en considérant à chaque fois un objectif différent.

ezmCCoef est une fonction qui spécifie pour un problème (PbId) et pour chaque variable (VarName), la valeur correspondante (Value) dans la fonction objectif, modulo l'opérateur indiqué (Oper).

ezmQCoef est une fonction qui spécifie pour le problème (PbId), une valeur (Value) qui correspond au coefficient relatif à la paire de variables (VarName1) et (VarName2), modulo l'opérateur indiqué (Oper).

ezmAcoef est une fonction qui spécifie pour un problème (PbId), pour une variable (VarName), le coefficient correspond (Value) par rapport à une contrainte donnée (ConName), modulo l'opérateur indiqué (Oper).

ezmConType est une fonction qui spécifie un type (ConType), pour la contrainte (ConName) relative au problème (PbId).

ezmBCoef est une fonction qui spécifie pour un problème (PbId), et pour une contrainte donnée (ConName), une valeur (Value) qui correspond au coefficient du vecteur B de la contrainte, modulo l'opérateur indiqué (Oper).

ezmLwCoef est une fonction qui spécifie pour un problème (PbId), et pour une variable donnée (VarName), une valeur (Value) qui correspond à sa borne inférieure, modulo l'opérateur indiqué (Oper).

ezmUpCoef est une fonction qui spécifie pour un problème (PbId), et pour une variable donnée (VarName), une valeur (Value) qui correspond à sa borne supérieure, modulo l'opérateur indiqué (Oper).

1.2. Présentation de l'environnement de programmation (Delphi)

Les fonctions EZMod communiquent avec plusieurs environnements de programmation tels que Delphi, Borland C/C++, Microsoft Visual C ou Visual Basic. Afin de programmer notre application, nous avons utilisé Delphi 5.0

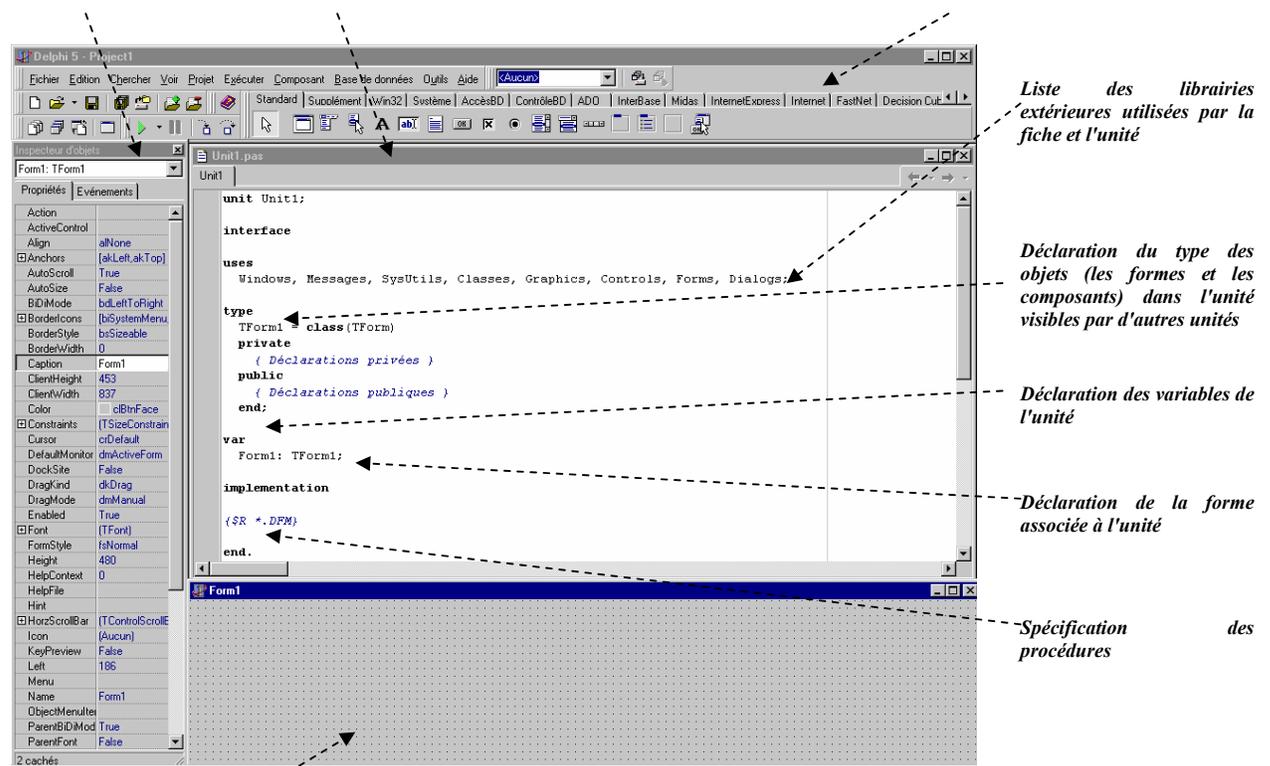
Delphi est un environnement de programmation Visuel basé sur le Pascal Objet qui est une extension orientée objet du langage Pascal. L'aspect "Visuel" est lié au fait que l'on peut voir ce qu'on est en train de construire au fur et à mesure qu'on avance dans la conception de l'interface. Les éléments de base relevés dans Delphi sont (cf. figure 61) : [Sehan, 99]

- **Les fiches** : Après le démarrage, Delphi affiche une fenêtre nommée Form1. Ce type de fenêtre, appelé *Fiche*, est le pivot de toute application Delphi : c'est la base de départ de toute application. Pour la rendre opérationnelle, des éléments (contrôles) Windows : les composants y sont insérés.
- **L'inspecteur d'objets** : placée à gauche de l'écran, la fenêtre de l'inspecteur d'objets affiche les propriétés de la fiche. Sous Delphi, une propriété est un paramètre de l'aspect et du fonctionnement d'un objet (exemple : sa taille, son nom etc.). En modifiant les paramètres affichés dans l'inspecteur objet, l'aspect de la fiche ou des composants associés sont modifiés.
- **La palette des composants** : elle donne accès aux éléments Windows qui peuvent être insérés dans la fenêtre de l'application. La palette des composants regroupe tous les types d'éléments d'une fenêtre Windows (exemple liste déroulante, zone de texte, bouton, etc.).
- **Les unités (éditeur de code)** : un code source est créé pour chaque fiche. Delphi se charge de le recueillir et de le gérer dans les unités. Certains composants comme les boutons peuvent être liés à des événements. Un événement est une action qui déclenche l'exécution d'une procédure (exemple, l'agrandissement d'une fenêtre en cliquant sur un bouton). Ces opérations sont définies dans le code source du programme.
- **Le projet** : le développement d'une application Windows peut nécessiter l'emploi de plusieurs fiches et de leur module de code source (unité) respectif. Contrairement à d'autres langages de programmation, Delphi n'organise pas le travail en fichiers de code séparés. Il regroupe tous les éléments du programme en un seul fichier : le projet. Ce fichier contient des fiches incluant des composants et des unités. Chaque projet sera converti en un fichier exécutable (.exe) qui correspondra à l'application Windows après compilation des différentes unités.

L'inspecteur d'objet

L'unité qui correspond à la fiche Form1

La palette des composants



Une fiche

Figure 61 : Une vue générale des fenêtres de Delphi

La notion la plus importante dans Delphi est la notion d'objet. Les objets sont les éléments qui composent le projet. Chaque objet est une entité à part entière avec ses caractéristiques (propriétés) et son code (les procédures événementielles) [Osier et al., 97].

Les fiches et les composants sont des exemples d'objet. Chaque objet réagit à des événements qui enclenchent des **procédures**. Chaque objet a des propriétés et des méthodes. Une **méthode** est une action que l'on applique à un objet. Certaines méthodes nécessitent des arguments. Les **propriétés** définissent les caractéristiques des objets. Chaque objet possède une ou plusieurs propriétés qui figurent dans la fenêtre des propriétés dans l'inspecteur d'objet [Hall, 96].

1.3. Présentation de l'outil d'optimisation (Cplex)

Le solveur que nous avons utilisé via EZMod est le Cplex 6.0. Il permet la résolution de programmes linéaires, programmes linéaires mixtes en nombres entiers, programmes non linéaires (quadratiques), ainsi que les problèmes de graphe. Il y a plusieurs manières d'introduire les données du problème pour Cplex tels que les fichiers de format .MPS ou encore .LP. Avec EZMod, nous allons utiliser la fonction **ezmWriteLP** afin d'écrire le programme généré dans un fichier de données .LP accepté par Cplex. [Cplex,98]

2. Description de l'outil développé

Dans ce paragraphe, nous décrivons l'aspect général de l'outil que nous avons développé, en présentant les fenêtres et les menus de notre application, ainsi que la manière dont les données sont introduites par l'utilisateur, et les interfaces permettant d'accéder aux résultats d'optimisation des différents scénarios.

Notre projet se compose de cinq formes et de cinq unités de code (cf. tableau 18) :

| Nom de la fiche | Nom de l'unité |
|---|----------------|
| Ecran Principal | Unit01.pas |
| Choix du critère | Unit02.pas |
| Optimisation selon le coût | Unit03.pas |
| Optimisation selon le taux d'utilisation des installations de la chaîne | Unit04.pas |
| Optimisation selon le coût et le taux d'utilisation de la chaîne | Unit05.pas |
| - | Ezmmbe.pas |

Tableau 18 : Composition du projet

Le fichier code contenant la description des fonctions EZMod (ezmbe.pas) est un fichier qui sera utilisé par toutes les autres unités (Unit03.pas, Unit04.pas, Unit05.pas), et figure donc dans la liste des *uses* de ces programmes (cf. Figure 62).

2.1. L'écran principal

Le premier écran est l'écran d'accueil de notre application (cf. figure 62). Notre application commence dès que nous cliquons sur le bouton "commencer" pour accéder à l'écran suivant qui correspond au choix du critère d'optimisation.

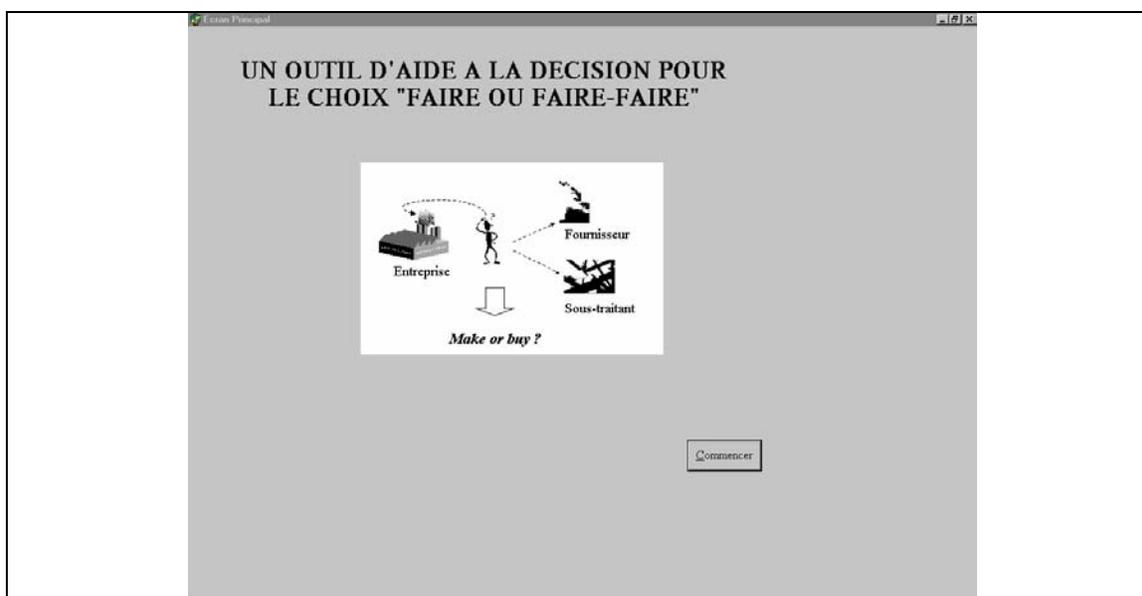


Figure 62: Ecran principal

2.2. L'écran "choix du critère d'optimisation pour la conception de la chaîne"

Rappelons que dans notre modèle, nous avons considéré le coût et le taux d'utilisation de la chaîne comme critères d'optimisation. Dans l'application de la méthode du goal programming, nous sommes amenés à optimiser notre modèle tout d'abord en minimisant le critère coût, ensuite en maximisant le taux d'utilisation de la chaîne afin de déterminer les buts (goals). Cet écran (cf. figure 63), nous permettra de choisir le critère d'optimisation à prendre en compte : soit le coût, soit le taux d'utilisation de la chaîne, soit les deux en même temps. Pour choisir ce dernier critère, il faut être certain que les deux premières optimisations ont été faites au préalable. A cet effet, nous prévoyons de mettre un astérisque en exposant, dès que l'option est choisie, afin que l'utilisateur puisse savoir qu'il a déjà effectué l'optimisation selon ce critère sélectionné. Afin de ne permettre la sélection que d'un seul critère à la fois, nous utilisons la liste de boutons radios (Composant *RadioGroup* sous Delphi). En cliquant sur le bouton qui correspond au critère d'optimisation choisi, puis sur le bouton "afficher", l'utilisateur accède à l'écran relatif au modèle correspondant afin de le générer, de le résoudre et d'accéder à sa solution.

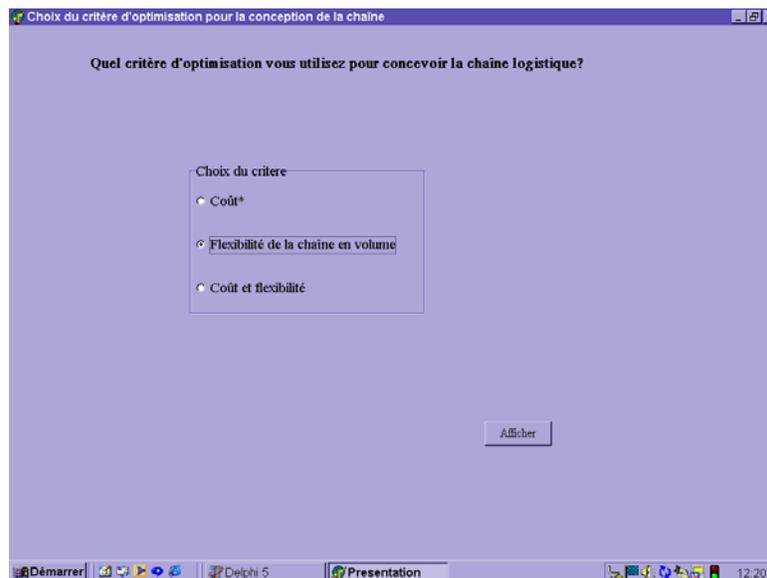


Figure 63 : L'écran qui correspond au choix du critère d'optimisation

2.3. L'écran "optimisation selon le coût"

Grâce à cet écran (cf. figure 64), l'utilisateur va pouvoir :

- Introduire les données du problème sous la forme d'un tableau.
- Générer le modèle d'optimisation.
- Résoudre le problème d'optimisation selon le coût et accéder aux résultats (variables de décisions) et au rapport des statistiques du modèle.

Pour effectuer toutes ces tâches, qui se traduisent par des procédures au niveau du code source (unité03), nous avons choisi d'intégrer un menu (Composant *MainMenu* sous Delphi).

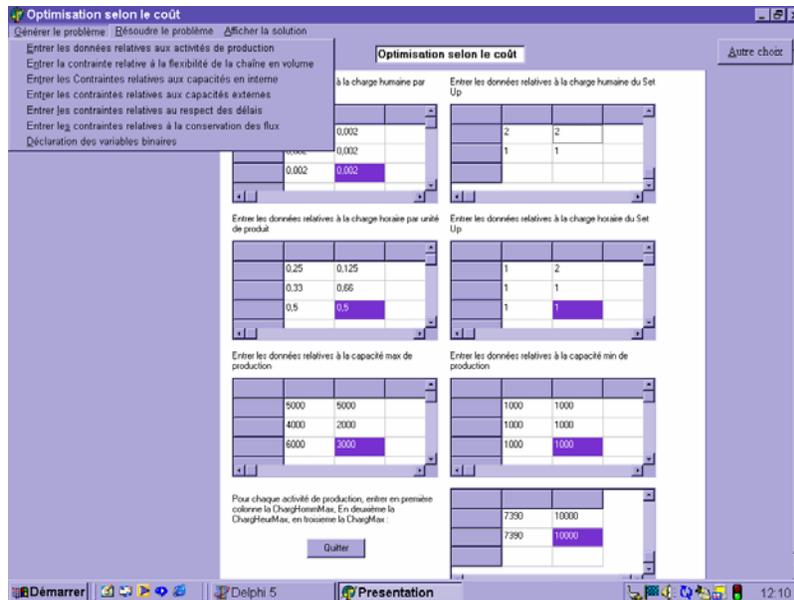


Figure 64 : L'écran "optimisation selon le coût"

Le menu se compose de trois rubriques :

- a) **Générer le problème** : Ce menu permet à l'utilisateur de rentrer les données du problème qui permettront de servir à la formulation du modèle mathématique. Ainsi,
- Les données relatives aux activités de production : ces données serviront à générer la première fonction objectif minimisant le coût de faire ou faire-faire.
 - Les données relatives à la flexibilité de la chaîne en volume (telle que la fiabilité des fournisseurs) qui serviront à générer la deuxième fonction objectif.
 - Les données relatives aux capacités internes (telles que les charges unitaires) permettant de générer les contraintes sur les capacités humaines et horaires par produit en interne et sur la capacité maximum d'une activité.
 - Les données relatives aux capacités externes. Par le biais de cette rubrique, l'utilisateur rentre les données relatives aux capacités minimales et maximales de transport des fournisseurs qui serviront à la formulation de la contrainte correspondante.
 - Les données relatives au respect des délais. Ici l'utilisateur intègre les délais moyens exigés pour chaque produit ainsi que les délais correspondant à la fabrication d'un lot en interne et à la livraison d'un lot de la part des fournisseurs externes.
 - Les données relatives à la conservation des flux. Grâce à ce menu, l'utilisateur introduit la matrice correspondant à la nomenclature des produits que nous avons scindée en deux matrices afin de faciliter la programmation. La première matrice correspond au routage en interne, la deuxième correspond au routage en externe. Pour la première matrice, pour chaque ligne correspondant à un premier produit en interne, nous indiquons dans la case correspondante à la colonne relative à un second produit en interne utilisant le premier produit, le nombre d'unités nécessaires pour la fabrication d'une unité du second produit. Pour la seconde matrice, nous effectuons le même raisonnement mais l'indice de colonne correspond à un fournisseur externe. Ainsi dans le cas d'un façonnage, nous indiquons le nombre d'unités correspondant à un premier produit en interne (indice de ligne), nécessaires pour la fabrication en externe d'une unité d'un second produit

par des fournisseurs externes (indice de colonne) concurrençant les activités en interne.

- Déclaration des variables binaires : grâce à des boutons radios, l'utilisateur précise les variables binaires du modèle.

En cliquant sur chaque rubrique du menu, l'utilisateur peut accéder à une fenêtre avec des tableaux (composant *StringGrid* sous Delphi) et aux composants d'édition de texte (Composant *Edit* sous Delphi) permettant de rentrer les données. A titre d'exemple, avec le menu "Entrer les données relatives aux activités de production" l'utilisateur rentre le nombre d'activités de production externalisable, le nombre de produits fabriqués par chaque activité, les coûts fixes et variables de production pour les activités en interne, le nombre de fournisseurs potentiels pour chaque produit, les coûts fixes et variables d'achat et de transport de la part des fournisseurs, ainsi que la valeur de la constante h du coût unitaire de possession de stock par période. Afin de guider l'utilisateur dans la manière de rentrer les données dans les tableaux, nous avons utilisé la propriété *ShowHint* du composant *StringGrid* permettant l'affichage d'une boîte d'aide (cf. figure 65). La manière dont les données sont rentrées dans les tableaux est très importante pour une génération correcte du modèle mathématique. Par exemple, pour le tableau qui correspond au coût d'achat de la part des fournisseurs, il est important de préciser que l'indice de ligne correspond à l'indice du produit, et que l'indice en colonne correspond à l'indice du fournisseur correspondant.

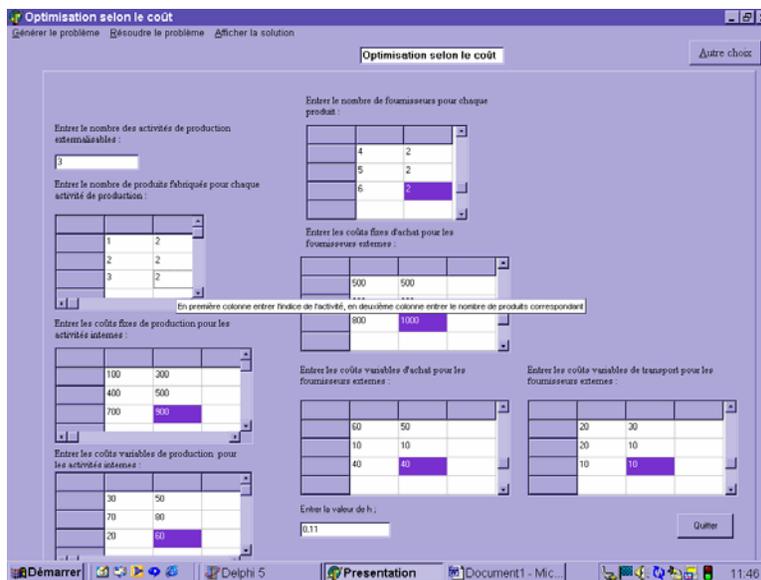


Figure 65 : Un exemple de texte d'aide

b) Résoudre le problème :

Dans ce menu, il n'y a qu'une seule rubrique qui permet d'afficher la fenêtre correspondant à la génération du problème et à sa résolution. Au départ, l'utilisateur coche les cases correspondant à la génération des paramètres du modèle (fonction objectif, contraintes, etc.). En cliquant sur le bouton *Résoudre*, la procédure qui correspond à la résolution du problème (*SolveProblem*) est exécutée. Dans cette procédure (cf. encadré 4), nous faisons appel à la procédure de génération du modèle (*GenerProblem*). Cette procédure utilise les fonctions Ezmod afin de générer la fonction objectif et les contraintes du modèle, en se basant sur les données introduites grâce au premier menu. Ainsi le problème est généré puis résolu en utilisant la fonction *ezmSolve* dès que nous avons précisé le solveur, ainsi que la méthode de résolution qui correspond à un problème linéaire mixte dans notre cas.

```

procedure TOptimisationSelonCout.SolveProblem ;
var Solver,Method : Integer ;
begin
  ezmShowErrors(EZM_ON);
  GenerProblem ;
  Solver:=EZM_CPLEX6;
  Method:=EZM_MIP;
  ezmSolve(PbId,Method,Solver,EZM_Close);
end;

```

Encadré 4: La procédure de résolution du problème

En cliquant sur le bouton *Générer Fichier LP*, le fichier format .LP, contenant le problème formulé et servant comme donnée pour le solveur utilisé, est généré en utilisant la fonction EZMod *ezmWriteLP*. Ainsi, le fichier est généré sous le nom indiqué au niveau d'un composant *Edit*, puis sera inséré dans un composant *Memo* permettant d'afficher les lignes de texte du modèle mathématique (cf. encadré 5).

```

procedure TOptimisationSelonCout.GenererFichierLPButtonClick(Sender: TObject);
begin
  // Ecrire le problème dans un fichier LP
  ezmWriteLP(PbId,NomFichierLPEdit.Text);
  FichierLPMemo.Lines.LoadFromFile(NomFichierLPEdit.Text);
end;

```

Encadré 5: La procédure de génération du fichier .LP

Une présentons ci-contre une image de cette fenêtre (figure 66).

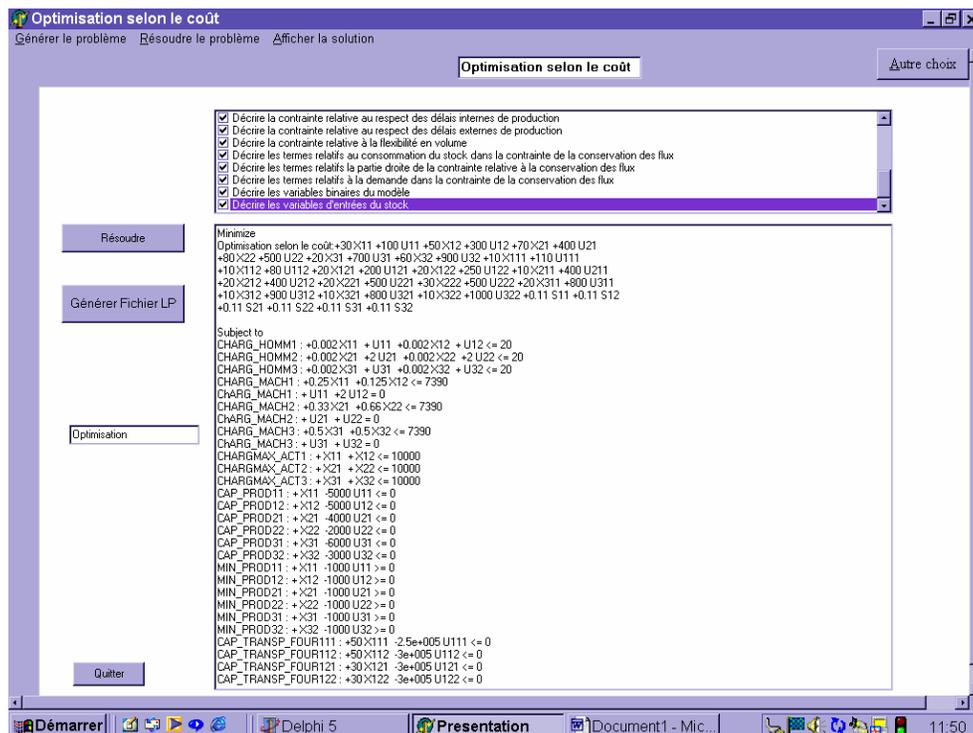


Figure 66 : le panel qui correspond à la génération du modèle

c) Afficher la solution :

Ce dernier menu possède trois rubriques :

- Afficher la solution : en cliquant sur cette rubrique, le *panel* (un composant «conteneur» regroupant plusieurs composants) contenant les résultats d'optimisation s'affiche. La procédure qui affiche la solution du modèle d'optimisation selon le coût s'exécute dès qu'on clique sur le bouton *Afficher*. Ainsi, les résultats relatifs aux variables de décision (binaires et réelles) s'affichent sous forme de tableaux (cf. figure 67). Nous avons également choisi d'afficher quelques statistiques liées à la résolution du modèle tel que le temps CPU qui donne une idée sur la complexité du problème, le nombre d'itérations, le nombre de variables, etc. La valeur obtenue de la fonction objectif, qui est insérée dans un composant *Edit*, constituera le but relatif au coût qui sera utilisé par le modèle multi-objectifs.
- Changer les paramètres : cette rubrique permet de ré-initialiser le modèle afin de changer ses données et d'effectuer plusieurs tests de scénarios. Une nouvelle valeur est attribuée au paramètre *PbId* associé au nouveau problème à résoudre. Ainsi, on n'est pas obligé de réintroduire toutes les données, il suffit seulement de modifier les données que l'on veut modifier après avoir cliqué sur le menu *changer paramètres*.

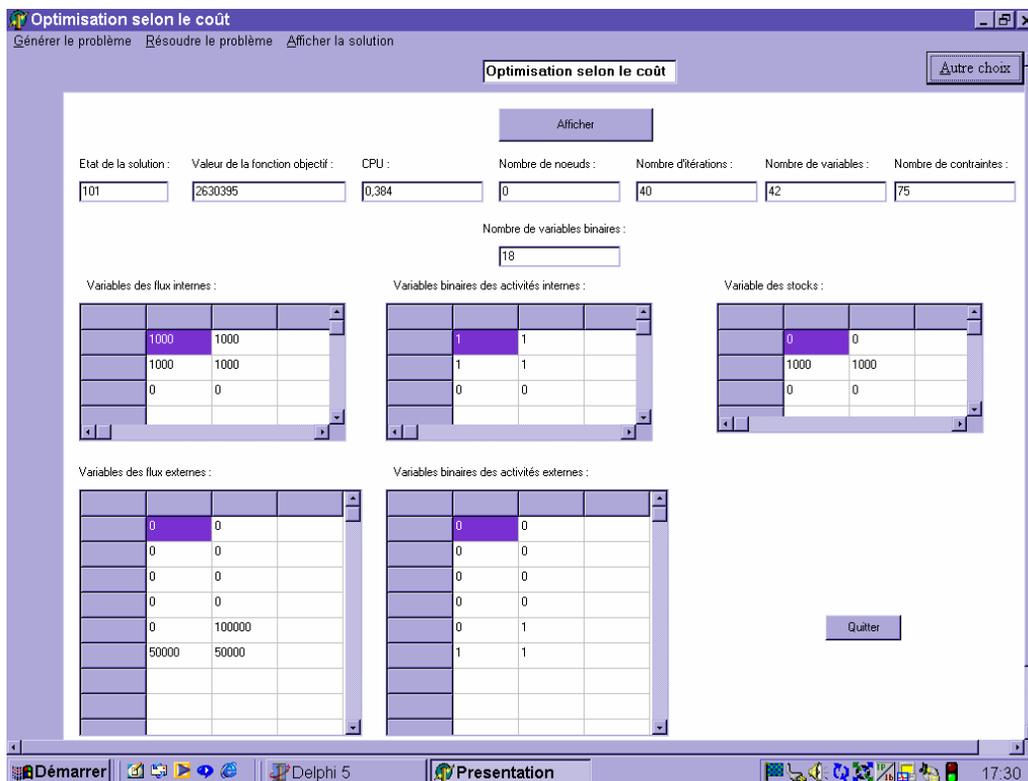


Figure 67 : Le panel qui correspond à l'affichage de la solution

Une fois l'optimisation selon le coût est terminée, l'utilisateur bascule vers l'écran qui correspond au choix du critère d'optimisation à l'aide de bouton *Autre choix*, afin de choisir un autre critère d'optimisation.

2.4. L'écran "optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne"

Dès que l'utilisateur clique sur l'option *Flexibilité de la chaîne en volume*, du groupe radio *Choix du critère* (cf. figure 63), l'utilisateur bascule vers la fenêtre qui correspond à la génération et à la résolution du modèle mathématique de conception de la chaîne en réponse au choix de faire ou faire-faire, et dont l'objectif considéré est de maximiser le taux d'utilisation de la chaîne. Pour générer ce modèle, nous utilisons les données introduites précédemment au niveau de la fiche *optimisation selon le coût*. En effet, même si nous avons basculé vers la fiche correspondant à l'*optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne*, la première reste toujours ouverte (nous l'avons seulement quittée) et les données qu'elle contient restent en mémoire et seront utilisées au niveau de l'unité Unit04, à condition de l'intégrer sous la rubrique des Usages de cette unité. Pour cela, nous utilisons la propriété d'héritage des objets.

A titre d'exemple, dans l'*Unit03* (qui génère le modèle mathématique d'optimisation selon le coût) et afin d'introduire le coefficient relatif à la capacité maximale de transport du fournisseur K, concurrençant la fabrication en interne du produit J par l'activité I, au niveau de la contrainte intitulé 'CAP_TRANSP_FOUR' du fournisseur correspondant, nous utilisons la coefficient de la colonne K et de la ligne L du tableau *CapMaxTransFourStringGrid*, qui est contenu dans l'objet fiche intitulé *OptimisationSelonCout*.

```
Value1:=StrToFloat(CapMaxTransFourStringGrid.Cells[K,L]);
ezmACoef(PbId1,'U'+IntToStr(I)+IntToStr(J)+IntToStr(K),'CAP_TRANSP_FOUR'+IntToStr(I)+IntToStr(J)+IntToStr(K),EZM_SET,-Value1);
```

Pour utiliser ce même coefficient à partir de l'*Unit04* (qui génère le modèle mathématique d'optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne), il faut préciser le nom de la fiche correspondante.

```
Value1:=StrToFloat(OptimisationSelonCout.CapMaxTransFourStringGrid.Cells[K,L]);
ezmACoef(PbId1,'U'+IntToStr(I)+IntToStr(J)+IntToStr(K),'CAP_TRANSP_FOUR'+IntToStr(I)+IntT
oStr(J)+IntToStr(K),EZM_SET,-Value1);
```

Ce menu contient deux rubriques, parfaitement identiques à l'écran "optimisation selon le coût" qui sont : *Résoudre le problème* et *Afficher la solution*. Le premier menu permet de générer le problème d'optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne et de le résoudre tout en affichant le fichier de format .LP (cf. figure 68). Le second menu, permet d'une part d'afficher la solution trouvée : la fonction objectif qui représentera le but relatif au taux d'utilisation de la chaîne, les variables de décision, le temps CPU, etc. (cf. figure 69), et d'autre part de faire varier les paramètres du modèle en ré-initialisant la valeur de *PbId1*.

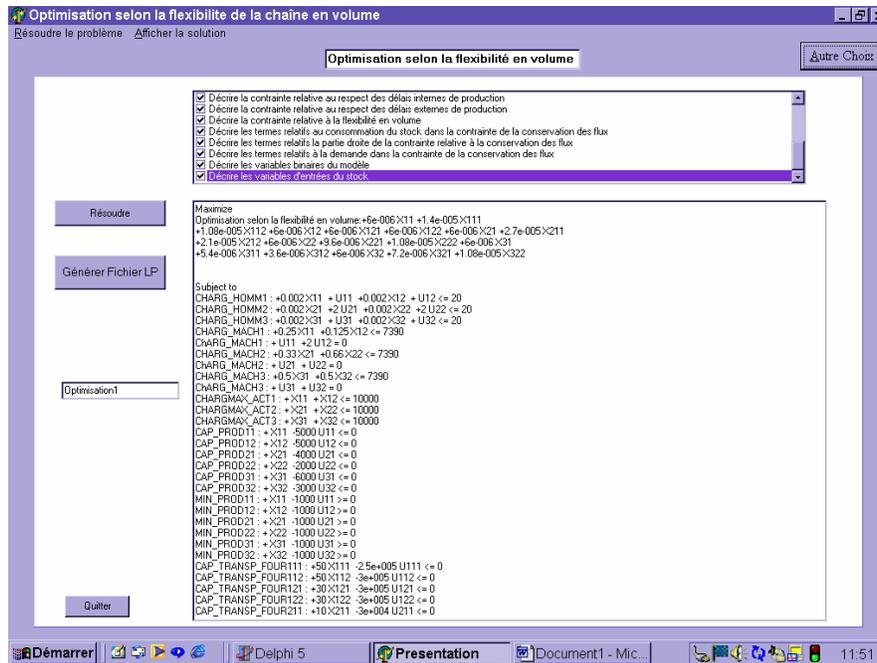


Figure 68 : Le panel qui correspond à la génération du modèle d'optimisation selon le taux d'utilisation de la chaîne

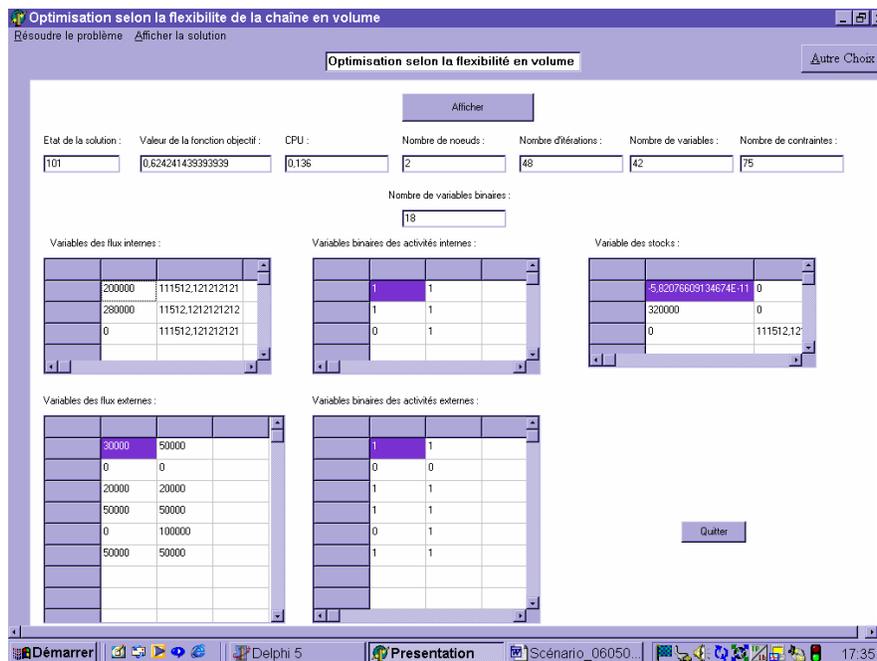


Figure 69 : Le panel représentant la solution du modèle d'optimisation selon le taux d'utilisation des installations de la chaîne

2.5. L'écran "optimisation multi-objectifs"

L'unité du code qui correspond à cette fiche *Unit05*, utilise également l'unité *Unit03* car elle récupère les données introduite dans la fiche correspondant à cette dernière unité afin de

générer le modèle d'optimisation selon les deux critères : coût et le taux d'utilisation de la chaîne.

Cette fiche contient également un menu composé de deux parties : *Résoudre le problème* et *Afficher la solution*, qui sont identiques aux rubriques des deux fiches précédentes. Dans la premier menu, on note une rubrique supplémentaire qui permet de *Générer les buts*. En effet, en cliquant sur cette rubrique, les buts qui représentent les valeurs des fonctions objectifs obtenues après optimisation des deux premiers modèles sont générés automatiquement dans des composants Edit au niveau de la fiche correspondant à l'optimisation multi-objectifs (cf. figure 70). Ces buts sont utilisés dans l'application du goal programming. Pour appliquer cette méthode, le décideur introduit également (dans des composants Edit) les coefficients de pondération de chaque critère, traduisant son degré d'importance.

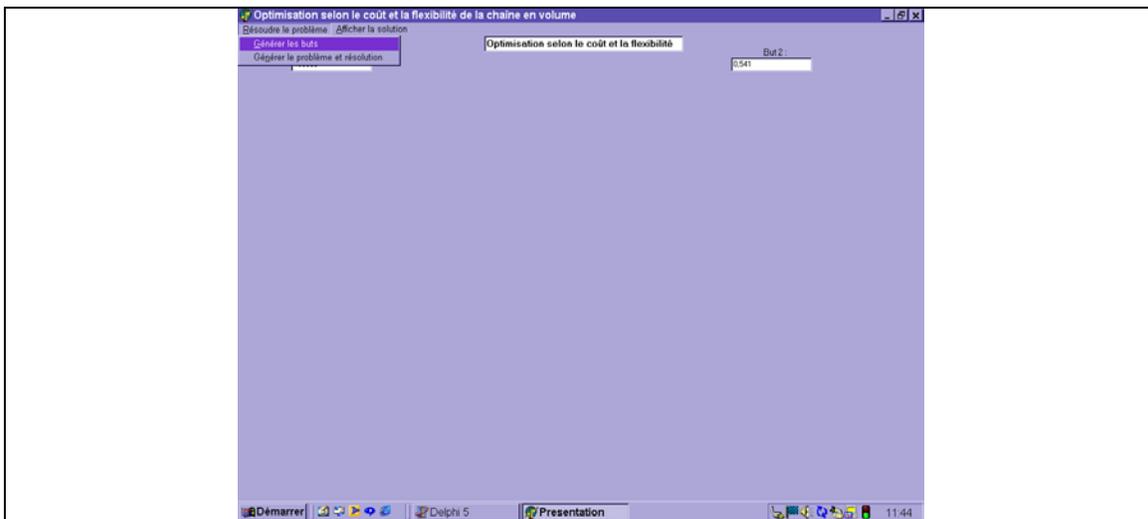


Figure 70 : La génération automatique des buts

Annexe 4 : Liste notations utilisées

1. Liste des activités

| | |
|------------------|---|
| 17,..p13 | Activité interne de coupe, de formage, de soudure, de peinture et d'isolation des armoires isolées de réfrigérateurs 330 L. |
| 17,..p14 | Activité interne de coupe, de formage, de soudure, de peinture et d'isolation des armoires isolées de réfrigérateurs 300 L. |
| 17,..p15 | Activité interne de coupe, de formage, de soudure, de peinture et d'isolation des portes isolées pour réfrigérateurs 330 L. |
| 17,..p16 | Activité interne de coupe, de formage, de soudure, de peinture et d'isolation des portes isolées pour réfrigérateurs 300 L. |
| 18,..p17 | Activité interne de thermoformage de la contre-porte pour réfrigérateur 330 L. |
| 18,..p18 | Activité interne de thermoformage de la contre-porte pour réfrigérateur 300 L. |
| 19,22/29,p19 | Activité interne d'injection plastique de la porte des compartiments beurres concurrençant les activités externes 22 et 29. |
| 19,22/29,p20 | Activité interne d'injection plastique des bacs à légumes concurrençant les activités externes 22 et 29. |
| 20,..p21 | Activité interne de coupe et de soudure des étagères |
| 21,..p22 | Activités internes de montage des unités frigorifiques |
| 22,19,p19/p20 | Activité externe d'injection plastique des portes de compartiment beurres et des bacs à légumes concurrençant l'activité interne 19. |
| 23,24,p23 | Activité externe de chromage des étagères concurrençant l'activité interne 24. |
| 24,23/30,p23 | Activité interne de chromage des étagères concurrençant les activités externes 23 et 30. |
| 25,..p24 | Activité interne de montage des portes de réfrigérateurs pour le modèle 330 L. |
| 25,..p25 | Activité interne de montage des portes de réfrigérateurs pour le modèle 300 L. |
| 26,..p26 | Activité interne de montage des réfrigérateurs modèle 330 L. |
| 26,..p27 | Activité interne de montage des réfrigérateurs modèle 300 L. |
| 29,19,p19/p20 | Activité externe d'injection plastique des portes de compartiment beurres et des bacs à légumes concurrençant l'activité interne 19. |
| 30,24,p23 | Activité externe de chromage des étagères concurrençant l'activité interne 24. |
| 31,..p26 | Dépôt régional dans la zone 1 pour le modèle 330 L. |
| 31,..p27 | Dépôt régional dans la zone 1 pour le modèle 300 L. |
| 32,..p26 | Dépôt régional dans la zone 2 pour le modèle 330 L. |
| 32,..p27 | Dépôt régional dans la zone 2 pour le modèle 300 L. |
| 38,40,101,41,p23 | Activité externe de transport entre l'activité interne de dédouanement 40 et l'activité de dédouanement des étagères 101, concurrençant l'activité interne 41. |
| 39,51,31,81,p26 | Activité externe de transport des réfrigérateurs modèle 330 L entre le stock de produit fini 51 et le dépôt régional 31 concurrençant l'activité de transport interne 81. |
| 39,52,31,91,p27 | Activité externe de transport des réfrigérateurs modèle 300 L entre le stock de produit fini 52 et le dépôt régional 31 concurrençant l'activité de transport interne 91. |
| 39,51,32,82,p26 | Activité externe de transport des réfrigérateurs modèle 330 L entre le stock de produit fini 51 et le dépôt régional 32 concurrençant l'activité de transport interne 82. |
| 39,52,32,92,p27 | Activité externe de transport des réfrigérateurs modèle 300 L entre le stock de produit fini 52 et le dépôt régional 32 concurrençant l'activité de transport interne 92. |
| 40,..p23 | Activité interne de dédouanement des étagères. |
| 41,40,101,38,p23 | Activité interne de transport entre l'activité interne de dédouanement 40 et l'activité de dédouanement des étagères 101, concurrençant l'activité interne 41. |
| 51,..p26 | Stock de produit fini : réfrigérateur 330 L. |
| 52,..p27 | Stock de produit fini : réfrigérateur 300 L. |
| 81,51,31,39,p26 | Activité interne de transport des réfrigérateurs modèle 330 L entre le stock de produit fini 51 et le dépôt régional 31 concurrençant l'activité de transport externe 39. |
| 82,51,32,39,p26 | Activité interne de transport des réfrigérateurs modèle 330 L entre le stock de produit fini 51 et le dépôt régional 32 concurrençant l'activité de transport externe 39. |
| 91,52,31,39,p27 | Activité interne de transport des réfrigérateurs modèle 300 L entre le stock de produit fini 52 et le dépôt régional 31 concurrençant l'activité de transport externe 39. |
| 92,52,32,39,p27 | Activité interne de transport des réfrigérateurs modèle 300 L entre le stock de produit fini 52 et le dépôt régional 32 concurrençant l'activité de transport externe 39. |
| 101,..p23 | Activité de dédouanement des étagères |

2. Liste des produits

| Indice | Désignation | Unités |
|-----------------|--|---------|
| p ₁ | Tôle de 2 x 2.5 x 0,8 | feuille |
| p ₂ | Tôle pour l'armoire du réfrigérateur de 330 L | feuille |
| p ₃ | Tôle pour l'armoire du réfrigérateur de 300 L | feuille |
| p ₄ | Plaque en plastique PVC pour la fabrication des contre-portes du réfrigérateur 330 L | plaque |
| p ₅ | Plaque en plastique PVC pour la fabrication des contre-portes du réfrigérateur 300 L | plaque |
| p ₆ | Poignet de réfrigérateurs | pièce |
| p ₇ | Granulé de plastique | kg |
| p ₈ | Fil de fer de diamètre 2 mm pour la fabrication des étagères | m |
| p ₉ | Fil de fer de diamètre 5 mm pour la fabrication des étagères | m |
| p ₁₀ | Compresseur | pièce |
| p ₁₁ | Condenseur | pièce |
| p ₁₂ | Evaporateur | pièce |
| p ₁₃ | Armoire isolée de réfrigérateurs 330 L | pièce |
| p ₁₄ | Armoire isolée de réfrigérateurs 300 L | pièce |
| p ₁₅ | Porte isolée pour réfrigérateurs 330 L | pièce |
| p ₁₆ | Porte isolée pour réfrigérateurs 300 L | pièce |
| p ₁₇ | Contre porte isolée pour réfrigérateurs 330 L | pièce |
| p ₁₈ | Contre porte isolée pour réfrigérateurs 300 L | pièce |
| p ₁₉ | Porte compartiment beurres pour réfrigérateurs | pièce |
| p ₂₀ | Bac à légumes pour réfrigérateurs | pièce |
| p ₂₁ | Etagère pour réfrigérateurs | pièce |
| p ₂₂ | Unité frigorifique pour réfrigérateurs | pièce |
| p ₂₃ | Etagère chromée pour réfrigérateurs | pièce |
| p ₂₄ | Porte montée pour réfrigérateurs 330 L | pièce |
| p ₂₅ | Porte montée pour réfrigérateurs 300 L | pièce |
| p ₂₆ | Réfrigérateur 330 L | pièce |
| p ₂₇ | Réfrigérateur 300 L | pièce |

FAIRE OU FAIRE-FAIRE DANS LA CONCEPTION D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE : UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION

RESUME

Le travail présenté dans cette thèse aborde la question de faire ou faire-faire de point de vue de l'optimisation des flux de produits dans la chaîne logistique. Plus particulièrement, il a pour objectif de définir un outil d'aide à la décision pour le choix de faire ou faire-faire. Dans un premier temps, et en considérant une structure linéaire pour les coûts nous nous sommes basés sur la programmation linéaire pour modéliser le problème. La modélisation est effectuée en deux étapes : d'abord en supposant que le choix concerne uniquement les produits finis de l'entreprise, ensuite en supposant que le choix touche également ses composants ce qui nous ramène à considérer toute la chaîne logistique du produit. Un outil d'aide à la décision est développé à la base de ce dernier modèle afin de tester différentes stratégies de réseautage. Dans un second temps, nous avons généralisé notre modèle en prenant en compte les économies d'échelle dans les coûts de transport. On se ramène à un programme non linéaire pour lequel nous avons proposé une méthode de résolution basée sur une linéarisation par morceaux de la fonction des coûts de transport. Dans un troisième temps, nous avons proposé de valider la structure de la chaîne ainsi configurée en réponse au choix de faire ou de faire-faire en supposant une politique de gestion de stock basée sur les économies d'échelle.

MOTS-CLES : Aide à la décision, Faire ou Faire-Faire, Conception d'une chaîne logistique, Modélisation mathématique, Economies d'échelle.

ABSTRACT

In this thesis we are interested with make or buy decision. We considered a point of view based on supply chain optimisation flow of products within the logistic chain. Particularly, the aim is to define a tool for decision-making. Initially, and by considering a linear structure for costs we use linear programming to model the problem. Modelling is carried out in two stages: initially by supposing that the choice is related to only finished products of the company, then by supposing that the choice also concerns its components so in this case all the logistic chain of the product is considered. A decision making tool is developed on the base of this last model in order to test various networking strategies. In the second time, we generalised our model by taking into account the economies of scale in transportation costs. In this case we obtain a non-linear program for which we proposed a resolution method based on piecewise linearization of the cost function. In the third time, we proposed to validate the structure of the chain thus configured, and which take into account make or buy decision, by supposing an inventory policy with economies of scale.

KEY WORDS: decision making, Make or buy decision, Supply chain design, Mathematical modelling, Economies of scale.

Laboratoire d'Automatique de Grenoble. ENSIEG - BP 46 – 38402 Saint Martin d'Hères Cedex.