

Thèse

présentée pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Reims Champagne Ardenne

Spécialité

GENIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

par

Kamal LAKHDARI

MISE AU POINT D'UN OUTIL D'AIDE A LA DECISION POUR LA CONCEPTION D'UNE CHAINE LOGISTIQUE D'ENTREPRISES MANUFACTURIERES

Soutenue le 07 juillet 2010 devant le jury

| A. DOLGUI | . DOLGUI Professeur à l'Ecole des Mines de St-Etienne | |
|-------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|
| F. YALAOUI | Professeur à l'Université de Technologie de Troyes | Rapporteur |
| H. MOUSS | Professeur à l'Université de Batna (Algérie) | Rapporteur |
| A. HAMZAOUI | Professeur à l'IUT de Troyes | Directeur de Thèse |
| F. NOLLET | Maître de conférences à l'IUT de Troyes | Examinateur |

La mémoire de mon père, que Dieu l'accueille dans son vaste paradis

Ma mère, ma source de bénédiction

Mes frères et sœurs, Ma femme

Mes neveux et nièces

H tous mes proches et à ceux que j'aime

Remerciements

Je remercie d'abord Mr. Farouk YALAOUI, professeur à l'Université de Technologie de Troyes et Mme Hayet MOUSS, professeur à l'Université de Batna (Algérie) qui ont accepté d'être rapporteurs de mon travail de thèse et pour leurs commentaires des plus judicieux.

Je remercie également, Monsieur Alexandre DOLGUI, professeur à l'Ecole des Mines de St.-Etienne, d'avoir bien voulu examiner ce travail et pour l'honneur qu'il m'a fait de présider ce jury.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à messieurs les professeurs Abdelaziz Hamzaoui et Jean Lou Sculfort, pour leurs conseils et les séances de travail que nous avons passés ensemble. Le professeur Jean Lou Sculfort a été l'initiateur de ce projet en tant que directeur de thèse avant de partir en retraite. Mes vifs remerciements pour le professeur Abdelaziz Hamzaoui pour avoir accepté de prendre le relais de celui-ci.

Je remercie sincèrement monsieur Frédéric Nollet, Maître de conférence à l'IUT de Troyes, pour sa disponibilité, pour le temps consacré aux corrections et ses conseils pertinents.

Un grand merci pour tous ceux qui ont relu mon mémoire à la recherche d'erreurs.

Je remercie aussi tous ceux avec qui j'ai partagé ces longues années de travail au sein du laboratoire « CReSTIC » à l'IUT de Troyes.

Mes profonds remerciements vont à mes parents, ma famille, tous mes proches et les amis qui n'ont pas cessé de manifester leurs soutiens pour moi.

« Mise au point d'un outil d'aide à la décision pour la conception d'une chaîne logistique d'entreprises manufacturières »

Résumé:

La conception de la chaîne logistique est un ensemble de décisions stratégiques qui déterminent la meilleure configuration de la chaîne logistique qui contribuera à sa performance. De ce fait, notre objectif est la mise en place d'un système d'aide à la décision pour assister les décideurs dans cette démarche primordiale pour la pérennité de ladite chaîne. Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur trois décisions importantes qui s'imposent en premier lieu au stade de la conception de la chaîne logistique. Ces décisions concernent essentiellement : « la localisation des sites pour l'implantation de nouvelles unités de production », « le choix des fournisseurs » et la décision de «faire » ou de « faire-faire » des produits semi-finis qui rentrent dans la constitution d'un produit final.

L'aspect multicritère qui caractérise ces trois décisions, l'évaluation d'un large éventail d'alternatives vis-à-vis des critères conflictuels, l'absence de sources de données fiables, la subjectivité inhérente aux individus impliqués dans la prise des décisions, constituent un ensemble de contraintes que nous essayons de surmonter en utilisant une méthode qui a apporté des solutions appréciables dans d'autres applications : le raisonnement par logique floue. Cette approche est combinée avec une méthode d'optimisation mathématique grâce au concept de l'utilité totale. Ce qui donne « un modèle hybride », car d'une part celui-ci est basé sur la théorie d'optimisation mathématique et d'autre part sur la théorie multicritère. Il permet de considérer les aspects opérationnel et stratégique du problème de conception de la chaîne logistique.

Nous avons abordé les trois décisions de deux manières différentes. Premièrement, nous avons proposé des démarches de décision individuelles, en supposant que les décisions sont indépendantes et chaque démarche est basée sur les critères propres à la décision concernée. Cette approche considère un ensemble d'optimisations locales, ce qui n'implique pas souvent l'optimisation globale de la chaîne logistique. De cela, surgit l'intérêt de mettre en place une approche intégrée.

Dans un deuxième temps, les trois décisions sont prises simultanément, c'est la démarche intégrée. Dans cette étape, une analyse d'impact est nécessaire pour identifier les relations mutuelles entre les trois décisions. Compte tenu de l'importance stratégique de ces décisions, il est important de favoriser une évaluation des critères de décision sous une vision globale et à long terme ce qui détermine la viabilité de l'entreprise sur un marché concurrentiel.

Enfin, la phase finale concerne l'évaluation des performances de l'entreprise et de la chaîne logistique. Nous avons proposé un outil de supervision et de quantification des conséquences engendrées par le processus décisionnel. Il servira comme un tableau de bord, pour détecter les défaillances, les contre-performances ou les divergences par rapport aux objectifs fixés. Par conséquent, une révision du processus décisionnel sera possible et faisable dans la limite des moyens engagés par l'entreprise.

Mots-clés : chaîne logistique, choix des fournisseurs, localisation, faire ou faire-faire, stratégie concurrentielle, aide à la décision, décision multicritère.

"The establishment of decision making support for supply chain design in manufacturing environment"

The supply chain design is a set of strategic decisions that determine the best configuration of the supply chain and contribute to its performance. Therefore, our objective is the establishment of a support system to assist decision makers in this process, a crucial step for the sustainability of the Supply Chain. In this work, we focused on three key decisions necessary made at the first stage in the Supply Chain design. These decisions mainly concern: the facility location, the choice of suppliers and make or buy semi-finished products which fall within the formation of a final product.

These three decisions are multi-criteria problems. Furthermore, evaluating a wide range of alternatives with respect to conflicting criteria, the lack of reliable data sources, the subjectivity inherent to individuals involved in making decisions, constitute a set of constraints that we are trying to overcome by using a method that has provided valuable solutions in other applications: the fuzzy reasoning. This approach is combined with mathematical optimization method through the concept of total utility. This gives a "hybrid model", because on the one hand it is based on mathematical optimization theory and in the other hand on the multi-criteria theory. It allows considering the operational and strategic aspects of the Supply chain design problem.

We have tackled the three decisions in two ways. First, we have proposed individual approaches to decisions, assuming that they are independent; so each approach is based on its relevant criteria. These approaches consider a set of local optimizations, which often does not lead to the overall supply chain optimization. From this arose the interest of setting up an integrated approach.

In a second step, the three decisions arise simultaneously, it's the integrated approach. In this step, an impact analysis is needed to identify relationships between the three decisions. Given the strategic importance of these decisions it is important to facilitate evaluation of decision criteria in a comprehensive and long-term way, which determines the viability of the company in a competitive market.

The final phase concerns the evaluation of business and Supply Chain performance. We have proposed a tool for monitoring and quantifying the consequences generated by the decision-making process. It will serve as a dashboard, to detect failures or every deviation from targets. Therefore, a revision of decision making is possible and feasible within the resources committed by the company.

Key words: Supply Chain, sourcing, facility location, make or buy, competitive strategy, decision support, multi-criteria decision making

Table des matières

Liste des figures Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre 1 : « Contexte de l'étude »

| Introduction6 |
|-----------------------------------------------------------------------------|
| Partie 1 : « La chaîne logistique globale » |
| 1. La chaîne logistique 9 |
| 1.1. Définitions |
| 1.2. Les flux dans la chaîne logistique |
| 1.3. Management de la chaîne logistique (Supply Chain Management SCM) |
| 1.3.1. Evolution du management de la chaîne logistique |
| 1.3.2. La stratégie concurrentielle |
| 1.3.3. Les Décisions dans une chaîne logistique |
| 1.3.3.1. Les décisions stratégiques |
| 1.3.3.2. Les décisions tactiques |
| 1.3.3.3. Les décision opérationnelles |
| 2. Typologie des modèles d'aide à la décision |
| 2.1. La décision |
| 2.2. L'aide à la décision |
| 2.3. Classification des méthodes d'aide à la décision |
| 2.3.1. Méthodes multicritères d'aide à la décision |
| 3. La conception de la chaîne logistique globale |
| 4. Proposition |
| |
| Partie 2 : « Utilisation de la logique floue pour la prise de décision » 25 |
| |
| |
| 1. La prise de décision en présence des incertitudes |
| 2. Le raisonnement par logique floue |
| 2.1. Aperçu sur la logique floue |
| 2.1.1. Fuzzification |
| 2.1.2. Inférence |
| 2.1.3. Défuzzification |
| 2.2. Exemple |
| 3. Conversion des jugements verbaux en scores (valeurs numériques) |
| 3.1. Exemple |
| 4. Evaluation de l'importance relative des critères de décision |
| 4.1. Comparaison par paire des critères |
| 5. Normalisation des critères objectifs |
| 6. Décision du groupe (Group Decision Making) GDM |

| Conclusion | 38 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapitre 2 : « Approche séparée » | 39 |
| Introduction | 40 |
| Partie 1: « Décision de sélection des fournisseurs » | 42 |
| 1. Introduction | 43 |
| 2. Le problème de sélection des fournisseurs | 43 |
| 3. La démarche de sélection des fournisseurs | 47 |
| 3.1 Critères de sélection des fournisseurs | 47 |
| 3.2. Modèle de présélection | 48 |
| 3.3. Calcul des index de sélection relatifs | 51 |
| 3.4. Réduction du nombre de fournisseurs | 51 |
| 3.5. Problème d'allocation des commandes aux fournisseurs | 52 |
| 4. Exemple d'application de l'approche proposée | 53 |
| 5. Conclusion. | 59 |
| Partie 2 : « Décision de localisation des sites de production » | 60 |
| 1. Introduction | 61 |
| 2. Le problème de localisation des sites de production | 61 |
| 3. La démarche de localisation des sites | 63 |
| 3.1. Les critères de décision | 64 |
| 3.2. Evaluation des alternatives à l'égard des facteurs de décision de localisation | 65 |
| 3.3. Formulation mathématique du problème de localisation | 68 |
| 4. Exemple d'application | 69 |
| 5. Conclusion | 76 |
| Partie 3 : « Décision de faire ou de faire-faire » | 78 |
| 1. Introduction | 79 |
| 2. Problème de faire ou faire-faire | 80 |
| 3. Modèle proposé pour la décision de faire ou de faire-faire | 84 |
| 3.1. Les critères de décision. | 84 |
| 3.2. Calcul du score final. | 87 |
| 3.3. Formulation mathématique du problème de faire ou de faire-faire | 88 |
| 4. Exemple d'application | 89 |
| 5. Conclusion | 93 |
| Conclusion | 94 |
| Chapitre 3 : « Approche intégrée » | 95 |
| 1. Introduction | 96 |
| 2. Le processus d'intégration des décisions | 96 |
| • | 100 |
| 3.1. L'analyse d'impact. | 101 |

| 3.2. Démarche de décision intégrée | 103 |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 4. Formulation mathématique du problème d'optimisation | 107 |
| 5. Exemple d'application | 110 |
| 6. Conclusion | 117 |
| Chapitre 4 : « Evaluation des performances » | 118 |
| 1. Introduction | 119 |
| 2. Evaluation des performances | 119 |
| 3. La démarche d'évaluation des performances | 121 |
| 3.1. Les indicateurs de performances | 121 |
| * | |
| | |
| | |
| | |
| 4. Exemple d'application | |
| 5. La quantification des décisions | |
| nulation mathématique du problème d'optimisation | |
| Conclusion générale et perspectives | 139 |
| Bibliographie | 143 |
| Annexes | 150 |

Liste des figures

| Figure I.1.1 : Les processus et fonctions de la chaîne logistique |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Figure I.1.2 : Plan stratégique. |
| Figure I.1.3 : Modèle empirique de processus décisionnel |
| Figure I.1.4 : Les caractéristiques du problème de conception d'une chaîne logistique |
| Figure I.2.1 : Système flou. |
| Figure I.2.2 : Interprétation linguistique de la variable « Proximité des fournisseurs » |
| Figure I.2.3: Les fonctions d'appartenance correspondant aux ensembles flous |
| Figure I.2.4 : Les scores minimum et maximum de l'ensemble flou « M_2 » |
| Figure I.2.5 : Importance relative d'un critère (11 points) |
| Figure I.2.6 : Modèle hybride. |
| Figure II.1 : Processus de décision |
| Figure II.2 : Sélection des fournisseurs. |
| Figure II.3 : Localisation des sites pour l'implantation de nouvelles unités de production |
| Figure II.1.1 : Les facteurs affectant le processus de sélection des fournisseurs |
| Figure II.1.2 : Positionnement des méthodes de décision dans le problème de sélection |
| des fournisseurs |
| Figure II.1.3 : Modèle de présélection des fournisseurs |
| Figure II.1.4 : Synthèse de l'approche de sélection des fournisseurs |
| Figure II.2.1 : Modèle d'évaluation des sites potentiels |
| Figure II.2.2 : Synthèse de la démarche de localisation des sites |
| Figure II.3.1 : Le modèle stratégique de faire ou de faire-faire (SSM) |
| Figure II.3.2. Modèle pour l'évaluation des options de faire ou de faire-faire |
| Figure II.3.3 : Synthèse de l'approche de décision de faire ou de faire-faire |
| Figure III.1 : Les démarches de prise d'un ensemble de décisions simultanément |
| Figure III.2: Les cinq démarches pour traiter les trois décisions |
| Figure III.3 : Exemple de scénarios pour la pièce « P _i » |
| Figure III.4 : Evaluation de l'utilité totale pour faire une pièce « P _i » par l'entreprise |
| localisée sur le site « S_k » ou la faire-faire par le fournisseur « F_f » |
| Figure IV.1 : Modèle d'évaluation des performances |
| Figure IV.2 : La performance globale de l'entreprise |
| Figure IV.3 : La compétitivité de l'entreprise |
| Figure IV.4 : La légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes |

| Figure IV.5 : Schéma de supervision du processus de décision | 135 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure IV.6 : Quantification des décisions. | 136 |
| Figure IV.7 : Démarche à suivre pour la décision, l'évaluation des performances et la | |
| quantification des résultats | 137 |

Liste des tableaux

| Tableau I.1.1 : Evolution des marchés | 11 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1.2 : Matrice de décision | 20 |
| Tableau I.2.1 : Base de règles floues | 30 |
| Tableau I.2.2 : Les ensembles flous et leurs scores correspondant | 32 |
| Tableau I.2.3 : Importance relative d'un critère par rapport à un autre | 33 |
| Tableau II.1.1 : Les critères de décision et leur importance selon le travail de Dickson | 45 |
| Tableau II.1.2 : Les systèmes flous | 48 |
| Tableau II.1.3 : Les critères de sélection des fournisseurs | 49 |
| Tableau II.1.4 : Importance des décideurs | 54 |
| Tableau II.1.5 : Evaluation des critères de décision relatifs aux fournisseurs | 54 |
| Tableau II.1.6 : Les valeurs agrégées des critères de décision relatifs aux fournisseurs | 54 |
| Tableau II.1.7 : Evaluation des critères de décision relatifs aux caractéristiques des produits. | 55 |
| Tableau II.1.8: Les valeurs agrégées des critères de décision caractéristiques des deux | |
| pièces | 55 |
| Tableau II.1.9 : Index de sélection (utilité de choisir le fournisseur « j » pour la pièce « i ») | 55 |
| Tableau II.1.10 : Index de sélection relatifs | 56 |
| Tableau II.1.11 : Les contraintes financières | 56 |
| Tableau II.1.12 : Les contraintes de capacité | 56 |
| Tableau II.1.13 : Allocation des commandes aux fournisseurs | 56 |
| Tableau II.1.14 : Evaluation des fournisseurs par la méthode AHP | 57 |
| Tableau II.1.15 : Sélection de fournisseurs par la méthode par élimination lexicographique | 58 |
| Tableau II.2.1 : Les caractéristiques des problèmes de localisation | 62 |
| Tableau II.2.2 : Critères de décision de localisation. | 65 |
| Tableau II.2.3 : Importance des décideurs | 70 |
| Tableau II.2.4 : Importance des facteurs de localisations | 70 |
| Tableau II.2.5 : Critères de localisation objectifs | 71 |
| Tableau II.2.6 : Disponibilité des terrains sur les différents sites (DL) | 71 |
| Tableau II.2.7 : Disponibilité des services (Energie, télécom) (DSV) | 71 |
| Tableau II.2.8 : Disponibilité des moyens de transport (DT) | 71 |
| Tableau II.2.9 : Qualification exigée de la main d'œuvre locale (QML) | 72 |
| Tableau II.2.10 : Disponibilité de la main d'œuvre locale (DM) | 72 |
| Tableau II.2.11 : Proximité des marchés (PM) | 72 |

| Tableau II.2.12 : Attractivité des marchés (AM) | 72 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau II.2.13 : Stabilité des marchés (SM) | 72 |
| Tableau II.2.14 : Disponibilité des fournisseurs (DF) | 72 |
| Tableau II.2.15 : Proximité des fournisseurs (PF) | 72 |
| Tableau II.2.16: Localisation des concurrents (LC) | 73 |
| Tableau II.2.17 : Réaction des concurrents (RC) | 73 |
| Tableau II.2.18 : Réaction de la communauté locale (ACL) | 73 |
| Tableau II.2.19 : Impact sur l'environnement (IC) | 73 |
| Tableau II.2.20 : Stabilité des politiques gouvernementales (SPG) | 73 |
| Tableau II.2.21 : Facilité d'investissement (FINV) | 73 |
| Tableau II.2.22 : Efficacité et transparence des administrations (ETA) | 73 |
| Tableau II.2.23 : Impôts et taxes (IT) | 74 |
| Tableau II.2.24 : Variation de Taux de change (VTC) | 74 |
| Tableau II.2.25 : Tarifs et Taxes de douanes (TTD) | 74 |
| Tableau II.2.26 : Utilité d'implanter chaque unité sur un site potentiel | 74 |
| Tableau II.2.27 : Contraintes budgétaires (C_{ij} : coût d'installation de l'unité 'i' sur le site 'j') | 75 |
| Tableau II.2.28 : Solution finale du modèle hybride | 75 |
| Tableau II.2.29 : Solution du modèle mathématique | 76 |
| Tableau II.3.1 : Les différentes formes de relations interentreprises | 80 |
| Tableau II.3.2 : Les éléments du coût intervenant dans les options "faire" ou "faire-faire" | 81 |
| Tableau II.3.3 : Les critères "stratégiques" et "opérationnels" intervenant dans la décision | |
| de faire ou de faire-faire | 82 |
| Tableau II.3.4 : Critères et sous-critères de décision de faire ou de faire-faire | 87 |
| Tableau II.3.5 : Importance des décideurs | 90 |
| Tableau II.3.6 : Importance des facteurs de décision | 90 |
| Tableau II.3.7 : Utilité de faire ou de faire-faire chaque pièce | 91 |
| Tableau II.3.8 : Contraintes opérationnelles | 91 |
| Tableau II.3.9 : Solutions finales | 92 |
| Tableau II.3.10 : Evaluation des pièces par la méthode AHP | 92 |
| Tableau II.3.11 : Comparaison de l'approche proposé avec d'autres approches | 92 |
| Tableau III.1 : Intégration des fonctions d'une entreprise | 97 |
| Tableau III.2: Traitement des trois décisions par les approches classiques | 99 |
| Tableau III.3 : Le mode d'impact des critères de décision sur les objectifs de l'entreprise | 103 |
| | |

| Tableau III.4 : Utilité d'implanter l'entreprise sur les différents sites pour faire les pièces | 111 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau III.5 : Utilité de faire la pièce « i » par l'entreprise sachant que le site « k » est choisi. | 112 |
| Tableau III.6 : Utilité de sélectionner le fournisseur « f » pour faire la pièce « 1 » pour | |
| l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k » | 112 |
| Tableau III.7 : Utilité de sélectionner le fournisseur « f » pour faire la pièce « 2 » pour | |
| l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k » | 112 |
| Tableau III.8: Utilité de sélectionner le fournisseur «f» pour faire la pièce «3» pour | |
| l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k » | 112 |
| Tableau. III.9 : Utilité totale pour faire la pièce « i » par l'entreprise localisée sur site « k » ou | |
| la faire-faire par le fournisseur « f » | 113 |
| Tableau III.10 : Localisation de l'unité de production et présélection des fournisseurs | 114 |
| Tableau III.11 : Présélection de fournisseurs pour chaque pièce | 114 |
| Tableau III.12 : Contraintes opérationnelles. | 115 |
| Tableau III.13 : Solutions finales | 115 |
| Tableau III.14 : Localisation de l'entreprise. | 116 |
| Tableau III.15 : Détermination des quantités des pièces à faire en interne | 116 |
| Tableau III.16 : Présélection des fournisseurs adéquats pour chaque site | 116 |
| Tableau IV.1 : Interprétation linguistique des critères de mesure de performance | 124 |
| Tableau IV.2 : Importance des décideurs | 128 |
| Tableau IV.3 : Importance des indicateurs dans l'évaluation de la performance globale | 128 |
| Tableau IV.4 : Performance des ressources humaines | 129 |
| Tableau IV.5 : Performance des ressources Matérielles | 129 |
| Tableau IV.6 : Qualité de produits. | 129 |
| Tableau IV.7 : Economie des ressources. | 130 |
| Tableau IV.8 : Performance financière. | 130 |
| Tableau IV.9: Performance des fournisseurs. | 130 |
| Tableau IV.10 : Seuils minimaux pour les indicateurs de performance (Compétitivité) | 131 |
| Tableau IV.11 : Evaluation de la compétitivité de l'entreprise | 131 |
| Tableau IV.12 : Satisfaction client. | 132 |
| Tableau IV.13 : Satisfaction de la communauté et des organismes régulateurs | 132 |
| Tableau IV.14 : Satisfaction des partenaires | 133 |
| Tableau IV.15 : Seuils minimaux pour les indicateurs (Légitimité) | 133 |
| Tableau IV.16 : Evaluation de la légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes | 133 |
| | |

Introduction générale

Introduction générale

L'expansion des marchés, l'accroissement des mouvements des biens, des services et des capitaux à l'échelle internationale, sont les résultats de la mondialisation. Tous ces facteurs économiques et sociaux n'ont pas épargné les modes d'organisation et de management des entreprises actuelles. Traditionnellement, les entreprises réalisent les fonctions d'approvisionnement, de production et de distribution. L'union de ses trois maillons et l'intégration des flux (physiques, d'informations et financiers), constituent la chaîne logistique. La croissance et le développement de l'entreprise dépendent de son pouvoir à gérer et coordonner efficacement ces trois fonctions.

La globalisation des marchés a donné naissance à un nouveau système organisationnel, la chaîne logistique globale, où des réseaux d'entreprises se mettent en relation, créent des alliances stratégiques pour faire face à la volatilité des marchés, partagent les risques financiers et recherchent des complémentarités industrielles. Plusieurs entreprises participent à la production d'une même famille de produits, alors, chacune doit apporter sa pierre à l'édifice, car la performance de la chaîne dépend de l'efficacité de toutes les parties impliquées.

La chaîne logistique globale est perçue comme un réseau d'installations et de moyens, reliés par des flux matériels et d'informations depuis le fournisseur, à travers des installations, jusqu'au consommateur final. Ce réseau assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, le transport, la transformation en produits semi-finis, puis en produits finis et la distribution vers les clients. Enfin, la logistique de soutien gère les plaintes et les retours des produits non conformes. La chaîne peut inclure la logistique inverse, c'est-à-dire, la récupération et le recyclage des produits en fin de vie. Cette définition met en lumière la structure complexe et très large de la chaîne logistique globale.

La compétitivité d'un produit sur le marché ne dépend pas seulement de l'entreprise qui l'assemble et le vend, mais de l'ensemble des entreprises impliquées dans sa réalisation, depuis les fournisseurs des matières premières jusqu'aux distributeurs des biens élaborés. Par conséquent, la concurrence ne se limite plus aux entreprises, mais bien aux chaînes logistiques [Boi, 04]. De ce fait, le maintien et la garantie d'une bonne performance de cette chaîne passent incontestablement, par une meilleure conception et configuration des entités qui la composent.

La phase de conception est d'une importance capitale, car elle concerne plusieurs aspects de la chaîne. Elle détermine les attributs (le nombre, la localisation, la dimension, les équipements) des différentes entités de la chaîne (fournisseurs, sites de production et stockage). Elle est définie comme un ensemble de décisions stratégiques qui doivent être compatibles avec la stratégie concurrentielle de l'entreprise, la façon retenue pour l'emporter sur ses concurrents. Cependant

dans certains cas, ces décisions sont extrêmement coûteuses et non efficientes. Une démarche de conception doit donc tenir compte de plusieurs facteurs en même temps, afin d'atteindre les objectifs souhaités.

Ce problème a attiré l'attention du monde scientifique, et l'a traité sous différents formes. Les approches de décision proposées dans la littérature sont axées essentiellement sur l'intégration des décisions tactiques et la coordination entre les maillons de la chaîne logistique (stockage-production, stockage-transport, production-transport) [Des, 05]. Nous avons constaté que les décisions stratégiques ont souvent été abordées individuellement. La plupart des travaux traitent des problèmes ciblés : le nombre, la capacité, la technologie et la localisation des sites, la décision de faire ou de faire-faire et la sélection des fournisseurs [Mei, 05]. Ils s'intéressent particulièrement aux niveaux tactique et opérationnel, mais les décisions stratégiques, influençant la stratégie concurrentielle de l'entreprise, sont rarement abordées d'une manière intégrée. Notre souci est d'œuvrer dans ce sens, et donc, de proposer une démarche de décision intégrée pour la conception d'une chaîne logistique.

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur trois décisions que nous jugeons importantes et qui s'imposent en premier lieu dans une démarche de conception d'une chaîne logistique. Elles concernent essentiellement: « la localisation des sites de production », « le choix des fournisseurs » et la décision de « faire » ou de « faire-faire » des produits semi-finis qui rentrent dans la constitution d'un produit final. Notre contribution consiste à proposer une démarche d'aide à la décision pour apporter des solutions aux trois problématiques quand elles se posent séparément ou simultanément.

Le problème de conception d'une chaîne logistique est complexe compte tenu de nombreux paramètres à prendre en considération. L'aspect multicritère qui caractérise les trois décisions abordées dans ce travail, l'évaluation d'un large éventail d'alternatives vis-à-vis des critères conflictuels, l'absence des sources de données fiables, la subjectivité inhérente aux individus impliqués dans la prise des décisions, constituent un ensemble de contraintes que nous essayons de surmonter en utilisant le raisonnement par logique floue. Cette méthode a déjà apporté des solutions appréciables dans d'autres applications. Notre choix est motivé par, sa simplicité d'évaluation des critères qualitatifs, sa facilité d'implémentation et sa flexibilité.

Le processus décisionnel consiste à optimiser un ensemble de critères de natures objective et subjective soumis à des contraintes. L'emploi d'une approche d'optimisation mathématique classique est inadaptée à traiter ce cas, de ce fait, nous avons emprunté le concept « d'utilité totale ». Grâce à cette méthode, nous pouvons considérer un ensemble des critères objectifs et

subjectifs dans un problème d'optimisation mathématique. C'est une démarche « hybride », car d'une part, elle se base sur la théorie d'optimisation mathématique et d'autre part sur la théorie multicritère (le raisonnement par logique floue).

Les trois décisions ont été abordées sous deux angles différents :

Dans le premier cas, les trois décisions peuvent être définies séparément, c'est-à-dire, les décisions sont indépendantes. Une entreprise sera confrontée à cette situation dans des circonstances bien précises : le lancement d'un nouveau produit, le changement de fournisseurs, l'extension ou la délocalisation d'une unité de production et le recentrage sur un métier précis. Nous avons développé des démarches spécifiques aux trois décisions, applicables dans le cas où les problématiques se posent individuellement ou d'une manière hiérarchisée.

Dans le second cas, nous supposons que les trois problématiques se posent simultanément, essentiellement au stade initial de la conception de la chaîne logistique. Nous proposons une démarche de décision intégrée en tenant compte des relations existantes entre celles-ci. L'objectif est une optimisation globale de la chaîne, contrairement à l'approche séparée ou hiérarchisée, qui reposent sur un ensemble d'optimisations locales.

Les décisions abordées dans cette thèse, sont stratégiquement importantes. Elles conditionnent la viabilité à long terme de l'entreprise, car leurs influences se répercutent sur les performances de toute la chaîne logistique. Proposer un système d'évaluation des performances s'avère, donc indispensable pour renforcer la pertinence de l'approche de décision proposée. A cet effet, nous avons mis en place un système basé sur des indicateurs qui recouvrent les différents aspects de la performance d'une entreprise pour pouvoir quantifier les conséquences des stratégies adoptées. L'analyse des performances est un moyen pour déceler les défaillances et développer des actions pour apporter les améliorations nécessaires.

Enfin, la phase d'évaluation des performances qui constitue un outil de supervision et de quantification des conséquences engendrées par les décisions prises préalablement. Cet outil servira de tableau de bord, pour détecter les défaillances, les contre-performances ou divergences par rapport aux objectifs fixés. Il est utile de préciser que, cette démarche ne constitue pas un outil générique qui s'adapte à toutes les situations, néanmoins elle est caractérisée par sa facilité de mise en œuvre et sa flexibilité, elle peut être adaptée, modifiée et affinée pour faire face à de nouvelles situations.

Cette thèse est constituée en quatre chapitres :

Le premier chapitre est structuré en deux parties. Dans la première, nous allons donner un aperçu global des différents aspects de la chaîne logistique. La seconde est consacrée à la présentation

des ensembles flous et du concept de l'utilité totale et l'exploitation de ces outils pour développer la démarche d'aide à la décision proposée dans cette thèse.

Dans le deuxième chapitre, nous abordons la démarche séparée en présentant les démarches individuelles spécifiques aux décisions : « le choix des fournisseurs », « la localisation des sites de production » et la décision de « faire » ou de « faire-faire ».

Dans le troisième chapitre, nous allons détailler la démarche intégrée, notamment l'analyse des modalités d'impact entre ces décisions et le processus d'intégration décisionnelle.

Enfin, le quatrième chapitre sera consacré au développement du système d'évaluation des performances de la chaîne, afin de quantifier les conséquences induites par le processus décisionnel. C'est un moyen de supervision et de contrôle dynamique pour l'évolution de l'entreprise au sein de sa chaîne logistique.

Chapitre 1

Contexte de l'étude

Chapitre 1 Introduction

Introduction

Le domaine de la logistique est très vaste et complexe. De ce fait, toute étude ou recherche dans ce sens passe nécessairement par une étape de description des entités qui contribuent à sa mise en œuvre. Il est donc nécessaire de mieux comprendre cet ensemble dynamique qui ne cesse d'évoluer. L'origine du terme logistique vient d'un mot grec signifiant « Art du raisonnement et du calcul ». On cite souvent la définition d'origine militaire de la logistique, qui vise à transporter sur un théâtre d'opération les forces et tout ce qui est nécessaire à leurs mises en œuvre opérationnelles et au soutien [Pim, 03]. En effet, la logistique d'entreprise est apparue après la fin de la seconde guerre mondiale, notamment avec la reconversion dans les entreprises de certains spécialistes militaires en logistique [Akb, 00].

La chaîne logistique a suscité beaucoup d'intérêt de la part de tous les secteurs industriels. Aujourd'hui, le terme « logistique » recouvre des interprétations très diverses. Cela va du simple transport jusqu'à une science interdisciplinaire combinant ingénierie, microéconomie et les théories d'organisation. Particulièrement, la prise de décision occupe une place importante au sein de la chaîne logistique, car elle conditionne sa viabilité et assure le bon fonctionnement des différentes entités qui la composent. Cependant, ce processus est souvent confronté à des contraintes diverses. Notamment, l'aspect multicritère des décisions est un facteur critique. En effet, ces dernières sont mutuellement reliées et présentent des impacts les unes sur les autres. De plus, la présence des incertitudes générées par les activités logistiques entrave le travail des acteurs de la chaîne logistique et complique davantage ce processus. Ceci constitue une contrainte majeure nécessitant un choix de méthodes et outils appropriés [Ven, 07].

L'utilisation des modèles stochastiques basés sur des distributions probabilistes et des historiques de données afin de représenter les phénomènes aléatoires est compromise. Ces méthodes sont confrontées à la difficulté d'accès à certaines sources de données. Pour surmonter cet obstacle, nous avons choisi la théorie des ensembles flous [Zad, 65] compte tenu tant de l'intérêt qu'elle présente dans des systèmes où les données sont mal connues ou imprécises, que pour sa facilité d'implémentation et pour sa flexibilité. Elle est basée sur un langage naturel et facilement compréhensible.

Ce chapitre est structuré en deux parties. Dans la première, nous allons donner un aperçu global des différents aspects de la chaîne logistique. La seconde partie est consacrée à la présentation du raisonnement par logique floue et du concept d'utilité totale. Ces outils sont exploités pour développer la démarche d'aide à la décision proposée dans cette thèse.

Partie 1

La chaîne logistique

1. La chaîne logistique

1.1. Définitions

Nous avons essayé de cerner le concept de la logistique par des définitions parmi les plus explicites tirées de la littérature que nous citerons ci-dessous.

Selon Alexandre [Ale, 04], la logistique est un processus triple de planification, d'approvisionnement et de clôture de commande conduisant à la satisfaction du client. Elle peut être scindée en deux fonctions essentielles selon leurs rôles : la logistique des biens matériels assure la disponibilité du produit dans de bonnes conditions et la logistique des services, optimise les infrastructures d'offre de services et coordonne les activités de réalisation des besoins des clients.

Le « Council of logistics management » définit la logistique en tant que processus permettant de planifier, mettre en œuvre, contrôler un flux et un stockage efficace et efficient des matières premières, des en-cours, des produits finis et d'informations, au point de consommation, dans le but de se conformer aux exigences du client [Lav, 07].

La terminologie anglo-saxonne « Supply Chain », est couramment utilisée dans le monde des entreprises à la place du terme « chaîne logistique ». Ce concept a reçu beaucoup d'attention, car une large terminologie est utilisée pour décrire l'ensemble des processus de production, des processus logistiques pour la livraison des produits finis aux clients [Pim, 03], [Jam, 01]. La définition la plus fréquemment retenue est celle de Lee et Billington [Lee, 92]. La Supply Chain est perçue comme un réseau d'installations et de moyens, reliés par des flux matériels et d'informations depuis des fournisseurs, à travers des installations, jusqu'au consommateur final comme montré sur la figure I.1.1.

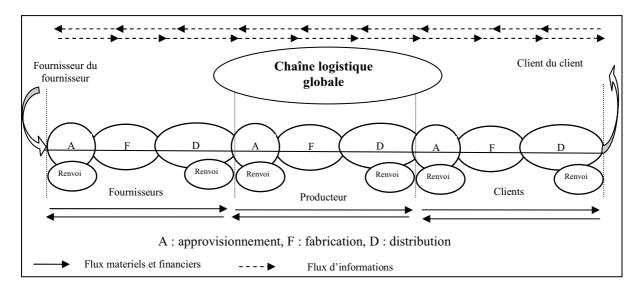


Figure I.1.1: Les processus et fonctions de la chaîne logistique.

1.2. Les flux dans la chaîne logistique

D'après la définition précédente, trois types de flux peuvent être identifiés : les flux financiers, les flux d'informations et les flux physiques.

a. Les flux financiers

Ils sont constitués des échanges de valeurs monétaires en contrepartie des biens et des services. Ils sont donc très dépendants des flux physiques mais constituent les indicateurs les plus utilisés pour mesurer le fonctionnement de chaque maillon de la chaîne. Une entreprise veille toujours à optimiser ses coûts (i.e. réduire les prix de ses produits ou chasser les dépenses inutiles).

b. Les flux d'informations

Ils sont essentiels au bon fonctionnement d'une chaîne logistique. C'est par la connaissance du fonctionnement des autres maillons de la chaîne qu'une entreprise peut prendre les décisions les plus adaptées quant à sa propre gestion opérationnelle. L'installation des systèmes d'information tels que les ERP (Enterprise Resource Planning) ou les EDI (Echange de Données Informatisées) joue un rôle majeur dans la gestion des entreprises en apportant un support technique pour accélérer les échanges d'informations.

c. Les flux physiques

Les déplacements des biens entre les différents acteurs de la chaîne logistique rythment le fonctionnement de celle-ci. Ces flux physiques peuvent se découper en trois étapes : produire (ou transformer), stocker et transporter. Ces trois fonctions sont en général assurées par des acteurs différents.

1.3. Management de la chaîne logistique (Supply Chain Management SCM)

La notion de chaîne logistique implique que les entreprises prennent en considération leur environnement à travers les trois flux mis en évidence ci-dessus pour assurer leur pérennité. Cependant, la mondialisation et la globalisation de l'économie moderne, l'extension géographique des marchés et la concurrence internationale compliquent davantage l'environnement économique dans lequel l'entreprise évolue. Il est donc nécessaire de s'attacher à obtenir une vision plus globale des processus industriels pour la gestion de ces flux. Le Supply Chain Management est l'activité qui consiste à considérer globalement les maillons d'une chaîne logistique pour améliorer les performances (réduction des délais, des coûts, satisfaction des clients...) de celle-ci.

La gestion de la chaîne logistique, ou Supply Chain Management (SCM), repose sur la coordination systémique et stratégique des fonctions traditionnelles de l'entreprise dans un réseau interentreprises, avec pour objectif d'améliorer les performances à long terme, à la fois de l'entreprise concernée et de la Supply Chain dans son ensemble [Ale, 04]. Elle constitue une approche intégrée de la planification des flux matériels, d'informations et financiers depuis le fournisseur jusqu'au client final, tout en assurant la synchronisation de l'ensemble des activités.

La coordination entre l'ensemble des actions et opérations, qu'elles soient propres à une entreprise ou qu'elles soient communes à plusieurs entreprises, peut assurer la cohérence entre les acteurs de la chaîne. Elle nécessite la mise en place de nouvelles technologies de l'information (EDI, Intranet, Internet) pour assurer la fluidité des flux d'informations et l'automatisation du transfert des données, ce qui permet par exemple d'accélérer le traitement des commandes. La satisfaction des clients est subordonnée à une bonne planification des besoins en ressources et à la coordination des plannings à travers les différents sites de la chaîne logistique. Ceci est réalisable grâce à la disponibilité de logiciels dédiés (APS : Advanced Planning & Scheduling).

1.3.1. Evolution du management de la chaîne logistique

L'évolution des facteurs qui pilotent le marché ont conduit les managers à s'intéresser à des questions cruciales pour adapter leurs stratégies afin d'être en adéquation avec les besoins des clients. Le tableau I.1.1 résume les caractéristiques de chacun des trois contextes industriels, depuis la deuxième guerre mondiale jusqu'à aujourd'hui [Akb, 01].

| Contexte | Période de logistique séparée 40-70 | Période de logistique intégrée 70 - 80 | Période de logistique coopérative 80 |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rapport offre/demande | Demande> offre | Demande = offre | Demande< offre potentielle |
| Connaissance de la demande | La quantité à produire est déterminée | Prévisible avec erreur acceptable | Incertaine |
| Priorité du producteur | Quantité | - Qualité - Flexibilité | Vitesse de réponse |
| Cycle de vie du produit | Long | Moyen | Court |
| Choix du client | Limité | Diversifié | Personnalisé |
| Domaine du marché | National | Continental | Mondial |
| Relation entre producteur et client | Le producteur est roi | Le client est roi | Coopération entre client (donneur d'ordre) et producteur (fournisseur) |
| Philosophie de management | Production de masseZéro tempsd'inoccupation | – Zéro défaut – Zéro stock | Zéro temps de réponseIngénierie simultanéeChaîne logistique |

Tableau I.1.1: Evolution des marchés.

a. Période de logistique séparée

Durant les décennies 40-70, la demande est supérieure à l'offre. Le producteur est roi, dans la mesure ou les produits et /ou les services délivrés répondent aux besoins fonctionnels principaux avec un coût admissible. Le client accepte des délais. Le souci majeur du producteur est d'optimiser l'outil de production et de maîtriser les coûts. Les flux sont régulés par des niveaux de stocks suffisants. Chaque maillon est géré et optimisé localement indépendamment des autres, car il n'existe pas de véritable chaîne allant du fournisseur au client. Par conséquent, le problème de la gestion du réseau logistique dans sa globalité ne se pose pas.

b. Période de logistique intégrée

Dans la période des années 70-80, les règles du marché ont changé. Le client est devenu roi à son tour. L'apparition de plusieurs entreprises pour un même segment du marché a augmenté l'offre et a favorisé la concurrence entre elles. Pour se tailler une part du marché et garder les clients, les producteurs ont été contraints d'améliorer la qualité des produits et des services mais aussi contraints de produire avec une plus grande diversité. Cela a impliqué la mise en œuvre de nouvelles stratégies de gestion dans différents domaines, par exemple : la qualité (Total Quality Management) ou la flexibilité (Flexible Manufacturing System). Pour augmenter le niveau de satisfaction du client, tous les services d'une entreprise (Conception, Production, Distribution) doivent collaborer et échanger des données techniques (Computer Integrated Manufacturing). Aussi, les entreprises doivent adapter leurs productions à la fluctuation de la demande. Pour cela, elles combinent deux approches possibles. Premièrement, le « flux poussé » qui consiste à planifier la production future en considérant la demande (Manufacturing Requirement Planning (MRP1), Manufacturing Resource Planning (MRP2)) [Wig, 84], [Orl, 75]. Deuxièmement, le « flux tiré », par lequel la demande déclenche la production (La méthode Kanban). Durant la période, de la logistique intégrée que nous décrivons dans ce paragraphe, le bilan de la gestion de la chaîne logistique montre que l'optimisation globale de ladite chaîne est plus importante qu'une suite d'optimisations locales qui caractérisent la période précédente.

c. Période de logistique coopérative

Depuis la fin des années 80, les habitudes des clients sont difficiles à prévoir, ce qui entraine un niveau élevé de réactivité de la part des producteurs. Le risque de perdre des clients (et par conséquent la fidélisation des clients) est devenu une problématique majeure pour les entreprises. La mondialisation complique davantage l'environnement économique des entreprises. De plus, l'incertitude sur la demande est une conséquence importante du marché [Fis, 97], [Cle, 96]. Donc, pour assurer sa pérennité, l'entreprise doit :

- trouver de nouveaux marchés,
- assurer une qualité des produits et des services plus élevée,
- réduire les coûts des produits,
- diminuer les délais et augmenter la réactivité.

Grâce à l'avènement de progiciels dédiés, à l'instar des ERP, des systèmes de gestion des données techniques (SGDT), des APS, la gestion de la relation client (Customer Relationship Management(CRM)) et le management de la chaîne logistique ont été révolutionnés. Aujourd'hui grâce à Internet, l'intégration informationnelle de différents partenaires est devenue plus réaliste et on constate l'essor des logiciels de SCM qui ont pour mission de faciliter l'échange des données et la coordination entre l'entreprise et ses différents partenaires externes.

La gestion de la chaîne logistique doit être pilotée par l'adoption d'une politique de gestion compatible avec sa stratégie concurrentielle.

1.3.2 La stratégie concurrentielle

La stratégie concurrentielle définit les manœuvres que l'entreprise doit accomplir afin d'optimiser sa position sur la marché. Pour élaborer un plan stratégique (figure I.1.2), celle-ci doit d'abord évaluer l'attrait du marché et ses points forts, afin de fixer les grandes orientations (objectifs), les missions, les domaines d'activités stratégiques (DAS) et les ressources qui leurs sont allouées [Bal, 08].

1) Plan stratégique

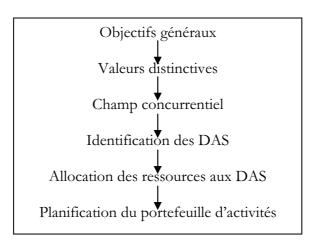


Figure I.1.2 : Plan stratégique.

a. Les objectifs généraux: ceux de l'entreprise sont généralement multidimensionnels. Ils peuvent porter sur la position par rapport aux concurrents, la rentabilité, la croissance, l'innovation, la productivité et les ressources financières.

b. Les valeurs distinctives: celles de l'entreprise doivent se refléter dans les politiques menées.
 Elles influencent les relations avec les actionnaires, les salariés, les clients, les distributeurs, les fournisseurs et la société.

- c. Le champ concurrentiel de l'entreprise : il doit être déterminé en termes de domaines d'activités, d'applications, de compétences, de segments de la clientèle, de valeur ajoutée et d'espace géographique.
- d. L'identification des domaines d'activités stratégiques (DAS): ils désignent les métiers exercés par l'entreprise. Ils peuvent être définis à partir de trois dimensions: la fonction remplie par le produit, la technologie utilisée et la catégorie de la clientèle visée.
- e. *Allocation des ressources au DAS* : après l'identification des différents domaines d'activités stratégiques, l'entreprise doit décider de leur allouer des ressources pour leur mise en œuvre.
- f. La planification du portefeuille d'activités : l'entreprise est amenée à renouveler son portefeuille d'activités et à abandonner des activités peu rentables.

2) Classification des stratégies concurrentielles

Les principales stratégies sont : la différentiation, la domination par les coûts, la concentration, la diversification et les niches. Les trois premières ont été établies par Michaël Porter [Por, 80], d'ailleurs, on les appelle les « stratégies génériques » de Porter.

- a. La stratégie de « domination par les coûts » : elle consiste à diminuer au maximum le « coût de revient » du produit pour baisser par la suite le prix de vente.
- b. La stratégie de « différentiation par les produits ou des services » : l'entreprise vise à créer quelque chose qui soit ressenti comme unique au niveau de l'ensemble du secteur. Les démarches de différentiation peuvent prendre des formes variées : une conception originale, un design moderne, un réseau de distribution efficace et un service après-vente rapide.
- c. La stratégie de la « concentration » : cela consiste à se concentrer sur un segment d'un DAS, par exemple un groupe de clients, une gamme de produits, un marché géographique. Une entreprise peut opter pour une stratégie de « domination par les coûts » ou une stratégie de « différentiation » pour ce segment.
- d. La stratégie des « niches »: une entreprise trouve un segment sur lequel la concurrence ne s'est pas encore installée. Il s'agit souvent d'une petite activité qui parfois grandit et sur

laquelle apparaîtront de nouveaux entrants. Parfois la niche est occupée par quelques acteurs qui se tolèrent et se partagent le marché.

e. La stratégie de « diversification »: lorsqu'une entreprise ajoute des segments d'activités en parallèle à ceux existants, on parle de « diversification horizontale », et lorsque l'on évolue vers l'amont ou l'aval, il s'agit d'une « diversification verticale ». De grandes entreprises se développent souvent grâce à la diversification.

1.3.3. Les décisions dans la chaîne logistique

La prise de décision est un acte essentiel dans la vie d'une entreprise. Elle constitue une préoccupation constante que l'on retrouve à tous les moments de la vie de celle-ci et à différents niveaux de son organisation. La décision est un choix portant sur :

- la détermination des objectifs (part du marché, résultats, effectifs, ...),
- la détermination d'une position par rapport à un problème posé à l'entreprise (partenariat, mode d'organisation, ou de direction),
- la mise en œuvre des ressources (recherche et acquisition de nouvelles ressources, modification de leurs allocations, extension et localisation).

Toutes ces décisions n'ont ni la même incidence, ni la même fréquence et ne font pas l'objet du même traitement. Elles ont été classées traditionnellement en trois niveaux selon leur portée temporelle, les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles.

1.3.3.1. Les décisions stratégiques

Les décisions stratégiques ont une influence importante sur la position concurrentielle de l'entreprise et elles conditionnent sa viabilité à long terme. Généralement, ces décisions sont prises au plus haut niveau de la hiérarchie. Elles impliquent un engagement à long terme de toutes les entités et des acteurs de la chaîne logistique. Ces décisions sont souvent prises au stade initial de la structuration ou de la configuration de la chaîne logistique et elles déterminent les solutions admissibles des niveaux tactiques et opérationnels. Ce sont les décisions portant sur les problèmes suivants :

- a) Faire ou faire-faire : une entreprise a tendance à investir dans le domaine de ses compétences en se consacrant sur son cœur de métier. Cependant, elle sera confrontée au problème de choix de faire ou de faire-faire certains produits semi-finis, ou l'externalisation des services nécessaires à ses activités. Cette décision consiste à choisir l'une des options suivantes :
 - 1) réaliser ces produits en interne par ses propres moyens (Faire),

2) recourir à une entreprise extérieure et indépendante (Faire-Faire),

- 3) recourir à une entreprise qui sous une forme ou sous une autre, a des liens privilégiés avec elle (joint venture, alliance stratégique, etc.) (Quasi faire).
- b) La sélection des fournisseurs : l'entreprise est contrainte de choisir les fournisseurs les plus fiables et compétents qui répondent à ses attentes. Le choix du nombre de fournisseurs dépend de la stratégie de l'entreprise. Par exemple, un nombre important de fournisseurs favorise la concurrence entres ces derniers, quant à un nombre réduit, il augmente le niveau de coopération.
- c) Nombre de sites, localisation, capacité et technologie : la décision de localisation se pose souvent après le choix de l'entreprise de garder la fabrication de certaines pièces en interne. Il existe plusieurs options de localisation :
 - l'extension d'un site existant dans le même espace (à cause d'une forte demande ou du lancement d'un nouveau produit),
 - l'ouverture d'un nouveau site sans fermer l'ancien (pénétrer des nouveaux marchés),
 - la fermeture d'un site ancien et l'implantation sur un nouveau site,
 - l'allocation des pièces aux sites de production (production multi-site),
 - la localisation des différents sites de stockage (matières premières, produits semi-finis) et des centres de services après-vente.

Le nombre important de sites diminue leur charge de travail et permet, par exemple une meilleure flexibilité. Néanmoins, les coûts de gestion augmentent. Choisir la technologie adaptée aux différents sites dépend : de la capacité des sites, de certains facteurs financiers et des caractéristiques des produits à fabriquer.

1.3.3.2. Les décisions tactiques

Les décisions tactiques considèrent le moyen terme comme horizon d'action. L'objectif est de consolider les décisions stratégiques prises au préalable. Ces décisions se focalisent particulièrement sur la circulation des flux physiques à travers la structure de la chaîne logistique. Elles concernent la planification de la production et de la distribution, l'allocation des ressources. Ces décisions se basent sur des données de prévision.

1.3.3.3. Les décision opérationnelles

Ces décisions assurent à court terme la gestion des moyens et le fonctionnement quotidien de la chaîne logistique. Elles nécessitent des données et des informations précises pour établir les programmes des livraisons et de transport.

Il est important de signaler que la prise de ces décisions doit tenir compte du facteur social dans la mise en œuvre de la stratégie concurrentielle de l'entreprise.

Les effets de ces décisions peuvent être difficilement réversibles, comme par exemple :

- Les conséquences de ces décisions peuvent être onéreuses : une entreprise dont la localisation des sites de production et d'entreposage n'est pas optimale subit des pertes permanentes à cause du transport.
- La viabilité à long terme de l'entreprise dépend de ces décisions : le choix d'une entreprise de faire-faire un composant stratégique en raison d'un coût moins élevé du fournisseur pourrait avoir des conséquences graves sur sa position concurrentielle (la dépendance des fournisseurs, risque de diffusion de la technologie).
- Les décisions stratégiques déterminent les solutions admissibles des niveaux tactiques et opérationnels: le choix des fournisseurs contraint le plan d'allocation des fournisseurs aux sites de production.

2. Typologie des modèles d'aide à la décision

2.1. La décision

Afin d'introduire la notion d'aide à la décision dans la logistique, nous allons donner un aperçu global sur la prise de décision qui ne se résume pas à un simple choix à faire entre plusieurs alternatives. Elle peut être interprétée comme le déclencheur d'un processus ayant pour objectif de répondre à un problème posé par une organisation, qui nécessite la mise en œuvre de différents mécanismes [Tel, 03]. La figure I.1.3 décrit la procédure de formation du processus décisionnel [Bal, 08].

2.2. L'aide à la décision

Roy [Roy, 93] a défini de manière générale l'aide à la décision comme suit : « L'aide à la décision est l'activité de celui qui, en prenant appui sur des *modèles*, aide à obtenir des *éléments de réponse* aux questions que se pose un intervenant dans un *processus de décision*, éléments concourant à éclairer le décideur et à recommander un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus et les objectifs de cet intervenant ».

2.3. Classification des méthodes d'aide à la décision

La littérature traitant la chaîne logistique est très abondante, elle a été abordée sous ses différents aspects. Les chercheurs et praticiens ont proposé et développé des modèles d'aide à la décision traitant les différentes décisions dans la chaîne logistique.

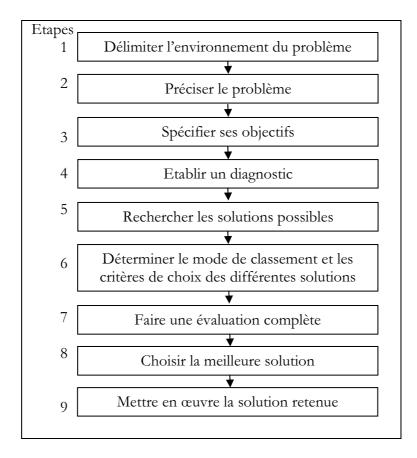


Figure I.1.3 : Modèle empirique du processus décisionnel.

Un travail bibliographique sur les modèles logistiques est présenté par Vidal [Vid, 97]. Il réunit les différentes méthodes mathématiques pour traiter les problématiques de coordination entre systèmes de production et de distribution. Thomas [Tho, 96] a répertorié les travaux ayant pour objectif de coordonner deux ou trois stades logistiques (Acheteur-vendeur, production-distribution, stockage-distribution). Dans la même optique, plusieurs auteurs ont proposé une classification des travaux suivant, le niveau décisionnel, l'approche, la méthode, la structure de la chaîne logistique et la problématique étudiée [Kle, 05], [Hua, 03], [Tan, 01], [Cro, 00]. Une classification de ces travaux a été clairement établie par Akbari [Akb, 01]. La répartition des travaux peut être réalisée suivant quatre critères :

- un modèle permet de prendre en considération une ou plusieurs des décisions, le plus souvent d'une même catégorie ou bien s'intéresse à une combinaison des trois catégories.
- les travaux peuvent être répertoriés suivant l'approche correspondant aux trois périodes de la logistique présentées précédemment.
- les critères de décision sont répartis en deux catégories, des critères subjectifs et objectifs.
- suivant le nombre de critères à optimiser, on peut distinguer deux types de méthodes, mono et multicritères.

Une grille assez complète de critères pour la classification des différents travaux de recherche en SCM a été élaborée par Galasso [Gal, 05].

La plupart des auteurs font appel aux méthodes d'optimisation mathématique qui peuvent être utilisées pour les trois types de décisions (stratégiques, tactiques et opérationnelles). Généralement, un problème d'optimisation mathématique a deux parties principales : la fonction objectif (fonction de coût ou fonction profit), que l'on cherche à optimiser (minimiser ou maximiser) par rapport à tous les paramètres concernés sans violer les contraintes imposées par le problème. Une telle fonction présente généralement un grand nombre de solutions non optimales. En pratique, l'objectif n'est pas d'obtenir un optimum absolu, mais seulement une bonne solution, et la garantie de l'inexistence d'une solution sensiblement meilleure. L'exemple suivant décrit un problème d'optimisation d'une fonction objectif (coût) sous contraintes :

$$\max \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad 1 \le j \le n \tag{I.1.1}$$

Tel que:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{j} \le b_{i} \qquad 1 \le i \le m$$
 (I.1.2)

Selon la forme et la description fonctionnelle du problème, différentes techniques d'optimisation peuvent être utilisées pour optimiser les critères particulièrement quantitatifs : la programmation linéaire/non linéaire avec des variables continues ou/et des variables en nombres entiers. Ces techniques sont exploitées pour développer des algorithmes dédiés à des problématiques spécifiques, par exemple les problèmes d'ordonnancement sous leurs différentes formes [Yal, 06]. De plus des heuristiques ou méta-heuristiques ont été utilisée pour traiter des problèmes plus complexes par exemple la gestion de production et des stocks [Mai, 07].

La principale limite de ces méthodes est leur impuissance à considérer des critères qualitatifs et à optimiser un nombre important de critères. Cet inconvénient est contraignant s'agissant de décisions stratégiques. Pour compenser les limites de ces méthodes, les décideurs ont recours à des méthodes plus adéquates qui sont les méthodes multicritères.

2.3.1. Méthodes multicritères d'aide à la décision

L'aide à la décision multicritère est souvent appelée par la communauté anglo-saxonne « *Multi Criteria Decision Making (MCDM)* ». Elle vise à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision, où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, entre en considération [Vin, 89]. En général, il n'existe pas d'action qui puisse maximiser simultanément tous les critères de décision. Néanmoins, la solution qui sera retenue est celle qui sera un compromis entre les différents critères et vérifie les contraintes.

Considérons le cas du problème de décision multicritère : m critères $(C_1, ..., C_m)$ et n alternatives $(A_1, ..., A_n)$. Une méthode de décision multicritère est basée sur la matrice de décision représentée par le tableau (I.1.2). Le terme a_{ij} représente la performance de l'alternative A_j vis-à-vis du critère C_i . Par souci de simplicité, nous assumons qu'un score élevé signifie une meilleure performance, car on peut transformer facilement un problème de minimisation en un problème de maximisation. Comme montré par la matrice de décision (Tableau I.1.2), des poids sont assignés aux critères de décisions. Ils reflètent l'importance relative de chaque critère dans la décision à prendre. Ils sont souvent déterminés subjectivement et ils représentent une agrégation des opinions ou des appréciations d'un groupe de décideurs. Les alternatives seront classées par ordre descendant selon le score final (x_j) obtenu par l'agrégation des scores individuels à l'aide d'une fonction mathématique à maximiser.

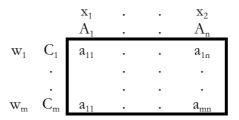


Tableau I.1.2: Matrice de décision

La littérature est riche en méthodes de décision multicritères [Ven, 07]. On peut citer quelques méthodes les plus utilisées : la somme ou le produit pondéré, processus d'analyse hiérarchique (AHP) avec ses différentes variantes, la technique d'enveloppement des données (DEA), l'analyse de sensibilité (SA), la décision du groupe (GDM) et la décision multicritère floue (FMADM)...

Dans le domaine de la gestion de production et par extension à celui de la gestion des chaînes logistiques, Bel [Bel, 98] précise que l'utilisation des outils d'aide à la décision peut se réaliser selon deux approches relevant de méthodes d'expression des alternatives différentes :

a. Approche par évaluation des décisions

Cette approche permet d'analyser les performances dynamiques des différentes solutions envisagées pour un problème de décision jusqu'à obtenir un résultat proche des performances désirées. Deux grandes classes de méthodes permettent l'évaluation des performances dynamiques : les méthodes analytiques et la simulation dite à événements discrets.

b. Approche générative ou prescriptive

Le principe de cette approche consiste à déterminer des valeurs de certaines variables en considérant les différentes contraintes pour obtenir une solution satisfaisante à un problème.

L'exploitation de ces approches d'aide à la décision pour traiter les problèmes rencontrés dans la gestion de la chaîne logistique sera d'un grand apport. Particulièrement le volet concernant sa conception implique plusieurs décisions stratégiques. Le choix de méthodes appropriées sera déterminant pour la qualité des solutions, car c'est une étape décisive pour définir la configuration adéquate pour le bon fonctionnement des activités de la chaîne logistique.

3. La conception de la chaîne logistique globale

La conception de la chaîne logistique regroupe un ensemble de décisions stratégiques qui concourent à améliorer sa performance. Cette phase est d'une importance capitale, car elle concerne plusieurs entités et aspects de la chaîne. Elle détermine les attributs des différentes installations et moyens mis en œuvre par celle-ci. Les décisions prises doivent être compatibles avec la stratégie concurrentielle de l'entreprise. Tous les services de l'entreprise doivent contribuer à atteindre les objectifs fixés. Au stade de la conception de la chaîne logistique, plusieurs problématiques se posent simultanément. Donc, il faut prendre plusieurs décisions en même temps. La création d'une nouvelle entreprise, le lancement de nouveaux produits, un changement de l'environnement socio-économique, sont quelques cas qui reflètent des situations qui impliquent soit la conception ou la reconfiguration de la structure de la chaîne logistique.

Le problème de conception d'une chaîne logistique est complexe compte tenu de nombreux paramètres à prendre en considération. C'est un problème multicritère, car les décideurs doivent évaluer plusieurs alternatives vis-à-vis des critères de décision souvent conflictuels et en absence de données précises (incertitudes).

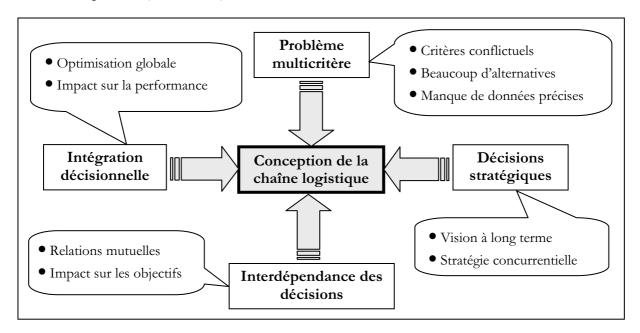


Figure I.1.4 : Les caractéristiques du problème de conception d'une chaîne logistique.

En effet, cette phase conditionne la viabilité de l'entreprise à long terme puisque elle concerne les décisions stratégiques. Ces dernières sont caractérisées par des interactions et des relations mutuelles, ceci rend la prise de décision difficile. Enfin, l'objectif de toute entreprise est d'optimiser globalement sa chaîne logistique, cela surgit l'intérêt d'une intégration décisionnelle afin de contourner le phénomène d'interaction et d'impact entre les décisions prises.

Les décisions traitées dans la littérature concernent essentiellement : (i) la décision de localisation des unités de production, (ii) la sélection des fournisseurs et (iii) la décision de faire ou de faire-faire des produits semi-finis ou d'activités. Ces trois décisions s'imposent en premier lieu lors de la conception de la chaîne logistique. La mondialisation des marchés a engendré l'émergence de nouveaux facteurs de compétitivité. Les entreprises se tournent vers une forme d'externalisation de leurs activités, une extension des problèmes de localisation et de choix des fournisseurs à l'échelle internationale. Notamment, certains grands groupes industriels considèrent la délocalisation de leurs activités comme une alternative pour s'implanter dans des pays avec de faibles coûts de revient [Ham, 08]. Toutefois, ces décisions sont conditionnées par plusieurs facteurs [Kli, 09], [Mei, 05], [Coh, 89].

Les démarches classiques considèrent ces décisions d'une manière séparée ou hiérarchisée. Dans le cas où plusieurs problématiques se posent en même temps, la prise des décisions, dans les approches classiques, se base sur des connaissances préétablies en ignorant les éventuelles relations existantes entre les décisions. L'inconvénient majeur de la mise en œuvre de ces démarches, réside dans le fait qu'elles considèrent les maillons de la chaîne indépendamment les uns des autres, c'est-à-dire, des séries d'optimisations locales, ce qui n'implique pas forcément une optimisation globale de celle-ci. La prise de l'une de ces décisions isolément des autres peut conduire l'entreprise à une impasse à long terme

La communauté scientifique et industrielle insiste sur l'importance de la vision intégrée de la conception de la chaîne logistique globale; elle constitue un facteur clé dans l'amélioration de ses performances [Tac, 08], [Rom, 03], [Tan, 99]. De nombreux travaux portant sur l'intégration des décisions logistiques visent le plus souvent les décisions tactiques et opérationnelles, mais rarement le niveau stratégique. Or, il existe des relations mutuelles et des interactions entre les décisions stratégiques à considérer avec beaucoup d'attention. De plus, l'intégration de la stratégie concurrentielle de l'entreprise dans le processus de prise de décision est extrêmement importante dans la démarche de conception d'une chaîne logistique globale. Enfin, la mise en place d'un système d'évaluation des performances peut servir comme un tableau de bord pour le suivi et la supervision des répercussions des décisions stratégiques et l'apport de l'intégration décisionnelle

pour la chaîne logistique. Notre contribution s'inscrit dans l'optique de proposer une démarche d'aide à la décision qui considère ces points critiques.

Le modèle SCOR (Supply Chain Operations Reference model) propose cinq processus pour la chaîne logistique : la planification, l'approvisionnement, la production, la distribution et la gestion des retours [Lav, 07]. Ces processus sont considérés comme différentes sources d'incertitudes. Par exemple, l'incertitude au niveau de la demande s'exprime en termes : de quantité, de répartition entre les différents produits d'une même famille et de date de besoin. Le comportement incertain du client augmente chez son fournisseur direct les risques de rupture des stocks, ce qui oblige le fournisseur à augmenter le stock de sécurité. Cette fois, du point de vue du client, les performances du fournisseur sont plus ou moins constantes et l'incertitude des approvisionnements concerne par exemple les délais de livraison, la qualité des produits livrés. En effet, ces incertitudes se propagent tout au long de la chaîne logistique.

De ce fait, la présence de ces incertitudes, entrave le travail des acteurs de la chaîne logistique et complique davantage le processus de prise des décisions. En plus, l'aspect multicritère des décisions stratégiques qui sont mutuellement reliées, constitue une contrainte majeure qui nécessite un choix de méthodes et outils appropriés [Ven 07].

L'utilisation des modèles stochastiques basés sur des distributions probabilistes et des historiques de données, afin de représenter les phénomènes aléatoires, est compromise. Ces méthodes sont confrontées à la difficulté d'accès à certaines sources de données. Pour contourner cette difficulté, nous avons choisi la théorie des ensembles flous. Notre choix est motivé par l'intérêt qu'elle présente pour des systèmes où les données sont mal connues ou imprécises, la simplicité d'évaluation des critères qualitatifs, sa facilité d'implémentation et sa flexibilité. Elle est basée sur un langage naturel et facilement compréhensible [Zad, 65]. Les ensembles flous constituent une alternative intéressante, que nous allons exploiter pour développer la démarche d'aide à la décision et apporter des solutions à ces contraintes.

4. Proposition

Cette brève analyse des travaux existants montre l'intérêt qu'il faut apporter à la question d'intégration des décisions stratégiques, spécifiquement au niveau de la conception de la chaîne logistique. De ce constat naît l'objet de notre contribution qui s'inscrit dans cette optique. Précisément, nous nous sommes focalisés sur trois décisions stratégiques qui s'imposent lors de la construction de la chaîne logistique dans l'industrie manufacturière à savoir :

- La localisation : le choix des sites pour l'implantation de nouvelles unités de production,
- Le choix des fournisseurs de matières premières ou de produits semi-finis,

Chapitre 1 La chaîne logistique

La décision de faire ou de faire-faire un produit semi-fini.

Notre contribution consiste à proposer une démarche d'aide à la décision intégrée pour les trois problématiques lorsqu'elles se posent simultanément. Compte tenu des différentes contraintes présentées précédemment, le choix de méthodes d'aide à la décision pertinentes est primordial pour obtenir des solutions attendues. Pour notre cas, nous avons emprunté le concept d'utilité totale, une approche hybride, afin de fédérer plusieurs aspects importants du problème de conception de la chaîne logistique. Cette approche est basée sur le raisonnement par logique floue et l'optimisation mathématique. Grâce à ces outils, nous allons essayer d'apporter des solutions adéquates aux différentes contraintes : l'aspect multicritère des décisions, pallier le manque de données précises, la subjectivité inhérente aux perceptions et jugements des décideurs, la considération de la stratégie concurrentielle de l'entreprise et l'aspect opérationnel de ce problème.

La démarche est structurée en deux niveaux. Premièrement, on s'intéresse à l'aspect décisionnel. Ainsi les trois décisions ont été abordées sous des angles différents :

- Dans un premier temps, les trois problématiques sont traitées séparément, c'est-à-dire, en supposant que les décisions sont indépendantes.
- Dans un second temps, les trois décisions peuvent être prises simultanément, essentiellement au stade initial de la conception de la chaîne logistique. Dans ce cas, une analyse d'impact entre les trois décisions est nécessaire pour déceler les relations mutuelles entre elles à prendre en considération.

Deuxièmement, on s'intéresse à l'évaluation des performances de la chaîne logistique pour pouvoir quantifier les répercussions des décisions prises initialement. Elle constitue un outil de supervision efficace pour identifier les déviations ou les divergences par rapport aux objectifs fixés préalablement. De plus, une analyse des origines de toute contre-performance observée déterminera les actions adéquates à entreprendre, ceci suivant la taille et le contexte des activités de l'entreprise.

La prochaine partie sera dédiée à la présentation du principe du raisonnement par logique floue et le concept d'utilité totale, deux outils que nous exploitons pour développer la démarche d'aide à la décision proposée dans cette thèse.

Partie 2

Utilisation de la logique floue pour la prise de décision

1. La prise de décision en présence des incertitudes

La prise de décision consiste à optimiser un ensemble de critères de natures différentes, dont le but est d'atteindre les objectifs fixés. Cependant, ce processus peut être soumis à des contraintes, par exemple : l'absence de données précises, la subjectivité inhérente aux jugements et la confrontation des avis de plusieurs décideurs appartenant à des services différents. Cette situation est couramment rencontrée dans les entreprises actuelles.

L'utilisation des modèles stochastiques pour l'aide à la décision est compromise par le manque de données fiables et les méthodes d'optimisation mathématique classiques sont inaptes à traiter ces cas. Pour surmonter ces difficultés, nous avons emprunté le concept « d'utilité totale ». C'est une démarche « hybride », car d'une part, elle se base sur la théorie d'optimisation mathématique et d'autre part sur la théorie multicritère, nous avons pour notre part choisi d'utiliser le raisonnement par logique floue. Ce choix est motivé par l'intérêt qu'elle présente pour des systèmes où les données sont mal connues ou imprécises, par la simplicité d'évaluation des critères de différentes natures, et par sa facilité d'implémentation et sa flexibilité. Elle est basée sur un langage naturel et facilement compréhensible.

Cette partie sera organisée comme suit : nous commençons par un rappel des principes du raisonnement par logique floue. Ensuite, nous présentons d'une manière explicite un ensemble d'outils, pour simplifier la définition des ensembles flous pour les critères de décision, la détermination de leur importance, la conversion des jugements des décideurs en variables linguistiques et en valeurs numériques et l'agrégation des différents points de vue dans la décision du groupe. Enfin, nous détaillons le concept d'utilité totale.

2. Le raisonnement par logique floue

Généralement, le bon sens occupe une place importante dans le management des entreprises. Les décideurs seront amenés à faire des choix et évaluer des alternatives vis-à-vis des critères non clairement définis. La logique classique n'est pas souvent adéquate pour ce genre de problème, car les deux valeurs de vérités, le vrai et le faux (1 ou 0), ne sont pas suffisantes pour tirer des conclusions adéquates, ce qui compromet la pertinence des décisions prises. Tandis que, l'utilisation des connaissances symboliques pour inférer, déduire, associer... est une opération cognitive complexe où l'homme excelle dans la manipulation de l'incertain, du vague et de l'imprécis, voir les trois simultanément [Jan, 07]. Ceci justifie l'intérêt de la logique floue, pour traiter ces cas. Elle constitue une alternative intéressante pour combler les lacunes de la théorie des ensembles classiques.

2.1. Aperçu sur la logique floue

Les bases théoriques de la logique floue ont été établies en 1965 par le professeur Lotfi A. Zadeh [Zad, 65]. La théorie des ensembles flous a été conçue d'emblée par son auteur comme une alternative aux problèmes rencontrés en Intelligence Artificielle, en d'autre termes, la modélisation du raisonnement humain. Les systèmes flous permettent d'exploiter et de manipuler efficacement les informations linguistiques émanant de l'expert humain grâce à un fondement théorique important [Jan, 07]. La structure de base d'un système flou général se divise en trois parties principales comme le montre la figure (I.2.1).

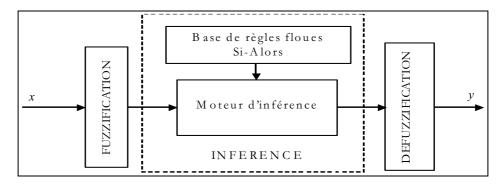


Figure I.2.1: Système flou.

2.1.1. Fuzzification

La fuzzification consiste à définir les ensembles flous (transformation en variables linguistiques) pour les variables d'entrée du système. Pour définir un ensemble flou « E », il faut donner un univers de discours \mathbf{X} , un ensemble classique caractérisant l'intervalle de variation de la variable considérée, une fonction d'appartenance μ_E , définie sur cet univers et à valeurs dans l'intervalle [0, 1]. Cet ensemble flou est caractérisé par le fait qu'un élément appartient à l'ensemble avec un certain degré. La figure I.2.2 illustre un exemple de fonctions d'appartenance triangulaires de la variable de décision « la proximité d'un fournisseur ».

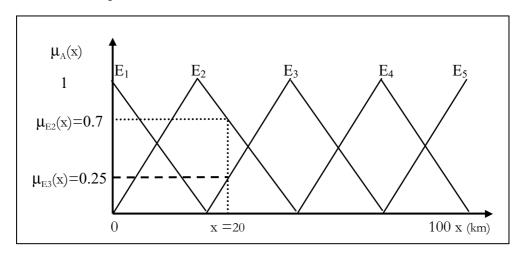


Figure I.2.2 : Interprétation linguistique de la variable « Proximité des fournisseurs ». (E₁: Proche, E₂: Assez proche, E₃: Moyen, E₄: Assez loin, E₅: Loin)

2.1.2. Inférence

Elle consiste à établir les règles floues qui lient la variable de sortie aux variables d'entrée afin de tirer des conclusions ou des déductions floues. Généralement, elles sont construites grâce au bon sens et l'expérience des décideurs. Chaque règle est composée de prémisses liées par les opérateurs flous « ET, OU » et donne lieu à une implication par l'opérateur ALORS :

L'interprétation des opérateurs flous dépend du moteur d'inférence adopté (Min/Max, Max/Prod et Somme/Prod). Dans ce travail, nous nous intéressons aux systèmes flous de type « Mamdani », donc la j^{ème} règle floue peut prendre la forme suivante :

SI
$$x_i$$
 est $E_{x_1}^j$ ET x_2 est $E_{x_2}^j$ ET x_3 est $E_{x_3}^j$ x_n est $E_{x_n}^j$ ALORS y_j est $E_{y_j}^j$ (I.2.2)

Où les x_i (i=1,...n) sont les entrées du système flou, $E_{x_i}^j$ est l'ensemble flou correspondant à l'entrée x_i , $E_{y_i}^j$ est l'ensemble flou correspondant à la sortie du système y.

La sortie du système flou fait intervenir, généralement, plusieurs règles floues. La liaison entre ces règles se fait par l'opérateur « OU », ainsi la sortie finale « y » sera :

$$y \text{ est}: y_1 \text{ OU } y_2 \text{ OU}...\text{OU } y_m$$
 (I.2.3)

2.1.3. Défuzzification

Dans cette étape on réalise l'opération inverse à la fuzzification, à savoir, obtenir une valeur réelle de la sortie à partir des surfaces obtenues dans l'étape d'inférence.

On peut distinguer plusieurs méthodes de défuzzification :

- Le centre de gravité,
- Le bissecteur de la surface,
- La moyenne des maximas,
- Le plus petit ou plus grand des maximas en valeur absolue.

L'exemple suivant montre les différentes étapes de construction d'un système flou adapté à la prise de décision. La même procédure sera adoptée pour la construction des différents modèles.

2.2. Exemple

Une entreprise veut mesurer la possibilité de réduire les délais d'approvisionnement des matières premières chez ses fournisseurs. A cet effet, elle a défini deux critères pour évaluer ses fournisseurs (i.e. la proximité et la flexibilité des fournisseurs). Pour automatiser cette fonction,

elle a mis en place un système flou constitué de deux entrées (i.e. critères de décision) et une sortie pour évaluer la possibilité de réduction des délais.

La première étape consiste à définir les ensembles flous pour les variables d'entrée du système. La contrainte majeure réside, particulièrement, dans la définition de l'univers de discours des variables difficilement quantifiables. Dans un souci de généralités, nous avons normalisé l'univers de discours et réduit à l'intervalle [0, 1] (figure I.2.3).

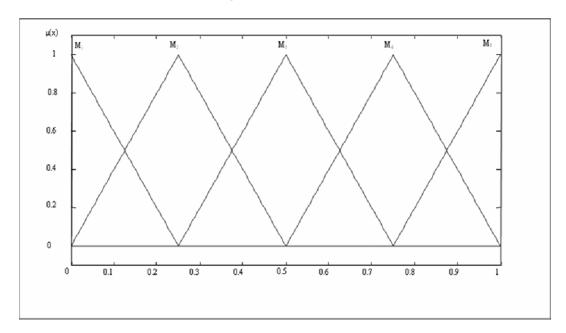


Figure I.2.3: Les fonctions d'appartenance correspondant aux ensembles flous.

1. Les entrées

- a. *Proximité du fournisseur (PF)*: la proximité du fournisseur est la distance le séparant du site de production. Des fournisseurs proches réduisent les coûts et les délais de transport. (Proche: P, Assez Proche: AP, Moyen: M, Assez loin: AL, Loin: L)
- b. La flexibilité du fournisseur (FF): c'est la flexibilité en termes de délai et en volume, c'est-àdire, la capacité du fournisseur à adapter ses moyens ou ses ressources pour satisfaire les demandes de l'entreprise en matières premières (Faible (F), Assez Faible (AF), Moyenne (M), Assez Elevée (AE), Elevée (E)).

2. La sortie

Possibilité de réduire les délais d'approvisionnement: cette sortie évalue la possibilité, pour l'entreprise, de réduire les délais d'approvisionnement, pour revoir éventuellement sa politique de gestion des stocks et son planning de production. D'ailleurs, un délai d'approvisionnement court permet à l'entreprise de réduire le niveau des stocks. Cette sortie est décrite par les termes linguistiques suivants: Faible (F), Assez Faible (AF), Moyenne (M), Assez Elevée (AE), Elevée (E).

Le tableau I.2.1 résume la base de règles floues. Elles reproduisent le raisonnement de l'expert humain. Elles sont mises en œuvre grâce à une expertise, des connaissances, l'expérience et le bon sens des membres de l'équipe de décision. Elle consitue un support pour la prise de décision.

| PF FF | P | AP | M | AL | L |
|----------|----|----|----|----|----|
| F | AF | AF | F | F | F |
| AF | AF | AF | F | F | F |
| M | M | M | M | AF | F |
| AE | E | E | M | M | AF |
| Е | E | E | AE | M | AF |

Tableau I.2.1 : Base de règles floues

Le principe d'évaluation des fournisseurs consiste à juger chacun d'eux vis-à-vis des critères prédéfinis. Ensuite, la base de règles permet de tirer les conclusions selon chaque cas.

Un point crucial à souligner est la procédure de conversion des jugements verbaux des décideurs en valeurs numériques pour être exploitables par le système flou. Par exemple, deux décideurs peuvent juger qu'un fournisseur est « proche », mais en attribuant deux scores différents au critère « Proximité de fournisseur x_1 = 0.05 et x_2 =0.1 ». Ceci est du au fait que le terme « proche » est une information vague qui peut avoir différentes significations et donc peut être interprétée par plusieurs valeurs.

Pour éviter toute confusion ou attribution de valeurs aléatoires aux critères de décision, nous avons adopté une approche de conversion systématique de ces termes en valeurs numériques et en suivant la forme des fonctions d'appartenance utilisées. Dans un souci de généralité, nous avons normalisé l'univers de discours et réduit à l'intervalle [0, 1] pour toutes les variables de décision. Les différentes étapes de cette méthode sont décrites dans la section suivante.

3. Conversion des jugements verbaux en scores (valeurs numériques)

Cette approche, de Chen et Hwang [Che, 92], simplifie la définition des ensembles flous pour les variables de décision, et propose une méthode de conversion des termes linguistiques en scores. Elle s'articule en deux phases :

Premièrement, Chen et Hwang ont défini une approximation numérique pour la représentation des ensembles flous pour la description des grandeurs de différentes natures. Toutes les variables sont définies sur un univers de discours [0, 1], et ces auteurs ont suggéré de subdiviser cet univers en un nombre allant de deux jusqu'à onze ensembles flous (huit représentations différentes). L'utilisateur n'a qu'à choisir l'échelle de représentation qui correspond à la variable qu'il veut décrire. La figure I.2.2 représente un exemple de

représentation d'une variable avec cinq ensembles flous, la même forme adoptée dans l'exemple précédent.

• La deuxième phase consiste à convertir ces termes linguistiques en scores pour calculer une valeur unique à chaque terme ou jugement verbal. C'est une manière de normaliser et de simplifier l'interprétation des appréciations faites par différentes personnes.

Pour décrire cette méthode, un exemple est présenté ci-dessous.

3.1. Exemple

Considérons l'ensemble flou « M_2 » décrit par une fonction d'appartenance de type triangulaire (équation I.2.4) représentée sur la figure I.2.3 :

$$\mu_{M_2}(x) = \begin{cases} 4 \cdot x, & si \ 0 \le x \le 0.25 \\ 2 - 4 \cdot x, & si \ 0.25 \le x \le 0.5 \\ 0, & si \ non \end{cases}$$
 (I.2.4)

Les fonctions max et min permettent, respectivement, de définir les valeurs minimale et maximale du score illustré par la figure I.2.4.

Ces fonctions sont définies de telle sorte que la position des fonctions d'appartenance sur l'univers du discours soit prise en compte dans le processus de comparaison.

$$\mu_{\max}(x) = \begin{cases} x, 0 \le x \le 1 \\ 0, sinon \end{cases}$$
 (I.2.5)
$$\mu_{\min}(x) = \begin{cases} 1 - x, 0 \le x \le 1 \\ 0, sinon \end{cases}$$
 (I.2.6)

L'intersection de la fonction d'appartenance (I.2.4) avec les fonctions max et min respectivement, permet de définir les valeurs minimale et maximale du score illustré par la figure I.2.4.

$$\mu_{L}(M_{i}) = Sup\left[\mu_{\min}(x) \wedge \mu_{M_{i}}(x)\right] \tag{I.2.7}$$

$$\mu_{R}(M_{i}) = \sup_{x} \left[\mu_{\max}(x) \wedge \mu_{M_{i}}(x) \right]$$
 (I.2.8)

Le score total d'un ensemble flou « M_i » est défini par l'équation I.2.9 :

$$\mu_T(M_i) = [\mu_R(M_i) + 1 - \mu_L(M_i)]/2 \tag{I.2.9}$$

Le score total du l'ensemble flou « M₂ » est défini par l'équation I.2.10 :

$$\mu_T(M_2) = [\mu_R(M_2) + 1 - \mu_L(M_2)]/2 \tag{I.2.10}$$

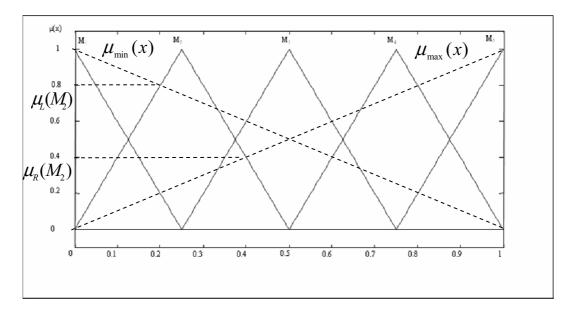


Figure I.2.4: Les scores minimum et maximum de l'ensemble flou « M₂ ».

De la même façon sont définis les scores correspondant aux autres ensembles flous. Le tableau I.2.2 résume les scores.

| Termes linguistiques | $\mu_{R}(M_{i})$ | $\mu_{\scriptscriptstyle L}(M_{\scriptscriptstyle i})$ | Score : $\mu_L(M_i)$ |
|----------------------|------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|
| M_1 | 0.2 | 1 | 0.1 |
| M_2 | 0.4 | 0.8 | 0.3 |
| M_3 | 0.6 | 0.6 | 0.5 |
| M_4 | 0.8 | 0.4 | 0.7 |
| ${ m M_5}$ | 1 | 0.2 | 0.9 |

Tableau I.2.2: Les ensembles flous et leurs scores correspondant.

Cette approche nous permet de convertir d'une manière systématique les jugements verbaux des décideurs vis-vis des critères de décision. Toutefois, ces valeurs peuvent changer si on adopte d'autres types de fonctions d'appartenance.

Cette technique peut être utilisée également pour définir l'importance des critères de décision. En effet, la stratégie et les objectifs de l'entreprise dictent le choix des critères et leurs poids dans le processus décisionnel. Ceci justifie la raison pour laquelle l'importance d'un critère diffère d'une situation à une autre. Elle peut être décrite d'une manière linguistique en adoptant l'une des représentations suggérées par Chen et Hwang [Che, 92]. La démarche de détermination de l'importance des critères de décision est décrite dans la section suivante.

4. Evaluation de l'importance relative des critères de décision

La figure I.2.5 représentant l'importance relative d'un critère par apport à un autre est interprétée avec onze ensembles flous.

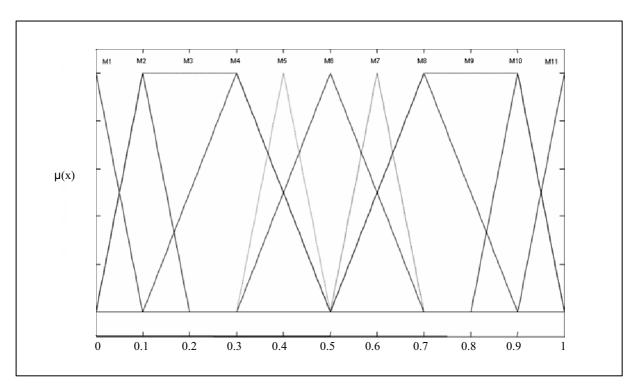


Figure I.2.5: Importance relative d'un critère (11 points).

Les scores donnés par le tableau I.2.3 sont calculés à l'aide de l'approche décrite précédemment.

| Termes linguistiques | Nombre flou | Score |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| Un critère est exceptionnellement moins important qu'un autre | \mathbf{M}_1 | 0.045 |
| Un critère est extrêmement moins important qu'un autre | M_2 | 0.135 |
| Un critère est beaucoup moins important qu'un autre | M_3 | 0.255 |
| Un critère est moins important qu'un autre | $\mathrm{M}_{\scriptscriptstyle{4}}$ | 0.335 |
| Un critère est un peu moins important qu'un autre | M_{5} | 0.410 |
| les critères sont d'une même importance | M_{6} | 0.500 |
| Un critère est plus important qu'un autre | M_7 | 0.590 |
| Un critère est plus important qu'un autre | M_8 | 0.665 |
| Un critère est beaucoup plus important qu'un autre | M_9 | 0.745 |
| Un critère est extrêmement plus important qu'un autre | \mathbf{M}_{10} | 0.865 |
| Un critère est exceptionnellement plus important qu'un autre | M_{11} | 0.955 |

Tableau I.2.3: Importance relative d'un critère par rapport à un autre.

L'importance de chaque critère dans le processus décisionnel est définie suivant la stratégie et les objectifs de l'entreprise. Cette opération est réalisée par une comparaison des critères de décision entre eux, comme décrite ci-dessous.

4.1. Comparaison par paire des critères de décision

La comparaison par paire de N critères conduit à la matrice « B_{NxN} ».

 x_{ij} : l'importance du critère « i » par apport au critère « j » (une valeur du tableau I.2.3).

$$B_{N\times N} = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & B_N \\ B_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ X_{12} & x_{22} & \cdots & x_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{NN} \end{bmatrix}$$
(I.2.11)

Les poids sont calculés par la moyenne géométrique normalisée de chaque ligne :

$$GM_i = \left[\prod_{j=1}^N x_{ij}\right]^{1/N} \tag{I.2.12}$$

$$w_{i} = GM_{i} / \sum_{i=1}^{N} GM_{i}$$
 (I.2.13)

 GM_i : la moyenne géométrique de la ligne « i », w_i : le poids du critère « i ».

Dans certains cas, des critères subjectifs et objectifs seront évalués en même temps, donc, il est nécessaire de normaliser ces derniers pour les mettre sur la même échelle [0,1] que les premiers, pour assurer la consistance et la cohérence des jugements.

5. Normalisation des critères objectifs

Les valeurs normalisées, d'un critère objectif, bénéfiques (vs. non bénéfiques) A_{ii} définis dans l'intervalle $[A_{inf}, A_{sup}]$, sont calculées par l'équation (I.2.14) (vs. équation (I.2.15) :

$$A_{i} = \frac{A_{ii}}{A_{\text{sup}}}$$
 (I.2.14) $A_{i} = \frac{A_{\text{inf}}}{A_{ii}}$ (I.2.15)

Traditionnellement, la prise des décisions implique souvent plusieurs individus dans une organisation. A cet effet, la décision du groupe est souvent favorisée par rapport aux décisions individuelles au sein des entreprises [Ven, 07]. L'implication des individus appartenant à des services différents, lors de la prise des décisions, permet de renforcer la consistance des données collectées. Toute fois, une analyse de ces données par des méthodes dédiées sera d'un apport

considérable pour s'assurer de la fiabilité des mesures, minimiser les erreurs, identifier la corrélation entre les différents critères et leurs impacts sur les décisions finales. Ceci justifie l'intérêt d'utiliser la décision du groupe dans l'approche proposée. La méthode d'agrégation des appréciations individuelles, faites par un groupe de décideurs, sera décrite dans la section cidessous.

6. Décision du groupe (Group Decision Making) GDM

La décision du groupe (GDM) est le processus de prise en compte de plusieurs opinions et la considération du statut de décideur dans l'organisation qui est d'une grande importance pour les décisions prises. Ce point peut être considéré par l'attribution des pondérations différentes à chacun d'eux. Celles-ci peuvent être calculées à l'aide de la méthode de comparaison par paire présentée ci-dessus.

Il existe deux méthodes d'agrégation des décisions d'un groupe d'individus :

- Agrégation des jugements individuels (Aggregation of Individual Judgments (AIJ)): les opinions exprimées par les individus concernant l'importance ou l'estimation d'un critère sont agrégées en utilisant la moyenne géométrique pondérée (équation I.2.16) pour une évaluation totale du critère par le groupe.
- 2. Agrégation des préférences individuelles (Aggregation of Individual Priorities (AIP)): dans cette approche les membres du groupe travaillent individuellement (évaluation de tous les critères). Les préférences finales sont agrégées en utilisant la moyenne géométrique ou arithmétique pondérée pour aboutir au score final du groupe (équation I.2.17).

Pour un groupe de décideurs composé de « n » membres (g(k), k=1,2,...,n) :

$$b_{ij}(AIJ) = \prod_{k=1}^{n} (b_{ijg(k)})^{l_{g(k)}}$$
(I.2.16)

$$P_{i}(AIP) = \prod_{k=1}^{n} (P_{ig(k)})^{l_{g(k)}} \quad ou \qquad \prod_{k=1}^{n} l_{g(k)} P_{ig(k)}$$
(I.2.17)

 $l_{\mathrm{g(k)}}$: l'importance du décideur dans le groupe. $\sum l_{g(k)}$ = 1 .

 $b_{ij}(AIJ)$: le poids du critère selon le groupe.

 $b_{ijg(k)}$: l'évaluation de l'alternative « A_i » selon le critère « j » par le décideur « g(k) ».

 $P_{ig(k)}$: le score final de l'alternative « A_i » selon le décideur « g(k) ».

La logique floue est une approche adaptée pour traiter les aspects subjectifs, mais elle demeure inefficace pour prendre en considération les contraintes opérationnelles imposées par les

problèmes de décision abordés dans cette thèse. Afin de pouvoir rallier les différents aspects caractérisant le problème de conception de la chaîne logistique, notamment la prise des décisions stratégiques, nous avons emprunté le concept « d'utilité totale ». Nous nous sommes appuyés sur la combinaison du raisonnement par logique floue et la programmation linéaire, afin d'exploiter les avantages de ces deux méthodes pour développer la démarche proposée dans cette thèse.

7. L'utilité totale

Le processus décisionnel consiste à optimiser un ensemble de critères de nature objective et subjective soumis à des contraintes. Cependant, l'emploi d'une approche d'optimisation mathématique classique est inapte à considérer un nombre important de critères. Grâce au concept d'utilité totale, nous pouvons surmonter cette difficulté. Nous appelons ce nouveau modèle « un modèle hybride », car d'une part celui-ci est basé sur la théorie d'optimisation mathématique et d'autre part sur le raisonnement par logique floue (méthode multicritère).

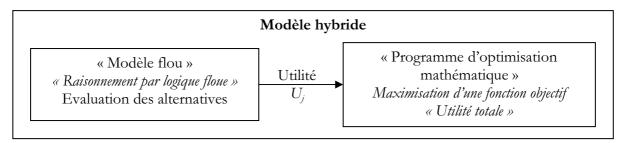


Figure I.2.6: Modèle hybride.

L'utilité totale « U(x) » d'une action « x » se calcule en additionnant les utilités partielles de cette action vis-à-vis des critères de décision. U_j : représente la satisfaction du décideur vis-à-vis de l'alternative « x_i ».

$$U(x) = \sum_{i=1}^{J} U_{i}(x_{i})$$
 (I.2.18)

Cette forme additive est la plus simple et la plus utilisée pour calculer la fonction d'utilité totale d'une action. Toutefois, d'autres formes multiplicatives ou mixtes peuvent être utilisées suivant les caractéristiques du problème. Cette fonction sera considérée comme la fonction objectif lors de la formulation mathématique des problèmes traités (programme linéaire avec contraintes).

La solution du problème consiste à choisir l'action qui maximise la fonction d'utilité totale (fonction objectif) sans violer les contraintes opérationnelles et stratégiques imposées par le problème. L'intérêt de cette démarche est de réunir les points suivants :

- la subjectivité et l'objectivité des critères de décision,
- la considération des contraintes organisationnelles et opérationnelles,
- l'implication de plusieurs acteurs dans la prise de décision (préférences et jugements).

Dans ce travail, nous avons opté pour la programmation linéaire avec contraintes car, cela répond suffisamment à nos besoins. De plus, notre contribution s'inscrit dans une logique transversale, nous nous intéressons à plusieurs problématiques à la fois, ceci complique davantage la résolution du problème. Certes, il existe des approches plus pointues dans des axes précis, notamment, les travaux traitant les décisions abordées dans cette thèse. Notre objectif n'est pas d'améliorer les approches existantes, mais de proposer une approche hybride. Néanmoins, elle peut être améliorée par l'exploitation des approches existantes et les adapter au problème de conception de la chaîne logistique. Ceci peut constituer une perspective pour nos travaux.

Chapitre 1 Conclusion

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté une analyse de la chaîne logistique et nous avons donné un aperçu des différentes entités qui la composent et des flux qui la parcourent, sans omettre d'évoquer l'évolution du management de la chaîne logistique à travers le temps. C'est un passage indispensable pour mieux aborder le volet décisionnel, qui constitue l'axe principal de notre travail.

La présentation des processus de décisions dans la chaîne logistique constitue une étape importante, car, c'est le point de départ de notre démarche. Réunir ces connaissances nous permet de bien identifier les différentes décisions concernant principalement les «flux physiques» d'une chaîne logistique et ce, aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel. La distinction entre ces différents types de décisions aide à proposer une approche de décision cohérente et concrète.

L'état de l'art des travaux traitant la modélisation de la chaîne logistique ne cesse d'évoluer, et la littérature est riche de modèles d'aide à la décision. Le nombre croissant de problèmes rencontrés par les acteurs de la chaîne logistique a incité la communauté scientifique à s'investir dans le développement de solutions aux problèmes rencontrés. Lors de cette revue, nous avons constaté le manque des approches de décision intégrées qui s'intéressent aux décisions stratégiques durant la phase de conception de la chaîne logistique. Toutefois, il existe certaines contributions qui sont axées essentiellement sur les niveaux décisionnels inférieurs (tactique et opérationnel) et sur la coordination de certains services. Un point important à souligner est l'aspect multicritère des décisions stratégiques mutuellement reliées. La présence des critères conflictuels difficilement quantifiables nécessite un choix de méthodes et d'outils appropriés. Le raisonnement par logique floue constitue une alternative intéressante pour anticiper les incertitudes, tout comme le manque des données précises, qui caractérise certains critères de décision.

L'apport de l'intégration décisionnelle, spécifiquement au niveau de la conception de la chaîne logistique est grandissant, car elle contribue au renforcement des assises de cette dernière. Ceci constitue l'objet principal de notre contribution. Précisément, nous nous sommes focalisés sur trois décisions qui s'imposent en premier lieu à ce stade : « le choix des fournisseurs », « le choix de faire ou de faire-faire » et « la localisation des unité de production ».

Dans le chapitre suivant, nous allons développer des démarches d'aide à la décision spécifiques à ces décisions, pour être exploitées dans la deuxième étape de ce travail, l'élaboration de la démarche de décision intégrée.

Chapitre 2

Approche séparée

Chapitre 2 Introduction

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous sommes focalisés sur trois décisions importantes qui s'imposent en premier lieu dans une démarche de conception d'une chaîne logistique. Ces décisions concernent essentiellement : « la localisation des sites de production », « le choix des fournisseurs » et enfin la décision de « faire » ou de « faire-faire ». Les trois problématiques sont abordées d'une manière séparée, c'est-à-dire, qu'elles seront traitées individuellement. Cette approche suppose que les décisions soient indépendantes. Alors, une démarche d'aide à la décision spécifique à chacune d'elles est développée. Cependant, dans le cas où ces problématiques se posent simultanément, il est possible de prendre ces décisions par ordre d'importance, d'une manière hiérarchisée.

Grâce à l'utilisation de la logique floue, nous pourrons intégrer l'expérience, les connaissances et le raisonnement de l'expert humain dans le processus décisionnel. C'est un moyen de considérer les différents aspects caractérisant les trois problématiques, notamment, la prise en compte de plusieurs points de vue, de la stratégie de l'entreprise et des notions subjectives difficiles à cerner par les méthodes classiques. La combinaison de cette approche avec une méthode d'optimisation mathématique peut fédérer les différents niveaux décisionnels de la chaîne logistique. Le processus de décision est illustré par la figure suivante :

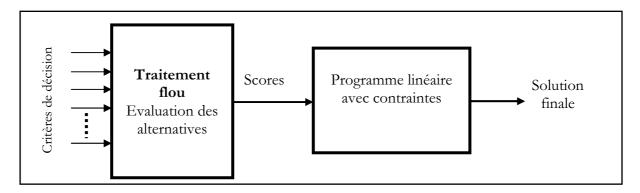


Figure II.1 : Processus de décision

Ce chapitre est organisé en trois parties principales :

La première partie est consacrée au problème de sélection des fournisseurs. Il consiste à choisir un nombre de fournisseurs performants qui répondent aux besoins de l'entreprise d'une manière plus compétitive. La prise en compte des incertitudes au niveau des paramètres de sélection (délai, qualité, coût et flexibilité) et la considération des caractéristiques des produits à acheter, sont essentielles dans ce type de décision. La démarche proposée peut être adaptée au cas où l'entreprise ne possède pas assez d'informations sur les fournisseurs.

Chapitre 2 Introduction

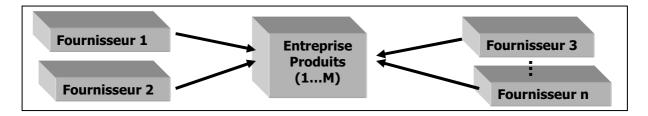


Figure II.2 : Sélection des fournisseurs.

La deuxième partie de ce chapitre est dédiée à la décision de localisation. La stratégie organisationnelle de l'entreprise consiste à implanter ses différentes installations de manière à assurer : un meilleur mouvement des flux physiques, la réduction des coûts, une communication efficace entre ces différentes entités et favoriser une croissance des activités et des profits. Notre contribution consiste à développer un modèle hybride pour résoudre le problème de localisation des unités de production sur un ensemble de sites potentiels.

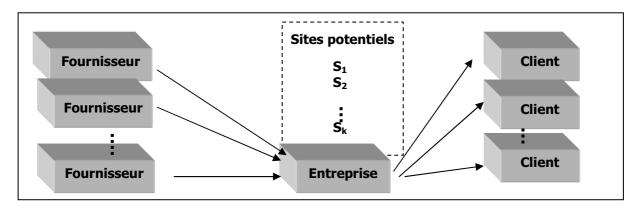


Figure II.3: Localisation des sites pour l'implantation de nouvelles unités de production.

Finalement, nous avons abordé la décision de faire ou de faire-faire. Nous nous intéressons au processus d'obtention des produits semi-finis entrant dans la constitution d'un produit fabriqué par une entreprise. Cette décision consiste à répondre aux deux questions suivantes :

- 1. Réaliser en interne par ses propres moyens (Faire)?
- 2. Passer par une entreprise extérieure (Faire-Faire)?

Notre objectif est de proposer une approche assez flexible pour assister les décideurs dans les différentes situations entourant la décision de faire ou de faire-faire. L'intérêt de cette proposition réside dans la considération de la stratégie concurrentielle de l'entreprise via les avantages compétitifs que peut apporter une telle décision à l'entreprise.

Partie 1

Décision de sélection des fournisseurs

1. Introduction

La chaîne logistique est une succession de fonctions interdépendantes : l'approvisionnement, la production et la distribution. Le fait d'intervenir sur l'une d'entre elles, affectera les performances de toute la chaîne [Pet, 05]. Particulièrement, l'approvisionnement est un maillon très sensible, c'est la source principale pour les activités des autres fonctions, mais aussi il génère une grande partie des coûts de revient des produits finis. Pour ces raisons, les entreprises prospectent les moindres opportunités afin de réduire les coûts et les délais ainsi qu'améliorer la qualité des produits achetés. Ainsi, un choix de fournisseurs performants peut être la solution adaptée pour atteindre ces objectifs, et contribuer à la performance globale de la chaîne [Sar, 02], [Man, 94].

Cependant, le processus d'évaluation et de sélection des fournisseurs est une activité délicate, car, elle implique plusieurs facteurs entachés d'incertitudes et difficilement quantifiables, et plusieurs éléments appartenant à différents services d'une entreprise. Cette étape est décisive pour réduire les risques d'approvisionnement, et l'instauration des relations à long terme avec ces nouveaux acteurs de la chaîne logistiques [Chen, 06].

L'approche que nous proposons peut être adaptée à une situation dans laquelle l'entreprise ne dispose pas d'informations précises sur les fournisseurs potentiels et ne possédant pas assez d'expérience dans l'approvisionnement d'un type de produit. Le recours à la logique floue est une solution intéressante, car elle s'appuie sur un langage naturel pour exprimer des jugements de l'expert humain. Cette théorie peut surmonter le problème des incertitudes, manipuler des données imprécises, et l'utilisation des valeurs exactes n'est pas nécessaire pour déterminer des solutions admissibles [San, 09]. Enfin, la phase d'évaluation est complétée par une méthode d'optimisation mathématique pour considérer les contraintes de l'entreprise et des fournisseurs.

Cette partie est structurée comme suit : tout d'abord, nous allons présenter le problème de sélection des fournisseurs et une vue d'ensemble de l'état des travaux traitant cette problématique. Ensuite, nous détaillons la démarche proposée pour la sélection des fournisseurs avec un exemple d'application pour tester sa pertinence vis-à-vis des approches existantes.

2. Le problème de sélection des fournisseurs

Le choix des fournisseurs consiste d'abord à définir les besoins de l'entreprise, puis présélectionner des fournisseurs potentiels selon des critères bien définis et enfin, choisir ceux qui répondent le mieux aux attentes de l'entreprise. Ce processus peut être résumé en cinq étapes :

- 1. le besoin de nouveaux fournisseurs,
- 2. la formulation du problème,
- 3. la présélection des fournisseurs potentiels parmi une liste initiale plus large,

- 4. la sélection finale en tenant compte des contraintes de l'organisation,
- 5. l'évaluation continue des fournisseurs (monitoring).

Plusieurs facteurs affectent le processus de sélection des fournisseurs, la figure II.1.1 en donne une illustration. La formulation de ce problème doit prendre en considération ces paramètres selon le contexte et l'activité de l'entreprise.

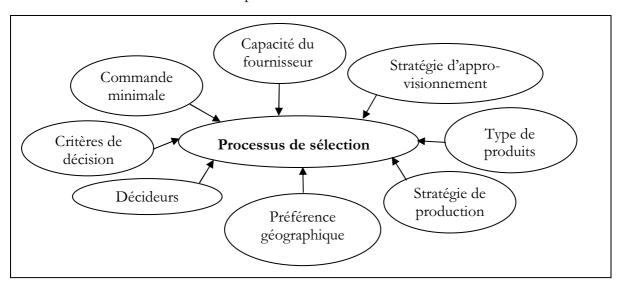


Figure II.1.1: Les facteurs affectant le processus de sélection des fournisseurs [Son, 06].

La sélection des fournisseurs est un processus complexe et de type multicritère. Il implique plusieurs acteurs et soumis à des contraintes internes à l'entreprise et externes dues aux fournisseurs. Par conséquent, la qualité des décisions prises présente un impact direct ou indirect sur toute l'organisation.

La sélection des fournisseurs a reçu une attention considérable dans la littérature. Certains travaux s'intéressent à l'importance des critères de décision [Sta, 93], [Ell, 90], [Roa, 80]. Un travail intéressant qui est considéré comme une référence est celui de Dickson [Dic, 66]. Il a identifié vingt trois critères à partir d'étude de cas, au sein de cent soixante dix entreprises, puis ils ont été classés par ordre d'importance (tableau II.1.1). Ceux-ci recouvrent la plupart des situations, mais ce classement n'est pas exhaustif, à cause de l'évolution permanente de l'environnement économique, par exemple, la proximité des fournisseurs est très importante dans le cas du juste à temps [Hal, 00]. Désormais, les entreprises ont tendance à créer des partenariats avec leurs fournisseurs, de ce fait, la capacité de coopération est un critère important à considérer avec beaucoup d'attention.

| Ordre | Critères | Poids | Importance |
|-------------|----------------------------------------|-------|-------------------------|
| 1 | Qualité | 3.508 | Importance extrême |
| 2 | Livraison | 3.417 | |
| 2 3 4 | Performance historique | 2.998 | |
| 4 | Politique de garantie | 2.849 | Importance considérable |
| 5 | Capacité et installation de Production | 2.775 | _ |
| 6 | Prix | 2.758 | |
| 7 | Capacité technique | 2.545 | |
| 8 | Position Financière | 2.514 | |
| 9 | Conformité de procédure | 2.488 | |
| 10 | Système de communication | 2.426 | |
| 11 | Réputation | 2.412 | |
| 12 | Désir de faire des affaires | 2.256 | |
| 13 | Management et organisation | 2.216 | |
| 14 | Pilotage | 2.211 | Importance moyenne |
| 15 | Services de réparation | 2.187 | |
| 16 | Attitude | 2.120 | |
| 17 | Impression | 2.054 | |
| 18 | Capacité d'emballage | 2.009 | |
| 19 | Relations sociales | 2.003 | |
| 20 | Endroit géographique | 1.872 | |
| 21 | Quantité passée d'affaires | 1.597 | |
| 22 | Formation proposée | 1.537 | |
| 23 | Arrangements réciproques | 0.610 | Importance faible |

Tableau II.1.1: Les critères de décision et leur importance selon le travail de Dickson.

La diversité des situations d'approvisionnement exige le choix de méthodes appropriées pour la résolution de ce problème. De Boer [Boe, 01] a positionné les différentes méthodes d'aide à la décision à travers les différentes étapes du processus de sélection des fournisseurs (figure II.1.2).

Les méthodes d'optimisation mathématique sont largement utilisées pour résoudre les problèmes d'allocation des commandes aux fournisseurs. Weber [Web, 91] a recensé plusieurs travaux qui traitent cette thématique avec la programmation mathématique. Ces méthodes sont souvent orientées « coût », elles négligent les autres aspects du problème.

Des méthodes statistiques ont été également utilisées, elles s'appuient sur les performances antérieures des fournisseurs à sélectionner. Alberto [Alb, 00] a proposé une approche de choix des fournisseurs basée sur l'analyse en composantes principales (ACP). Toutefois, cette approche n'est pas appropriée dans le cas d'indisponibilité des données relatives aux fournisseurs, par exemple l'achat de nouveaux produits mis sur le marché.

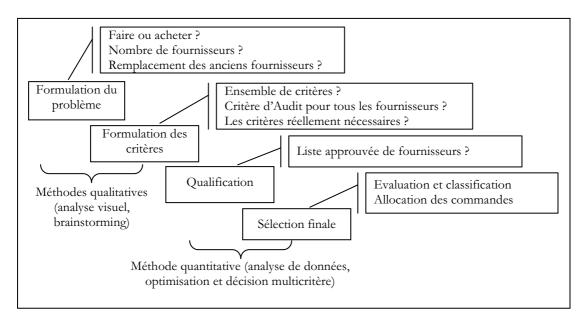


Figure II.1.2 : Positionnement des méthodes d'aide à la décision dans le processus de sélection.

L'introduction des méthodes multicritères qui prennent en considération l'aspect qualitatif de ce problème, s'avère une solution intéressante, tant que les méthodes mathématiques sont impuissantes à considérer les critères qualitatifs. Les premières méthodes utilisées sont basées sur l'élimination conjonctive ou lexicographique [Cro, 80], [Wri, 75]. Elles ont connues leurs limites, car elles ne s'intéressent pas à la performance totale des fournisseurs vis-à-vis de tous les critères de décision.

Pour remédier à cela, plusieurs auteurs ont utilisé les méthodes AHP (Analytic Hierarchy Process) et DEA (Data Envelopment Analysis) pour évaluer et sélectionner des fournisseurs [Chan, 07], [Sey, 06], [Cen, 03], [Mur, 02], [Nar, 01], [Yah, 99]. La méthode AHP se base sur une comparaison par paire des alternatives et de critères à différents niveaux de l'arborescence de décision. Elle sera difficilement utilisable dans le cas d'un nombre important d'alternatives ou de critères. Concernant la méthode DEA, il peut y avoir une confusion dans la formulation du problème, notamment dans le choix des critères d'entrées et de sorties nécessaires pour l'évaluation des alternatives [Wil, 09].

Certains auteurs ont proposé des extensions floues à ces approches pour contourner la difficulté d'avoir des données précises sur les fournisseurs potentiels [Chan, 07], [Kah, 03], [Man, 06], [Ami, 06]. William [Wil, 09] a présenté une revue des travaux de la dernière décennie et a constaté que les approches, DEA, AHP et programmation multi-objectif sont largement utilisées pour traiter ce problème.

Le dernier volet abordé dans la littérature est la relation client-fournisseur. Les auteurs soulignent l'importance des facteurs sociodémographiques et le partage des données [Aar, 04], [Kam, 04],

[Agr, 04], [Cho, 04], [Dow, 00]. L'instauration d'un climat de confiance, l'établissement de contrats à long terme contribuent à la réussite des activités d'externalisation ou de la soustraitance.

La plupart des approches présentées précédemment offrent des solutions satisfaisantes dans le cas où l'entreprise a accès à des informations précises sur ses fournisseurs potentiels. Les méthodes orientées vers la réduction des coûts n'assurent pas des choix adéquats de fournisseurs sans considérer les facteurs garantissant la satisfaction client, la qualité, la flexibilité des livraisons. Certaines approches s'adaptent au cas mono-produit, tandis qu'une approche orientée multi-produit peut générer des profits en regroupant des fournisseurs pour une famille de produits. L'utilisation de la logique floue, permet d'intégrer les connaissances, l'expérience et le raisonnement de l'expert humain via une base de règles floues dans le processus décisionnel. Elle est caractérisée par sa facilité d'agrégation de plusieurs points de vue, un point capital pour mettre en œuvre la décision du groupe, qui est très importante, vu le nombre d'acteurs impliqués dans l'organisation et dans les activités d'une entreprise.

En effet, le noyau de l'approche proposée s'appuie sur une combinaison d'une approche qualitative et une approche quantitative, le raisonnement par logique floue et l'optimisation mathématique. Un moyen incontournable pour compenser l'incapacité de la première méthode à considérer les contraintes opérationnelles et les critères subjectifs par la deuxième. Cette méthode peut s'adapter au cas d'indisponibilité d'informations sur les performances antérieures des fournisseurs [Lak, 07]. Dans la prochaine section nous allons détailler l'approche proposée.

3. La démarche de sélection des fournisseurs

3.1. Critères de sélection des fournisseurs

L'évaluation des fournisseurs est faite vis-à-vis des critères de décision suivants : la qualité des produits, les coûts proposés par les fournisseurs, leurs flexibilités (délais et volume) et l'importance stratégique du produit acheté dans la fabrication du produit final. Ces critères représentent un ensemble de facteurs essentiels dans le processus du choix des fournisseurs les mieux adaptés aux caractéristiques des produit compte tenu, notamment, de la durée de vie de ces produits qui ne cesse de se raccourcir.

Pour aborder cette démarche, il est primordial d'introduire les notations qui sont utilisées dans le processus de modélisation. Ces notations reflètent les critères de décision :

 Q_{ii} : la qualité du produit « i » proposée par le fournisseur « j ».

 P_{ij} : le prix du produit « i » signifié par le fournisseur « j » comparé au prix indicatif.

 $MP_{i,j}$: la possibilité de modulation du prix de base du produit « i ».

FL;: l'efficacité du fournisseur « j » en termes du délai de livraison du produit « i ».

 FV_{ij} : la flexibilité du fournisseur « j » en termes de volume de production

Cons_{t,i}: la quantité moyenne du produit « i » consommée par unité de temps.

 FC_{ti} : la fréquence de consommation du produit « i » par unité de temps et sa criticité.

 VP_i : la valeur financière du produit « i », la valeur qu'il représente dans le produit final.

 EQ_i : l'exigence du client en termes de qualité du produit « i » à approvisionner.

3.2. Modèle de présélection

Le modèle est représenté sous forme hiérarchique (Figure II.1.3), décomposé en plusieurs entités, chacune représente un système flou. Le tableau ci-dessous résume les entrées et sorties et le rôle de chaque système.

| Système flou | Entrées | Sortie | Rôle |
|------------------------|-------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Qualité | $Q_{i,j}$, EQ_i | $Qmp_{i,j}$ | Comparaison de la qualité des produits proposés par le fournisseur par rapport aux exigences du client. |
| Coût | P_{ij} , MP_{ij} | Coût _{ij} | Comparaison du prix fournisseur au prix indicatif du client. |
| Offre Coût et Qualité | Qmp _{ij} , Coût _{ij} | CQ_{ij} | Evaluation de l'attractivité de l'offre qualité-prix du fournisseur. |
| Flexibilité | FL_{ij} , FV_{ij} | FLex _{ij} | Evaluation de la réactivité du fournisseur face à la variation de la demande. |
| Importance stratégique | Cons _i , VP _i | IMPS; | Evaluation de l'importance stratégique |
| du produit | Freq _i | IIVIP 3 _i | du produit à acheter. |
| Index de sélection | $CQ_{i,j}$, $FLex_{ij}$ | Select_F _{ii} | Evaluation du l'index de sélection des |
| | $IMPS_{i}$ | 1 1 | Fournisseurs |

Tableau II.1.2 : les systèmes flous

Les critères de décision sont interprétés sous forme linguistique (Tableau II.1.3). Les scores relatifs aux ensembles flous sont définis à l'aide de la méthode de Chen et Hwang présentée dans le chapitre 1. En effet les fonctions d'entrée de formes triangulaires uniformément réparties dont les sommets se trouvent, sur l'univers de discours maximisés, respectivement à 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9.

| | Critères de sélection | Interprétation linguistique et scores |
|----------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | $Q_{i,j}$, EQ_i | Basse (B : 0.1), Standard (S : 0.3), Acceptable (AC : 0.5), Assez élevée (AE : 0.7), Elevée (E : 0.9). |
| | $P_{i,j}$ | Faible (F : 0.1), Inférieur au prix indicatif (IPI : 0.3), Prix indicatif (PI : 0.5), Supérieur au prix indicatif (SPI : 0.7), Elevé (E: 0.9) |
| s [0, 1] | $\mathrm{MP}_{\mathrm{i,j}}$ | Prix variable (PV : 0.1), Prix stable (PS : 0.3), Prix fixe (PF : 0.5), Réduction possible (RDP : 0.7), Réduction fréquente (RDF : 0.9). |
| Entrées [0, 1] | F _{ij} , FV _{i,j} , VP _i | Faible (F : 0.1), Assez faible (AF : 0.3), Moyenne (M : 0.5), Assez élevée (AE : 0.7), Elevée (E : 0.9). |
| | Cons _{t,i} | Petite (P: 0.1), Assez petite (AP: 0.3), Moyenne (M: 0.5), Assez grande (AG: 0.7), Grande (G: 0.9). |
| | $FC_{t,i}$ | Irrégulière et critique (IRC : 0.1), Irrégulière (IR : 0.3), Moyenne (M : 0.5), Régulière (R : 0.7), Régulière et critique (RC : 0.9). |
| | $Qmp_{i,j}$ | Qualité refusée (R), Médiocre (ME), Acceptable (AC), Bonne (B), Excellente (EX). |
| | Coût _{i,j} | Faible (F), Inférieur au prix indicatif (IPI), Prix indicatif (PI), Supérieur au prix indicatif (SPI), Elevé (E). |
| orties [0, 1] | $CQ_{i,j}$ | Très mauvaise (TM), Mauvaise (MV), Moyenne (M), Bonne (B), Très bonne (TB). |
| Sos | Flex _{i,j} , IMPS _i | Faible (F), Assez faible (AF), Moyenne (M), Assez élevée (AE), Elevée (E). |
| | Select_F _{i,j} | Très mauvais (TM), Mauvais (MV), Moyen (M), Assez bon (AB), Bon (B). |

Tableau II.1.3: Les critères de sélection des fournisseurs.

L'influence des paramètres d'entrées sur les sorties est explicitée à l'aide des règles floues mises en œuvre dans chaque système flou. L'exemple présenté dans la partie deux du chapitre (1) montre les étapes à suivre pour mettre en place ces systèmes.

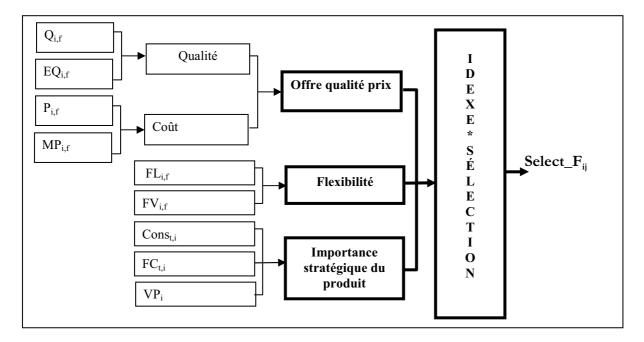


Figure II.1.3 : Modèle de présélection des fournisseurs.

L'influence des sous-critères sur le processus décisionnel est explicitée à l'aide d'un raisonnement intuitif basé sur des règles floues, mises en œuvre dans les différents systèmes flous (figure II.1.3) correspondant aux critères de sélection des fournisseurs. L'exemple suivant présente la stratégie de décision relative à la présélection d'un fournisseur potentiel.

Considérons le système flou « Index de sélection » : ses entrées sont l'offre qualité-prix du fournisseur ($CQP_{i,j}$), la flexibilité ($Flex_{i,j}$), l'importance stratégique du produit ($IMPS_i$). La sortie évalue l'aptitude d'un fournisseur potentiel pour fournir un produit. Le système possède trois entrées représentées sous formes de cinq ensembles flous. Le nombre de règles nécessaires est de 125 règles. On s'est contenté de donner seulement cinq règles pour montrer la stratégie de décision pour la présélection des fournisseurs :

- 1) « Si $(CQ_{ij} \operatorname{est} M) \operatorname{ET} (\operatorname{Flex}_{ij} \operatorname{est} F) \operatorname{ET} (\operatorname{IMPS}_{i} \operatorname{est} E) \operatorname{alors} (\operatorname{Select}_{F_{ij}} \operatorname{est} TM)$ »,
- 2) **« Si** (CQ_{ii} est B) **ET** (Flex_{ii} est E) **ET** (IMPS_i est E) **alors** (Select_F_{ii} est B)»,
- 3) « Si (CQ_{ii} est M) ET (Flex_{ii} est E) ET (IMPS_i est E) alors (Select_F_{ii} est M)»,
- 4) « Si $(CQ_{ij} \text{ est } M)$ ET $(Flex_{ij} \text{ est } F)$ ET $(IMPS_i \text{ est } M)$ alors $(Select_F_{ij} \text{ est } TM)$ »,
- 5) « Si $(CQ_{ij} \text{ est } B)$ ET $(Flex_{ij} \text{ est } M)$ ET $(IMPS_i \text{ est } M)$ alors $(Select_F_{ij} \text{ est } B)$ ».

Où : F : faible, E : élevé, M : moyen, B : bon, TM : très mauvais.

Ce raisonnement constitue le mécanisme de base de présélection des fournisseurs qui sont compatibles avec les caractéristiques des matières premières ou celles d'un produit utilisé par une entreprise. Il doit tenir compte de la stratégie concurrentielle adoptée par l'entreprise.

Le calcul des scores relatifs permet de mesurer la position de chaque fournisseur par rapport à l'ensemble des fournisseurs potentiels.

3.3. Calcul des index de sélection relatifs

L'index de sélection relatif obtenu par le fournisseur « j » pour fournir le produit « i » est donné par l'équation suivante :

$$ur_{ij} = u_{ij} / \sum_{i=1}^{M} u_{ij}$$
 (II.1.1)

 u_{ii} : le score obtenu par le fournisseur « j » pour fournir le produit « i ».

*ur*_{ii}: le score relatif du fournisseur « j »

M : le nombre de produits.

La présélection des fournisseurs est portée sur ceux qui maximisent l'index de sélection relatif. Une valeur proche de 1 est synonyme de bonnes aptitudes d'un fournisseur à répondre favorablement aux besoins du client. Cependant ce choix n'est pas définitif, il s'agit uniquement d'une étape de présélection. Le choix final sera défini après une éventuelle réduction ou limitation du nombre de fournisseurs pour un seul type ou une famille de produits.

3.4. Réduction du nombre de fournisseurs

Il existe deux stratégies : la limitation du nombre de fournisseurs à un seul produit ou à une famille de produits.

- 1. Pour le premier cas : les fournisseurs sont classés suivant leurs index de sélection, puis, les moins bons seront éliminés en gardant le nombre désiré pour chaque produit.
- 2. Pour le deuxième cas : les index de sélection correspondants à un groupe de produits seront agrégés par la méthode du produit pondéré (équation (II.1.2)). Enfin, les fournisseurs seront classés suivant ce nouvel index pour ne garder que le nombre désiré.

$$AGU_{j}^{N} = \prod_{i}^{N} \left(ur_{ij}^{wp_{i}} \right) \tag{II.1.2}$$

 AGU_{j}^{N} : l'agrégation des index de sélection du fournisseur « j » pour « N » produits,

ur_{ii}: le score relatif du fournisseur « j » ; wp_i: l'importance du produit « i ».

L'allocation des commandes aux fournisseurs sera réalisée grâce au programme d'optimisation mathématique, tout en considérant les contraintes opérationnelles du problème.

3.5. Problème d'allocation des commandes aux fournisseurs

Une fois l'étape de présélection passée, on peut aborder le problème d'allocation des commandes aux fournisseurs présélectionnés. Le problème est formulé sous forme de programme linéaire avec contraintes [Akb, 01].

$$\max U = \sum_{i=1}^{F} \sum_{j=1}^{M} u r_{ij} \chi_{ij}$$
 (II.1.3)

Tel que:

$$\sum_{j=1}^{F} C_{ij} \chi_{ij} \le B \quad i=1,...,M; j=1,...,F$$
(II.1.4)

$$\sum_{i=1}^{F} \chi_{ij} = X_i \tag{II.1.5}$$

$$CMA_{j} \le x_{ij} \le Capfab_{j} \tag{II.1.6}$$

F: le nombre de fournisseurs présélectionnés pour le produit « i »,

 x_i : la quantité du produit « i » approvisionnée chez le fournisseur « j ».

 X_i : la taille de la demande en produit « i »,

 C_{ii} : le coût unitaire d'approvisionnement du produit « i » chez le fournisseur « j »,

Capfab_i: la capacité maximale du fournisseur « j »,

CMA_i: la commande minimale acceptée par le fournisseur « j ». B : Budget maximum.

Le problème consiste à maximiser la fonction objectif, utilité totale (II.3), soumise à des contraintes internes à l'entreprise et externes dues aux fournisseurs. Pour acquérir ces produits, l'entreprise dispose d'un budget limité (II.1.4). De plus, la taille de la demande de chaque type de produit doit être équivalente à la somme des quotas alloués aux fournisseurs (II.1.4). Enfin, pour des raison de rentabilité, un fournisseur peut accepter une commande, si et seulement si, elle est supérieure ou égale à la commande minimale acceptée, sans dépasser sa capacité maximale (II.1.6).

La figure suivante présente une synthèse de l'approche proposée pour la sélection des fournisseurs.

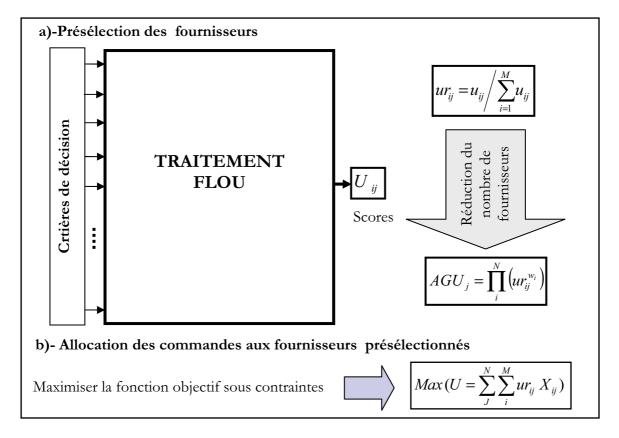


Figure II.1.4 : Synthèse de l'approche de sélection des fournisseurs

Dans la prochaine section, nous allons présenter un exemple numérique pour mettre en œuvre la démarche proposée.

4. Exemple d'application de l'approche proposée

Pour les besoins du lancement d'un nouveau produit, une entreprise envisage de se procurer deux types de composants (2 pièces) qui rentrent dans la fabrication de ce produit. Alors, un choix de fournisseurs capables de fournir ces pièces d'une manière compétitive est indispensable.

Un groupe de quatre décideurs appartenant à différents services ont été délégués par la direction de l'entreprise pour faire une sélection de fournisseurs parmi une liste de cinq fournisseurs potentiels. Ces fournisseurs respectent les seuils minima des critères de décision (coût, qualité, et flexibilité). Chaque décideur doit évaluer les 2 pièces suivant leurs caractéristiques définies antérieurement et les cinq fournisseurs potentiels suivant les critères de décision.

4.1. Présélection

1. Importance des décideurs

Les poids attribués aux décideurs montrent leur importance dans l'organisation. Ils ont été calculés à l'aide de la méthode de comparaison par paire présentée dans le chapitre 1.

| Ī | D | \mathbf{D}_{1} | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_{4} |
|---|-------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| | Poids | 0.44 | 0.14 | 0.21 | 0.21 |

Tableau II.1.4: Importance des décideurs.

2. Evaluation des fournisseurs

Les fournisseurs ont été évalués vis-à-vis des critères de décision. Chaque décideur exprime son jugement envers les offres des fournisseurs.

| | P | | | $\mathbf{P}_{\!\scriptscriptstyle 1}$ | | | | \mathbf{P}_2 | | | |
|-------|------------------|----------|----------|---------------------------------------|--------------------|-----------|----------|----------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| F | D | Q_{ij} | P_{ij} | $\mathrm{MP}_{\mathrm{ij}}$ | FL_{ij} | FV_{ij} | Q_{ij} | P_{ij} | $\mathrm{MP}_{\mathrm{ij}}$ | FL_{ij} | $\mathrm{FV}_{\mathrm{ij}}$ |
| | \mathbf{D}_1 | AE | IPI | PF | AE | M | AC | F | PS | AE | AE |
| F_1 | \mathbf{D}_2 | ΑE | PΙ | PF | Е | ΑE | AE | F | PS | M | AE |
| | \mathbf{D}_3 | AC | IPI | PF | ΑE | M | AE | IPI | PS | M | AE |
| | \mathbf{D}_4 | ΑE | PΙ | PF | Ε | ΑE | AC | IPI | PS | ΑE | Е |
| | \mathbf{D}_{1} | AE | ΡI | PV | AE | M | AC | IPI | PS | AE | AF |
| F_2 | \mathbf{D}_2 | Е | ΡI | PV | AE | Е | AC | IPI | PV | AE | M |
| | \mathbf{D}_3 | AE | ΡI | PS | Е | AE | AC | IPI | PS | Е | M |
| | \mathbf{D}_4 | AE | PΙ | PV | AE | ΑE | S | IPI | PV | ΑE | AF |
| | \mathbf{D}_{1} | В | Е | PF | AF | AF | Е | PΙ | RDP | AE | AE |
| F_3 | \mathbf{D}_2 | В | ΡI | PF | AF | AF | AE | PΙ | PF | AE | AE |
| | \mathbf{D}_3 | В | ΡI | PF | M | F | Е | PΙ | PF | M | M |
| | \mathbf{D}_4 | AE | SPI | PF | AF | AF | AE | PΙ | RDP | AE | M |
| | \mathbf{D}_{1} | ΑE | PΙ | RDP | AF | AE | AC | SPI | PF | M | AE |
| F_4 | \mathbf{D}_{2} | AC | ΡI | PF | M | AE | S | PΙ | PF | AE | Е |
| | \mathbf{D}_3 | AE | ΡI | RDP | AF | Е | AC | SPI | RDP | AE | M |
| | \mathbf{D}_{4} | AC | SPI | RDP | F | ΑE | S | PΙ | RDP | M | AE |
| | \mathbf{D}_{1} | S | IPI | PF | AF | M | AC | SPI | RDP | M | AE |
| F_5 | \mathbf{D}_{2} | AC | PΙ | PF | F | M | AC | SPI | PF | M | Е |
| | \mathbf{D}_3 | AC | PΙ | PS | AF | M | AC | SPI | PF | AF | AE |
| | \mathbf{D}_{4} | S | PI | PV | F | AF | AE | SPI | RDP | AF | AE |

Tableau II.1.5: Appréciations individuelles des critères de décision.

Les appréciations individuelles (tableau II.1.5) sont remplacées par les scores correspondants (tableau II.1.3). Ensuite, elles sont agrégées (voir chapitre 1 partie 2) pour donner des valeurs exploitables, c'est-à-dire, le jugement du groupe envers les fournisseurs.

| P | | | \mathbf{P}_{1} | | | \mathbf{P}_{2} | | | | |
|--------|----------|----------|-----------------------------|--------------------|-----------|------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| C F | Q_{ij} | P_{ij} | $\mathrm{MP}_{\mathrm{ij}}$ | FL_{ij} | FV_{ij} | Q_{ij} | P_{ij} | $\mathrm{MP}_{\mathrm{ij}}$ | $\mathrm{FL}_{\mathrm{ij}}$ | $\mathrm{FV}_{\mathrm{ij}}$ |
| F_1 | 0.65 | 0.36 | 0.50 | 0.76 | 0.56 | 0.56 | 0.16 | 0.30 | 0.62 | 0.74 |
| F_2 | 0.73 | 0.50 | 0.13 | 0.74 | 0.63 | 0.45 | 0.30 | 0.20 | 0.74 | 0.36 |
| F_3 | 0.85 | 0.50 | 0.50 | 0.33 | 0.24 | 0.82 | 0.50 | 0.62 | 0.65 | 0.61 |
| F_4 | 0.62 | 0.54 | 0.67 | 0.26 | 0.74 | 0.62 | 0.62 | 0.58 | 0.56 | 0.68 |
| F_5 | 0.36 | 0.40 | 0.40 | 0.20 | 0.45 | 0.36 | 0.70 | 0.62 | 0.40 | 0.73 |

Tableau II.1.6: Les valeurs agrégées des critères de décision relatifs aux fournisseurs.

3. Evaluation de l'importance des pièces

Les deux pièces ont été évaluées suivant les trois caractéristiques définies précédemment. L'importance des pièces est perçue différemment par les membres de l'équipe de décision.

| | \mathbf{P}_{1} | | | | | P | 2 | |
|------------------|-------------------|-----------------|--------|--------|-------------------|-----------------|--------|-----------------|
| Critères D | Cons ₁ | FC ₁ | VP_1 | EQ_1 | Cons ₂ | FC ₂ | VP_2 | EQ_2 |
| \mathbf{D}_{1} | M | IRC | AE | AC | M | M | AF | AC |
| \mathbf{D}_2 | M | IR | AE | Е | M | M | AF | AE |
| \mathbf{D}_3 | AE | IRC | AE | AC | M | R | AF | AC |
| \mathbf{D}_4 | AE | IRC | AE | Е | M | M | M | AE |

Tableau II.1.7: Evaluation des critères de décision relatifs aux caractéristiques des produits.

Les appréciations individuelles agrégées en des jugements du groupe sont résumées dans le tableau II.1.8 :

| Critères Pièce | Cons _i | FC _i | VP_{i} | EQi | IMPS _i |
|-------------------|-------------------|-----------------|----------|------|-------------------|
| \mathbf{P}_{1} | 0.58 | 0.12 | 0.70 | 0.76 | 0.58 |
| \mathbf{P}_{2} | 0.50 | 0.54 | 0.33 | 0.36 | 0.42 |

Tableau II.1.8: Les valeurs agrégées des critères de décision (caractéristiques des deux pièces).

4. L'évaluation des index de sélection des fournisseurs

La stratégie de décision consiste à choisir les fournisseurs les mieux adaptés à chaque type de produit. Donc, l'évaluation des index de sélection par le modèle flou nous permet de classer les fournisseurs.

| P | \mathbf{P}_{1} | P_2 |
|------------------|------------------|-------|
| F | | |
| \mathbf{F}_{1} | 0.76 | 0.64 |
| \mathbf{F}_{2} | 0.72 | 0.38 |
| \mathbf{F}_{3} | 0.08 | 0.64 |
| \mathbf{F}_{4} | 0.30 | 0.59 |
| \mathbf{F}_{5} | 0.09 | 0.39 |

Tableau II.1.9: Index de sélection (l'utilité de choisir le fournisseur « j » pour la pièce « i »).

4.1. Index de sélection relatifs et réduction des fournisseurs

La stratégie de l'entreprise est de limiter le nombre de fournisseurs. Après le calcul des valeurs agrégées des index de sélection relatifs des fournisseurs pour toutes les pièces (équation II.1.2), ils seront classés par ordre décroissant.

Le classement des fournisseurs donne l'ordre suivant : F_1 , F_2 , F_4 , F_3 , F_5 . L'entreprise ne souhaite garder que trois meilleurs, alors le choix porte sur les fournisseurs (F_1 , F_2 , F_4).

| P | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_{2} | AGU_{i}^{N} |
|------------------|------------------|------------------|---------------|
| F | $w_{p} = 0.58$ | $w_{P} = 0.42$ | J |
| $\mathbf{F_1}$ | 0.39 | 0.24 | 0.32 |
| \mathbf{F}_{2} | 0.37 | 0.14 | 0.25 |
| \mathbf{F}_{3} | 0.04 | 0.24 | 0.09 |
| \mathbf{F}_{4} | 0.15 | 0.23 | 0.18 |
| \mathbf{F}_{5} | 0.05 | 0.15 | 0.07 |

Tableaux II.1.10: Index de sélection relatifs.

Une fois la présélection faite, on peut aborder le problème d'allocation des commandes aux fournisseurs.

5. Calcul des quantités à allouer aux fournisseurs sélectionnés

Le problème d'allocation consiste à maximiser une fonction objectif soumise à des contraintes financières et de capacité figurant respectivement aux tableaux II.1.11 et II.1.12.

| F | P_1 | P_2 |
|----------------|-------|-------|
| F ₁ | 8 | 4 |
| F_2 | 14 | 6 |
| F_4 | 14 | 10 |
| Budget | 10000 | 4500 |

Tableaux II.1.11: Les contraintes financières.

| P | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_2 |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| F | | |
| Capacité | Min, Max | Min, max |
| F_1 | [0 400] | [0 500] |
| F_2 | [0 600] | [0 300] |
| F_4 | [0 650] | [0 550] |
| Tailles moyennes des commandes | 500 | 300 |

Tableaux II.1.12: Les contraintes de capacité.

Le problème a été résolu à l'aide d'un solveur implémenté sous MATLAB 7.3 (The Optimization Toolbox). Le tableau suivant présente les résultats obtenus. Le choix final se porte sur les fournisseurs F_1 et F_2 pour approvisionner respectivement les pièces P_1 et P_2 .

| F | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_2 |
|------------------|------------------|----------------|
| \mathbf{F}_{1} | 400 | 300 |
| \mathbf{F}_{2} | 100 | 0 |
| F_4 | 0 | 0 |

Tableaux II.1.13: Allocation des commandes aux fournisseurs.

Compte tenu des résultats de l'étape de présélection, le choix des fournisseurs F₁ et F₂ est confirmé. Un index de sélection élevé signifie qu'un fournisseur respecte les critères de décision

et mieux adapté aux caractéristiques du produit à acheter. Par conséquent, ceci renforce ses chances d'être sélectionné dans la deuxième étape.

L'approche que nous avons mise en application ci-dessus présente une solution qui respecte l'ensemble des critères sans violer les contraintes de l'entreprise et des fournisseurs. Toute fois, cet exemple peut être traité par d'autres approches multicritères.

a. La méthode AHP

Cette approche se base sur une comparaison des fournisseurs vis-à-vis de chaque critère (qualité, prix, flexibilité). Ensuite, ils seront classés dans un ordre décroissant, pour choisir les mieux notés par rapport à l'ensemble des critères, le classement est donné dans le tableau II.1.14. Cette méthode exige que les jugements soient cohérents à vérifier par un indice de cohérence : $(IC \le 10\%)$ [Saa, 80].

$$IC = (\lambda_{\text{max}} - k)/(k - 1) \tag{II.1.7}$$

K : le nombre d'éléments comparés,

 λ_{\max} : la valeur propre de la matrice de comparaison.

| P_1 | | P_2 | | |
|------------------|------|------------------|------|--|
| \mathbf{F}_{1} | 0.32 | \mathbf{F}_{1} | 0.31 | |
| \mathbf{F}_{2} | 0.21 | F_3 | 0.20 | |
| F_3 | 0.19 | F_2 | 0.26 | |
| F_4 | 0.16 | F_4 | 0.13 | |
| \overline{F}_5 | 0.12 | F_5 | 0.10 | |

Tableau II.1.14: Evaluation des fournisseurs par la méthode AHP.

Le fournisseur « F_1 » est le mieux classé, donc il sera choisi pour fournir totalement les 300 unités de la pièce « P_2 » et seulement 400 unités de la pièce « P_1 », car sa capacité est inférieure à 500 unités. Le deuxième fournisseur « F_2 » fournira les 100 unités restantes de la pièce « P_1 ».

La complexité d'utilisation de cette approche augmente dans le cas d'un nombre important de fournisseurs candidats et de critères de décision. Cela exige un grand volume de calcul, particulièrement dans le cas où le nombre de produits est élevé, car il faut refaire la procédure de comparaison pour chaque type de produit lors de l'évaluation des fournisseurs potentiels. De plus, dans le cas du dépassement de la limite d'indice de cohérence, il sera demandé au décideur de revoir une autre fois tout le processus depuis le début. Cette contrainte peut être évitée à l'aide de la démarche proposée où la décision est déduite grâce à des règles floues, un processus de traitement automatique implanté une seule fois. Il sera demandé aux décideurs, seulement d'évaluer les fournisseurs vis-à-vis des critères de décision, ensuite, en exploitant les résultats

donnés par le traitement flou, ils peuvent prendre les décisions adéquates. Cette étape simplifie le problème de sélection des fournisseurs. Enfin, ceci montre la flexibilité et le gain de temps pour obtenir des solutions avec notre approche.

b. La méthode par élimination conjonctive

Le principe de cette méthode est de choisir les fournisseurs qui respectent les seuils minimaux de l'ensemble des critères de décision (coût, qualité, flexibilité). Du moment que ces fournisseurs satisfassent cette condition, le choix de l'un des fournisseurs « F_2 » ou « F_4 » pour fournir les deux pièces (500 unités de P_1 , et 300 unités de P_2) est une solution acceptable, car ils possèdent une capacité supérieure à la demande. Dans ce cas, la capacité est le seul facteur déterminant pour le choix des fournisseurs et le coût est négligé.

c. Elimination lexicographique

Dans cette approche, les critères considérés dans cet exemple doivent être classés par ordre d'importance. Ensuite, les fournisseurs seront comparés vis-à-vis du critère le plus important, et on choisit le meilleur et ainsi de suite. Une comparaison des critères de décision donne les poids suivants : coût (0.28), qualité (0.32), flexibilité des livraisons (0.20), flexibilité en volume (0.20). La comparaison des fournisseurs vis-à-vis du critère le plus important (qualité), permet de choisir le fournisseur « F₃ » pour les deux pièces, car il respecte ce critère mieux que les autres fournisseurs.

| P_{i} | F_1 | F_2 | \mathbf{F}_3 | F_4 | F_5 |
|---------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| P_1 | 0.09 | 0.24 | 0.56 | 0.09 | 0.01 |
| P_2 | 0.13 | 0.04 | 0.64 | 0.17 | 0.02 |

Tableau II.1.15 : Sélection des fournisseurs par la méthode par élimination lexicographique.

D'après l'appréciation de l'équipe de décision, la fréquence de consommation de la pièce « P_1 » est irrégulière et critique, donc une rupture des stocks est interdite. Par conséquent, le choix du fournisseur « F_3 » n'est pas approprié, car sa flexibilité est assez faible et représente un risque pour l'entreprise.

L'inconvénient de cette approche réside dans le fait qu'un choix peut être fait par rapport à un seul critère aux dépends des autres. Ce choix est contradictoire à l'objectif de l'approche proposée qui cherche à sélectionner les alternatives qui maximisent (vs minimisent) l'ensemble des critères ou faire un compromis entre eux. On remarque aussi, que la considération de l'importance des produits est difficile, car ces méthodes se focalisent essentiellement sur des données propres aux fournisseurs. De plus, ce sont des méthodes sans contraintes. Donc, leurs utilisations se limitent à l'étape d'évaluation des fournisseurs.

Un autre aspect important à souligner est la situation où l'entreprise ne dispose pas d'informations exactes sur ces fournisseurs (cf. la situation considérée dans cet exemple quant à l'achat de nouveaux produits). L'entreprise ne peut pas définir les coûts engendrés par le retard des livraisons ou de non-conformité des produits. Par conséquent, cet inconvénient rend difficile l'intégration de la qualité et des délais dans la sélection des fournisseurs. Ces difficultés et contraintes apparaissent à travers de plusieurs tests que nous avons réalisés en considérant différents scénarios. En effet, nous nous sommes contentés de montrer la pertinence et l'intérêt de l'approche hybride proposée, à travers l'exemple traité ci-dessus, car il reflète une situation type où cette approche peut être appliquée. Le raisonnement par logique floue apporte des solutions aux notions purement subjectives et l'optimisation mathématique pour considérer l'aspect opérationnel.

5. Conclusion

Le modèle développé servira d'outil d'aide à la décision pour le choix des fournisseurs. Le principe de sélection est basé sur une évaluation subjective de la performance des fournisseurs. L'évaluation est faite vis-à-vis des critères de décision : la qualité des produits, les coûts proposés par les fournisseurs, leurs flexibilités (délais et volume) et l'importance stratégique du produit acheté dans la fabrication du produit final. Ils représentent un ensemble de facteurs essentiels dans le processus du choix des fournisseurs les mieux adaptés aux caractéristiques des produits, compte tenu de leur durée de vie qui ne cessent de se raccourcir.

L'intérêt de la méthode proposée réside dans le fait que l'utilisateur n'a pas besoin de disposer des valeurs exactes des paramètres d'entrées, ainsi une évaluation subjective basée sur l'appréciation et les préférences de l'équipe de décision sera suffisante pour présélectionner les fournisseurs parmi une liste plus large, d'où la simplicité de son utilisation. En partant d'un système complexe, nous avons abouti à une présélection des fournisseurs les mieux adaptés aux attentes du client. La première phase est considérée comme une étape simplificatrice du problème, un avantage pour la résolution du problème l'allocation des commandes aux fournisseurs.

Il est indispensable pour l'entreprise de s'assurer en permanence du niveau de qualité des prestations de ses fournisseurs, car ils constituent des acteurs prépondérant pour l'efficacité de la chaîne. En effet, le choix des fournisseurs performants et fiables est influencé par des facteurs relatifs à localisation géographique et les caractéristiques des unités de production. Certainement, les deux problèmes, le choix des fournisseurs et la localisation des sites de production sont extrêmement liés. Celui-ci sera étudié dans la prochaine partie.

Partie 2

Décision de localisation des sites de production

1. Introduction

La stratégie organisationnelle de l'entreprise consiste à implanter ses différentes installations de manière optimale pour accroitre sa réactivité, réduire ses coûts et augmenter ses profits. Cette décision a pour objectif l'implantation des sites de stockage et de production, des centres de distribution et de services après-vente. Elle est déclenchée quand pour une entreprise se fait sentir le besoin de nouvelles ressources, ou la nécessité d'augmenter la capacité de production, de stockage, ou d'entreposage ou le rapprochement vers ses clients et fournisseurs pour améliorer sa compétitivité et ses performances [Ven, 07]. C'est une décision stratégique qui se présente en premier lieu lors de la conception de la chaîne logistique. Elle peut être très coûteuse à revoir et bouleverser l'organisation de l'entreprise.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés particulièrement à la localisation des unités de production. Elle est influencée par des facteurs dépendants de l'environnement économique et social. Ce processus consiste à identifier, analyser et sélectionner parmi un ensemble d'alternatives celles qui répondent au mieux aux caractéristiques de l'installation.

Cette partie est structurée comme suit : d'abord nous allons présenter le problème de localisation sous ses différentes formes. Puis, nous résumerons l'état des travaux s'inscrivant dans ce contexte. Ensuite, nous détaillerons l'approche proposée avant de terminer avec un exemple d'application.

2. Le problème de localisation des sites de production

Le problème de localisation peut être déclenché selon plusieurs situations, par exemple : le lancement de nouveaux produits utilisant de nouvelles technologies, la délocalisation, l'objectif de pénétrer de nouveaux marchés, le rapprochement vers les fournisseurs de matières premières ou les sous-traitants pour raccourcir les délais et réduire les coûts. Il peut se poser aux niveaux mondial, national et régional. D'abord choisir un des grands espaces économiques (pays) ; puis, une des régions du pays et enfin, un terrain disponible dans la région choisie.

Suivant sa stratégie, une entreprise peut adopter l'une des options de localisation qui correspond à sa situation :

- l'extension d'un site existant dans le même espace (à cause d'une forte demande...),
- l'ouverture d'un nouveau site sans fermer le site existant
- la fermeture d'un site ancien en s'implantant dans un nouvel espace.

Avant d'aborder un problème de localisation, il est important de considérer le contexte, l'horizon et les caractéristiques des installations à localiser [Guv, 07], décrits par le tableau ci-dessous :

| Critères de classification | Exemples | | | | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| | - Socialement désirables (centres de distribution, détaillants), | | | | |
| Type d'installation | indésirables (centrale : nucléaire, récupération des déchets), | | | | |
| | - Des installations pour les services publics et de santé. | | | | |
| Horizon temporel | Installation fixe (long terme), multi-période (point de ventes) | | | | |
| Typologie d'installation | Monotype ou multi-type, structure hiérarchique | | | | |

Tableau II.2.1 : Les caractéristiques des problèmes de localisation

Ces caractéristiques sont vues comme des contraintes qui compliquent la résolution de ses problèmes. Notamment, il faut traiter chaque problème différemment, bien définir les objectifs, choisir la méthode et les critères de décision appropriés. Parmi les objectifs recherchés dans un problème de localisation, il y a : la réduction des coûts et délais, le rapprochement des clients et des fournisseurs. Revelle et Eiselt [Rev, 05], ont classé ces objectifs en trois catégories :

- Les objectifs d'attraction : rapprocher l'installation des points de commandes en minimisant le coût d'implantation, du fonctionnement et du transport.
- Les objectifs de répulsion : éloigner les installations des points de commandes en minimisant les coûts (installations indésirables).
- Les objectifs équilibrés : couvrir équitablement tous les points de commandes.

La littérature est riche en modèle d'aide à la décision de localisation. Owen et Daskin [Owe, 98] ont classé les problèmes de localisation en trois groupes :

- 1. Les problèmes déterministes et statiques : ils regroupent trois types de problèmes.
 - *Median problems*: l'objectif de ce modèle est d'essayer de trouver « *P* » places pour « *P* » sites en minimisant les distances moyennes entre l'entreprise et les points des demandes.
 - Covering problems: l'objectif est de minimiser les coûts d'installation à condition qu'un niveau spécifique de couverture soit atteint.
 - *Center problems*: l'objectif est de minimiser le maximum des distances entre sites et clients.
- 2. Les problèmes dynamiques : dans cette catégorie, le problème de localisation (mono ou multi-site) est considéré sur un horizon fini ; c'est-à-dire, à chaque période spécifique une nouvelle localisation est nécessaire.
- 3. Les modèles stochastiques : cette catégorie comprend les modèles probabilistes et les modèles de planification par scénario. Les décideurs essaient plusieurs scénarios probables, l'objectif étant de trouver la solution qui vérifie le maximum de scénarios.

Ces problèmes sont traités avec des méthodes qui peuvent être réparties en deux catégories. La première comprend les méthodes qualitatives et multicritères. La deuxième comprend les approches quantitatives qui se basent sur des méthodes d'optimisation mathématique [Mel, 09].

Compte-tenu des aspects multicritère et multi-objectif de la décision de localisation, certains travaux se sont focalisés sur l'identification, l'évaluation et l'importance des critères à considérer [Bha, 05], [Rev, 05]. Le choix des critères de décision exige la connaissance de leurs impacts sur les opérations, la stratégie et les objectifs de l'entreprise.

Actuellement, le problème de localisation est globalisé à cause de la mondialisation. Des grands groupes manufacturiers recourent à la délocalisation vers des pays en voix de développement. L'objectif principal est de réduire les coûts à cause d'une main d'œuvre moins chère, augmenter leurs profits en pénétrant de nouveaux marchés [Ven, 07]. Cependant, cette stratégie peut induire, des coûts de transport élevés, la réaction de la communauté locale et des conflits sociaux. Ces nombreux facteurs qui entrent en jeu compliquent davantage le problème. Donc, il est indispensable de connaître la situation politique, économique et sociale du pays d'accueil.

La mise en place d'une approche d'aide à la décision pour la localisation doit considérer tout ces aspects. Il ne faut pas se limiter à des objectifs financiers, car les facteurs d'ordre social sont très importants à considérer soigneusement avant de passer au niveau opérationnel. En effet, il est nécessaire d'avoir une vision plus large pour traiter la problématique de localisation. Pour pouvoir réunir ses multiples facettes, la combinaison des approches qualitatives et quantitatives permet d'améliorer les solutions.

Notre contribution s'inscrit dans cette optique; notamment, nous essayons de mettre en place un modèle d'aide à la décision qui prend en compte à la fois les facteurs économiques, sociaux, politiques. D'abord les alternatives sont évaluées vis-à-vis des critères de décision. Ensuite, grâce à un programme d'optimisation mathématique, on définit la solution finale du problème, tout en respectant les contraintes stratégiques et opérationnelles de l'entreprise.

3. La démarche de localisation des sites

Dans notre approche, le choix est basé sur les critères de décision qui sont largement utilisés dans les travaux traitant ce problème [Mel, 09], [Ven, 07], [Guv, 07] [Dol, 05]. La liste des critères n'est pas exhaustive, elle est susceptible d'être modifiée et étendue. Nous supposons cependant qu'ils sont suffisants pour expliciter la plupart des aspects concernant la décision de localisation d'une unité de production que ce soit au niveau national ou international. Le dimensionnement des unités de production et le choix de la technologie ne sont pas pris en compte dans ce travail.

Le modèle est structuré en deux étapes :

- Le rôle de la première étape est d'évaluer les sites potentiels vis-à-vis des critères de décision. La structure du modèle est illustrée par la figure. II.2.1.
- Dans la seconde, la solution finale est obtenue grâce à la résolution d'un programme linéaire en nombres entiers avec contraintes. Il consiste à maximiser une fonction objectif (Utilité totale), tout en respectant les contraintes.

Tout d'abord, nous allons présenter les critères de décisions et le processus d'évaluation des sites. Ensuite, nous abordons le deuxième niveau qui est la formulation mathématique du problème.

3.1. Les critères de décision

Nous avons définis neuf critères de décision. Chacun est évalué vis-à-vis d'un ensemble de souscritères :

1. Coût

Cette catégorie regroupe les coûts, du terrain /location (CL), du transport (CT), des services (CSV), et de la main-d'œuvre (CM).

2. Disponibilité des infrastructures de qualité

La disponibilité des infrastructures locales nécessaires pour le bon fonctionnement de l'unité de production : terrain /local (DL), transport de qualité (DT) et des Services (DSV).

3. Main-d'œuvre

La disponibilité d'une main d'œuvre locale qualifiée est une valeur sûre pour les ressources humaines à engager : la qualification exigée (QM), la disponibilité de la main-d'œuvre (DM).

4. Client / Marché

La taille des marchés et les opportunités générées, la proximité des marchés (PM), l'attractivité des marchés (AM), la stabilité des marchés (SM)

5. Fournisseurs/ Ressources

La disponibilité des fournisseurs performants : la disponibilité des fournisseurs (DF), la proximité des fournisseurs (PF).

6. Concurrents

La présence des concurrents leaders sur le marché augmente la concurrence. Si la stratégie est de créer des partenariats, cela ne constitue pas un désavantage pour l'entreprise : la réaction des concurrents (RC), la localisation des concurrents (LC).

7. Environnement

Selon le secteur d'activité de l'entreprise, l'impact sur l'environnement peut susciter la réaction de la communauté locale : l'impact sur l'environnement (IE), la réaction de la communauté (CRL).

8. Motivations gouvernementales

Dans le cas de localisation à l'extérieur du pays de l'entreprise mère, une analyse des politiques locales et des facilités d'investissement est indispensable : la stabilité des politiques gouvernementales (SPG), les facilités d'investissement (FINV), l'efficacité et transparence de l'administration (ETA), les impôts et taxes (IT).

9. Réglementation des importations et exportations

La connaissance des réglementations d'importation et d'exportation est importante dans le cas d'implantation d'une unité de production dans un pays étranger : les tarifs et taxes des douanes (TTD) et la variation de taux de change (VTC).

3.2. Evaluation des sites potentiels

L'architecture hiérarchique du modèle est illustrée par la figure. II.2.1. Les sous-critères représentent les entrées des systèmes flous qui servent à évaluer les critères de localisation. La stratégie de décision est conçue à l'aide des règles floues basées sur des connaissances et le bon sens. Les sous-critères et les critères sont interprétés sous forme linguistique tel que résumé dans le tableau II.2.2. Cette étape nous permet d'évaluer chaque alternative vis-à-vis de ces critères.

| | | Termes linguistiques |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ifs | DL, DT, DSV, DM, DF, SM, SPG, QM, | Faible (0.1), Assez faible (0.3), Moyen |
| ct | AM, FINV, ETA, IE, IT, TTD, VTC. | (0.5), Assez élevé (0.7) Elevé (0.9) |
| Critères subjectifs | RC, RCL | Mauvaise (0.1), Défavorable (0.3), Neutre (0.5), Assez favorable (0.7), Favorable (0.9) |
| Crit | PM, PF, LC. | Proche (0.1), Assez proche (0.3), Moyen (0.5), Assez loin (0.7), Loin (0.9) |
| Critères Objectifs | CL, CT, CSV, CM | Elevé, Assez élevé, Moyen, Assez faible, Faible (Valeurs Normalisées [0,1]) |
| Sorties Intermédiaires | Coût, Clients, Infrastructure, Concurrent, Main d'œuvre, Environnement & Communauté, Fournisseurs, Gouvernement, Réglementation Import et Export. | Faible [0, 0.25], Assez faible [0, 0.50], Moyen [0.25, 0.75], Assez élevé [0.5, 1] Elevé [0.75, 1] |

Tableau II.2.2 : Les critères de décision de localisation.

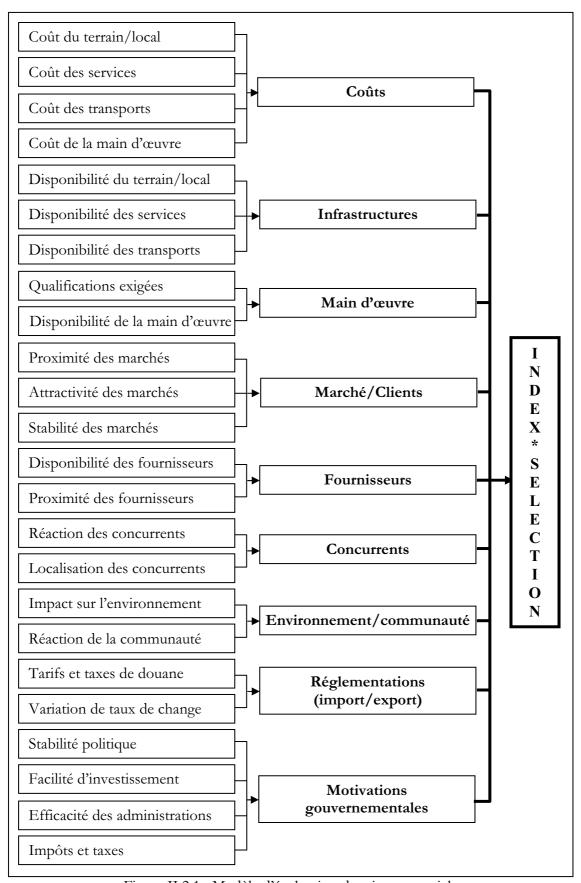


Figure II.2.1: Modèle d'évaluation des sites potentiels.

L'index de sélection peut être calculé par deux méthodes : la somme ou le produit pondéré. L'importance de chaque critère de décision est définie sous la forme d'un poids déduit grâce à la méthode de comparaison par paire. Elle doit être définie en tenant compte de la stratégie concurrentielle adoptée par l'entreprise. En effet, si l'influence d'un critère est négligeable dans une situation particulière, il suffit de mettre son poids à zéro pour l'éliminer.

La méthode de la somme pondérée :

$$u_{ij} = \sum_{k=1}^{K} w_k S_{ijk}$$
 $j = 1...J; i = 1...I; k = 1...K$ (II.2.1)

■ La méthode du produit pondéré :

$$u_{ij} = \prod_{k=1}^{K} \left(S_{ijk}^{w_k} \right) \quad j = 1...J; \ i = 1...I; \ k = 1...K$$
 (II.2.2)

Où:

K: nombre de critères de localisation.

J : nombre de sites potentiels.

I : nombre d'unités à localiser.

 u_{ik} : l'utilité d'installer l'unité de production « i » sur le site « j ».

S_{ijk}: la valeur du critère de localisation « k » correspondant à l'évaluation du site « j ».

 w_k : le poids ou l'importance du critère de localisation « k ».

L'emploi de la somme pondérée favorise la compensation entre les différents critères de décision et atténue l'effet des valeurs faibles. Contrairement à l'agrégation totale par le produit pondéré, celle-ci renforce l'influence des valeurs extrêmes et pénalise les alternatives qui présentent des valeurs faibles. Il y a donc une relation entre l'hypothèse de la compensation et la règle d'agrégation totale utilisée.

Le calcul des index de sélection relatifs par l'équation (II.2.3), permet de mesurer la position de chaque site par apport à l'ensemble des sites potentiels évalués.

$$ur_{ij} = u_{ij} / \sum_{j=1}^{J} u_{ij}$$
 (II.2.3)

Où:

ur_{ii}: l'utilité relative d'installer l'unité de production « i » sur le site « j ».

La meilleure alternative est celle qui maximise l'index de sélection relatif (proche de « 1 »). Cette étape permet de réduire le nombre de sites potentiels, en éliminant ceux qui ne respectent pas le

seuil minimal de l'index de sélection relatif. Enfin, la solution finale est donnée par le programme d'optimisation mathématique qui sera présenté dans la section suivante.

3.3. Formulation mathématique du problème de localisation

Le problème mathématique formulé sous forme de programme linéaire en nombres entiers sous contraintes servira pour le choix final des sites. Il consiste à maximiser une fonction objectif, une fonction d'utilité totale. La résolution peut être faite par une méthode de résolution de problèmes combinatoires, par exemple l'algorithme par séparation et évaluation.

1. Notations

 C_{ii} : le coût d'installation de l'unité « i » sur le site « j ».

B : le budget total d'installation de toutes les unités.

n: nombre d'unités de production à implanter par site.

2. Programme d'optimisation mathématique

Ce problème est connu sous le nom de problème d'affectation :

$$MaxU = \sum_{J}^{J} \sum_{i}^{J} ur_{ij} X_{ij} \quad j=1...J ; i=1...I$$
 (II.2.4)

Tel que:

$$\sum_{i}^{J} X_{ij} = 1 (II.2.5)$$

$$\sum_{j}^{J} X_{ij} = 1$$

$$\sum_{j}^{J} \sum_{i}^{I} C_{ij} \chi_{ij} \leq B$$
(II.2.6)

$$\sum_{i}^{I} X_{ij} \le n \tag{II.2.7}$$

$$X_{ij} = 0 \ ou \ 1 \qquad \qquad \forall \ i,j \qquad \qquad (II.2.8)$$

Le problème consiste à maximiser l'utilité totale (II.2.4) en respectant la contrainte du budget d'installation (II.2.6). A chaque unité de production sera affecté un seul site (II.2.5) et le nombre des unités de production par site est limité par la contrainte (II.2.7). Enfin, la variable « x_{ik} » est égale à 1 si le site « j » est sélectionné pour l'unité de production « i », sinon, elle est égale à « 0 ».

Cette approche peut être adaptée au cas de production multi-site. Le problème à résoudre est l'allocation de la production aux différents sites de production. Ceci nécessite éventuellement quelques réadaptations, par exemple l'intégration d'autres critères de décision et de contraintes.

La figure suivante résume les différentes étapes de la démarche de localisation des sites.

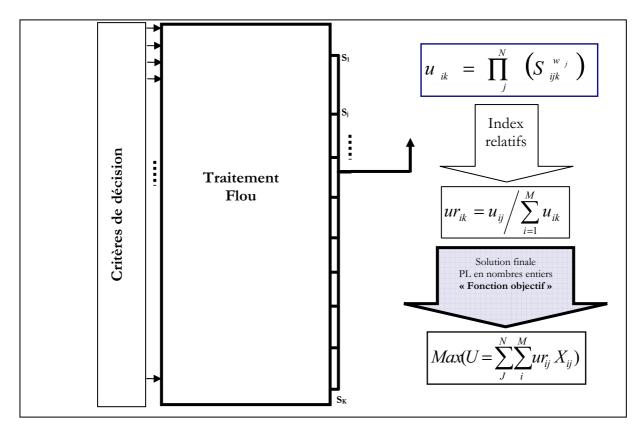


Figure II.2.2 : Synthèse de la démarche de localisation des sites.

A travers un exemple détaillé dans la prochaine section nous montrerons la mise en œuvre de cette démarche.

4. Exemple d'application

Pour les besoins de son plan de développement, une entreprise envisage d'installer trois nouvelles unités de production. Le plan stratégique de l'entreprise exige que les unités soient implantées sur des sites différents. A cet effet, cinq sites potentiels ont été présélectionnés selon les préférences et les marchés visés par l'entreprise. Parmi ces sites, certains se situent en dehors de la région ou même du pays d'origine de l'entreprise mère, de ce fait, la situation économique et sociale de ces régions, la réglementation des échanges commerciaux, sont des facteurs importants.

La direction de l'entreprise a constitué une équipe de quatre décideurs pour choisir les sites appropriés aux nouvelles unités de production. Les quatre décideurs doivent évaluer l'utilité d'installer chaque unité sur l'un des cinq sites à l'aide des critères de localisation. Ensuite, la sélection finale des sites sera effectuée à l'aide du programme mathématique.

Etape 1. Evaluation des sites potentiels suivant les critères de décision

1. Importance des décideurs

Les poids attribués aux décideurs montrent leurs importances dans l'organisation. Ils ont été calculés à l'aide de la méthode de comparaison par paire présentée dans le chapitre 1.

| D | \mathbf{D}_{1} | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_{4} |
|-------|------------------|----------------|----------------|------------------|
| Poids | 0.44 | 0.14 | 0.21 | 0.21 |

Tableau II.2.3: Importance des décideurs.

2. Importance des critères de décision

L'importance d'un critère de localisation diffère d'une situation à une autre. Grâce à une comparaison par paire, l'équipe de décision peut définir l'importance de chacun sous forme de poids tel qu'ils sont résumés dans le tableau II.2.4. Elle doit être définie en tenant compte de la stratégie concurrentielle adoptée par l'entreprise. Les appréciations individuelles sont agrégées en utilisant l'équation I.2.16 (voir le chapitre 1).

| Critères de décision | \mathbf{w}_{i1} | \mathbf{w}_{i^2} | \mathbf{w}_{i3} | \mathbf{W}_{i4} | \mathbf{w}_{I} |
|------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Coût | 0.15 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.14 |
| Infrastructure | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 |
| Main d'œuvre | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| Client/ Marché | 0.14 | 0.11 | 0.14 | 0.12 | 0.13 |
| Fournisseurs | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.11 |
| Concurrent | 0.06 | 0.11 | 0.05 | 0.08 | 0.07 |
| Environnement | 0.08 | 0.11 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| Motivations gouvernementales | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.13 |
| Réglementation import export | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.13 | 0.13 |

Tableau II.2.4: Importance des facteurs de localisation.

w_{ik}: le poids d'un critère de décision estimé par le décideur « k ».

w_i: le poids du critère « j » estimé par toute l'équipe de décision.

On remarque que le critère « coût » est jugé le plus important par la majorité des décideurs, sauf le décideur « 2 » qui considère que tous les critères ont la même importance. En effet, l'appréciation dépend étroitement de la subjectivité du décideur. Ceci montre l'intérêt de la décision du groupe.

3. Evaluation des critères de décision

3.1. Coût (Terrain, Services, Transport, Main d'œuvre)

Les critères financiers sont normalisés sur la même échelle que les critères subjectifs [0, 1]. Elle est proche de zéro quand le coût est élevé. Le tableau II.2.5 résume les différents coûts engendrés par l'installation de ces unités de production. Dans cet exemple, les coûts (terrain, transport, main d'œuvre et services) nécessaires pour installation des unités de production sur les différents sites sont identiques. Cependant, dans certains cas, ils peuvent être différents, et cela en fonction de la taille de chaque unité et de ses besoins spécifiques. Donc, il faut prendre en considération cette situation dans la procédure d'évaluation des sites.

| Sites | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Coût | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
| Terrain | 33000 | 25000 | 52000 | 25000 | 20000 |
| Valeurs normalisées [0 1] | 0.59 | 0.84 | 0 | 0.84 | 1 |
| Services | 250 | 310 | 360 | 280 | 320 |
| Valeurs normalisées [0 1] | 1 | 0.45 | 0 | 0.72 | 0.36 |
| Transport | 6 | 5.8 | 7.8 | 8.4 | 8.5 |
| Valeurs normalisées [0 1] | 0.93 | 1 | 0.26 | 0.04 | 0 |
| Main d'œuvre | 8.9 | 7.5 | 13.5 | 10.5 | 6.5 |
| Valeurs normalisées [0 1] | 0.66 | 0.86 | 0 | 0.43 | 1 |

Tableau II.2.5: Critères de localisation objectifs.

Les membres de l'équipe de décision évaluent individuellement les sites vis-à-vis des sous-critères. Ensuite les critères de décision sont estimés à l'aide des systèmes flous (figure II.2.1). Les tableaux II.2.6 à II.2.25 résument les appréciations des sous-critères. Les appréciations individuelles (annexe 1) sont agrégées en appréciation du groupe.

3.2. Disponibilité des infrastructures (DL, DT, DSV): les infrastructures nécessaires aux unités peuvent être différentes en fonction des besoins et du type d'activités à réaliser sur le site.

| U/DL | S ₁ | S ₂ | S_3 | S ₄ | S ₅ |
|------------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.42 | 0.41 | 0.48 | 0.30 | 0.26 |
| \mathbf{U}_2 | 0.45 | 0.48 | 0.45 | 0.38 | 0.87 |
| U_3 | 0.59 | 0.46 | 0.61 | 0.45 | 0.30 |

Tableau II.2.6 : Disponibilité des terrains sur les différents sites (DL).

On suppose que toutes les unités ont les mêmes besoins en termes de services et de transport, d'où les mêmes appréciations de ces deux sous-critères pour l'ensemble des unités sur le même site.

| U/DSV | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|-----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| U_1, U_2, U_3 | 0.39 | 0.53 | 0.45 | 0.29 | 0.58 |

Tableau II.2.7 : Disponibilité des services (Eau, Energie, télécom) (DSV).

| U/DT | S ₁ | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|--------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2, \mathbf{U}_3$ | 0.45 | 0.61 | 0.52 | 0.25 | 0.67 |

Tableau II.2.8 : Disponibilité des moyens de transport (DT).

3.3. Main d'œuvre (QML, DM): le secteur d'activité de l'entreprise et les technologies utilisées, sont des facteurs déterminants pour la qualité de la main d'œuvre. Les entreprises cherchent de la main d'œuvre qualifiée à faible coût.

| U/QML | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\mathbf{U}_{\scriptscriptstyle 1}$ | 0.54 | 0.66 | 0.15 | 0.32 | 0.63 |
| U_2 | 0.18 | 0.52 | 0.61 | 0.40 | 0.75 |
| U, | 0.54 | 0.46 | 0.56 | 0.46 | 0.47 |

Tableau II.2.9: Qualification exigée de la main d'œuvre locale (QML).

| U/DM | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.56 | 0.43 | 0.74 | 0.77 | 0.37 |
| \mathbf{U}_2 | 0.34 | 0.40 | 0.61 | 0.57 | 0.58 |
| U_3 | 8.85 | 0.66 | 0.67 | 0.33 | 0.45 |

Tableau II.2.10 : Disponibilité de la main d'œuvre locale (DM).

3.4. Client/ Marché (PM, AM, SM): l'entreprise vise des marchés plus rentables (des marchés proches, stables et attractifs).

| U/PM | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.60 | 0.48 | 0.26 | 0.54 | 0.69 |
| \mathbf{U}_2 | 0.56 | 0.37 | 0.81 | 0.68 | 0.43 |
| U_3 | 0.19 | 0.56 | 0.33 | 0.58 | 0.26 |

Tableau II.2.11: Proximité des marchés (PM).

| U /AM | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.62 | 0.45 | 042 | 0.43 | 0.50 |
| \mathbf{U}_2 | 0.65 | 0.56 | 0.30 | 0.56 | 0.75 |
| U_3 | 0.61 | 0.33 | 0.76 | 0.39 | 0.62 |

Tableau II.2.12: Attractivité des marchés (AM).

| U/SM | S ₁ | S_2 | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|--------------------------------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|
| $\mathbf{U}_{\scriptscriptstyle{1}}$ | 0.33 | 0.52 | 0.40 | 0.47 | 0.67 |
| \mathbf{U}_2 | 0.43 | 0.69 | 0.82 | 0.59 | 0.65 |
| U_3 | 0.39 | 0.38 | 0.42 | 0.58 | 0.56 |

Tableau II.2.13: Stabilité des marchés (SM).

3.5. Fournisseurs / Ressources (DF, PF): la disponibilité et la proximité des ressources en matières premières réduisent les coûts de revient (la réduction des coûts de transport et de stockage).

| U/DF | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.52 | 0.40 | 0.32 | 0.36 | 0.37 |
| \mathbf{U}_{2} | 0.54 | 0.68 | 0.47 | 0.47 | 0.62 |
| U_3 | 0.54 | 0.45 | 0.45 | 0.66 | 0.48 |

Tableau II.2.14 : Disponibilité des fournisseurs (DF).

| U /PF | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.13 | 0.18 | 0.63 | 0.32 | 0.74 |
| \mathbf{U}_2 | 0.42 | 0.26 | 0.60 | 0.23 | 0.40 |
| U_3 | 0.29 | 0.49 | 0.64 | 0.62 | 0.37 |

Tableau II.2.15: Proximité des fournisseurs (PF).

3.6. Concurrents (LC, RC): l'état concurrentiel du marché visé détermine le degré de difficulté pour s'imposer et assurer une place sur le nouveau site.

| U/LC | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.60 | 0.30 | 0.67 | 0.66 | 0.20 |
| \mathbf{U}_2 | 0.15 | 0.36 | 0.58 | 0.18 | 0.62 |
| U_3 | 0.45 | 0.23 | 0.73 | 0.61 | 0.69 |

Tableau II.2.16: Localisation des concurrents (LC).

| U/RC | S_1 | S_2 | S ₃ | S ₄ | S_5 |
|------------------|-------|-------|----------------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.19 | 0.56 | 0.69 | 0.32 | 0.65 |
| \mathbf{U}_2 | 0.12 | 0.70 | 0.52 | 0.33 | 0.82 |
| U_3 | 0.62 | 0.70 | 0.74 | 0.42 | 0.37 |

Tableau II.2.17: Réaction des concurrents (RC).

3.7. Environnement (ACLIE): l'impact sur l'environnement dépend du type d'installation et de ses activités. Certainement, les secteurs d'activités dangereuses sont indésirables et engendrent l'opposition de la communauté locale.

| U/AC | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{U}_1 | 0.30 | 0.61 | 0.43 | 0.47 | 0.54 |
| \mathbf{U}_{2} | 0.50 | 0.37 | 0.65 | 0.58 | 0.63 |
| U_3 | 0.36 | 0.24 | 0.59 | 0.40 | 0.45 |

Tableau II.2.18: Réaction de la communauté locale (ACL).

| U /IC | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0.65 | 0.10 | 0.40 | 0.20 | 0.19 |
| \mathbf{U}_2 | 0.30 | 0.47 | 0.20 | 0.64 | 0.36 |
| U ₃ | 0.48 | 0.56 | 0.62 | 0.76 | 0.70 |

Tableau II.2.19: Impact sur l'environnement (IC).

3.8. Motivations gouvernementales (SPG, FINV, ETA, IT): la stabilité (politique, économique et sociale) d'un pays offre une sécurité pour l'investissement.

| U /SPG | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| $\mathbf{U}_{1}, \mathbf{U}_{2}, \mathbf{U}_{3}$ | 0.45 | 0.69 | 0.62 | 0.90 | 0.90 |

Tableau II.2.20: Stabilité des politiques gouvernementales (SPG).

| U /FINV | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2, \mathbf{U}_3$ | 0.32 | 0.65 | 0.58 | 0.60 | 0.74 |

Tableau II.2.21 : Facilité d'investissement (FINV).

| U /ETA | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| $\mathbf{U}_{1}, \mathbf{U}_{2}, \mathbf{U}_{3}$ | 0.30 | 0.43 | 0.70 | 0.64 | 0.90 |

Tableau II.2.22: Efficacité et transparence des administrations (ETA).

| U/IT | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|--------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2, \mathbf{U}_3$ | 0.26 | 0.48 | 0.40 | 0.73 | 0.50 |

Tableau II.2.23: Impôts et taxes (IT).

3.9. Réglementation des importations et des exportations (VTC, TTD): la mondialisation des marchés nécessite la prise en compte des réglementations des échanges commerciaux et financiers. Ces paramètres sont identiques pour l'ensemble des unités sur le même site.

| U / VTC | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| $\mathbf{U}_{1}, \mathbf{U}_{2}, \mathbf{U}_{3}$ | 0.24 | 0.62 | 0.60 | 0.30 | 0.58 |

Tableau II.2.24: Variation de taux de change (VTC).

| U/TTD | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|--------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $\mathbf{U}_1, \mathbf{U}_2, \mathbf{U}_3$ | 0.56 | 0.68 | 0.60 | 0.59 | 0.58 |

Tableau II.2.25: Tarifs et taxes de douanes (TTD).

Une fois que les sites sont évalués vis-à-vis des critères, les index de sélection sont calculés avec la méthode du produit pondéré (équation II.2.2). Ensuite, les index de sélection relatifs sont donnés dans le tableau II.2.26. Ils justifient les préférences de l'équipe de décision pour l'implantation des trois unités sur l'un des sites potentiels.

| U/S | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| $\mathbf{U_1}$ | 0.20 | 0.21 | 0.20 | 0.18 | 0.20 |
| $\mathbf{U_2}$ | 0.16 | 0.21 | 0.21 | 0.16 | 0.26 |
| \mathbf{U}_3 | 0.21 | 0.18 | 0.23 | 0.16 | 0.22 |

Tableau II.2. 26 : Utilité d'implanter chaque unité sur un site potentiel.

D'après les résultats de la première étape présentés sur le tableau II.2.26, on voit bien que les sites S_2 , S_5 , S_3 présentent des index de sélection les plus élevés respectivement pour les unités U_1 , U_2 , U_3 . Ce choix exprime la préférence des décideurs pour ces sites, car ils réunissent les conditions nécessaires pour l'implantation de ces unités.

Eventuellement, plusieurs sites peuvent présenter des scores similaires pour la même unité de production; c'est-à-dire, une unité sera implantée sur deux sites différents ce qui est impossible. De plus, le même site peut avoir les meilleurs scores pour l'implantation de plusieurs unités de production, ce qui est logiquement faisable. Cependant, la contrainte qui stipule que chaque site accueillera une seule unité de production ne sera pas respectée. Pour finaliser le processus de localisation, le choix final sera déterminé à l'aide du programme mathématique.

Etape 2. La solution finale

1. Résolution du programme d'optimisation

La solution du problème est celle qui maximise la fonction objectif (fonction d'utilité totale) soumise à des contraintes de budget et de capacité des sites. Le tableau II.2.27 présente les coûts d'installation de chaque unité de production sur chaque site. Le budget total à allouer à l'installation de ces trois unités de production est $B_T = 550000$ (€).

| U/S | S ₁ | S_2 | S ₃ | S_4 | S ₅ |
|----------------|----------------|--------|----------------|--------|----------------|
| \mathbf{U}_1 | 160000 | 180000 | 200000 | 200000 | 170000 |
| \mathbf{U}_2 | 190000 | 160000 | 150000 | 160000 | 160000 |
| \mathbf{U}_3 | 200000 | 180000 | 200000 | 160000 | 190000 |

Tableau II.2.27: Contraintes budgétaires.

Le problème a été résolu à l'aide d'un solveur implémenté sous MATLAB 7.3 basé sur une méthode de résolution des problèmes d'optimisation combinatoire. Nous avons traité deux cas, pour montrer l'intérêt de combiner le raisonnement par logique floue et la programmation mathématique.

a. Modèle hybride

Premièrement, nous avons résolu le problème en respectant toutes les étapes de l'approche, en exploitant les résultats de l'étape précédente (Evaluation des alternatives).

Le tableau II.2.28 donne les solutions obtenues par le modèle hybride.

| U/S | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| \mathbf{U}_{1} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| \mathbf{U}_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| \mathbf{U}_3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Tableau II.2.28 : Solution finale du modèle hybride.

La résolution du programme mathématique confirme la présélection réalisée à l'étape d'évaluation des sites. Les trois unités U_1 , U_2 , U_3 seront implantées respectivement sur les sites S_2 , S_5 , S_3 .

- Le site S₂ a été choisi pour l'implantation de l'unité U₁,
- Le site S_5 a été choisi pour l'unité U_2 ,
- Le site S₃ a été sélectionné pour l'unité U₃.

Le choix final est justifié par le fait que les sites sélectionnés présentent les index de sélection les plus élevés à l'égard des unités respectives. En plus, pour des raisons stratégiques propres à l'entreprise, les unités doivent être implantées sur des sites différents. On remarque que la contrainte budgétaire a été respectée

$$180000 + 200000 + 160000 = 440000 < 550000$$
 (II.2.9)

b. Programme d'optimisation mathématique sans la phase d'évaluation des sites vis-à-vis des critères de décision

Nous avons résolu le problème sans tenir compte de l'étape d'évaluation des sites potentiels. Le tableau II.2.29 résume les solutions obtenues.

| U/S | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S ₅ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| $\mathbf{U_1}$ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $\mathbf{U_2}$ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| \mathbf{U}_3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau II.2.29: Solution du programme d'optimisation mathématique.

Les deux solutions obtenues par les deux méthodes sont totalement différentes. Le programme mathématique sans la phase d'évaluation des sites ne tient compte que des contraintes financières et organisationnelles sans prendre en considération l'importance stratégique des sites. Tous les sites présentent la même importance. Cette solution peut être adaptée aux problèmes de localisation multi-période, c'est-à-dire que les décideurs possèdent des informations sur les sites. Cette situation correspondant au cas de localisation de petites installations (points de vente, de stockage...) qui ne demandent pas un grand investissement et un engagement à long terme.

L'intérêt de l'évaluation des sites potentiels est de mettre en valeur les préférences des décideurs à l'égard de certaines alternatives. En outre, cela permet de considérer des aspects purement subjectifs. La combinaison des deux approches nous a permis de mettre en œuvre un modèle hybride qui prend en compte à la fois les critères de localisation subjectifs difficilement quantifiables, et considérer les contraintes financières et opérationnelles. D'ailleurs, d'autres contraintes peuvent être introduites pour adapter l'approche à un contexte spécifique d'activités.

5. Conclusion

Dans cette partie nous avons développé une approche hybride qui servira de support pour traiter le problème de localisation d'un ensemble d'unités de production. Cette décision implique un déploiement à long terme de moyens physiques, financiers et humains importants et elle se pose à l'échelle mondiale. Ces conséquences peuvent remettre en cause la pérennité de l'entreprise. Notamment, un site parfaitement stratégique pendant une certaine période peut s'avérer non rentable par exemple dans le cas de la détérioration de la situation économique de la région.

L'aspect multicritère inhérent à cette problématique complique toute tentative d'apporter des solutions optimales. Néanmoins, l'alliance de méthodes qualitative et quantitative constitue une alternative intéressante pour apporter des solutions acceptables. La considération de plusieurs points de vue résultant de la subjectivité humaine permet d'instaurer une cohérence dans la prise

de décision, mais sans négliger les contraintes opérationnelles. Cette approche n'est pas générique pour résoudre les différentes formes de problèmes de localisation. Néanmoins, elle peut être adaptée à des contextes bien précis par l'intégration d'autres critères et la considération d'autres contraintes. Elle se caractérise par sa flexibilité et sa facilité de mise en œuvre.

Enfin, aborder un problème de localisation sans définir au préalable les besoins de l'entreprise en termes de services et de matières premières pour le bon déroulement des ses activités peut la conduire vers une impasse. Les entreprises ont tendance à investir dans les domaines de leurs compétences. Par conséquent, elles seront confrontées au problème de choix de « faire ou de faire-faire » certains produits semi-finis ou l'externalisation de certains services nécessaires à ses activités, d'où l'apparition de nouveaux besoins. De ce fait, il est impératif de considérer cette décision de près, car elle est aussi importante que les deux premières décisions abordées jusqu'ici que sont le choix des fournisseurs et la localisation des unités de production.

Partie 3

Décision de faire ou de fairefaire

1. Introduction

Beaucoup d'entreprises cherchent à se recentrer sur leurs métiers de base, à améliorer leurs réactivités, à mieux gérer leurs coûts et profiter des compétences externes pour compléter leurs offres [Bou, 02]. Cependant, un nouveau problème surgit ; comment désigner les produits semi-finis ou les activités à « faire » en interne et ceux à « faire-faire », c'est-à-dire, à externaliser, s'ils n'offrent pas des avantages concurrentiels pour l'entreprise. Donc, une entreprise peut adopter plusieurs options pour obtenir ses produits semi-finis (composant ou pièces) :

- réaliser en interne par ses propres moyens (Faire),
- passer par une entreprise extérieure et indépendante (Faire-Faire),
- passer par une entreprise qui a des liens privilégiés avec elle (Quasi faire).

À l'origine de toute décision d'externalisation d'activités, on trouve l'idée qu'une entreprise n'a pas toujours intérêt à tout réaliser elle-même. Il s'agit dès lors d'identifier les activités ou les tâches qui n'ont pas de valeur ajoutée, celles qui sont moins coûteuses à réaliser par un prestataire externe, ou celles qui immobilisent des ressources qui pourraient être mieux utilisées par d'autres activités en interne. Pour ce faire, l'entreprise doit d'abord délimiter le périmètre de son savoir faire, de ses compétences techniques et stratégiques pour analyser les risques pour accomplir le processus de production.

Dans ce qui suit, nous proposons un modèle d'aide à la décision de « faire » ou de « faire-faire ». Nous nous intéressons au processus d'obtention des produits semi-finis entrant dans la fabrication d'un produit. Toutefois, cette approche peut être adaptée à la décision de faire ou de faire-faire des activités de services nécessaires pour soutenir le processus de production en considérant d'autres paramètres.

Le processus de décision adopté est structuré en deux phases. La première a pour rôle d'évaluer la rentabilité financière, la performance compétitive et les risques qui peuvent être engendrés par la décision de faire ou de faire-faire. La deuxième consiste à déterminer les quantités des produits semi-finis à fabriquer en interne ou à sous-traiter chez des fournisseurs extérieurs en respectant les contraintes opérationnelles de l'entreprise. Cette approche combine deux méthodes (qualitative et quantitative) dans le but de construire un modèle hybride, afin, de réunir les aspects opérationnel et stratégique de cette décision.

Cette partie est organisée comme suit : la première section concerne la présentation de la problématique de « faire » ou de « faire-faire » et les travaux qui s'inscrivent dans ce contexte sur lesquels nous nous sommes basés pour réaliser ce travail. Dans la seconde, nous détaillons

l'approche proposée. Enfin nous compléterons cette étude par un exemple d'application pour la mise en œuvre de cette approche.

2. Le problème de faire ou de faire-faire

La problématique de faire ou de faire-faire consiste à choisir entre d'une part l'option d'acheter en partie ou en totalité un produit semi-fini ou un service chez un fournisseur, et d'autre part l'option de fabriquer ce produit en interne. Cette décision est dictée par les avantages concurrentiels que peut générer la réalisation ou non d'une activité en interne. On peut distinguer cinq catégories d'activités qu'il est possible d'externaliser : la conception, la fabrication, le marketing, la logistique et les activités de service. Il existe différentes situations qui peuvent entourer la décision de faire ou de faire-faire, elles sont regroupées en trois catégories :

- un nouveau produit/service utilisé pour la première fois,
- un produit/service habituellement acheté, qui est plus "intéressant" de réaliser en interne,
- un produit/service existant communément, fabriqué par l'entreprise qui pourrait être plus
 "intéressant" d'acheter.

La recherche des activités dont la réalisation est à conserver en interne ou à externaliser conduit théoriquement à la mise en place de plusieurs formes de relations interentreprises qui vont de l'intégration totale jusqu'à l'achat complet des besoins. Le tableau ci-dessous représente 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 [Bou, 02].

| | Phase | | Forme de la relation | |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------------------|--|
| Choix des idées | Etudes & Méthodes | Réalisation | Politic de la relation | |
| X | X | X | Intégration | |
| X | X | Y | Sous-traitance | |
| X | Y | Y | 30us-traitance | |
| X | Y | X | Travail sous licence ou apparenté | |
| X | Y | Y | Travaii sous licelice ou apparei | |
| Y | Y | Y | Achat | |

Tableau II.3.1 : Les différentes formes de relations interentreprises

Différentes approches ont été développées par les économistes et gestionnaires d'entreprise pour aborder la problématique de « faire » ou de « faire-faire ». Les travaux existant dans la littérature peuvent être regroupés en deux catégories :

a. Les approches dites opérationnelles (Operational / Cost based approach)

Elles sont basées essentiellement sur l'évaluation des coûts intervenant pour chaque option choisie [For, 93]. Pour Perrotin et Loubere [Per, 96], il s'agit de comparer pour chaque situation,

la rentabilité de production et la rentabilité cible. Laios [Lai, 97] a présenté une grille de l'ensemble des critères qualitatifs et quantitatifs. Ces travaux précisent les éléments du coût intervenant dans les deux options, résumés dans le tableau II.3.2.

| Pour l'option « faire » | Pour l'option « faire-faire » |
|----------------------------------|-------------------------------|
| - le coût de transformation | - le prix d'achat |
| - le coût d'installation | - le coût de transport |
| - le coût d'achat du matériel | - le coût de réception |
| - le coût de l'investissement | - le coût de contrôle qualité |
| - le coût de R & D | - les échéances de paiement |
| - le coût de la main d'œuvre | - le coût de transaction |
| - le coût du contrôle qualité | |
| - le coût d'inventaire | |
| - le coût de maintenance | |
| - les coûts généraux (énergie) | |
| - le coût marginal de production | |

Tableau II.3.2: Les éléments du coût intervenant dans les options "faire" ou "faire-faire".

Des coûts générés par la relation entre le fournisseur et le client, appelés les coûts des transactions, ont été identifiés par Williamson [Wil, 81]. Selon cet auteur, la source la plus importante de ces coûts, est l'incertitude sur l'évolution de la relation (client-fournisseur). Il a constaté l'existence d'une relation directe entre la spécificité des actifs et l'incertitude. Egalement, un nombre limité de fournisseurs ne favorise pas la concurrence, cela entraîne un risque d'opportunisme de la part des fournisseurs [Cal, 98]. Donc, on peut conclure que la théorie des coûts de transaction analyse les relations client-fournisseur et met en évidence les risques du marché.

b. Approches basées sur la stratégie de l'entreprise et son noyau de compétences (Policy approach)

L'objectif est de définir pour l'entreprise ses technologies de base et distinctives qui lui fournissent un avantage compétitif, et les technologies qui peuvent être confiées à des fournisseurs [For, 86].

Welh [Wel, 92] a proposé un modèle stratégique (Strategic Sourcing Model (SSM)) selon lequel d'une manière générale, trois facteurs peuvent influencer la décision de l'entreprise d'attribuer pour une activité le qualificatif stratégiquement externalisable ou internalisable :

- 1. Le processus technologique et son rôle dans la compétitivité,
- 2. La maturité du processus technologique,
- 3. La position du processus technologique des concurrents.

L'interaction entre ces trois facteurs donne lieu au modèle SSM illustré par la figure II.3.1.

D'un autre côté, Poulin [Pou, 94] propose une autre méthode pour l'évaluation d'une activité "stratégiquement" externalisable ou internalisable. Cette méthode s'insère dans le cas d'une démarche globale d'autodiagnostic de l'entreprise. L'auteur propose une grille d'analyse pour la décision stratégique de « faire » ou de « faire-faire » une activité. Selon Padillo [Pad, 96], les critères d'évaluation des activités peuvent être regroupés en fonction des objectifs de l'entreprise (tableau II.3.3).

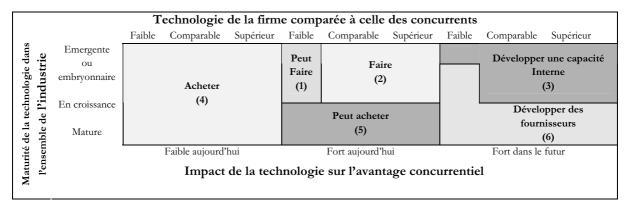


Figure II.3.1 : Le modèle stratégique de faire ou de faire-faire (SSM).

Lakhal [Lak, 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.

| 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 II.3.3: Les critères intervenant dans la décision de faire ou de faire-faire.

Powell et al [Pow, 05] ont souligné l'importance de trois facteurs :

- la vulnérabilité de la stratégie de l'entreprise (risques d'approvisionnement),
- l'importance de la pièce dans la stratégie concurrentielle de l'entreprise,

la présence d'autres alternatives pour avoir cette pièce d'une manière plus compétitive.

Dans certains contextes, il existe des raisons qui imposent à l'entreprise d'être dépendante de ses partenaires. Par exemple : l'importance stratégique et la criticité de certaines ressources pour la survie de l'entreprise et le pouvoir de contrôle qui peut être exercé par d'autres organisations extérieures sur ces ressources [Sha, 07].

La création de la valeur par la sous-traitance est devenue une stratégie compétitive émergente dans plusieurs secteurs industriels, particulièrement, dans les pays développés à cause de la concurrence qui a atteint son paroxysme. Les entreprises sont en perpétuelle recherche d'avantages compétitifs dans les pays en voie de développement lesquels constituent des marchés de plus en plus attractifs. La disponibilité d'une main d'œuvre locale qualifiée à faible coût, l'abondance des ressources naturelles, qui contribuent à la réduction des coûts de production [Raj, 09].

L'analyse des travaux existants nous a permis de cerner les axes principaux de la décision de faire ou de faire-faire. En nous appuyant sur les avantages des approches développées dans la littérature, nous proposons un outil relatif à cette décision qui couvre les aspects financier et stratégique de l'entreprise.

Dans ce travail, nous nous intéressons au processus d'obtention des produits semi-finis (composants, pièces) entrant dans la fabrication des produits finis même si cette approche peut être adaptée à la décision de « faire » ou de « faire-faire » des activités de services nécessaires pour soutenir le processus de production par la considération d'autres paramètres. Le processus de décision adopté est structuré en deux phases. La première a pour rôle d'évaluer les volets suivants :

- l'impact financier de la décision sur l'entreprise (Performances financières),
- la performance compétitive stratégique apportée par une décision de faire en interne,
- les capacités de l'entreprise en termes de moyens et de ressources de production
- les risques susceptibles auxquels l'entreprise sera exposée.

Les critères de décision sont évalués en s'appuyant sur un raisonnement par logique floue. L'agrégation de l'ensemble des critères de décision exprime la préférence de l'équipe de décision pour les options : faire ou faire-faire. Cependant, cette phase ne considère pas les contraintes opérationnelles de l'entreprise d'où le recours à une méthode d'optimisation mathématique. La deuxième phase permet de considérer les contraintes de l'entreprise, tout en exploitant les résultats de l'évaluation des deux options via la fonction objectif à maximiser (fonction d'utilité totale).

3. Modèle proposé pour la décision de faire ou de faire-faire

Le processus de décision de choix de « faire » ou de « faire-faire » un produit semi-fini s'articule sur deux étapes. La première étape consiste à évaluer subjectivement les produits en question vis-à-vis des critères de décision à l'aide du modèle hiérarchique illustré par la figure (II.3.2). Elle a pour rôle d'évaluer les performances de l'entreprise à faire la pièce en interne. Ensuite les résultats de cette étape seront exploités dans le programme mathématique pour la prise de la décision finale.

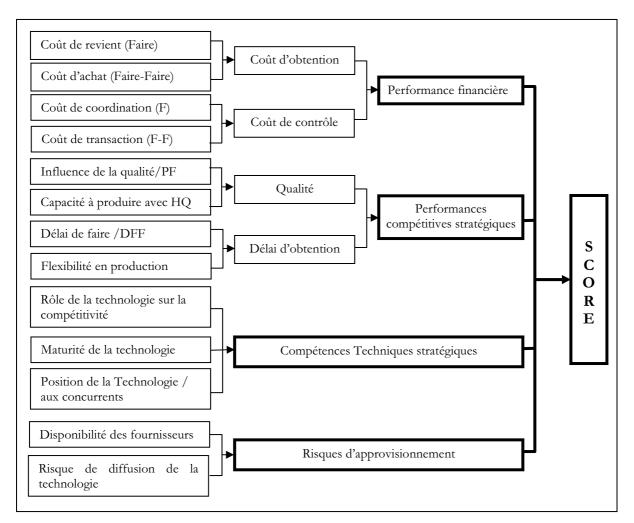


Figure II. 3.2 : Modèle pour l'évaluation des options de faire ou de faire faire.

3.1. Les critères de décision

Chaque critère est évalué à l'aide d'un système flou ayant comme entrées des sous-critères décrits ci-dessous. Le processus de décision est conçu à l'aide des règles floues ; elles reflètent l'influence des sous-critères de décision sur le processus de choix de faire ou de faire-faire un produit semi-fini. Cette étape doit tenir compte de la stratégie concurrentielle adoptée par l'entreprise.

1. La performance financière

Les coûts influençant cette décision sont le coût d'obtention (coût de production et coût d'achat) et le coût de contrôle (coût de coordination en interne et coût des transactions).

1.1. Coût d'obtention du produit

Ce coût est subdivisé en deux catégories : le coût de revient (production, faire) et le coût d'achat.

- a. Coût de revient (faire) (CRF): il s'agit du coût de production en interne si l'entreprise choisit l'option de faire le produit (transformation, investissement requis, recherche et développement, main d'œuvre, contrôle qualité, inventaire et de maintenance).
- b. *Coût d'achat (faire-faire) (CFF)*: il concerne le cas où l'entreprise choisit l'option d'obtenir le produit chez les fournisseurs extérieurs (prix d'achat, coût de transport (fret, tarifs des douanes, assurance), coût de réception et coût de contrôle qualité.

1.2. Coût de contrôle

Ce sont les frais engendrés par la coordination entre les différents services impliqués dans le processus de production en interne ou bien les coûts de transaction en cas d'achat (*faire*).

- a. Coût de coordination en interne (CCF): dans le cas où l'entreprise choisit l'option de faire le produit semi-fini; alors, au coût de production s'ajoutent des coûts administratifs engendrés par la coordination entre les différents services impliqués dans le processus de production (par exemple, le bureau d'étude en interne et le service de production).
- b. *Coût de transaction (faire-faire) (CTFF)*: le coût de transaction représente le prix du "face à face" entre deux agents économiques. Il varie en fonction des caractéristiques de la transaction (incertitudes, fréquence, spécificité des actifs (site, techniques, capital humain)).

2. Performance compétitive stratégique

Cette dimension de la performance fait référence à la possession de l'entreprise des moyens de production lui permettant de satisfaire les normes de qualité et de respecter les délais d'une manière compétitive.

2.1. Qualité

La qualité du produit semi-fini est très importante et présente un impact sur le produit final.

a. Influence du produit sur la qualité du produit final (IQPF): le produit semi-fini en question à fabriquer en interne ou à faire faire chez un tiers doit respecter les normes de qualité (fiabilité, durée de vie) pour assurer une meilleure qualité du produit final.

b. Capacité de l'entreprise à produire avec une qualité requise (CPHQ): pour assurer la production en interne, l'entreprise doit avoir les moyens pour améliorer la fiabilité, la sécurité et augmenter la durée de vie de ses produits.

2.2. Délai d'obtention du produit

L'aptitude de l'entreprise à adapter ses ressources pour faire face aux aléas du marché (fluctuation de la demande, cycles de vie des produits et délai) est un avantage compétitif.

- a. Délai de production comparé au concurrent (Délai de faire) (DPF): la possession des moyens de production performants raccourcit les délais d'obtention du produit. Cependant, dans le cas où on confie la production à un tiers, généralement, les délais s'allongent à cause des délais de transport qui s'ajoutent au délai de production. La proximité des fournisseurs et les moyens de transport de qualité peuvent surpasser cette difficulté.
- b. Flexibilité des moyens de production (FLEX): la capacité et la flexibilité des moyens de production de l'entreprise justifient les délais de production en interne.

3. Compétence Technique stratégique

- a. Le processus technologique et son rôle dans la compétitivité (RPTC): 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.
- b. La maturité du processus technologique (MPTEC) : il ne faut pas investir dans la recherche et le développement pour réinventer quelque chose qui est bien développé.
- c. La position du processus technologique par rapport à des concurrents (PPTC) : 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.

4. Risque d'approvisionnement

- a. Existence des fournisseurs compétents (DF): la disponibilité des fournisseurs performants, incite les entreprises à acheter certaines produits semi-finis. Cependant, un faible nombre de fournisseurs peut engendrer un risque d'opportunisme de ces derniers alors qu'un grand nombre de fournisseur instaure une concurrence entre eux.
- b. Risque de diffusion de la technologie (RDI): ce risque augmente dans le cas où l'entreprise confie aux fournisseurs la fabrication des produits qui nécessitent des informations confidentielles. Cependant, si l'entreprise délivre ces informations, il est possible que, d'une manière ou d'une autre, ces informations passent aux concurrents.

| Le tableau II.3.4 résume les | critères d | le décision et | leur interprétation | linguistiques. |
|------------------------------|------------|----------------|---------------------|----------------|
| | | | | |

| | | Termes linguistiques et scores |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ion | CRF, CAFF, CCF, CTFF, IQPF, PHQ, FLEX, RDI, DF, RPTC | Faible (0.1), Assez Faible (0.3), Moyen (0.5), Assez Elevé (0.7), Elevé (0.8) |
| Sous-critères de décision | MPTEC | Mature (0.1), Assez mature (0.3), En croissance (0.5), Emergente (0.7), Embryonnaire (0.9) |
| s-critère | PPTC | Faible (0.1), Assez Faible (0.3), Comparable (0.5), Légèrement sup (0.7), Supérieure (0.9) |
| Sou | DPF | Court (0.1), Assez court (0.3), Moyen (0.5) Assez long (0.7), Long (0.9) |
| Critères de décision | Qualité, Coût, Performance financière, Performances compétitives straté-giques, Compétences Techniques stratégiques, Risques d'approvision- nement | Faible [0, 0.25], Assez faible [0, 0.50], Moyen [0.25, 0.75], Assez Elevée [0.5, 1], Elevé [0.75, 1] |

Tableau II.3.4: Critères et sous-critères de décision de faire ou de faire-faire.

3.2. Calcul du score final

L'utilité de faire un produit semi-fini en interne est mesurée à l'aide du modèle hiérarchique (figure II.3.2). Les valeurs des critères de décision mesurées par l'équipe de décision sont agrégées sous forme d'un score. L'équation (II.3.1) évalue les valeurs relatives de chaque critère de décision :

$$Sr_{ij} = S_{ij} / \max(S_{ij}) \tag{II.3.1}$$

Où

 S_{ij} : la valeur du critère de décision « j » correspondante à l'évaluation du produit « i ».

 Sr_{ii} : la valeur relative du critère de décision « j » correspondante à l'évaluation du produit « i ».

Le score final est donné par l'équation (II.3.2). Il est sensible aux estimations des critères de décision. Une valeur proche de 1 signifie que la préférence de l'équipe de décision tend vers l'option de faire le produit semi-fini en interne.

$$u_i = \prod_{j}^{N} \left(S r_{ij}^{w_j} \right) \tag{II.3.2}$$

Оù

 w_{ij} : le poids ou l'importance du critère « j » pour l'évaluation du produit ou l'activité « i » en tenant compte de la stratégie concurrentielle adoptée par l'entreprise.

La méthode du produit pondéré exprime la non-compensation significative des critères. Elle pénalise les alternatives qui présentent des valeurs faibles pour certains critères de décision.

Les valeurs relatives des scores sont calculées à l'aide de l'équation (II.3.3). Cette mesure positionne l'importance de chaque produit semi-fini vis-à-vis des autres (cas multi-produit) :

$$ur_i = u_i / \max(u_i), (i=1...M, j=1...N)$$
 (II.3.3)

Une fois que les produits semi-finis (pièces) sont évalués à l'aide du modèle flou, nous allons aborder la formulation mathématique du problème de calcul des quantités de produits à faire.

3.3. Formulation mathématique du problème de faire ou de faire-faire

Le problème est mis sous forme de programme linéaire sous contraintes. Il consiste à maximiser une fonction objectif qui intègre les scores relatifs de chaque alternative (utilité totale). La résolution sera faite par une méthode de résolution des problèmes linéaires.

1. Notations

P : nombre de pièces

ur_i. l'utilité totale relative à faire la pièce « i » en interne.

C_{fi}: le coût unitaire nécessaire pour faire la pièce « i ».

C_{ffi} : la valeur unitaire de la pièce « i » sur le marché.

x_i: la quantité exprimée en pourcentage de la demande de la pièce « i » à faire en interne.

B: l'investissement maximal souhaité.

 β_i : la proportion maximale de valeur de la pièce « i » que l'on accepte de « faire-faire » pour des raisons stratégiques.

d_i: la demande moyenne de la pièce « i ».

Cap_{fi}: la capacité de l'entreprise à faire la pièce « i ».

 Qt_{\min}^{fi} : la quantité minimale rentable de la pièce « i » à faire en interne. Dans le cas où une pièce se fabrique par lot, cette quantité correspond à la taille du lot.

$$MaxU = \sum_{i=1}^{P} ur_i x_i$$
 (II.3.4)

$$\sum_{i}^{P} C_{fi} \cdot d_{i} \cdot x_{i} \le B \tag{II.3.5}$$

$$C_{m} \cdot d_{i} \cdot x_{i} \ge (1 - \beta_{i}) \cdot C_{m} \cdot d_{i} \tag{II.3.6}$$

$$x_i \ge 1 - \beta_i \tag{II.3.7}$$

$$Qt_{\min}^{fi} \le d_i x_i \le Cap_{fi} \tag{II.3.8}$$

L'équation (II.3.4) représente la fonction objectif à maximiser (U : Utilité totale). Le budget alloué pour la production en interne ou à faire-faire les pièces chez des tiers est limité (équation II.3.5). Les contraintes II.3.6 et II.3.7 fixent les proportions en valeur autorisées des pièces à faire-faire. Les ressources de l'entreprise sont limitées et certaines pièces sont fabriquées par lot alors, une taille minimale de lot est nécessaire (contrainte II.3.8).

La figure suivante résume les étapes de la démarche de décision de faire ou de faire-faire.

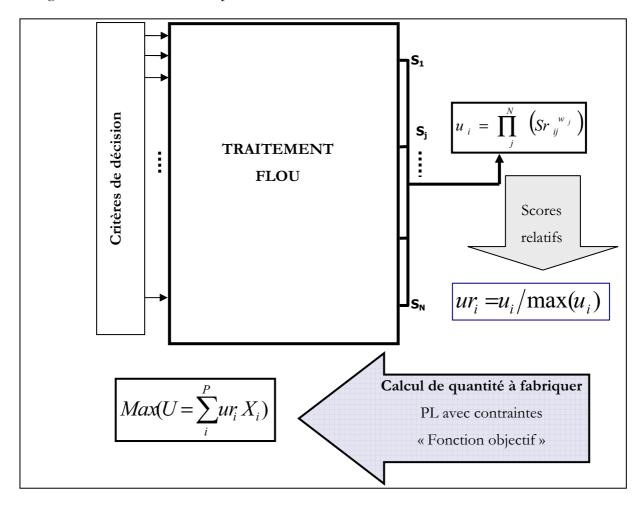


Figure II.3.3 : Synthèse de l'approche de décision de faire ou de faire-faire.

Dans la prochaine section, nous donnons un exemple numérique pour mettre en œuvre la démarche proposée.

4. Exemple d'application

Une entreprise envisage de lancer un nouveau produit. L'analyse de la nomenclature de ce produit montre que quatre types de pièces importantes entrent dans sa composition. Pour rendre ce produit plus compétitif sur le marché et pour des raisons stratégiques, l'entreprise doit désigner parmi ces pièces lesquelles seront faites par l'entreprise et celles à sous-traiter.

La direction de l'entreprise a constitué une équipe de quatre décideurs appartenant à différents services. Ces derniers ne possèdent pas la même expérience ou statut au sein de l'entreprise. Par conséquent, l'importance de leurs appréciations présente des poids différents sur la décision.

Dans un premier temps, les quatre décideurs doivent évaluer l'utilité de faire les pièces au sein de l'entreprise. Cela passe par une analyse approfondie des performances de l'entreprise à fabriquer en interne ces pièces d'une manière stratégique. Ensuite, la solution finale est obtenue à l'aide du programme mathématique en tenant compte des contraintes opérationnelles.

L'évaluation des pièces vis-à-vis des critères de décision est présentée dans la section suivante.

1. Evaluation des pièces

1.1. Importance des décideurs

Les poids attribués aux décideurs montrent leur importance dans l'organisation. Ils ont été calculés à l'aide de la méthode de comparaison par paire présentée dans le chapitre 1.

| D | \mathbf{D}_{1} | \mathbf{D}_{2} | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_{4} |
|-------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| Poids | 0.44 | 0.14 | 0.21 | 0.21 |

Tableau II.3.5: Importance des décideurs.

1.2. Importance des facteurs de décision

Grâce à une comparaison par paire des critères de décision, les décideurs peuvent définir l'importance de chacun sous forme de poids. Elle doit être définie en tenant compte de la stratégie concurrentielle adoptée par l'entreprise.

| Facteurs de décision | \mathbf{w}_{i1} | \mathbf{w}_{i^2} | \mathbf{w}_{i3} | \mathbf{w}_{i^4} | \mathbf{w}_{I} |
|----------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Performances financières | 0.32 | 0.27 | 0.25 | 0.29 | 0.30 |
| Performances compétitives stratégiques | 0.23 | 0.23 | 0.25 | 0.21 | 0.23 |
| Compétences techniques stratégiques | 0.12 | 0.19 | 0.25 | 0.21 | 0.17 |
| Risques d'approvisionnement | 0.32 | 0.31 | 0.25 | 0.29 | 0.30 |

Tableau II.3.6 : Importance des facteurs de décision.

 $\mathbf{w_{ik}}$: le poids du critère de décision « j » estimé par le décideur « k ».

 \mathbf{w}_{i} : le poids du critère de décision « j ».

D'après l'appréciation de l'équipe de décision, on voit que l'importance d'un critère de décision diffère d'un décideur à un autre. L'agrégation des appréciations individuelles permet d'aboutir à une perception cohérente de l'importance de chacun. Les appréciations des sous-critères de décision par les décideurs sont données dans l'annexe 2.

L'utilité de faire les pièces en interne a été calculée par l'équation (II.3.2). Ensuite, les valeurs relatives sont données par l'équation (II.3.3). Le tableau II.3.7 résume les scores obtenus par chaque pièce. Ces scores justifient les préférences de l'équipe de décision à faire ou à faire-faire ces pièces.

| | Pièce | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 | \mathbf{P}_4 |
|-----------------------------------|----------------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Facteurs Performances financières | 0.78 | 0.78 | 0.39 | 1 | |
| de | Performances compétitives stratégiques | 0.84 | 0.51 | 0.67 | 1 |
| décision | Compétences Techniques stratégiques | 0.45 | 0.66 | 0.50 | 1 |
| | Risques d'approvisionnement | 0.57 | 0.88 | 0.95 | 1 |
| Score relatif | u_{ir} | 0.64 | 0.45 | 0.34 | 1 |

Tableau II.3.7 : Utilité de faire ou de faire-faire chaque pièce.

D'après les résultats de cette évaluation, la fabrication en interne de la pièce P_4 est vivement recommandée, car cette pièce est jugée stratégiquement importante. L'entreprise dispose des moyens nécessaires pour la faire en interne. En outre, les pièces P_1 , P_2 et P_3 peuvent être soustraitées partiellement. Les résultats de cette étape restent intermédiaires parce que les contraintes opérationnelles n'ont pas été prises en compte. La solution finale est obtenue grâce au programme mathématique.

2. La solution finale

2.1. Résolution du problème mathématique

Le problème est mis sous forme de programme linéaire avec contraintes. Le tableau II.3.8 résume les contraintes opérationnelles de l'entreprise (contraintes de capacité et financières).

| Contraintes | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_{2} | \mathbf{P}_{3} | \mathbf{P}_{4} |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Coût achat /unité (C _{ffi}) | 10 | 6 | 4 | 7 |
| Coût de revient / unité $(C_{\rm f})$ | 9 | 9 | 8 | 4 |
| Capacité de production (Cap _{fi}) | 500 | 400 | 150 | 600 |
| Quantité minimale de production (Qt^{i}_{min}) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Demande moyenne / Pièce (d _i) | 500 | 300 | 300 | 500 |
| Budget à investir / Pièce (b _i) | 5000 | 3400 | 5000 | 2000 |
| Proportion maximale de la valeur d'une pièce à faire-faire (β) | 0.3 | 0.4 | 0.9 | 0.3 |

Tableau II.3.8: Contraintes opérationnelles.

Le problème a été résolu à l'aide d'un solveur de problème linéaire avec contraintes, implémenté sous MATLAB 7.3. La solution est celle qui maximise la fonction objectif soumise à des contraintes de budget et de capacité de l'unité de production.

La décision finale consiste à faire totalement en interne les pièces P_1 et P_4 et partiellement les pièces P_2 et P_3

| Pièce | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_{2} | \mathbf{P}_3 | \mathbf{P}_{4} |
|--------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| Quantité à produire en interne | 100 % | 81% | 50 % | 100 % |

Tableau II.3.9: Solutions finales.

Le résultat final va dans la même direction que l'appréciation de l'équipe de décision lors de l'étape précédente. Les pièces P₁ et P₄ ont été jugées stratégiquement importantes par l'équipe décision. L'entreprise dispose des ressources suffisantes pour assurer la production en interne.

Une faible quantité de la pièce P_2 sera sous-traitée. Le manque de ressources contraint l'entreprise à sous-traiter une partie de sa production. Cependant, la taille minimale des demandes acceptées par les fournisseurs extérieurs peut contraindre l'entreprise à fabriquer totalement la pièce en interne. De même pour la pièce P_3 , elle a été jugée moins importante que les autres et l'entreprise ne dispose pas de capacité suffisante ; ainsi, elle sera sous-traitée partiellement.

Si l'importance stratégique d'une pièce est élevée, dans certaines situations, l'entreprise sera contrainte à sous-traiter une partie de sa production par cause d'insuffisance des ressources. Cette situation nécessite une étude de faisabilité, soit par l'augmentation des ressources par des investissements supplémentaires sur les moyens de production, ou par la recherche de fournisseurs qui acceptent la sous-traitance de capacité occasionnelle.

Pour tester la pertinence de l'approche proposée, nous avons calculé les quantités de pièce à faire en interne sans tenir compte de la phase d'évaluation des pièces. Ensuite, nous avons évalué les pièces à l'aide de la méthode AHP et calculer les quantités à faire en interne. Les résultats sont résumés dans le tableau II.3.10.

| | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 | \mathbf{P}_4 |
|---------------------------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| Faire | 0.70 | 0.23 | 0.54 | 0.73 |
| Faire-faire | 0.30 | 0.77 | 0.46 | 0.27 |
| Utilité relative de faire : U _{ir} | 0.96 | 0.31 | 0.73 | 1 |

Tableau II.3.10: Evaluation des pièces par la méthode AHP.

| Approche | \mathbf{P}_1 | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 | \mathbf{P}_4 | Coût |
|---------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| Sans la phase d'évaluation | 100% | 100% | 50% | 100% | 9800 |
| Approche proposée | 100% | 81% | 50% | 100% | 9276 |
| Evaluation (méthode AHP) + programme mathématique | 100% | 97% | 50% | 100% | 9724 |

Tableau II.3.11 : Comparaison de l'approche proposé avec d'autres approches.

On remarque d'après les résultats obtenus avec les différentes approches que la solution donnée par l'approche proposée est la plus rentable. La résolution du problème sans la phase d'évaluation ne tient pas compte des aspects qualitatifs et la préférence de l'équipe de décision pour les deux options. Quant à la méthode AHP, celle-ci présente une solution proche de celle obtenue avec

l'approche proposée, cependant, avec un coût relativement plus élevé. Cette approche est lourde à appliquer dans le cas d'un nombre élevé de pièces.

Par cette application, nous avons montré les différentes étapes pour la mise en œuvre de l'approche proposée. La considération des aspects stratégique et opérationnel de l'entreprise est très importante. Notamment, une analyse détaillée des répercussions d'une telle décision sur la stratégie concurrentielle de l'entreprise est déterminante pour le choix de la solution à adopter.

5. Conclusion

L'objet de notre contribution est de proposer une démarche d'aide à la décision de faire ou de faire-faire. C'est une démarche multicritère, car la plupart des critères intervenant dans le stade stratégique sont de différentes natures. Notamment, les critères qualitatifs fournissent des informations qui peuvent présenter un avantage à long terme contrairement aux critères objectifs qui sont souvent opérationnels. On constate bien l'utilité de mettre en place une approche hybride combinant la logique floue et l'optimisation mathématique.

Dans ce travail, nous nous somme intéressés au processus d'obtention des composants (pièces) ou des processus entrant dans la constitution d'un produit. Une extension de cette approche est possible, probablement, par la considération d'autres éléments et son adaptation aux activités de services nécessaires au soutien du processus de production.

Chapitre 2 Conclusion

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les trois décisions importantes qui s'imposent en premier lieu dans une démarche de conception d'une chaîne logistique. Ces décisions concernent essentiellement : « la localisation des unités de production », « le choix des fournisseurs » et enfin la décision de «faire ou de faire-faire » un produit semi-fini entrant dans la constitution du produit final.

Les démarches d'aide à la décision proposées présentent un intérêt grandissant dans le cas où ces problématiques se posent indépendamment les unes des autres. Toutefois, elles ne constituent en aucun cas des approches génériques qui s'adaptent à toutes formes de problèmes ou aux situations rencontrées par une entreprise. Probablement, d'autres considérations sont nécessaires pour les adapter à des contextes précis.

Nous essayons par notre contribution, de rallier les différents aspects caractérisant ces décisions en s'appuyant sur le raisonnement par la logique floue et l'optimisation mathématique :

- La subjectivité et l'objectivité des critères de décision,
- La considération des contraintes organisationnelles et opérationnelles,
- La décision du groupe et leur subjectivité (préférence, perception et jugement),
- La stratégie concurrentielle de l'entreprise.

Cependant, l'application de ces démarches séparément n'est pas adaptée dans le cas où ces problématiques se posent simultanément et où elles présentent des interactions entre elles. Elle peut donner une solution optimale pour chaque décision mais elle n'assure pas une optimisation globale. Une analyse de la modalité d'impact et l'interdépendance entre les critères propres à ces trois décisions nous permet de déceler les corrélations existantes entre elles. De cela surgit la nécessité de considérer les trois décisions simultanément, c'est-à-dire, le besoin de la mise en place d'un outil d'aide à la décision intégrée. En se basant sur les approches élaborées précédemment pour les différentes stratégies, le prochain chapitre sera dédié aux modalités de mise en œuvre d'une telle démarche pour aboutir à une optimisation globale de la chaîne logistique.

Chapitre 3

Approche intégrée

1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé les trois problématiques suivantes : « le choix des fournisseurs », « la localisation des unités de production » et la décision de « faire ou de faire-faire » d'une manière séparée. Nous avons présenté des démarches multicritères en considérant simultanément les volets stratégiques et opérationnels inhérents à chaque décision.

Les mutations que subit l'environnement économique actuel forcent les entreprises à revoir leur mode d'organisation pour pouvoir être compétitives et se mettre sur la même ligne que leurs concurrents voire mieux. Ces changements externes contraignent les dirigeants d'entreprises à prendre plusieurs décisions simultanément. Une telle situation peut concerner les décisions auxquelles nous nous sommes intéressés dans ce travail. Dans ce cas, la mise en œuvre de la démarche séparée n'est pas adaptée, car elle ne prend pas en compte des éventuelles relations entre les décisions. De plus, le fait qu'elle considère seulement un ensemble d'optimisations locales n'implique pas forcément une optimisation globale. Ainsi, seule une démarche intégrée peut constituer une alternative intéressante pour assurer une cohérence et un meilleur niveau décisionnel.

En s'appuyant sur les approches spécifiques aux décisions développées précédemment et une analyse des modalités d'impact entre les trois décisions, on peut déceler les corrélations existantes entre les différents critères et déterminer les relations mutuelles entre elles. Ensuite, nous allons élaborer la démarche de décision intégrée pour la conception de la chaîne logistique.

Ce chapitre est organisé comme suit : nous commençons d'abord par présenter le problème de l'intégration décisionnelle et donner un aperçu des approches intégrées existantes dans la littérature. Ensuite, nous allons définir le contexte et le mode d'intégration des trois décisions abordées dans cette thèse, pour pouvoir délimiter le champ d'application de notre approche. Puis, nous allons présenter la démarche proposée. Enfin, nous terminons par un exemple d'application pour illustrer sa mise en œuvre.

2. Le problème d'intégration des décisions

L'intégration signifie le regroupement de diverses entités ayant des interactions directes ou indirectes dans un ensemble unique afin de traiter cet ensemble au lieu de traiter séparément chaque entité. L'intégration dans une chaîne logistique concerne les volets informationnel, organisationnel et décisionnel. Ce processus est vu sous deux dimensions dans la littérature, une intégration interne et externe [She, 07], [Pet, 05], [Cam, 05]. L'intégration interne concerne les différents services de l'entreprise pour améliorer la coordination en interne. Par contre, l'intégration externe concerne les clients et les fournisseurs dont le but est de capter les attentes

des clients, améliorer leurs satisfactions et créer des partenariats avec les fournisseurs pour fiabiliser les approvisionnements [Pag, 04].

a. Intégration informationnelle

Dans ce type d'intégration, des données issues de divers services d'une entreprise ou d'organisations sont mises en commun en temps réel grâce aux nouvelles technologies informatiques (EDI, Internet...). Cette intégration permet à l'entreprise d'augmenter sa réactivité, diminuer ses coûts et accroître la qualité de ses produits et ses services en facilitant la coopération et la collaboration entre ses propres départements et ses partenaires.

b. Intégration organisationnelle

Elle consiste à fusionner deux ou plusieurs entités d'une ou plusieurs sociétés dans une seule organisation. Ce type d'intégration a pour but de diminuer les coûts communs et augmenter le niveau de coordination entre les différents services de l'entreprise, et mieux organiser les moyens de production, de stockage et de distribution. Le tableau suivant résume les différentes formes d'intégration des décisions dans une chaîne logistique d'une entreprise traitées dans la littérature [Des, 05], [Boi, 04].

| Décisions intégrée | Objectifs | | | | |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| Stadraga Stadraga (S.S.) | Trouver la politique qui minimise le coût de commande et | | | | |
| Stockage-Stockage (S-S) | de stockage entre deux sites de stockage. | | | | |
| Stockage-Production (S-P/P-S) | Déterminer un programme de production en considérant | | | | |
| Stockage-Production (S-P/P-3) | les sites de stockage (minimisation des coûts de stockage) | | | | |
| | Trouver une stratégie de transport et la quantité à | | | | |
| Stockage-Transport (S-T) | transporter pour minimiser les coûts de transport et de | | | | |
| | stockage des produis finis. | | | | |
| Production-Transport (P-T) | Déterminer un programme de production en considérant le | | | | |
| Floddedon-Transport (F-1) | système de transport. | | | | |
| | Affecter d'une manière optimale les pièces à produire dans | | | | |
| Production-Production (P-P) | les sites de production pendant une ou plusieurs périodes | | | | |
| | de temps. | | | | |

Tableau III.1: Intégration des fonctions d'une entreprise.

b. Intégration décisionnelle

Le processus de décision engendre souvent plusieurs types de décisions simultanément, qui interagissent de différentes façons. L'intégration décisionnelle sera significative s'il existe une dépendance mutuelle entre décisions. On peut distinguer trois types de situations entre deux ou plusieurs décisions : indépendance, relation hiérarchisée (une décision influe sur l'autre mais pas l'inverse) et dépendance mutuelle.

Dans le cas de position de plusieurs problématiques simultanément, plusieurs modalités de prise de décision peuvent être adoptées (figure III.1). Ce processus est dicté par les facteurs suivants :

- existence ou non des relations entre les décisions,
- le mode d'impact de chaque décision sur une autre (unidirectionnel ou mutuel),
- l'importance des décisions.

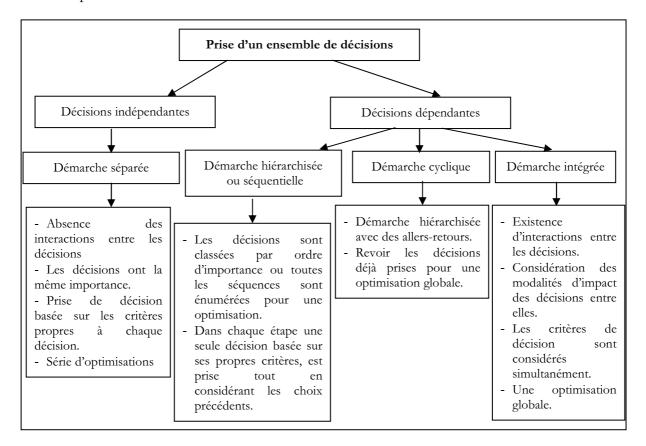


Figure III. 1 : Les démarches de prise d'un ensemble de décisions simultanément.

Rappelons que les trois décisions traitées dans le chapitre précédant ont été considérées séparément. Cependant, quand les trois problématiques se posent simultanément, la démarche séparée n'est pas adapté à cette situation. Elle assure seulement un ensemble d'optimisations locales, car elle ignore les interactions qui existent entre les décisions et la prise de l'une d'entre elles affecte directement ou indirectement les autres. Une démarche de décision intégrée est stratégiquement très importante ; particulièrement, lors de la conception de la chaîne logistique, car, elles déterminent la configuration de ses installations, ce qui influe énormément sur sa performance.

Tradionnellement, les travaux classiques traitent ces décisions indépendamment les unes des autres, elles sont isolées sans aucune interaction. Cette situation n'est pas toujours vérifiable dans la réalité économique actuelle. Donc, les décideurs doivent tenir compte de l'environnement économique de l'entreprise en considérant l'ensemble des facteurs liés plus au moins étroitement

à ces décisions. Il existe certainement des facteurs communs qui interviennent dans plusieurs décisions ce qui génère des interactions entre elles.

|] | Le tableau III.2 | résume l | le mode d | e traitement d | le ces décisions | par les | démarches | classiques. |
|---|------------------|----------|-----------|----------------|------------------|---------|-----------|-------------|
| | | | | | | | | |

| Décision | Localisation | Choix des fournisseurs | Faire ou faire-faire | |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--|
| Connaissances | -Besoins de l'entreprise sont connus (les sous-produits/ pièce à faire en interne). | -Besoins de l'entreprise sont connus (les sous-produits/ pièces à faire en interne). | -Analyse comparative de la qualité des services des fournisseurs. | |
| préalables | -Situation géographique des fournisseurs et clients connue. | -Connaissance des distances séparant les fournisseurs du site de production. | -Connaissance détaillée des fournisseurs. | |
| Objectifs | -Sites qui peuvent satisfaire les besoins de l'entreprise. | -Détermination du nombre de fournisseurs. | -La position concurrentielle. -La pénétration de nouveaux marchés. | |
| | -Minimisation des coûts de transport. | -Sélection des meilleurs fournisseurs. | -Recentrage sur des compétences et métiers. | |
| Décisions préalables | Choix des fournisseurs.Faire ou faire-faire. | Faire ou faire-faire.Localisation. | Choix des fournisseurs.Localisation. | |

Tableau III.2: Traitement des trois décisions par les approches classiques.

Ces décisions se basent sur des connaissances établies préalablement, elles sont prises d'une manière séparée ou séquentielle. Lors de la présentation des démarches spécifiques aux trois décisions (voir chapitre 2), nous avons présenté des travaux récents traitant ces décisions. Les approches classiques ne peuvent pas être considérées comme des solutions idéales pour une entreprise en stade de conception, de reconfiguration ou de réorganisation de sa chaîne logistique.

La figure III.2 présente une adaptation des différentes modalités de traitement des trois décisions en question dans ce travail : « Localisation (1) », « Choix des fournisseurs (2) » et « Faire ou faire-faire (3) » telles qu'elles ont été présentées par Akbari [Akb, 01]. Selon le contexte, on peut adopter l'une des cinq démarches. Toutefois, la démarche intégrée reste la plus appropriée dans le cas ou ces problématiques se posent simultanément, à cause de l'existence des interactions entre elles, ce que nous allons montrer plus loin dans ce chapitre.

Des modèles dynamiques pour la conception de la chaîne logistique ont été proposés dans la littérature [Bhu, 03], [Mel, 05], [Paq, 08]. Ces travaux se basent sur la révision périodique des décisions (Le nombre, la localisation, la technologie et la capacité des unités de production, l'approvisionnement). Shen [She, 07] a revu les travaux concernant l'intégration des fonctions « Localisation-transport », « localisation-stocks » et « Localisation-transport-stocks ». Récemment, Melo [Mel, 09] a présenté les extensions des modèles concernant la problématique de localisation, notamment, une analyse sur l'intégration de cette décision avec d'autres décisions stratégiques relevant de la problématique de la conception de la chaîne logistique.

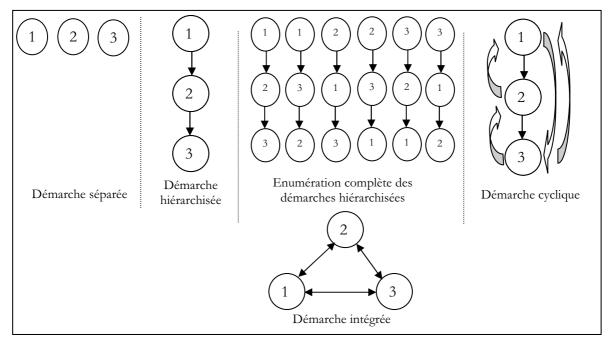


Figure III. 2 : Les cinq démarches pour traiter les trois décisions.

En raison du contexte et du secteur d'activité de l'entreprise, les trois décisions traitées ne se posent pas forcément simultanément. Les décisions peuvent concerner seulement une famille de produits. Généralement, au stade initial d'une démarche de conception de la chaîne logistique, il est indispensable de se focaliser sur les produits jugés innovant, créateurs d'avantages concurrentiels pour l'entreprise.

La vision future du management de la chaîne logistique passe par une intégration de plusieurs décisions en considérant le mode d'impact entre elles et la prise en compte des aspects économiques et sociaux de l'entreprise. En s'inspirant des travaux existant dans la littérature, nous proposons une démarche d'aide à la décision hybride et intuitive pour la conception de la chaîne logistique, basée sur un raisonnement par logique floue et une méthode d'optimisation mathématique. L'intérêt de cette approche réside dans la prise en compte de la stratégie concurrentielle de l'entreprise et ses contraintes opérationnelles ce que nous allons détailler dans la suite de ce chapitre.

3. La démarche intégrée pour la conception de la chaîne logistique

Notre contribution consiste à mettre en place une démarche de décision intégrée pour la prise des trois décisions stratégiques dans le cas où elles se posent simultanément. Il est clair qu'une intégration décisionnelle est une tâche complexe compte tenu du nombre important de facteurs qui interviennent, ce qui entraine l'augmentation de la taille du problème qui devient rapidement excessive. Cette démarche nécessite la définition du contexte d'intégration des trois décisions pour limiter la complexité et accroitre la faisabilité de la mise en œuvre d'un tel modèle.

La considération de ces trois décisions est un processus triple. L'objectif est de proposer une solution acceptable au problème de localisation d'une unité de production sur l'un des sites potentiels, définir les pièces ou les composants à faire en interne par l'entreprise ou bien désigner les fournisseurs extérieurs les mieux adaptés pour les faire-faire.

Dans la prochaine section, nous présentons une analyse d'interaction et d'impact des facteurs de décision qui nous permettra de définir les relations mutuelles entre les trois décisions pour mieux appréhender le processus d'intégration.

3.1. L'analyse d'impact

Les interactions se manifestent via les critères de décision suivant un mode d'impact sur les objectifs fixés par l'entreprise. Tout d'abord, nous tenterons d'expliciter les interactions et les corrélations existantes entre ces différents critères pour mettre en lumière les relations entre les problèmes de localisation, le choix de faire ou de faire-faire et la sélection des fournisseurs.

1. La localisation des sites

- a. Coût de transport (CT) : il dépend de la qualité des moyens de transport et de la distance entre les fournisseurs et le site de production. L'éloignement des fournisseurs par rapport aux sites de production augmente le coût du transport.
- b. Disponibilité des moyens de transport (DT): les infrastructures existantes entre l'entreprise et ses fournisseurs conditionnent la qualité et la diversité des modes de transport. La qualité des moyens de transport d'un site de production dépend de la décision du choix des fournisseurs.
- c. Disponibilité des fournisseurs (DF) : un choix pertinent d'un site de production doit être à proximité des fournisseurs performants qui peuvent fournir les besoins de l'entreprise efficacement.
- d. Disponibilité des services de base (DSB) : la localisation d'un site de production nécessite d'abord une bonne connaissance des besoins de base nécessaires aux éléments à produire.
- e. Impact sur l'environnement (IE): les entreprises actuelles intègrent le développement durable dans leur plan stratégique. Par exemple, la proximité des fournisseurs réduit l'effet polluant des moyens de transport sur l'environnement. De plus, la connaissance des caractéristiques des éléments à fabriquer et leurs impacts sur l'environnement est un facteur important dans la décision de localisation. Ces constatations justifient l'influence des décisions de « choix des fournisseurs » et de « faire ou de faire-faire » sur la décision de localisation.

2. Sélection des fournisseurs

a. Prix (P): le prix signifié par le fournisseur est conditionné par différents facteurs, la distance le séparant du client et le moyen de transport qui sera utilisé. Ceci montre l'influence de la décision de localisation du site de production sur le prix exprimé par le fournisseur.

b. Flexibilité des livraisons (Flex_L): les deux paramètres qui affectent la qualité des livraisons d'un fournisseur sont « la distance » et « la qualité des moyens de transport » utilisés par le fournisseur ou le donneur d'ordre. La flexibilité des livraisons sera plus élevée dans le cas des distances plus courtes et de disponibilité des moyens du transport divers. La localisation du site de production a un impact considérable sur la qualité des livraisons, notamment le respect des délais.

3. Faire ou Faire-faire

a. Coût d'achat (CFF): avant de prendre la décision de faire ou de faire-faire une pièce ou un composant nécessaire à la fabrication du produit final, une évaluation du coût d'achat (le prix de la pièce, transport et autres charges) passe par la connaissance des fournisseurs potentiels qui peuvent assurer ce service.

b. Coût de revient (CR): dans le cas de production en interne, l'entreprise est amenée à évaluer le coût de revient de chaque pièce nécessaire au produit final. Plusieurs facteurs extérieurs interviennent, en l'occurrence, le coût des matières premières, la qualité et les délais qui dépendent d'un bon choix des fournisseurs performants.

c. Coût de transactions (TC): les coûts générés par les échanges entre l'entreprise et ces fournisseurs sont conditionnés par la qualité et la durée de la relation qui lie l'entreprise avec ces partenaires. Donc, un choix adéquat de fournisseurs exerce une grande influence sur les coûts des transactions et la viabilité des échanges.

d. Délai de production (DPF): la performance du maillon approvisionnement est subordonnée à la présence des fournisseurs performants. Ces derniers assurent les livraisons à temps et en quantités désirées de matières premières pour ne pas perturber les plannings de production.

L'analyse présentée montre le mode d'impact et la corrélation entre les critères de décision. De plus, le même objectif défini par une entreprise peut être influencé par plusieurs critères appartenant à des décisions différentes. Dans le tableau suivant nous donnons quelques exemples de l'influence des critères de décision sur les objectifs qui peuvent être fixés par une entreprise. L'impact exercé par un critère sur un objectif est symbolisé par un signe « + » ou « - ». Un signe « - » signifie qu'une valeur élevée du critère \mathbf{C}_i exerce un effet négatif sur l'objectif \mathbf{O}_j . Donc, il faut réduire la valeur de ce critère pour atteindre l'objectif fixé. Cependant, un signe «+ » signifie

qu'une valeur élevée du critère C_i contribue positivement pour atteindre l'objectif O_j . Enfin, un symbole « * » représente la neutralité du critère.

| | | Maximiser la | Maximiser la performance | Sauvegarde de | Minimiser |
|-----------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|
| | | performance financière | compétitive stratégique | l'environnement | les risques |
| | CL, CT, CSV, CM | - | - | * | - |
| | DT | + | + | + | + |
| lon | PF | + | + | + | + |
| Localisation | DSV | + | + | + | + |
| cali | DM | + | + | * | + |
| Lo | AM | + | + | * | + |
| | IE | * | * | - | * |
| | ΙΤ | - | * | * | * |
| | TTD, VTC | - | * | * | - |
| c IfS | P | - | - | * | - |
| Choix de fournisseurs | FL | + | + | * | + |
| Ch | Q | * | + | + | + |
| υ υ | CRF, CFF, CC, TC | - | - | * | - |
| -fair | PHQ | * | + | + | + |
| faire | DPF | - | - | - | - |
| Faire ou faire-faire | FLP | + | + | * | + |
| Fair | PPTC | + | + | * | + |
| | RDI | * | - | * | - |

Tableau III.3: Le mode d'impact des critères de décision sur les objectifs de l'entreprise.

De ce fait, il paraît indispensable de rechercher des compromis entre les critères de décision afin d'atteindre ces objectifs. Cela confirme l'importance d'une approche intégrée qui contribue à l'optimisation globale de la chaîne logistique.

3.2. Démarche de décision intégrée

Nous nous situons dans le contexte où les trois problématiques se posent simultanément. Pour mieux expliciter cette démarche, considérons l'exemple suivant :

Le plan de développement stratégique d'une entreprise prévoit une extension des infrastructures de production pour la fabrication de nouveaux produits. En analysant ce problème, on constate que les questions suivantes se posent simultanément :

- 1. La détermination des besoins de l'entreprise (matières premières, services de base et produits semi-finis). De plus, l'entreprise doit définir quels composants ou pièces sont à faire en interne ou à faire-faire.
- L'implantation de la nouvelle unité de production sur un site stratégique.
- 3. La sélection des fournisseurs performants pour produire les produits à sous-traiter.

En s'appuyant sur les démarches spécifiques aux trois décisions élaborées précédemment, nous avons mis en place un modèle de décision intégrée pour répondre aux questions posées ci-dessus. L'approche est réalisée en trois étapes :

Etape 1 : Définition du problème.

- a. détermination des sites potentiels qui peuvent accueillir la nouvelle unité de production,
- b. détermination de la liste des produits semi-finis à faire ou à faire-faire,
- c. détermination des fournisseurs potentiels capables de fabriquer les pièces en question.

Etape 2: Evaluation des alternatives.

- a. Evaluation de l'impact des critères de décision sur l'ensemble des objectifs fixés par l'entreprise :
 - 1. Définir les objectifs de l'entreprise.
 - 2. Définir les poids des critères de décision pour mettre en valeur leurs impacts et leur importance dans la réussite de la stratégie concurrentielle et la réalisation des objectifs fixés par l'entreprise.
- b. Evaluation de toutes les options ou scénarios possibles à l'aide des démarches spécifiques aux décisions développées dans le chapitre précédant :

1. Décision de localisation

D'abord il faut évaluer l'utilité d'installer l'unité de production sur chacun des sites potentiels pour produire les pièces ou les composants en question. Cette mesure nous renseigne sur la préférence de l'équipe de décision à installer l'unité de production sur l'un des sites potentiels pour faire les pièces, sachant que la décision de faire est prise.

2. Décision de faire ou de faire-faire

Cette étape consiste à évaluer l'utilité de faire ou de faire-faire chacune des pièces par l'entreprise dans le cas où elle est installée sur les différents sites potentiels. Cette décision sera prise en partant d'une hypothèse que la décision de localisation de l'unité de production est résolue.

3. Sélection des fournisseurs

Cette étape consiste à évaluer l'utilité de sélectionner un fournisseur potentiel pour faire les pièces en question, en sachant que l'entreprise sera installée sur les différents sites.

La figure III. 3 illustre les scénarios ou alternatives possibles pour une pièce « P_i ». Un exemple est représenté en trait gras qui signifie la préférence de l'équipe de décision pour la localisation de

l'unité de production sur le site « S_1 », et faire la pièce « P_i » ou de la faire-faire par le fournisseur « F_2 ».

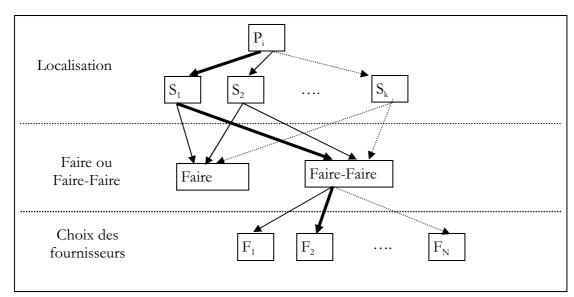


Figure III.3: Exemple de scénarios pour la pièce « P_i ».

La décision de faire totalement ou partiellement et le nombre de fournisseurs qui permet de faire la pièce « P_i » seront définis par la résolution du problème d'optimisation mathématique dans le second niveau de cette approche présenté plus loin.

Etape 3 : Calcul de l'utilité totale.

En agrégeant les éléments évalués ci-dessus, nous allons déterminer l'utilité de faire où de fairefaire chaque pièce par l'entreprise localisée sur les différents sites potentiels.

Pour évaluer l'utilité totale nous avons besoin de définir les notations suivantes :

1. Notation

i : pièce ; k : site ; f : fournisseur, pour l'entreprise f = 1.

 U_{ki} : l'utilité d'implanter l'entreprise sur le site « k » pour faire la pièce « i » (Décision de localisation).

 U_{ik} : l'utilité de faire la pièce « i » par l'entreprise sachant que le site « k » est choisi (Un_{ik} valeur normalisée).

 U_{ijk} : l'utilité de sélectionner le fournisseur « f » pour faire la pièce « i » pour l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k ». (Un_{ijk} : valeur normalisée).

 U_{ikf} : l'utilité totale pour faire la pièce « i » par l'entreprise localisée sur le site « k » ou la faire-faire par le fournisseur « f ».

La figure ci-dessous illustre le mode d'intégration des trois décisions sous forme d'un score final (l'utilité totale).

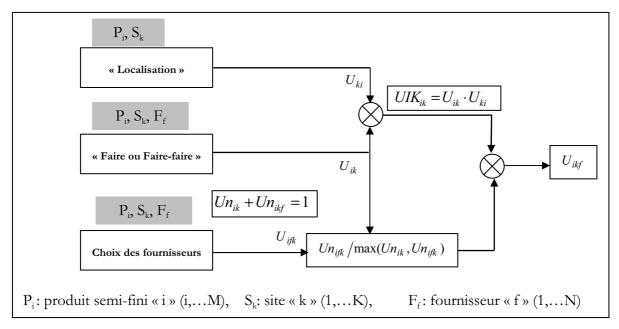


Figure. III.4 : Evaluation de l'utilité totale pour faire une pièce « P_i » par l'entreprise localisée sur le site « S_k » ou la faire-faire par le fournisseur « F_f ».

L'utilité totale est mesurée par l'agrégation des trois éléments définis ci-dessus à l'aide de l'équation III.4.

$$Un_{ik} + Un_{ikf} = 1 \forall i, k, f (III.1)$$

$$UIK_{ik} = U_{ik} \cdot U_{ki} \qquad \forall i, k, \tag{III.2}$$

$$Un_{ikf} / \max(Un_{ik}, Un_{ikf}) = \begin{cases} 1 & si & Un_{ik} \le Un_{ikf} \\ [0,1[si & Un_{ik} > Un_{ikf}] \end{cases} \forall i,k,f$$
 (III.3)

$$U_{ikf} = \begin{cases} UIK_{ik} \cdot (Un_{ijk} / \max (Un_{ik}, Un_{ikf})) & \forall i, k \text{ et } f \neq 1; \\ UIK_{ik} & \forall i, k \text{ et } f = 1 \end{cases}$$
(III.4)

Le terme $(U_{ik} \cdot U_{ki})$ évalue l'importance accordée par l'équipe de décision au choix du site « k » pour faire la pièce « i ». Précisément, une valeur élevée de ce terme favorise l'implantation de l'unité sur le site « k » et la décision de faire la pièce en interne.

Les mesures Un_{ik} , Un_{ikf} représentent les valeurs normalisées des préférences de l'équipe de décision pour les options de fabriquer la pièce « i » en interne ou de l'acheter chez le fournisseur « f ». Une valeur du terme $(Un_{ikf} / \max (Un_{ik}, Un_{ikf}) << 1)$ minimise les chances de la sélection du fournisseur « f $\neq 1$ » pour fabriquer la pièce « i ». Donc, les décideurs seront favorables pour l'option de faire la pièce dans l'entreprise et le choix du site « k ». Cependant, une valeur très

proche ou égale à « 1 » augmente les chances de sélection du fournisseur pour fabriquer la pièce « i » pour l'entreprise localisée sur le site « k ».

L'agrégation des trois éléments (U_{ik}, U_{ki}, U_{if}) à l'aide de l'équation (III.4) permet d'identifier la tendance de jugement et la préférence de l'équipe de décision pour le choix d'une alternative la mieux adaptée. Une valeur de l'utilité totale proche de « 1 », obtenue par une alternative lui permet de figurer parmi les solutions potentielles pour les trois problématiques posées.

On remarque bien que la taille du problème augmente avec le nombre de pièces, le nombre de fournisseurs et de sites potentiels. Pour réduire la taille du problème, on peut suggérer de fixer un seuil aux valeurs des éléments de la matrice « U », c'est-à-dire, de garder les éléments qui sont supérieurs ou égaux au seuil et mettre à zéro les éléments qui sont inférieurs.

$$U = \begin{cases} S_{1} & S_{2} & \cdots & S_{K} \\ P_{1} & U_{111} & U_{121} & U_{1K1} \\ P_{2} & U_{211} & U_{221} & \cdots & U_{2K1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{P} & U_{P11} & U_{P21} & U_{PK1} \\ U_{112} & U_{122} & U_{1K2} \\ P_{2} & U_{212} & U_{222} & \cdots & U_{2K2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{P} & U_{P12} & U_{P22} & U_{PK2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{P} & U_{11F} & U_{11F} & U_{1KF} \\ P_{2} & U_{21F} & U_{21F} & U_{2KF} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{P} & U_{P1F} & U_{P1F} & U_{PKF} \\ \end{cases}$$

$$(III.5)$$

Cette phase ne sera pas suffisante pour trancher définitivement sur les trois décisions. Son rôle est de mettre en valeur l'importance stratégique des pièces, la capacité de l'entreprise à produire d'une manière compétitive, le choix de site stratégique et la sélection de fournisseurs performants.

Pour combler l'incapacité de cette approche qualitative à prendre en compte les contraintes opérationnelles de l'entreprise nous avons recours à une approche mathématique. Enfin, la solution finale est donnée par le programme mathématique.

4. Formulation mathématique du problème d'optimisation

La formulation mathématique du problème d'optimisation permet de définir le site approprié pour l'implantation de l'unité de production, la présélection des fournisseurs et définir les quantités de pièces à produire en interne ou à faire par les fournisseurs sélectionnés. Pour faciliter la résolution de ce problème, nous proposons deux programmes mathématiques.

a. Le premier est un programme linéaire en nombres entiers avec contraintes. Son rôle est de définir la localisation du site et la présélection des fournisseurs.

b. Le deuxième est un programme linéaire avec contraintes. Son rôle est de définir la quantité des pièces à faire ou faire-faire.

1. Notations

$$X_{ikf} = \begin{cases} 1 \text{ si le site "k"est choisi} \\ 0 \text{ si non;} \end{cases}$$

$$Z_{ikf} = \begin{cases} 1 \text{ si le fournisseur "} f \text{"est sélectionn'e pour faire la pièce"} i \text{"et le site "} k \text{"est choisi } \\ 0 \text{ si non;} \end{cases}$$

 y_i : la quantité exprimée en pourcentage de la demande de la pièce « i » à faire par l'entreprise.

 w_{ij} : la quantité exprimée en pourcentage de la demande de la pièce « i » à acheter chez le fournisseur « f ».

U_{ikf}: l'utilité totale pour faire la pièce « i » par l'entreprise localisée sur le site « k » ou la fairefaire par le fournisseur « f ».

P : le nombre de pièces.

S : le nombre de sites potentiels.

F: le nombre de fournisseurs potentiels pour la pièce « i ».

Cf_{ikf}: le coût unitaire nécessaire pour faire (coût d'achat) la pièce « i » chez le fournisseur « f ». si « f=1 », Ce coût correspond au coût de production de la pièce par l'entreprise.

CAPF_{ik}: la capacité de l'entreprise à faire la pièce « i ».

CAPFF_{ikf}: la capacité maximale du fournisseur « f ».

CMA_{ikf}: la commande minimale acceptée par le fournisseur « f » pour la pièce « i ».

C_i: la valeur unitaire de la pièce « i » sur le marché.

d_i: la demande moyenne de la pièce « i ».

bf_i: le budget maximal pour faire les pièces en interne.

bff_{if}: l'investissement maximal souhaité pour faire-faire les pièces.

CI_k: le coût d'installation de l'unité de production sur le site « k ».

BI: l'investissement maximal pour l'implantation de l'unité de production sur l'un des sites.

n_i: le nombre de fournisseurs autorisés pour chaque pièce.

 β_i : la proportion maximale en termes de valeur de la pièce « i » que l'entreprise accepte de « faire-faire » pour des raisons stratégiques.

2. Le programme linéaire en nombres entiers

Ce programme consiste à maximiser une fonction d'utilité totale sous contraintes. L'unité doit être installée sur un seul site et l'entreprise peut limiter le nombre de fournisseurs potentiels pour chaque pièce.

$$MaxU = \sum_{i}^{P} \sum_{k}^{S} \sum_{f}^{F} U_{ikf} \cdot X_{ikf} \quad i = 1, \dots, M, k = 1, \dots, K, f = 1, \dots, F$$
 (III.6)

Tel que:

$$\sum_{k}^{S} X_{ikf} = 1 \qquad \forall i, f$$
 (III.7)

$$\sum_{k}^{S} CI_{k} \cdot X_{ikf} \le B \qquad \forall i, f$$
 (III.8)

$$\sum_{f}^{F} X_{ikf} \le n_{if} \qquad \forall i, k \tag{III.9}$$

$$X_{ikf} - Z_k \le 0 \qquad \forall i, k, f \tag{III.10}$$

$$X_{ikf}, Z_k = 0 ou 1 \quad \forall i, k, f$$
 (III.11)

L'équation (III.6) représente la fonction objectif à maximiser (fonction d'utilité totale). L'unité de production doit être implantée sur un seul site, alors la contrainte (III.7) assure l'intégrité de l'unité de production. De plus, l'équation (III.8) impose une restriction du budget d'installation de l'unité de production sur l'un des sites potentiels. Pour des raisons stratégiques, l'entreprise limite le nombre de fournisseurs par pièce (contrainte III.9). Enfin, la contrainte III.10 impose qu'un fournisseur sera présélectionné pour un site « k » si et seulement si ce site est choisi.

3. Le programme linaire avec contraintes

Ce programme nous permet de calculer la quantité de chaque pièce à produire en interne, ainsi que celle que l'entreprise achètera chez un fournisseur parmi ceux présélectionnés.

$$MinC = \sum_{i}^{P} \left[CF_{ik1} \cdot d_i \cdot y_i + \sum_{f=2}^{F} CF_{ikf} \cdot d_i \cdot w_{if} \right]$$
(III.12)

Tel que:

$$\sum_{i}^{P} CF_{ik1} \cdot d_i \cdot y_i \le \sum_{i}^{P} bf_i \qquad \forall k$$
 (III.13)

$$d_i \cdot y_i \le CAPF_i \qquad \forall i \tag{III.14}$$

$$CMA_{if} \le d_i \cdot w_{if} \le CAPFF_{if} \quad \forall i, f$$
 (III.15)

$$y_i + \sum_{f}^{F} w_{if} = 1 \qquad \forall i \tag{III.16}$$

$$\sum_{i}^{P} \sum_{f=2}^{F} CF_{ikf} \cdot d_{i} \cdot w_{if} \leq \sum_{i}^{P} \sum_{f=2}^{F} bff_{if}$$
(III.17)

$$\sum_{f}^{F} CF_{ikf} \cdot d_{i} \cdot w_{if} \leq \beta_{i} \cdot C_{i} \cdot d_{i} \quad \forall i$$
(III.18)

L'équation (III.12) définit la fonction objectif, le problème consiste à minimiser le coût total (le coût de production en interne et le coût d'achat). L'équation (III.13) impose une restriction du budget pour faire les pièces en interne. Les contraintes (III.14) et (III.15) limitent la capacité de fabrication de l'entreprise et celle des fournisseurs. La quantité de la pièce « i » fabriquée en interne et celle achetée chez un fournisseur ne doivent pas dépasser la demande moyenne de cette pièce (III.16). La contrainte (III.17) limite le budget à allouer pour faire-faire les pièces chez les fournisseurs. Pour des raisons stratégiques ou pour préserver son image, l'entreprise fixe des proportions en valeur autorisées des pièces à faire-faire (III.18). Enfin, d'autres contraintes peuvent être considérées, cela dépend du contexte et du secteur industriel de l'entreprise.

Dans la prochaine section nous allons présenter un exemple d'application de l'approche proposée tout en explicitant les étapes de sa mise en œuvre. Nous avons considéré un scénario où les trois décisions se posent simultanément.

5. Exemple d'application

Pour les besoins de son plan de développement, une entreprise spécialisée dans l'assemblage de moteurs envisage de faire une extension de ses moyens de production. L'équipe dirigeante décide d'installer une nouvelle unité de production sur un site approprié qui reste à choisir parmi cinq sites potentiels présélectionnés. Cette nouvelle unité sera dédiée à un nouveau produit. Après une analyse de la nomenclature de ce produit, la direction de l'entreprise hésite entre deux options : la fabrication de 3 pièces en interne (option : « faire ») ou de les acheter chez des fournisseurs (option : faire-faire). Pour rendre ce produit plus compétitif sur le marché et pour des raisons stratégiques, l'entreprise doit désigner parmi ces pièces lesquelles seront faites dans l'entreprise et celles à sous-traiter totalement ou partiellement. Dans la deuxième option, l'entreprise doit faire une sélection de fournisseurs capables de mettre à sa disposition ces produits semi-finis avec des

avantages plus compétitifs. A cet effet, l'entreprise a présélectionné quatre fournisseurs potentiels.

Ces décisions impliquent plusieurs membres au sein de l'entreprise. L'équipe de décision s'est réunie pour choisir les pièces qui doivent être fabriquées en interne et celles qui seront sous-traitées, le choix du site pour l'implantation de la nouvelle unité de production et la sélection des fournisseurs dans le cas de l'option de faire-faire. Dans un premier temps, quatre décideurs doivent évaluer les fonctions suivantes en s'appuyant sur les modèles d'aide à la décision élaborés dans le chapitre 3 :

- 1. U_{ki} : l'utilité d'implanter l'entreprise sur chacun des sites potentiels pour faire les pièces,
- 2. U_{ik} : l'utilité de faire les pièces par l'entreprise localisée sur les différents sites,
- 3. U_{ijk} : l'utilité de sélectionner les fournisseurs potentiels pour faire les pièces pour l'entreprise en considérant la localisation de l'entreprise sur les différents sites potentiels,
- 4. U_{ikj} : l'utilité totale pour faire les pièces par l'entreprise localisée sur l'un des sites potentiels ou de les faire-faire par les fournisseurs présélectionnés.

L'appréciation de l'importance des critères de décision vis-à-vis des objectifs de l'entreprise (définis dans le tableau III.3) et les sous-critères par l'équipe de décision est présentée dans l'annexe 3. Dans cette section, on présente l'évaluation subjective des alternatives (les préférences de l'équipe de décision) à choisir chacune des options possibles.

5.1. Evaluation des alternatives

Les appréciations de l'équipe de décision des trois alternatives citées en haut sont présentées dans les tableaux III.4 à III.8.

5.1.1. Notations

 P_i : pièce « i »; i = 1 ...3; S_k : site « k », k = 1 ...5; F_f : fournisseur « f », f = 1 ...4.

5.1.2. Décision de localisation

| P/U_{ki} | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{P}_{1} | 0.85 | 0.81 | 0.53 | 0.55 | 0.59 |
| \mathbf{P}_{2} | 0.85 | 0.91 | 0.57 | 0.54 | 0.76 |
| \mathbf{P}_3 | 0.81 | 0.76 | 0.57 | 0.52 | 0.65 |

Tableau III.4 : Utilité d'implanter l'entreprise sur les différents sites pour faire les pièces.

5.1.3. Décision de faire ou de faire-faire

| P/U_{ik} | S ₁ | S_2 | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|------------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{P}_{1} | 1 | 1 | 1 | 0.69 | 0.96 |
| \mathbf{P}_2 | 0.85 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.67 |
| \mathbf{P}_3 | 0.56 | 0.50 | 0.49 | 0.47 | 0.51 |

Tableau III.5 : Utilité de faire la pièce « i » par l'entreprise sachant que le site « k » est choisi.

5.1.4. Décision de sélection des fournisseurs

| $F/P_1/U_{if}$ | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| \mathbf{F}_{2} | 0.78 | 0.78 | 0.77 | 0.58 | 0.78 |
| \mathbf{F}_3 | 0.17 | 1 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| \mathbf{F}_{4} | 1 | 0.67 | 0.67 | 0.59 | 0.59 |
| \mathbf{F}_{5} | 0.46 | 0.56 | 0.18 | 0.18 | 0.46 |

Tableau III.6 : Utilité de sélectionner le fournisseur « f » pour faire la pièce « P_1 » pour l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k ».

| $F/P_2/U_{if}$ | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| \mathbf{F}_{2} | 0.78 | 0.78 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| \mathbf{F}_{3} | 0.78 | 1 | 0.52 | 0.78 | 0.78 |
| \mathbf{F}_4 | 0.78 | 0.78 | 0.52 | 0.48 | 0.46 |
| \mathbf{F}_{5} | 0.59 | 0.59 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |

Tableau III.7 : Utilité de sélectionner le fournisseur « f » pour faire la pièce « P_2 » pour l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k ».

| $F/P_3/U_{if}$ | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{F}_{2} | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.39 |
| \mathbf{F}_3 | 0.90 | 0.90 | 0.38 | 0.43 | 0.66 |
| \mathbf{F}_{4} | 1 | 1 | 0.66 | 0.37 | 0.51 |
| F | 0.49 | 0.49 | 0.25 | 0.38 | 0.38 |

Tableau III.8 : Utilité de sélectionner le fournisseur « f » pour faire la pièce « P_3 » pour l'entreprise sachant qu'elle est implantée sur le site « k ».

5.1.5. L'utilité totale pour faire les pièces par l'entreprise localisée sur l'un des sites potentiels ou de les faire-faire par les fournisseurs présélectionnés

En agrégeant les éléments évalués ci-dessus à l'aide de l'équation (III.4), nous allons déterminer l'utilité de faire chaque pièce par l'entreprise localisée sur les différents sites potentiels ou les faire-faire par l'un des fournisseurs.

Cette étape a pour rôle d'évaluer la perception de l'équipe de décision de l'importance stratégique de faire chaque pièce en interne et de choisir un site approprié pour l'implantation de l'unité de production. Les alternatives qui présentent des valeurs de l'utilité totale proches de « 1 » peuvent figurer parmi les solutions finales du problème.

| Fournisseur | Pièces | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------------------|------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| Entreprise | \mathbf{P}_{1} | 0.81 | 0.85 | 0.53 | 0.38 | 0.57 |
| F ₁ | \mathbf{P}_2 | 0.72 | 0.78 | 0.49 | 0.46 | 0.51 |
| 1 | \mathbf{P}_3 | 0.45 | 0.38 | 0.28 | 0.24 | 0.33 |
| Fournisseur | \mathbf{P}_{1} | 0.66 | 0.63 | 0.41 | 0.32 | 0.46 |
| \mathbf{F}_2 | \mathbf{P}_2 | 0.67 | 0.71 | 0.08 | 0.07 | 0.10 |
| 1 2 | \mathbf{P}_3 | 0.31 | 0.29 | 0.22 | 0.20 | 0.25 |
| Fournisseur | \mathbf{P}_{1} | 0.15 | 0.81 | 0.09 | 0.10 | 0.10 |
| F ₃ | \mathbf{P}_2 | 0.67 | 0.78 | 0.30 | 0.42 | 0.51 |
| 1 3 | \mathbf{P}_3 | 0.45 | 0.38 | 0.21 | 0.22 | 0.33 |
| Fournisseur | \mathbf{P}_{1} | 0.85 | 0.54 | 0.36 | 0.32 | 0.35 |
| \mathbf{F}_{4} | \mathbf{P}_{2} | 0.67 | 0.71 | 0.30 | 0.26 | 0.35 |
| 1,4 | \mathbf{P}_3 | 0.45 | 0.38 | 0.28 | 0.19 | 0.33 |
| Fournisseur F ₅ | \mathbf{P}_{1} | 0.39 | 0.46 | 0.10 | 0.10 | 0.27 |
| | \mathbf{P}_2 | 0.50 | 0.54 | 0.27 | 0.26 | 0.36 |
| 15 | \mathbf{P}_3 | 0.40 | 0.37 | 0.14 | 0.20 | 0.25 |

Tableau. III.9 : Utilité totale pour faire la pièce « i » par l'entreprise localisée sur le site « k » ou la faire-faire par le fournisseur « f ».

Cette étape nous a permis d'aborder les trois décisions « la localisation de l'unité de production », « le choix de faire ou de faire-faire » et « la sélection des fournisseurs » sous leurs aspects stratégiques. Toutefois, il est impératif de signaler que les résultats de cette étape restent intermédiaires parce que les contraintes opérationnelles n'ont pas été prises en compte. Cela montre l'intérêt du programme mathématique pour déterminer la solution finale.

La résolution du premier programme « programme en nombres entiers » nous permet de localiser l'unité de production et de présélectionner les fournisseurs qui sont capables de fabriquer les pièces en question. L'entreprise est considérée comme un fournisseur « F₁ »; donc, si l'entreprise est sélectionnée toute seule pour la fabrication d'une pièce, alors l'option de faire est choisie. Par contre, si l'entreprise figure parmi la présélection des fournisseurs, dans ce cas l'option de faire partiellement est choisie mais pas une décision définitive. La solution finale est donnée par le deuxième programme qui tient compte de nouvelles contraintes opérationnelles.

Le problème à résoudre consiste à maximiser la fonction objectif sous les contraintes suivantes :

- 1. l'entreprise doit être localisée sur un seul site (l'intégrité de l'unité de production),
- 2. le budget à investir pour l'installation de l'unité de production est limité (BI=168000 €),
- 3. Coût d'installation de l'unité sur chacun des sites est estimé à $(S_1=180000, S_2=160000, S_3=200000, S_4=200000, S_5=170000),$
- 4. pour des raisons stratégiques l'entreprise limite le nombre de fournisseurs pour chaque pièce à 3 y compris l'entreprise quand elle est présélectionnée.

Le problème a été résolu à l'aide d'un solveur implémenté sous MATLAB 7.3 basé sur « l'algorithme par séparation et évaluation ». Le tableau III. 10 résume les résultats obtenus.

La préférence de l'équipe de décision pour le site « S_2 » est relativement meilleure que les autres sites. De plus, la contrainte de budget à investir pour l'implantation de l'unité de production confirme ce choix.

| Fournisseurs | Pièces | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Entropriso | \mathbf{P}_{1} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Entreprise F ₁ | \mathbf{P}_{2} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | \mathbf{P}_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E | \mathbf{P}_{1} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Fournisseur F ₂ | \mathbf{P}_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| $oldsymbol{\Gamma}_2$ | \mathbf{P}_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fournisseur | \mathbf{P}_{1} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| F ₃ | \mathbf{P}_{2} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 3 | \mathbf{P}_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Fournisseur | \mathbf{P}_{1} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F ₄ | \mathbf{P}_2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 4 | \mathbf{P}_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Fournisseur F_5 | \mathbf{P}_{1} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | \mathbf{P}_2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| - 5 | \mathbf{P}_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau III.10: Localisation de l'unité de production et présélection des fournisseurs.

| $P/F_{\rm f}$ | \mathbf{F}_{1} | \mathbf{F}_{2} | \mathbf{F}_{3} | \mathbf{F}_{4} |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| \mathbf{P}_{1} | 1 | 1 | 1 | 0 |
| \mathbf{P}_2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| \mathbf{P}_{3} | 1 | 0 | 1 | 1 |

Tableau III.11: Présélection des fournisseurs pour chaque pièce.

Le choix de faire ou de faire-faire les pièces sera déterminé à l'aide du deuxième programme qui considère les contraintes propres à cette décision.

5.1.6. La solution finale

Le deuxième programme nous permet de déterminer la proportion de la demande de chaque pièce à produire en interne, ainsi que celle que l'entreprise achètera chez un fournisseur parmi ceux présélectionnés. Le choix final est soumis aux contraintes internes à l'entreprise et celles des fournisseurs présélectionnés :

- Le budget à investir pour produire ou acquérir ces trois pièces est limité.
- La capacité de production pour chaque pièce est limitée.

• Certaines pièces seront produites par lot; alors, il existe une taille de lot minimale à respecter. La quantité produite ou achetée sera proportionnelle à la taille du lot. Dans cet exemple nous avons considéré que les pièces sont produites à l'unité.

• L'entreprise limite la proportion en termes de valeur de certaines pièces à acheter.

Le tableau III.12 résume les contraintes opérationnelles de l'entreprise et des fournisseurs :

| Contraintes | | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_{2} | \mathbf{P}_{3} |
|------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Valeur moyenne des pièces sur le marché (C _i) | | 15 | 15 | 16 |
| Coût de revient /unité (CF _{ik}) | \mathbf{F}_{1} | 13 | 15 | 16 |
| | \mathbf{F}_{2} | 14 | ı | 1 |
| Coût achat /unité (CFF _{ikf}) | \mathbf{F}_{3} | 15 | 16 | 17 |
| · | \mathbf{F}_{4} | ı | 15 | 16 |
| Capacité de production de l'entreprise (CAPF _{ik}) | \mathbf{F}_{1} | 1000 | 500 | 300 |
| | \mathbf{F}_{2} | 1000 | - | 1 |
| Capacité des fournisseurs (CAPFF _{ikf}) | \mathbf{F}_{3} | 700 | 300 | 600 |
| | \mathbf{F}_{4} | ı | 300 | 300 |
| Commande minimale de production (CMA _{ikf}) | | 0 | 0 | 0 |
| Demande moyenne / Pièce (d _i) | | 500 | 300 | 600 |
| Budget à investir / Pièce (bf _i + bff _{if}) | | 7000 | 6000 | 10000 |
| Proportion maximale de la valeur d'une pièce à faire-faire (β_i) | | 0.1 | 1 | 0.6 |

Tableau III.12: Contraintes opérationnelles.

Le problème linaire avec contraintes a été résolu à l'aide du même solveur que précédemment.

| Pièces | \mathbf{P}_{1} | \mathbf{P}_{2} | \mathbf{P}_3 | Coût |
|----------------------------|------------------|------------------|----------------|-------|
| Entreprise F ₁ | 92 % | 6% | 50 % | 11050 |
| Fournisseur F ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fournisseur F ₃ | 8% | 94% | 0 | 4830 |
| Fournisseur F ₄ | 0 | 0 | 50% | 5100 |

Tableau III.13: Solutions finales.

A l'issue de la résolution de ce problème nous aboutissons aux décisions suivantes :

- 1. L'implantation de l'unité de production sur le site « S_2 »,
- 2. La fabrication partielle des trois pièces. Cependant, on remarque que la quantité de la pièce « P₁ » qui sera faite par le fournisseur « F₃ » est très petite, l'acceptation de cette solution dépend des commandes minimales acceptées par ce fournisseur. Cette quantité est définie grâce à la contrainte III.15.
- 3. Le choix du fournisseur « F_3 » pour la fabrication d'une grande partie de la demande de la pièce « P_2 » et le fournisseur « F_4 » pour faire la moitié de la demande de la pièce « P_3 ».

Dans cet exemple, l'option de sous-traitance partielle est autorisée. Dans certain cas, l'entreprise ne permet pas cette option en raison des caractéristiques des pièces ou de sa stratégie, donc il faut

adapter l'approche à cette situation par la considération de nouvelles contraintes. Un autre point important à signaler, est la taille des demandes minimales acceptées par un fournisseur, la taille du lot de fabrication qu'il faut prendre en compte pour déterminer la faisabilité des solutions. En fait, la définition des contraintes est soumise au contexte industriel de l'entreprise.

L'application de l'approche séparée pour résoudre le problème donne les résultats suivants. Il est possible de traiter les trois problématiques suivant l'ordre désiré. Enfin, la solution choisie sera celle qui minimise le coût total.

Le choix de site qui minimise le coût est le « S_2 » :

| | Pièces | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | \mathbf{P}_{1} | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Localisation de l'entreprise | \mathbf{P}_2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Localisation de l'entreprise | \mathbf{P}_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | Coût | 180000 | 160000 | 200000 | 200000 | 170000 |

Tableau III.14: Localisation de l'entreprise.

La pièce « P₂ » sera fabriquée totalement en interne et les pièces « P₁, P₃ » seront sous-traitées partiellement. Cependant, cette solution est plus couteuse que celle donnée par l'approche intégrée (11050)

| Faire ou faire-faire | Pièces | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S ₅ |
|----------------------|------------------|----------------|-------|-------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_{1} | 93% | 93% | 93% | 93% | 93% |
| Entreprise | \mathbf{P}_{2} | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| | \mathbf{P}_{3} | 50% | 50% | 53% | 50% | 50% |
| | Coût | 15345 | 15345 | 15633 | 15345 | 15345 |

Tableau III.15 : Détermination des quantités des pièces à faire en interne.

La présélection des fournisseurs est subordonnée aux décisions prises précédemment. Donc, le choix des fournisseurs n'est pas nécessaire pour la pièce « P₂ » ; car la quantité désirée sera fabriquée totalement en interne.

| | Pièces | S_1 | ${f S}_2$ | S_3 | S_4 | S_5 |
|------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Présélection des | \mathbf{P}_{1} | F_2 , F_4 | F_2, F_3^* | F_2 , F_4 | F_2 , F_4 | F ₂ , F ₄ |
| fournisseurs | \mathbf{P}_{2} | F_2 , F_3/F_4 | $F_2/F_4, F_3^*$ | F ₃ , F ₄ | $F_3, F_4/F_5$ | F_3 , F_5 |
| iouiiiisseuis | \mathbf{P}_3 | F_3 , F_4 | F ₃ , F ₄ * | F_2/F_3 , F_4 | $F_2/F_5, F_3$ | F ₃ , F ₄ |

Tableau III.16 : Présélection des fournisseurs adéquats pour chaque site.

On remarque bien que l'ordre de la prise des décisions peut conduire à des résultats différents. Ceci est dû au faite que, chaque décision est prise indépendamment des autres. Cet ordre dépend de l'importance accordée par les décideurs aux décisions traitées. En comparant ces résultats à

ceux donnés par l'approche intégrée, on peut constater que la solution donnée par cette dernière est plus rentable.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une démarche intégrée pour la conception d'une chaîne logistique. Nous nous sommes positionnés dans le contexte où les trois décisions sont prises simultanément. Cette situation complique la résolution du problème, notamment, à cause de la dépendance mutuelle et la présence des interactions entre les décisions. Ce dernier phénomène est ignoré par l'approche séparée qui obéit à des règles simplificatrices où les décisions sont isolées et prise indépendamment les unes des autres.

Les applications de l'approche séparée, hiérarchisée ou séquentielle, ont donné des résultats médiocres par rapport à l'approche intégrée, car à chaque étape, seulement les critères propres à la décision traité sont considérés. De plus, l'ordre de prise de ces décisions ne garantit pas un choix d'alternatives appropriées. Nous avons pu vérifier que la série des optimisations locales données par la résolution des problématiques séparément ne converge pas vers une optimisation globale. Ces constatations ont été vérifiées à travers plusieurs tests que nous avons réalisés en considérant différents scénarios. En effet, nous avons montré l'apport et l'intérêt de l'approche intégrée à travers l'exemple traité ci-dessus, car il reflète une situation type où cette approche peut être appliquée. Toutefois, la confrontation de cette approche à un exemple industriel constitue le meilleur moyen pour valider ces résultats.

Cette démarche peut être adaptée à d'autres situations ou problématiques, par exemple la production multi-sites. Le problème à résoudre est l'allocation de la production des produits semi-finis aux différents sites de production, le choix de faire les pièces ou de les acheter chez des fournisseurs extérieurs à sélectionner. Dans cette situation, la question de localisation ne se pose pas. Toutefois, il est nécessaire d'apporter des modifications nécessaires.

Les décisions abordées sont stratégiquement importantes. Elles conditionnent la viabilité à long terme de l'entreprise, car leurs répercussions sur les performances de la chaîne logistique ne se manifesteront pas dans l'immédiat. De ce fait, la quantification d'une stratégie, la remise en cause de ces décisions, peuvent être réalisées par l'élaboration d'un système d'évaluation des performances basé sur des indicateurs appropriés. C'est une fonction cruciale pour veiller au bon fonctionnement de toute l'organisation. Dès lors, proposer un système d'évaluation des performances s'avère indispensable pour renforcer la pertinence de cette approche. Ce système sera présenté dans le prochain chapitre.

Chapitre 4

Evaluation des performances

1. Introduction

Les décisions stratégiques conditionnent la viabilité de l'entreprise à long terme et elles présentent un impact sur les performances de toute la chaîne logistique. Il est donc indispensable de mettre en place un système d'évaluation de ses performances basé sur des indicateurs qui recouvrent toutes les dimensions de l'entreprise. L'analyse des performances est un moyen pour déceler les lacunes et les défaillances et ainsi développer les actions correctives nécessaires.

Aujourd'hui, la notion de performance d'une entreprise n'est plus liée seulement aux coûts mais à la qualité des produits et services, à la relation avec les partenaires et à la légitimité de l'organisation auprès des groupes externes. Quel que soit le secteur d'activité, l'évaluation de la performance à l'aide d'indicateurs est cruciale pour toute organisation. Néanmoins, la détermination de ces indicateurs n'est pas une tâche facile, car la performance organisationnelle est une conception sociale et son évaluation peut être faite à partir des données, des choix, et leurs interprétations diffèrent selon le preneur de décision [Mor, 96].

La démarche proposée réunit les critères de mesures des différentes dimensions de la performance de l'entreprise. Les indicateurs sont regroupés en deux grandes catégories. La première rassemble les indicateurs contribuant à l'évaluation de la compétitivité de l'entreprise. La seconde comprend les indicateurs évaluant l'attitude des partenaires et clients envers l'entreprise. Dans chaque catégorie, un indicateur des performances implique une agrégation d'un ensemble de données importantes pour son évaluation. Cette opération est assurée à l'aide de systèmes flous de type « Mamdani » ayant pour entrées les données perçues par l'équipe de décision chargée de superviser l'évolution des performances de l'entreprise.

Ce chapitre est organisé comme suit : nous commençons par la présentation du problème relatif à l'évaluation des performances en passant en revue quelques travaux qui s'inscrivent dans cette optique. Ensuite, nous allons détailler l'approche proposée et nous montrerons sa mise en œuvre sur la base d'un exemple numérique. Enfin, dans la dernière section nous montrons le processus de quantification des répercussions de ces décisions sur l'entreprise.

2. Evaluation des performances

L'évaluation des performances ne concerne pas seulement l'entreprise mais toute sa chaîne logistique d'où la complexité de la tâche. De plus, les bénéfices liés à l'évaluation des performances ne se limitent pas à l'aspect financier, mais à d'autres aspects comme la légitimité de l'organisation auprès des groupes externes (la satisfaction des clients, les partenaires et la communauté).

Les dimensions de la performance sont définies à l'aide des critères, c'est-à-dire, des conditions ou des signes qui servent de base aux jugements. Morin et al [Mor, 96] ont déterminé quatre dimensions de la performance organisationnelle évaluées à l'aide de 13 critères : la pérennité de l'organisation, les valeurs des ressources humaines, l'efficience économique et la légitimité de l'organisation auprès des groupes externes. Beamon et al. [Bea, 99] ont défini trois catégories de mesure des performances : les ressources, les sorties et la flexibilité. Ils ont défini un cadre de référence pour l'identification des indicateurs appropriés pour chaque objectif stratégique d'une entreprise. Dans le même contexte, ces auteurs ont précisé qu'un système effectif pour l'évaluation des performances doit remplir les conditions suivantes :

- L'inclusion : la couverture des aspects pertinents de l'organisation,
- L'universalité: la possibilité des mesures sous différentes conditions opérationnelles,
- La mesurabilité : les données doivent être mesurables,
- La consistance : la compatibilité des mesures avec les objectifs fixés par l'organisation.

L'évaluation des performances basées seulement sur des mesures monocritères ne reflète pas véritablement les caractéristiques et les interactions existantes dans la chaîne logistique. Précisément, une entreprise ne se contente pas de l'économie des ressources et de la réduction des coûts, mais aussi elle doit améliorer la qualité de ses relations avec le monde extérieur. Diala et Chabhoub [Dia, 06] ont proposé un modèle multicritère pour combler les lacunes présentes dans les modèles basés sur des facteurs financiers.

Certains auteurs ont insisté sur l'impact de l'intégration organisationnelle dans la chaîne logistique sur sa performance. Ils ont précisé que les trois dimensions de l'intégration de la chaîne logistique (fournisseurs, clients et interne), présentent un impact sur la performance opérationnelle et sur la compétitivité de l'entreprise [Fly, 09] [Son, 08], [Kou, 05]. En effet, l'instauration des relations et partenariats, augmente la réactivité de l'entreprise, réduit les incertitudes tout au long de la chaîne et améliore la satisfaction client [Zha, 08], [Hom, 04]. L'environnement économique actuel exige que les entreprises doivent favoriser ce type de stratégies.

L'évaluation des performances est une partie intégrante dans la gestion de la chaîne logistique [Bhg, 07]. C'est un problème multicritère, car une entreprise doit mesurer un nombre important de critères de différentes natures pour pouvoir contrôler sa convergence vers les objectifs fixés. Cependant, nous avons constaté un manque de critères neutres et impartiaux qui garantissent la justesse des mesures et la nécessité de confronter de nombreux points de vue [Göl, 07]. De ce fait, une question s'impose : quelle méthode la mieux adaptée pour évaluer les critères de décision, contourner les diverses contraintes et prendre on considération des différents aspects.

L'objectif de notre travail est d'élaborer une méthode simple de mesure de la performance d'une entreprise et de sa chaîne logistique. Elle s'appuie sur les jugements individuels des managers qui ont des perceptions et des points de vue différents vis-à-vis des critères de mesure. Par conséquent, l'utilisation du raisonnement par logique floue constitue une solution intéressante pour agréger les mesures quantitatives et qualitatives dans un seul système en tenant compte des aspects qui caractérisent la performance d'une entreprise [Lak, 08]. Dans la prochaine section, nous allons présenter la démarche proposée.

3. La démarche d'évaluation des performances

3.1. Les indicateurs des performances

L'étape la plus complexe dans la mise en place d'un système d'évaluation des performances est la sélection des indicateurs appropriés. Avant de concevoir un tel système, il est indispensable d'éclaircir les points suivants :

- fixer les objectifs de l'entreprise,
- définir quelles sont les grandeurs à mesurer,
- définir la méthode d'agrégation de ces mesures sous forme indicateurs des performances,
- définir la fréquence d'évaluation.

La réalisation de ce travail est basée sur une investigation des travaux existants pour définir une liste d'indicateurs qui couvrent les trois dimensions de la performance : sociale, technologique et économique [Bhg, 07], [Dia, 06], [Bha, 05], [Mor, 96]. Nous avons recherché des critères qui représentent des produits, des effets ou des résultats de l'organisation.

3.1.1. La compétitivité de l'entreprise

La qualité des produits et des services, la compétence du personnel, la possession de ressources matérielles fiables, et la position technologique par rapport aux concurrents sont des facteurs indissociables de la compétitivité d'une entreprise. Cette dimension peut être évaluée à l'aide des indicateurs suivants :

1. Ressources humaines (RH):

L'entreprise est appréciée par la valeur des ressources humaines qu'elle engage. Elles peuvent être évaluées par les critères suivants :

- a. La mobilisation des employés (MOB): elle se définit par l'intérêt qu'ont les employés pour leur travail et l'organisation, et leurs engagements pour atteindre les objectifs qui leur sont fixés.
- b. Le développement des employés (DEVP): Ce critère reflète la volonté des gestionnaires d'investir dans la formation des employés.

c. La productivité des employés (PROD): c'est une mesure du rendement et de la valeur économique des services rendus par les employés ou le personnel engagé par l'entreprise.

2. Les ressources matérielles (RM):

Des ressources matérielles assez développées constituent un avantage compétitif. Particulièrement, la position technologique par rapport aux concurrents incarne le noyau de compétences de la firme. Elles sont évaluées à l'aide des critères suivants :

- a. La position du processus technologique / aux concurrents (PTEC) : l'évaluation de ce critère est déterminant pour prendre la décision d'investir dans l'acquisition de nouvelles technologies.
- b. Le rôle du processus technologique dans la compétitivité (RTC) : il démontre l'apport des ressources matérielles dans la réalisation des activités de l'entreprise d'une manière stratégique.
- c. La fiabilité des équipements (FEQ): cette mesure vérifie l'efficacité de la politique de maintenance adoptée par l'entreprise.

3. La qualité des produits et services (QPS)

Elle se définit comme étant la conformité des produits et des services aux tests de qualité et aux exigences de la clientèle. Elle peut être évaluée à partir de trois données :

- a. La conformité aux normes de qualité (CONQ): cette mesure reflète le respect des normes exigées par les clients.
- b. Nombre de retours client (NRCL): la qualité des produits peut être exprimée en mesurant le rapport retours / ventes. Plus le ratio est élevé, moins la qualité est bonne.
- c. Le nombre de Plaintes (NPCL): il est possible également d'évaluer la qualité des services offerts à la clientèle par les plaintes exprimées par les clients.

4. L'économie des ressources (ECOR)

Par l'économie des ressources, on veut évaluer la capacité des gestionnaires à acquérir et à conserver les ressources dont ils ont besoin pour atteindre les objectifs de l'organisation.

- a. La rotation des stocks (RST) : elle indique la période de temps moyenne pendant laquelle les stocks sont conservés. Elle reflète l'efficience des politiques de gestion des stocks.
- b. La réduction des coûts de maintenance et du gaspillage (RCMG): ce critère mesure les efforts de l'entreprise pour éliminer les activités qui n'apportent pas de valeur ajoutée au produit final.
- d. La réduction des coûts de revient (RCUP) : c'est la capacité de l'entreprise à réduire ces coûts et la baisse des prix des produits finaux.

5. La performance des fournisseurs (PF)

Il est indispensable pour l'entreprise de s'assurer en permanence du niveau de qualité des prestations de ses fournisseurs. Cet indicateur peut être évalué par les mesures suivantes :

- a. La fiabilité des fournisseurs et qualité des services (FF): l'évaluation de la conformité des prestations des fournisseurs par rapport aux cahiers des charges et aux éléments négociés.
- b. Le degré de partenariat (DPART) : ce critère mesure la qualité des relations de l'entreprise avec ses fournisseurs et la synergie dans leurs stratégies.

6. La performance financière (PFIN)

La performance financière de l'entreprise est un signe de compétitivité qui reflète sa position au niveau des marchés. Cette dimension peut être évaluée à l'aide des critères suivants :

- a. Le coût de revient / concurrents (CRC): la comparaison des coûts de revient par rapport aux concurrents peut être un indicateur de compétitivité de l'entreprise.
- b. La rentabilité/ concurrents (RENTC): elle mesure la performance avec laquelle l'entreprise utilise le capital mis à sa disposition.
- c. Le niveau des ventes et part du marché (NVPM): cette mesure représentent le degré de compétitivité de l'entreprise et sa place dans son secteur d'activité.

3.1.2 Légitimité de l'organisation auprès des groupes externes

Une entreprise est en constante interaction avec son environnement. De ce fait, l'évaluation de la performance doit tenir compte de la satisfaction de groupes externes, car, ce sont eux qui confèrent à l'organisation sa légitimité. Ces groupes peuvent être répartis en trois catégories, les clients, les partenaires économiques et la communauté et organismes régulateurs.

1. La satisfaction client (SATC)

La satisfaction de la clientèle réfère au jugement que porte le client sur la façon dont l'organisation a su répondre à ses besoins. Elle peut être mesurée par les trois données suivantes :

- a. La réponse client (REPC) : le délai que met l'entreprise pour répondre à la demande d'un client. Elle reflète la réactivité de l'entreprise face aux demandes des clients.
- b. La qualité des produits et services (QPS): cette mesure concerne, la conformité des produits, le respect des délais et des quantités et la qualité des services après ventes.
- c. La fidélité de la clientèle (FDC) : elle peut être mesurée par le rapport de nombre de clients entre deux périodes successives.

2. La satisfaction de la communauté et organismes régulateurs (SATORG)

La satisfaction de la communauté se réfère à l'appréciation des différents groupes sociaux pour les activités de l'entreprise. Cette dimension peut être évaluée par les mesures suivantes :

a. La contribution au développement local (CDL): elle mesure la participation de l'entreprise au développement local, par exemple, la création d'emplois.

b. Le respect de l'environnement (RESENV) : c'est l'importance accordée par l'entreprise pour le développement durable, la gestion des déchets et la réduction du taux d'émission de dioxyde de carbone.

c. Le respect des lois et règlements (RESL): elle est évaluée par le degré auquel l'organisation respecte les lois et les règlements qui régissent ses activités.

3. La satisfaction des partenaires (SATP)

Les entreprises évoluent dans un groupe d'acteurs économiques où la coopération est un facteur indispensable pour l'amélioration de la performance du groupe. Cette dimension peut être évaluée par les indicateurs suivants :

a. La satisfaction des fournisseurs (RF): elle est mesurée par le degré de coopération et la durée de la relation avec les fournisseurs.

b. La satisfaction des actionnaires ou des bailleurs de fonds (REA): elle peut être évaluée par le degré auquel ils estiment que leurs fonds sont utilisés de façon rentable.

3.2. L'évaluation des indicateurs des performances

Les critères de mesure sont décrits sur un univers de discours [0,1], interprétés par cinq termes linguistiques. Le tableau IV.1 résume l'interprétation linguistique des critères de mesure et des indicateurs de performances, ainsi que les valeurs numériques correspondantes aux jugements verbaux.

| | Critères de mesure de performance | Termes linguistiques |
|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| | MOB, DEVP, PROD, FEQ, RTC, CONQ, NRCL, | Très faible (0.1), Faible (0.3), |
| | NPCL, RST, RCMG, RCUP, CRC, RENTC, NVPM, | Moyen (0.5), Assez élevé |
| sure | REPCL, QPS, FDCL, CDL, RESENV, RESL, SATF, | (0.7), Elevé (0.9) |
| Critères de mesure | SATBF. | |
| es d | | Faible (0.1), Légèrement |
| ritèr | PTEC | inférieure (0.3), Comparable |
| | | (0.5), Légèrement supérieure |
| | | (0.7), Supérieure (0.9) |
| de | | Très faible [0, 0.25], Faible [0, |
| | RH, RM, ECOR, QP, PRF, PRP, SATCL, SATP, | 0.50], Moyen [0.25, 0.75], |
| Indicateurs de performance | SATORG. | Assez élevée [0.5, 1], |
| Ind | | Elevé [0.75, 1] |

Tableau IV.1 : Interprétation linguistique des critères de mesure des performances.

La structure hiérarchique du modèle est illustrée par la figure. IV.1.

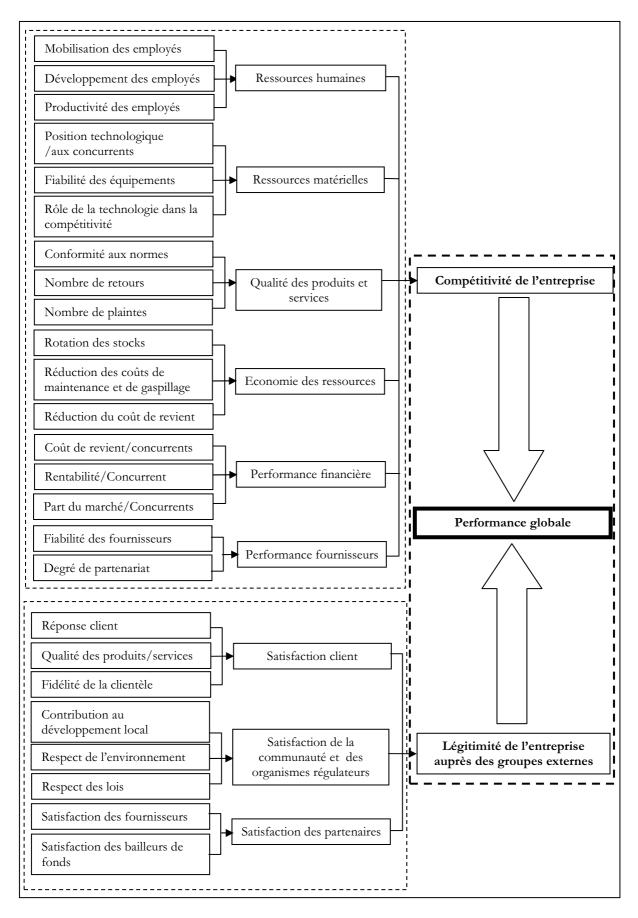


Figure IV.1: Modèle d'évaluation des performances.

Chaque indicateur de performance est évalué à l'aide d'un système flou de type Mamdani (voir le chapitre 1). Le premier niveau correspond aux critères de mesure. Le deuxième niveau représente les indicateurs des performances. Enfin, le dernier niveau est réservé à la performance globale définie par « la compétitivité » et « la légitimité » de l'entreprise.

La performance globale de l'entreprise augmente en fonction du degré de la compétitivité de l'entreprise et de la satisfaction des groupes externes par rapport aux services reçus, c'est un équilibre entre ces deux dimensions (Figure IV.2).

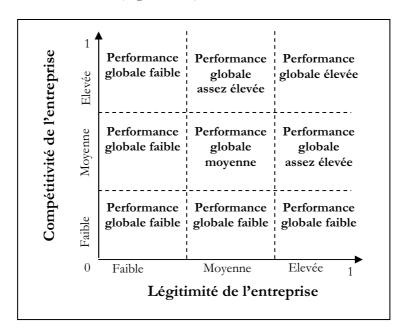


Figure IV.2 : La performance globale de l'entreprise.

3.3. L'évaluation de la performance globale (Compétitivité & légitimité de l'entreprise)

Des valeurs suffisamment élevées (proches de 1) données par les indicateurs conduisent vers une performance globale satisfaisante. Précisément, la quantification de la qualité de la performance peut être déduite par la détermination des valeurs de référence (des seuils minimaux) à respecter par l'ensemble des indicateurs. Cependant, la perception de ces valeurs qui statueront sur la qualité de la performance diffère d'un décideur à un autre. A cet effet, ces valeurs sont fixées par consensus.

Les éléments impliqués dans les activités de l'entreprise contribuent différemment à sa performance globale. Par conséquent, elle sera sensible aux variations des indicateurs, et des valeurs proches de 1 seront synonymes de performances élevées de l'entreprise.

$$CS_{jref} = \sum_{k=1}^{N} CS_{jkref} / N$$
 (IV.1)

$$RCS_{jt} = CS_{jt} / \max \left(CS_{jref}, CS_{jt} \right)$$
 (IV.2)

$$RCS_{jt} = \begin{cases} 1 & si & CS_{jref} \le CS_{jt} \\ [0,1[& si & CS_{jref} \ge CS_{jt} \end{cases} \quad \forall j$$
 (IV.3)

$$COMP_{t} = \prod_{j}^{J} \left(RCS_{jt}^{w_{j}}\right) \tag{IV.4}$$

$$LS_{iref} = \sum_{k=1}^{N} LS_{ikref} / N$$
 (IV.5)

$$RLS_{it} = LS_{it} / \max \left(LS_{iref}, LS_{it} \right)$$
 (IV.6)

$$RLS_{it} = \begin{cases} 1 & si \quad LS_{iref} \leq LS_{it} \\ 0.1 [si \quad LS_{iref} \geq LS_{it} \end{cases} \quad \forall i \in I$$
 (IV.7)

$$LEG_{t} = \prod_{i}^{I} \left(RLS_{it}^{w_{i}} \right) \tag{IV.8}$$

Où:

J : le nombre d'indicateurs de performance de la catégorie « Compétitivité de l'entreprise »,

j: l'indice d'un indicateur de performance de la catégorie « Compétitivité de l'entreprise »,

 CS_{it} : la valeur du l'indicateur de performance « j » au cours de la période « t »,

CS_{ikref}: la valeur de référence estimée par le décideur « k » pour l'indicateur « j »,

CS_{iref}: la valeur de référence moyenne de l'indicateur « j »,

 RCS_{it} : la valeur relative de l'indicateur « j »,

 w_i : le poids de l'indicateur « j »,

I : le nombre d'indicateurs de performance de la catégorie « Légitimité de l'entreprise »,

i: l'indice d'un indicateur de performance de la catégorie « Légitimité de l'entreprise »,

LS_{ikref}: la valeur de référence de l'indicateur « i » estimée par le décideur « k »,

LS_{iref}: la valeur de référence moyenne de l'indicateur de performance « i »,

 LS_{ii} : la valeur du l'indicateur de performance « i » au cours de la période « t »,

 RLS_{it} : la valeur relative de l'indicateur « i »,

 w_i : le poids de l'indicateur « j ».

Les équations (IV.1, IV.2, IV.3, IV.5, IV.6 et IV.7) définissent les seuils minimaux pour les indicateurs des performances et les valeurs relatives. Les équations (VI.4 et VI.8) calculent respectivement les valeurs agrégées des appréciations faîtes par l'ensemble des décideurs.

Dans la section suivante nous allons présenter un exemple de mise en œuvre de l'approche d'évaluation des performances. La collecte des données nécessite la sollicitation des avis des groupes externes. En raison de manque de données du terrain, nous avons recours à la génération des données dans le but de créer un scénario proche de l'environnement économique d'une entreprise.

4. Exemple d'application

Dans cet exemple, nous avons considéré un horizon de simulation de douze périodes. L'appréciation périodique des critères de mesure par une équipe de décision (4 managers) est présentée dans les tableaux IV.3-IV.16. L'évaluation de la performance est réalisée à l'aide du modèle proposé.

4.1. Evaluation de la performance

4.1.1. Importance des décideurs

Les poids attribués aux décideurs montrent leurs importances dans l'organisation. Ils ont été calculés à l'aide de la méthode de comparaison par paire présentée dans le chapitre 1.

| D | \mathbf{D}_{1} | \mathbf{D}_{2} | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_{4} |
|-------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| Poids | 0.44 | 0.14 | 0.21 | 0.21 |

Tableau IV.2 : Importance des décideurs.

4.1.2. Importance des facteurs de décision

Les objectifs et la perception de la stratégie de l'entreprise par les décideurs sont déterminants pour la définition de l'importance des indicateurs dans l'évaluation de la performance de l'entreprise.

| | Indicateur de performance | \mathbf{w}_{i1} | \mathbf{w}_{j2} | \mathbf{w}_{i^3} | \mathbf{w}_{i^4} | \mathbf{w}_{I} |
|---------------|---------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|
| é | Ressource humaine | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.17 |
| wit | Ressource matérielle | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.17 |
| Compétitivité | Qualité des produits et services | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.17 |
| ıpé | Economie des ressources | 0.17 | 0.14 | 0.14 | 0.17 | 0.16 |
| on | Performance financière | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.17 |
| $^{\circ}$ | Performance des fournisseurs | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.16 |
| té | Satisfaction client | 0.37 | 0.33 | 0.37 | 0.33 | 0.36 |
| mi | Satisfaction des partenaires | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Légitimité | Satisfaction de la communauté et organismes régulateurs | 0.29 | 0.33 | 0.29 | 0.33 | 0.31 |

Tableau IV.3: Importance des indicateurs dans l'évaluation de la performance globale.

w_{ik}: le poids d'un indicateur de performance estimé par le décideur « k ».

w_i: le poids de l'indicateur de performance « j » estimé par l'ensemble des décideurs.

4.1.3. Evaluation de la compétitivité de l'entreprise

a. Appréciation des indicateurs des performances

L'appréciation des critères de mesure de la compétitivité sont résumées dans les tableaux IV.4-IV.9 (les appréciations individuelles des décideurs sont données dans l'annexe 4). Cette dimension se mesure par une analyse comparative des performances de l'entreprise par rapport à ses concurrents.

1. Performance des ressources humaines

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| MOB | 0.90 | 0.60 | 0.63 | 0.75 | 0.70 | 0.50 | 0.74 | 0.78 | 0.73 | 0.58 | 0.50 | 0.30 |
| DEVP | 0.90 | 0.70 | 0.65 | 0.65 | 0.68 | 0.85 | 0.65 | 0.70 | 0.73 | 0.68 | 0.50 | 0.56 |
| PROD | 0.90 | 0.70 | 0.90 | 0.74 | 0.61 | 0.70 | 0.73 | 0.56 | 0.47 | 0.70 | 0.62 | 0.62 |
| RH(T) | 0.91 | 0.62 | 0.64 | 0.67 | 0.62 | 0.50 | 0.67 | 0.58 | 0.46 | 0.60 | 0.50 | 0.37 |

Tableau IV.4: Performance des ressources humaines (RH).

La première période présente une performance humaine élevée (RH(1)=0.91), à cause d'un engagement profond, de grands efforts du développement consacrés par l'entreprise et une productivité élevée. On peut observer d'autres cas synonymes de contre-performance : RH(9)=0.46, RH(12)=0.37. Ils sont dus à la baisse de l'engagement et de productivité du personnel.

2. Performance des ressources matérielles

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PTEC | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.90 | 0.70 | 0.70 | 0.90 |
| FEQ | 0.70 | 0.70 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 0.52 | 0.90 | 0.70 | 0.70 | 0.90 | 0.40 | 0.90 |
| RTC | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| RM(T) | 0.69 | 0.69 | 0.50 | 0.69 | 0.80 | 0.53 | 0.80 | 0.69 | 0.72 | 0.80 | 0.39 | 0.80 |

Tableau IV.5: Performance des ressources matérielles (RM).

Les résultats ci-dessus montrent que la fiabilité des équipements et la position du processus technologique de l'entreprise par rapport à ses concurrents, jouent un rôle important dans les compétences techniques stratégiques de l'entreprise. On peut constater la fluctuation de cette performance à travers l'horizon de simulation (RM(5)=0.80; RM(11)=0.39).

3. Qualité des produits et services

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| CONQ | 0.81 | 0.70 | 0.82 | 0.58 | 0.74 | 0.50 | 0.85 | 0.73 | 0.68 | 0.67 | 0.50 | 0.56 |
| NRCL | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.19 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0. 37 | 0.10 |
| NPCL | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.19 | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.16 |
| QPS | 0.80 | 0.72 | 0.80 | 0.60 | 0.77 | 0.43 | 0.80 | 0.76 | 0.70 | 0.69 | 0.36 | 0.59 |

Tableau IV.6 : Qualité des produits et services (QPS).

On peut distinguer plusieurs situations (QPS(11)=0.36, QPS(7)=0.80) le non respect des normes de qualité et l'augmentation du nombre de retours entrainent une baisse de la qualité des services. Donc, l'entreprise doit être attentive aux exigences des clients pour éviter des surcoûts et la fuite des clients vers les concurrents.

4. Economie des ressources

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RST | 0.70 | 0.90 | 0.90 | 0.54 | 0.74 | 0.74 | 0.56 | 0.76 | 0.78 | 0.66 | 0.42 | 0.58 |
| RCMG | 0.70 | 0.70 | 0.78 | 0.74 | 0.63 | 0.30 | 0.64 | 0.64 | 0.18 | 0.50 | 0.10 | 0.75 |
| RCUP | 0.30 | 0.30 | 0.50 | 0.30 | 0.30 | 0.24 | 0.19 | 0.10 | 0.70 | 0.30 | 0.10 | 0.10 |
| ECOR | 0.69 | 0.75 | 0.75 | 0.55 | 0.73 | 0.73 | 0.58 | 0.75 | 0.69 | 0.65 | 0.40 | 0.59 |

Tableau IV.7: Economie des ressources (ECOR).

On remarque à travers les résultats de simulation qu'un taux de rotation des stocks élevé, un faible coût de maintenance et une réduction des coûts de revient permettent à l'entreprise de faire des économies importantes (ECOR(2, 3, 8)=0.75). Certainement, une économie des ressources permet à l'entreprise de réduire les prix de vente de ses produits.

5. Performance financière

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CRC | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 0.30 | 0.50 | 0.54 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.52 |
| RENTC | 0.50 | 0.50 | 0.62 | 0.54 | 0.70 | 0.67 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 0.65 | 0.78 | 0.32 |
| NVPM | 0.50 | 0.37 | 0.62 | 0.50 | 0.70 | 0.73 | 0.30 | 0.45 | 0.60 | 0.50 | 0.87 | 0.50 |
| PFIN | 0.50 | 0.50 | 0.62 | 0.50 | 0.69 | 0.71 | 0.50 | 0.45 | 0.47 | 0.50 | 0.78 | 0.33 |

Tableau IV.8: Performance financière (PFIN).

Un coût de revient au dessous de celui des concurrents assure des prix compétitifs, l'augmentation du niveau des ventes et la part du marché.

6. Performance des fournisseurs

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| FF | 0.90 | 0.74 | 0.70 | 0.42 | 0.73 | 0.67 | 0.82 | 0.58 | 0.65 | 0.70 | 0.70 | 0.24 |
| DPART | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| PF | 0.72 | 0.69 | 0.69 | 0.41 | 0.69 | 0.66 | 0.70 | 0.59 | 0.65 | 0.69 | 0.69 | 0.25 |

Tableau IV.9: Performance des fournisseurs (PF).

Une évaluation continue de la stabilité des relations entre l'entreprise et ses fournisseurs permet de suivre la performance de ces derniers. En effet, un choix adéquat des partenaires est un facteur clé pour le succès de l'entreprise.

En agrégeant les données mesurées ci-dessus, nous serons capables d'estimer l'évolution de la compétitivité de l'entreprise. Tous ces éléments doivent converger vers une meilleure compétitivité.

b. Appréciation de la compétitivité de l'entreprise en fonction des indicateurs des performances

Tout d'abord, il faut définir les valeurs relatives des indicateurs de performance en les comparants aux seuils de référence. On a évoqué plus haut que ces valeurs dépendent de la perception des décideurs pour la stratégie et les objectifs de l'entreprise.

| Indicateurs | RH | RM | QPS | ECOR | PF | PFIN | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|--|
| Seuil | 0.80 | 0.81 | 0.88 | 0.67 | 0.72 | 0.81 | |

Tableau IV.10: Seuils minimaux pour les indicateurs des performances (Compétitivité).

Le tableau IV.11 résume l'évolution de la compétitivité de l'entreprise en fonction des indicateurs des performances.

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RH | 1 | 0.77 | 0.80 | 0.83 | 0.77 | 0.62 | 0.83 | 0.72 | 0.57 | 0.74 | 0.62 | 0.46 |
| RM | 0.85 | 0.85 | 0.62 | 0.85 | 0.99 | 0.66 | 0.99 | 0.85 | 0.89 | 0.99 | 0.48 | 0.99 |
| QPS | 0.90 | 0.82 | 0.90 | 0.68 | 0.88 | 0.49 | 0.90 | 0.86 | 0.79 | 0.78 | 0.41 | 0.67 |
| ECOR | 1 | 1 | 1 | 0.83 | 1 | 1 | 0.87 | 1 | 1 | 0.98 | 0.60 | 0.88 |
| PFIN | 0.61 | 0.61 | 0.76 | 0.61 | 0.85 | 0.88 | 0.61 | 0.55 | 0.59 | 0.61 | 0.96 | 0.40 |
| PF | 1 | 0.96 | 0.96 | 0.57 | 0.96 | 0.92 | 0.97 | 0.82 | 0.90 | 0.96 | 0.96 | 0.35 |
| COMP | 0.88 | 0.88 | 0.82 | 0.72 | 0.90 | 0.74 | 0.85 | 0.79 | 0.63 | 0.83 | 0.64 | 0.58 |

Tableau IV.11: Evaluation de la compétitivité de l'entreprise

L'évaluation subjective de la compétitivité permet de prendre en compte le rôle des dimensions humaine, sociale, matérielle, économique et financière dans l'amélioration de la performance d'une entreprise. La figure IV.3 présente l'évolution de la compétitivité de l'entreprise telle qu'elle a été estimée par l'équipe de décision.

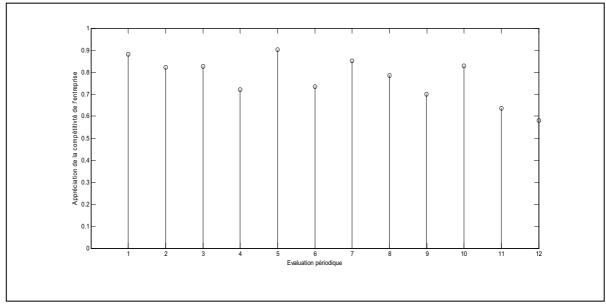


Figure IV.3 : La compétitivité de l'entreprise.

Plusieurs cas surgissent du tableau IV.11 (COMP(1, 5, 12)= (0.88, 0.90, 0.58). Des valeurs proches de «1» prise par les indicateurs de performance convergent vers une compétitivité élevée de l'entreprise, une situation qui prédit une bonne position sur le marché et le succès de la stratégie concurrentielle adoptée.

4.1.4. Evaluation de la légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes

a. Appréciation des indicateurs des performances

Les tableaux IV.12-IV.14 résument respectivement le degré de satisfaction des clients, de la communauté, des organismes régulateurs et les partenaires économiques, par rapport aux services offerts par l'entreprise. Dans cet exemple, nous avons généré des données aléatoires en guise d'appréciation des groupes externes par rapport aux services rendus. Les valeurs données par les tableaux suivants correspondent à la moyenne des échantillons générés pour chaque critère.

1. Satisfaction client

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| REPC | 0.10 | 0.10 | 0.30 | 0.45 | 0.24 | 0.19 | 0.30 | 0.10 | 0.26 | 0.24 | 0.60 | 0.50 |
| QPS | 0.74 | 0.75 | 0.51 | 0.74 | 0.74 | 0.52 | 0.73 | 0.65 | 0.56 | 0.71 | 0.37 | 0.54 |
| FDC | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.90 | 0.70 | 0.70 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| SATCL | 0.75 | 0.76 | 0.52 | 0.74 | 0.81 | 0.54 | 0.78 | 0.67 | 0.57 | 0.70 | 0.35 | 0.55 |

Tableau IV.12: Satisfaction client (SATCL).

Les résultats ci-dessus résument l'impact de la qualité des services rendus sur la satisfaction de la clientèle. Une bonne appréciation de la qualité des services, la rapidité dans le traitement des requêtes des clients et la réduction des temps d'attente, convergent vers une grande satisfaction des clients (SATCL(1,5,7)=(0.75, 0.81, 0.78)). Donc, l'entreprise doit mettre à la disposition des clients des produits conformes à la qualité exigée, dans les délais convenus et en bonne quantité pour s'assurer de la fidélité de ses clients.

2. Satisfaction de la communauté et des organismes régulateurs

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CDL | 0.50 | 0.40 | 0.56 | 0.54 | 0.42 | 0.42 | 0.45 | 0.50 | 0.37 | 0.50 | 0.45 | 0.42 |
| RESENV | 0.78 | 0.70 | 0.49 | 0.31 | 0.78 | 0.70 | 0.78 | 0.70 | 0.70 | 0.78 | 0.70 | 0.61 |
| RESL | 0.90 | 0.70 | 0.90 | 0.90 | 0.70 | 0.90 | 0.50 | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 0.70 | 0.90 |
| SATORG | 0.80 | 0.58 | 0.63 | 0.42 | 0.62 | 0.69 | 0.46 | 0.50 | 0.56 | 0.80 | 0.61 | 0.67 |

Tableau IV.13 : Satisfaction de la communauté et des organismes régulateurs (SATORG).

La position et la réactivité de la communauté locale envers les activités de l'entreprise est un signe pour jauger la confiance placée en l'entreprise. Ces exemples : SATOG(1, 4, 8, 10)=(0.80, 0.42, 0.50, 0.80), montrent l'importance des ces facteurs pour la mesure du degré de satisfaction de la communauté vis-à-vis des services reçu et l'apport de l'entreprise à la localité.

3. Satisfaction des partenaires

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SATF | 0.76 | 0.74 | 0.50 | 0.74 | 0.87 | 0.50 | 0.64 | 0.76 | 0.85 | 0.61 | 0.62 | 0.33 |
| SATBF | 0.65 | 0.82 | 0.67 | 0.83 | 0.74 | 0.47 | 0.76 | 0.50 | 0.36 | 050 | 0.70 | 0.70 |
| SATP | 0.65 | 0.74 | 0.50 | 0.75 | 0.77 | 0.46 | 0.64 | 0.50 | 0.36 | 0.50 | 0.62 | 0.34 |

Tableau IV.14: Satisfaction des partenaires (SATP).

A travers les différents exemples on peut constater que la satisfaction des fournisseurs et des bailleurs de fonds, deux acteurs principaux, contribue au renforcement de la légitimité de l'entreprise. Elle crée une synergie et une dynamique entre les acteurs de la chaîne logistique.

b. Appréciation de la légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes

Tout d'abord, il faut définir les valeurs relatives des indicateurs des performances en les comparant aux seuils de référence. La perception de ces valeurs diffère d'un décideur à un autre. Elles correspondent aux valeurs moyennes des appréciations faîtes par l'ensemble des décideurs.

| Indicateurs | SATCL | SATORG | SATP |
|-------------|-------|--------|------|
| Seuil | 0.84 | 0.72 | 0.65 |

Tableau IV.15: Seuils minimaux pour les indicateurs (Légitimité).

Le tableau IV.16 résume l'évolution de la légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes à travers l'horizon de simulation.

| T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SATCL | 0.84 | 0.86 | 0.58 | 0.83 | 0.91 | 61 | 0.88 | 0.75 | 0.64 | 0.79 | 0.39 | 0.61 |
| SATORG | 0.97 | 0.70 | 0.76 | 0.51 | 0.75 | 0.84 | 0.56 | 0.61 | 0.68 | 0.97 | 0.74 | 0.81 |
| SATP | 0.76 | 0.87 | 0.58 | 0.87 | 0.90 | 0.53 | 0.74 | 0.58 | 0.42 | 0.58 | 0.73 | 0.40 |
| LEG | 0.85 | 0.81 | 0.64 | 0.71 | 0.85 | 0.65 | 0.72 | 0.65 | 0.58 | 0.77 | 0.59 | 0.59 |

Tableau IV.16: Evaluation de la légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes (LEG).

Une entreprise doit cohabiter avec plusieurs groupes d'intérêts, collaborer avec des partenaires économiques et sociaux, être réactive par apport aux requêtes des clients et prévoir efficacement leurs comportements. Le jugement de ces groupes envers les services et les activités offerts par l'entreprise est précieux, il justifie son image, la qualité de la relation avec ces acteurs et décident de la légitimité de l'entreprise de continuer d'exister. La satisfaction de ces groupes confère à l'entreprise une bonne notoriété et un leadership sur le marché. La figure suivante présente l'évolution de l'appréciation de l'entreprise par ces groupes.

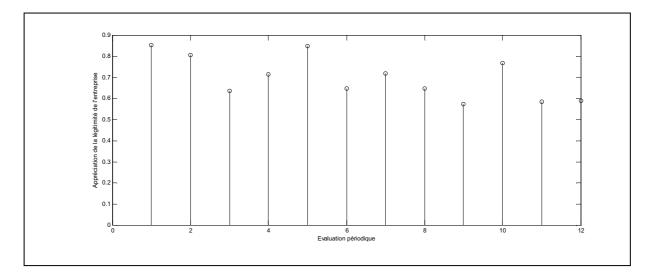


Figure IV.4 : La légitimité de l'entreprise auprès des groupes externes

Nous avons déjà évoqué plus haut que la performance d'une entreprise ne se limite plus à la dimension financière dans la mesure où l'entreprise est en contact permanent avec différents acteurs externes qui appartiennent ou non à la même chaîne logistique. Certes, un grand nombre d'indicateurs des performances ont été définis dans la littérature, mais l'agrégation des mesures résultant de ces indicateurs nécessite d'abord une adaptation au contexte de l'entreprise et à ses objectifs. Particulièrement, la démarche que nous avons développé ci-dessus constitue un outil qui met en valeur l'influence du processus d'intégration décisionnelle sur la performance de l'entreprise et de la chaîne logistique. Il peut être considéré comme un tableau de bord pour suivre toutes les évènements influant sur le succès de la stratégie concurrentielle de l'entreprise.

Notre objectif n'est pas de comparer cette démarche aux approches existantes, néanmoins, il est important de soulever ses points forts et ses avantages :

- la couverture des dimensions : sociale, économique et technologique de la performance,
- l'agrégation des critères objectifs et subjectifs peut pallier le manque de données précises,
- la prise de plusieurs points de vue, internes ou externes à l'entreprise,
- la possibilité d'approfondir les mesures par la considération de nouveaux critères,
- sa flexibilité rend son adaptation possible à des secteurs d'activité bien précis,
- la prise en compte de la stratégie concurrentielle de l'entreprise.

Cet outil complétera la démarche de décision développée dans le chapitre précédent. C'est un moyen de quantification et de vérification des répercussions des décisions stratégiques dans le contexte de la conception d'une chaîne logistique. Dans la prochaine section, nous allons expliquer la procédure à adopter pour la quantification du processus décisionnel.

5. La quantification des décisions

L'instabilité de l'environnement économique provoque couramment la remise en cause de certains choix et décisions antérieurs jugés pertinents au début et qui deviennent inappropriés plus tard. La prise des décisions considérées dans ce travail est souvent exposée à ce type de revirement de situation. Notamment, il existe une multitude d'exemples relatant ces phénomènes:

- 1. Un site jugé adéquat pour implanter une unité de production, mais des événements inattendus, crises (économiques, sociales ou politiques), peuvent conduire l'entreprise à revoir la décision de localisation.
- 2. La détérioration des relations avec des fournisseurs remet en cause les choix de l'entreprise et elle peut la conduire à la recherche de nouveaux partenaires.
- 3. La durée de vie des produits courte et le comportement imprévisible des clients incitent l'entreprise à revoir sa stratégie pour mieux cibler les marchés les mieux rentables.

La figure IV.5 illustre un modèle dynamique de la supervision du processus de décision. Le système d'évaluation des performances a pour rôle d'une boucle de retour de sortie, qui permet de récupérer des données importantes sur l'évolution de l'entreprise à l'aide des indicateurs des performances. Ensuite, ces données seront comparées continuellement aux objectifs fixés préalablement. Enfin, l'identification des défaillances permet de réviser les décisions à l'origine de ces contre-performances et d'engager les actions nécessaires.

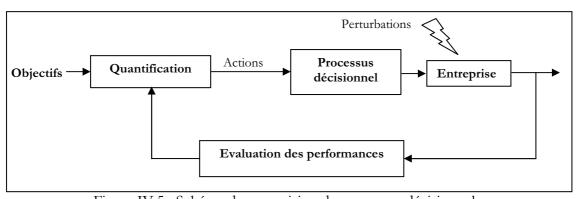


Figure IV.5 : Schéma de supervision du processus décisionnel.

La démarche de décision proposée serait plus pertinente avec l'intégration d'un volet d'évaluation des performances, afin de la rendre dynamique et adaptable à de nouvelles situations. En conséquence, les décisions abordées dans les précédents chapitres peuvent être revues ou modifiées. La figure IV.6 montre les liens entre les deux systèmes que sont « le processus de décision » et « le système d'évaluation des performances ».

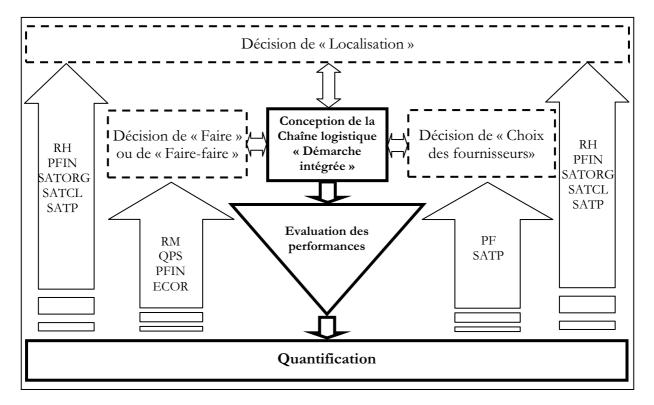


Figure IV.6 : Quantification des décisions.

Nous avons précisé en haut, le rôle de chaque indicateur. Grâce à l'évaluation continue de ces derniers, nous pouvons donc examiner et statuer sur la qualité des décisions prises.

a. La décision de localisation (RH, PFIN, SATORG, SATCL, SATP)

La localisation du site de production est une décision stratégique qui demande un engagement et un déploiement des ressources matérielles et humaines importantes et change complètement la configuration de l'organisation en question. L'évaluation des indicateurs ci-dessus permet à l'entreprise de prendre des mesures correctives à toute déviation par apport à ses objectifs. Toutefois, un changement de site reste le dernier recours, à cause des coûts colossaux qui seront induits, et éventuellement, la gronde sociale qui peut être engendrée par la délocalisation du site.

b. Choix des fournisseurs (PF, SATP)

La performance de l'entreprise est extrêmement liée à celle de ses fournisseurs. Elle doit s'assurer en permanence du niveau de qualité des prestations de ses derniers. Dans le cas contraire, elle sera obligée de rechercher de nouveaux fournisseurs ou partenaires.

c. La décision de faire ou de faire-faire (RM, QPS, PFIN, ECOR)

L'évaluation des indicateurs ci-dessus permet de veiller sur la disponibilité de tous les atouts concourant à la réussite de la stratégie de l'entreprise.

Cette discussion retrace la procédure à adopter pour la quantification des conséquences des décisions prises. La figure suivante illustre ce processus complet, depuis la prise des décisions jusqu'à la quantification de leurs répercussion sur la performance de l'entreprise.

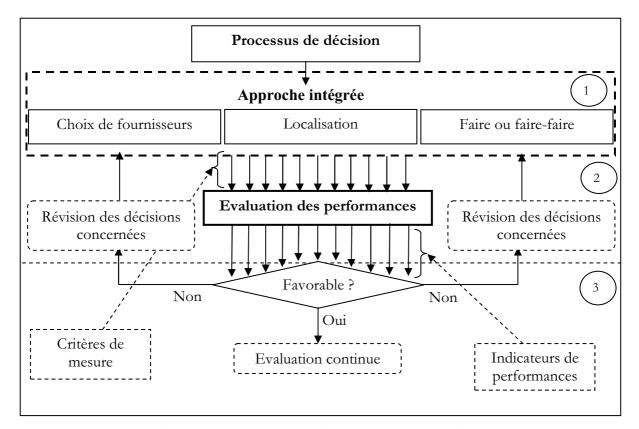


Figure IV.7 : La démarche à suivre pour la décision, l'évaluation des performances et la quantification des résultats.

1 : Approche intégrée, 2 : Evaluation des performances, 3 : quantification des résultats.

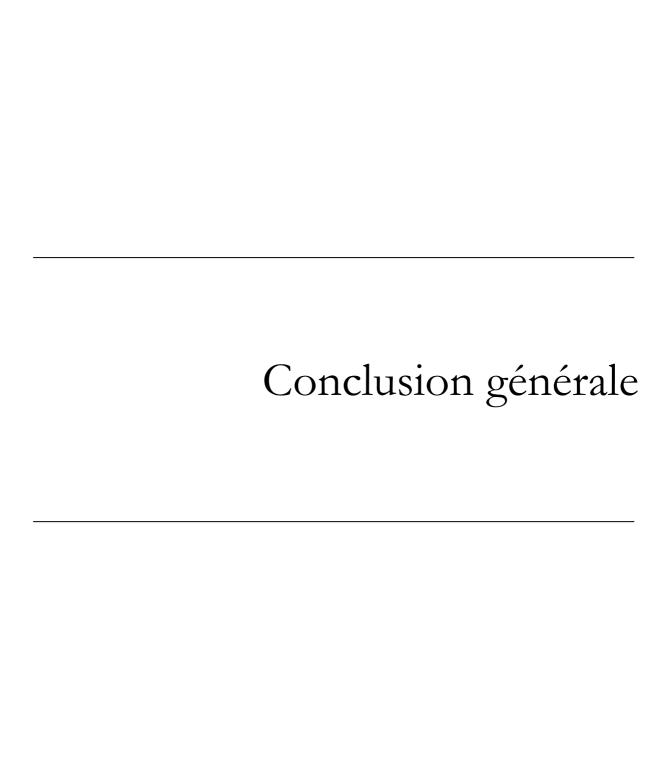
La genèse de cette démarche s'inscrit dans une perspective de renforcer l'approche de prise de décision intégrée. De ce fait, l'évaluation continue des performances constitue un outil de supervision efficace pour identifier les divergences par apport aux objectifs fixés préalablement. De plus, une analyse des origines de toute contre-performance observée permettra aux managers d'engager des moyens nécessaires et d'entreprendre des actions pour remédier à toute défaillance.

6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un système d'évaluation des performances d'une entreprise. Le processus est basé sur une évaluation subjective d'un ensemble d'indicateurs des performances. L'objectif de cette contribution est de mettre en place un outil de supervision et de quantification des conséquences et répercussions de la prise des décisions abordées dans les chapitres précédents (i.e. localisation, choix des fournisseurs et faire / faire-faire).

Les décisions stratégiques sont caractérisées par une portée à long terme et leurs effets ne se manifestent pas dans l'immédiat. Dés lors, une veille sur l'évolution de l'entreprise au sein de son environnement est indispensable pour surveiller et détecter les défaillances résultantes de telles décisions. Nous avons regroupé les indicateurs des performances en deux catégories principales la première évalue la compétitivité de l'entreprise et la seconde met en valeur son image et la satisfaction des groupes d'intérêts qui travaillent à ses côtés qui lui confèrent sa légitimité. Nous nous sommes basés sur des critères de mesure couvrant les dimensions : économique, technologique et sociale. Cette démarche a pour objectif de concevoir un tableau de bord, un système de contrôle dynamique de la performance d'une entreprise appartenant à une chaîne logistique.

Cet outil met en valeur l'influence du processus d'intégration des décisions stratégiques sur la performance de l'entreprise et de la chaîne logistique. Toutefois, il ne propose pas des solutions automatiques. En revanche, son apport permet de décrypter les pistes à suivre pour apporter des solutions appropriées aux défaillances constatées au terme de l'évaluation des performances. La flexibilité de cet outil lui permet d'intégrer de nombreux indicateurs compatibles avec le secteur d'activité de l'entreprise. Sa structure en trois niveaux peut être développée par l'intégration d'une base de données réunissant les connaissances et l'expérience des managers dans le secteur d'activité de l'entreprise, qui servira pour définir les actions à entreprendre selon les origines des contres performances observées.



Conclusion Générale

Notre travail de thèse est axé sur le développement d'un outil d'aide à la décision pour la conception d'une chaîne logistique. Nous nous sommes focalisés sur trois décisions que nous avons jugées capitales au stade de conception de ladite chaîne. Ces décisions concernent essentiellement : « la localisation des unités de production », « le choix des fournisseurs » et la décision de « faire » ou de « faire-faire ».

Par notre contribution, nous avons tenté de rallier les différents aspects caractérisant ces problématiques, de fédérer les différents niveaux décisionnels de la chaîne logistique, en exploitant les avantages du raisonnement par logique floue et l'optimisation mathématique. L'utilisation de la logique floue est un moyen d'intégrer l'expérience, les connaissances et le raisonnement de l'expert humain dans le processus décisionnel. Elle permet aussi la prise en compte de la stratégie de l'entreprise ainsi que des notions subjectives difficiles à cerner par les méthodes classiques. Grâce au concept « d'utilité totale », nous avons pu considérer un nombre important de critères de décision objectifs et subjectifs. La combinaison de ces deux approches donne « un modèle hybride », car d'une part ce modèle se base sur l'optimisation mathématique et d'autre part sur le raisonnement par logique floue.

Nous avons abordé ces décisions sous deux visions différentes. Premièrement, nous avons supposé qu'elles étaient indépendantes (l'approche séparée). Nous avons développé des démarches individuelles, où nous avons pris en compte séparément les critères et contraintes propres à chaque décision en supposant que chacune sera prise indépendamment des autres. Cette situation survient dans des circonstances bien précises durant les activités d'une entreprise. La démarche séparée permet de traiter les trois problématiques d'une manière individuelle, elle donnera des résultats satisfaisants dans ce cas. Deuxièmement, une analyse d'impact entre les trois décisions montre qu'il existe des relations mutuelles entre elles. Nous avons pu conclure que l'application de l'approche séparée ne garantit pas une solution optimale en tenant compte du fait qu'elle ne considère qu'un ensemble d'optimisations locales et qui n'implique pas une optimisation globale. De ce fait, nous nous sommes investis dans une démarche de décision intégrée.

Cependant, la considération des trois décisions simultanément augmente la complexité du problème à résoudre. Néanmoins, grâce à l'intégration décisionnelle, nous avons pu évaluer des différentes alternatives et scénarios possibles en considérant les critères de décision d'une manière globale, ainsi nous somme capable d'estimer la pertinence des solutions. De plus, le formulation mathématique du problème d'optimisation considère conjointement, les contraintes relatives aux

trois décisions. C'est un processus hybride qui réunit les aspect : opérationnel et stratégique dans un seul système.

Le champ d'application de cette démarche peut être élargi, car il est possible de l'adapter à d'autres situations, par exemple, la production multi-site. Dans ce cas, le problème à résoudre est l'allocation de la production des produits semi-finis aux différents sites, le choix de les faire ou de les acheter chez des fournisseurs externes à sélectionner. En revanche, il sera nécessaire d'apporter des modifications en incluant d'autres contraintes.

Les décisions abordées dans cette thèse, sont stratégiquement importantes. Elles conditionnent la viabilité à long terme de l'entreprise, car leurs influences se répercutent sur les performances de toute la chaîne logistique. Leurs effets ne se manifestent pas dans l'immédiat, donc il est nécessaire de veiller sur l'évolution de l'entreprise au sein de son environnement. A cet effet, nous avons proposé un système d'évaluation des performances basé sur une sélection d'indicateurs couvrant les dimensions : économique, technologique et sociale de l'entreprise. Il servira de tableau de bord, pour détecter les défaillances, les contre-performances ou divergences par rapport aux objectifs fixés, de chaque élément et acteur impliqués dans les activités de l'entreprise et de la chaîne logistique. Nous avons regroupé ces indicateurs en deux catégories principales qui relèvent de l'évaluation de la performance globale de l'entreprise au sein de sa chaîne logistique. La première évalue la compétitivité de l'entreprise. La deuxième met en valeur la satisfaction des groupes d'intérêts qui travaillent en collaboration avec l'entreprise, qui lui confèrent sa légitimité.

Enfin, l'objectif principal de ce travail est de proposer un outil simple et efficace pour assister les managers d'une entreprise dans la prise des décisions dans différentes situations. La démarche intégrée s'est avérée plus intéressante dans le cas où les trois problématiques se posent ensemble. Elle donnera de meilleurs résultats que l'approche séparée. Ceci est dû à la considération des relations mutuelles entre ces décisions. De plus, un système d'aide à la décision ne doit pas être figé sur une seule position car l'entreprise est en perpétuelle évolution. Cela nécessite un contrôle dynamique et continu dont le but est la quantification des répercussions de telles décisions sur la chaîne. En s'appuyant sur l'évaluation des indicateurs des performances, il sera possible de détecter les déficiences et insuffisances qui nuisent à la compétitivité de l'entreprise et sa notoriété. Enfin, le recours à une révision des décisions est inévitable pour apporter des solutions acceptables selon la faisabilité des actions à entreprendre, la taille et les coûts des moyens engagés par l'entreprise.

Cette contribution ne propose pas de solutions génériques pour toute situation rencontrée par une entreprise. Néanmoins, elle assistera les managers pour décrypter les pistes à suivre pour apporter des solutions appropriées. De plus, la flexibilité de l'approche proposée permet d'intégrer de nouveaux paramètres, de l'adapter à des contextes industriels bien précis.

La conception de la chaîne logistique ne se limite pas seulement aux décisions considérées dans ce travail. En effet, la considération de nouvelles décision renforcera la pertinence de l'approche proposée et élargir sont champ d'action. Cependant, la mise en place d'un tel système sera plus complexe et elle nécessitera un travail de longue haleine.

En guise de conclusion finale, cette démarche met en valeur l'influence du processus d'intégration des décisions stratégiques sur les performances de l'entreprise et de la chaîne logistique. Notre contribution s'inscrit dans l'optique de développer un système d'aide à la décision basé sur l'intégration décisionnel sans omettre l'influence d'un tel processus sur la performance de l'entreprise et de la chaîne logistique.

Les perspectives

L'élaboration de cette démarche d'aide à la décision est basée essentiellement sur des travaux antérieurs. Certainement, des réajustements peuvent être apportés à la démarche afin de l'adapter à des secteurs industriels bien précis. En suivant les étapes ci-dessous, nous serons en mesure de valider cet outil.

- 1. Définir les critères de décision propres au secteur d'activité de l'entreprise et leur importance, en impliquant un plus grand échantillon d'individus spécialisés pour assurer la consistance des mesures.
- 2. Elaborer des règles floues nécessitant une bonne connaissance du mode d'interaction des critères entre eux et la prise en compte des avis de managers.
- 3. Prise en compte des incertitudes au niveau du problème d'optimisation mathématique grâce à la programmation linéaire floue.
- 4. Intégrer de nouvelles décisions telles que : localisation des stocks, le choix des équipements...
- 5. Développer la structure en trois niveaux (décision, évaluation des performances et quantification) du modèle par l'intégration d'une base de données qui servira à déterminer les actions à entreprendre selon les origines des mauvaises performances observées.
- 6. Extension de cette démarche aux entreprises de services.

Bibliographie

Bibliographie

- [Aar, 04] D. Aaronson, R.W. Bostic, P. Huck and R. Townsend, Supplier relationships and small business use of trade credit. *Journal of Urban Economics*, 55(1): p. 46-67, 2004.
- [Ami, 06] A. Amid, S.H. Ghodsypour and C. O'Brien, Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. *International Journal of Production Economics* 104 (2), 394–407, 2006.
- [Agr, 04] P.J. Agrell, R. Lindroth and A. Norrman, Risk, information and incentives in telecom Supply Chains. *International Journal of Production Economics*, 90(1): p. 1-16, 2004.
- [Akb, 00] M.R. Akbari Jokar, Les Troisièmes Rencontres Internationales de la Recherche en logistique Trois-Rivières, 9,10 et 11 mai 2000.
- [Akb, 01] M.R. Akbari Jokar, thèse de doctorat, Sur la conception d'une chaîne logistique, une approche globale d'aide à la décision, 7 décembre 2001.
- [Alb, 00] P. Alberto and B. Marcello, Vendor Selection Using Principal Component Analysis. *The Journal of Supply Chain Management*. Vol. 36 pp 63- March 2000.
- [Ale, 04] K. Alexandre and Samii, Stratégie logistique: Supply Chain Management. 3^{ème} édition Dunod, paris, 2004.
- [Bal, 08] S. Balland and AM. Bouvier, Management des entreprises. Edition Dunod, 2008.
- [Bea, 99] M. Benita and Beamon, Measuring Supply Chain Performance. *International Journal of Operations and production Management*. Vol. 19, N°. 3, pp. 275-292, 1999.
- [Bel, 98] G. Bel, aide à la conception et a la conduite de systèmes à évènement discrets : application au système de production, habilitation à diriger des recherches Université Paul Sabatier, Toulouse, 1998.
- [Bhg, 07] R. Bhagwat and M.K. Sharma, Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach. *Computer & industrial Engineering*, (53) 43-62, 2007.
- **[Bha, 05]** R. Bhatnagar and AS. Sohal, Supply chain cometiveness: measuring the impact of location factors, uncertainty and manufacturing practices. *Technovation* 25:443-456, 2005.
- [Bhu, 03] K.S.Bhutta, F. Huq, G. Frazier and Z. Mohamed, An Integrated Location, Production, Distribution and Investment Model for a Multinational Corporation. *International Journal of Production Economics*, 86, 201-216, 2003.
- [Boe, 01] L. De boer, E. Labro and P. Morlacchi, A review of methods supporting supplier selection, European Journal of purchasing & supply Management 7, 75-89, 2001.
- [Boi, 04] J. Boissière, Gestion des stocks dans une chaîne logistique de distribution en coordination avec la production. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2004.
- [Bou, 92] M.B. Bouchon, Questionnaires and fuzziness. In: Yager, Goldstein et Mendels R. R. et Zadeh L.A. Eds, *An introduction to fuzzy logic Application in intelligent Systems*. Norwell Ma: Kluwer, PP. 221-234, 1992.
- [Bou, 02] H. Bouchriha, Faire ou Faire-Faire dans la conception d'une chaine logistique: un outil d'aide à la décision. Thèse de Doctorat, 2002.
- [Cal, 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.

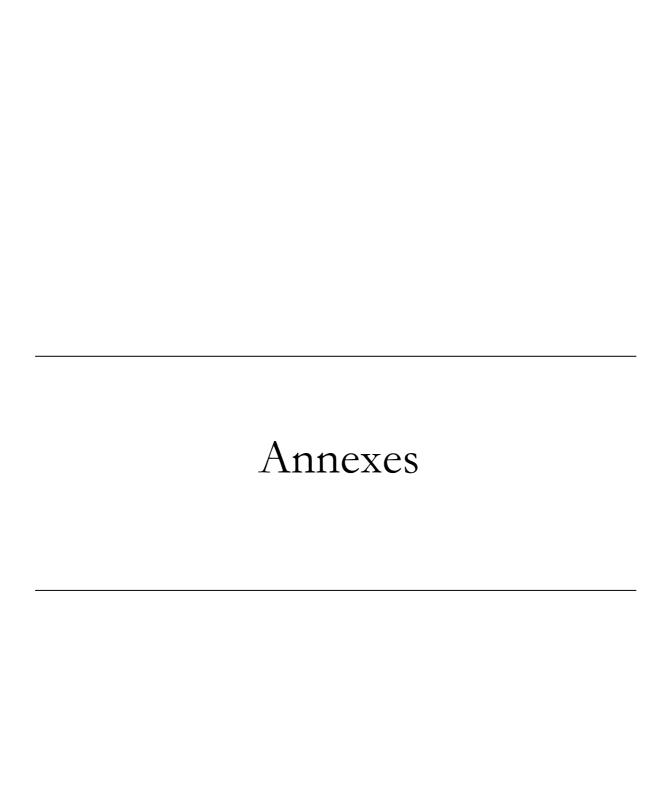
- [Cam, 05] J. Campbell and J. Sankaranl, An inductive framework for enhancing supply chain integration. *International Journal of Production Research*, 43 (16), 3321–3351, 2005.
- [Cen, 03] K. Cengiz, C. Ufuk and U. Ziya, Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Journal of logistics Information Management*..Vol: 16 issue: 6 pp: 382-394, Dec 2003
- [Chan, 07] F.T.S. Chan and N. Kumar, Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. OMEGA, *International Journal of Management Science*, 35 (4), 417–431, 2007.
- [Che, 92] S.J. Chen and C.L. Hwang, Fuzzy multiple attribute decision making-methods and application, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer, New York, 1992.
- [Chen, 06] C.T. Chen, C.T. Lin and S.F. Huang, 2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102 (2), 289–301, 2006.
- [Cho, 04] K.L. Choy and Lee, An enterprise collobarative management system a case study of supplier relationship management., *The Journal of Enterprise Information Management*, 17(3): p. 191-207, 2004.
- [Cle, 96] W. G. Cleaves and V. A. Masche, *Strengthening weak links*, OR/MS Today, April, P. 32-37, 1996.
- [Coh, 89] M.A. Cohen, M. Fisher and R. Jaikumar, *International manufacturing and distribution networks: a normative model framework*. In Ferdows, K. (Ed.), Managing International Manufacturing. Elsevier, Amsterdam, pp. 67–93, 1989
- [Cro, 00] S. Croom, P. Romano and M. Giannakis, Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 6, pp 67-83, 2000.
- [Cro, 80] L. E. Crow, R.W. Olshavsky and J.O. Summers, Industrial buyer choice strategies: a protocol analysis, *Journal of marketing research*, Vol. 17,P. 34-44, 1980.
- [Des, 05] E. Desgrippes, Coordination entre la production et la distribution dans une chaîne logistique. Thèse de doctorat, 2005.
- [Dia, 06] D. Diala and H. Chabhoub, Un modèle d'évaluation hiérarchique de la performance des entreprises manufacturières, Reaching new highs, ASAC 2006 conference, Banff, Canada, 2006.
- [Dic, 66] G. W. Dickson, An Analysis of vendor selection systems and decisions, *Journal of purchaising*, Vol. 1, No. 2, P. 5-17, 1966. Cité dans (Weber, 1991).
- [Dol, 05] A. Dolgui, J. Soldek and O. Zaikin, Supply chain optimisation: product/process design, facilities location and flow control, Series: Applied Optimization, vol. 94, Springer, 2005.
- [Dow, 00] S. Dowlatshahi, Designer-buyer-supplier interface: Theory versus practice. *International Journal of Production Economics*, 63: p. 111-130, 2000.
- [Ell, 90] L. M. Ellram, The supplier selection decision in strategic partnerships, *Journal of purchasing and materials management*. P. 8-14, 1990.
- [Fis, 97] M. L. Fisher, What is the right supply chain for your product. Harvard business review, pp. 105-116, March-April 1997.
- [Fly, 09] B. B. Flynn, The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. J. Operations Manage. (2009), doi:10.1016/j.jom.2009.06.001.
- [For, 93] D. Ford, B. Cotton, D. Farmer, A. Gross and I. Wilkinson, Make or buy decisions and their implications, *Industrial Marketing Management*, N°22, pp 207-214, 1993.

- [For, 86] D. Ford et D. Farmer, Make or buy a key strategic issue, *Long Range Planning*, vol. 19, N° 5, pp 54-62, 1986.
- [Gal, 05] F. Galasso, J. François, J. Mahmoudi, Proposition d'une grille de classification de la littérature en gestion de chaîne logistique (Supply Chain Management). *Gème Congrès International de Génie Industriel*, 7-10 Juin 2005, Besançon, France.
- [Göl, 07] A. Gölec and H. Taskın, Novel methodologies and a comparative study for manufacturing systems performance evaluations, *International journal of information sciences*, 177, 5253–5274, 2007.
- [Guv, 07] S. Güvenç and S. Haldun, A review of hierarchical facility location models. *Journal of Computers & Operations Research* 34, 2310 2331, 2007.
- [Hal, 00] A. Halley, la contribution des fournisseurs privilégiés à l'integration de la chaîne logistique : mythe ou réalité, *Logistique & management*, Vol.8, No.1, 2000.
- **[Ham, 08]** R. Hammami, Y. Frein and A. B. Hadj-Alouane, Supply chain design in the delocalization context: Relevant feature and new modeling tendencies. *International journal of Production economics*, 2008.
- [Hom, 04] C. Homburg and R.M. Stock, The link between salespeople's job satisfaction and customer satisfaction in a business-to-business context: a dyadic analysis. *Journal of Academy of Marketing Science* 32 (2), 144–158, 2004.
- [Hua, 03] Huang, Q. George, S. Jason, K. LAU and K. L. Mak, The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. *International Journal of Production Research*, Vol. 41 (7), pp 1483-1517, 2003.
- [Jam, 01] L. James and Lovejoy, Principles of supply chain Management, textile Clothing Technology corp. *DAMA-G-2-01* July 2001.
- [Jan, 07] J. Jantzen, Foundation of fuzzy control, John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- **[Kam, 04]** D.J.F. Kamann and E.F. Bakker, Changing supplier selection and relationship practices: a contagion process. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 10(2): p. 55-64.
- [Kah, 03] C. Kahraman, U. Cebeci and Z. Ulukan, Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. Logistics Information Management 16 (6), 82–394, 2003.
- [Kle, 05] J.P.C. Kleijnen. Supply Chain Simulation tools and techniques: A Survey. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, Vol. 1, Nos. 1/2, pp 82-89, 2005.
- [Kli, 09] W. Klibi, The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review. European Journal of Operational Research (2009), doi:10.1016/j. ejor. 2009.06.011.
- **[Kou, 05]** X. Koufteros, M. Vonderembse and J. Jayaram, Internal and external integration for product development: the contingency effects of uncertainty, equivocality, and platform strategy. *Decision Sciences* 36 (1), 97–133, 2005.
- [Lai, 97] L. Laios and 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.
- [Lak, 08] K. Lakhdari and J.L. Sculfort, Performance evaluation model for manufacturing system based on approximate reasoning, Service Operations and Logistics, and Informatics, *IEEE International Conference on; Beijing, China*, 2008.
- [Lak, 07] K. Lakhdari et J.L. Sculfort, Modélisation floue du processus de sélection des fournisseurs. 2èmes Journées Doctorales / Journées Nationales MACS. 9-11 juillet 2007 Reims France.

- [Lak, 98] S. Lakhal, Vers une approche formelle d'aide à la décision dans l'entreprise réseau, Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 1998.
- **[Lav, 07]** J. J. Laville et J. Paul, *Le modèle SCOR*, vecteur d'excellence de la Supply Chain Supply Chain Magazine N°13, Mars 2007.
- [Lee, 92] H. L. Lee and C. Billington, The evalution of supply chain management models and practice at Hewlet, *Packard, Interfaces*, No. 25, P. 42-63,1995.
- [Man, 06] K. Manoj, V. Prem and R. Shankar, A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *International Journal. Production Economics*, n°101, pp273-285, 2006.
- [Mel, 09] M.T. Melo, S. Nickel and S.F. da Gama, Facility location and supply chain management A review. *European Journal of Operational Research*, 196, 401–412, 2009.
- [Mel, 05] M.T. Melo, S. Nickel and S.F. da Gama, Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning. *Computers & Operations Research*, 33, 181–208, 2005.
- [Mei, 05] MJ. Meixell and VB Gargeya, Global supply chain design: A literature review and critique. *Journal of Transportation Research* Part E, 2005.
- [Mor, 96] EM. Morin, M. Guindon et E. Boulianne, Mesure de la performance de l'entreprise, Techniques pratiques. Gestion, vol. 21, n° 3. Montreal, Canada, 1996.
- [Mur, 02] C. Muralidharan, N. Anantharaman and S.G. Deshmukh, A multi-criteria group decision-making model for supplier rating. *Journal of Supply Chain Management* 38 (4), 22–33, 2002.
- [Nai, 07] N. Zerari, H. Mouss et N. Mouss, Optimisation du coût d'un stock de pièces de rechange par Algorithmes Génétiques. CPI, Rabat, Maroc, 2007.
- [Nar, 01] R. Narasimhan, S. Talluri and D. Mendez, Supplier evaluation and rationalization via data envelopment analysis: An empirical examination. *Journal of Supply Chain Management* 37 (3), 28–37, 2001.
- [Owe, 98] S. H. Owen and M. S. Daskin, Strategic Facility Location: A review, *European journal of operational research*, 111, P. 423-447, 1998.
- [Orl, 75] J. Orlicky, Materials Requirements Planning: the next way of life in production and inventory management, Mc Graw Hill, 1975.
- [Owe, 98] S. H. Owen and M.S. Daskin, Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research* 111, 423-447, 1998.
- **[Pad, 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.
- [Pag, 04] M. Pagell, Understanding the factors that enable and inhibit the integration of operations, purchasing and logistics. *Journal of Operations Management* 22 (5), 459–487, 2004.
- [Par, 93] H. R. Parsaei and W. G. Sullivan, Contemporary issues and modern designe tools, Chapman & Hall 1993.
- [Paq, 08] M. Paquet, A. Martel and B. Montreuil, A Manufacturing Network Design Model based on Processor and Worker Capabilities. *International Journal of Production Research*, 46, 7, 2008.
- [Per, 96] R. Perrotin et J. M. Loubere, *Nouvelles stratégies d'achat*. Les éditions Organisation, 285 p, Paris 1996.

- [Pet, 05] K. Petersen, R. Handfield and G. Ragatz, Supplier integration into new product development: coordinating product, process, and supply chain design. *Journal of Operations Management* 23 (3/4), 371–388, 2005.
- [Pim, 03] Y. Pimor, Logistique, production, distribution, soutien.3e édition, L'USINE NOUVELLE, Dunod, Paris, 1998, 2003.
- [Pou, 94] D. Poulin, B. Montreuil and S. Gauvin, L'entreprise réseau, bâtir aujourd'hui l'organisation de demain, Publi-Relais, 1994.
- [Pow, 05] S. Powell Mantel, M. V. Tatikonda and Y. Liao, A behavioral study of supply manager decision-making: Factors influencing make versus buy evaluation. *Journal of Operations Management*, Vol, 24, Issue 6, pp 822-838, December 2005.
- [Por, 80] M. Porter, Choix Stratégique et concurrence, Economica, 1990 pour l'édition française.
- [Rag, 02] G.L. Ragatz, R.B. Handfield and K.J. Petersen, Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty. *Journal of Business Research* 55 (5), 389–400, 2002.
- [Raj, 09] G. J. Rajshekhar, D. Ashutosh and R.F. Sherer, Outsourcing to emrging markets: theoretical perspective and policy implications. *Journal of international Management*, 15, 156-168, 2009.
- [Rev,05] C.S. Revelle and H.A. Eiselt, Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of operational Research*, 165, 1-19, 2005.
- [Roa, 80] C. P. Roa and G.E. Kiser, Educational buyers' perception of vendor attributes, *Journal of purchaising Mater.* Mgmt, P. 25-30, 1980.
- [Rom, 03] P. Romano. Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply markets. *Journal of Purchasing & Supply Management*, 9, 119–134, 2003
- [Roy, 93] B. Roy et D. Bouysson, Aide multicritère à la décision, Economica, Paris.1993.
- [Saa, 80] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, McGrow-Hill, Traduction française: "Décider face à la complexité", Entreprise Moderne d'Edition, Paris, 1984.
- [San, 09] S. Amir, S.F. Mousavi and A. Yazdankhah, Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 37, 24-30, 2009.
- [Sar, 02] J. Sarkis and S. Talluri, A model for strategic supplier selection. *Journal of Supply Chain Management*, 38(1): p. 18, 2002.
- [Sey, 06] J. Seydel, Data envelopment analysis for decision support. *Industrial Management and Data Systems*, 106 (1), 81–95, 2006.
- [Sha, 07] M. Shanikat, understanding organizational change in the privatized enterprise: case study of Jordon telecom. *Estonian business school review* 1, 42-58, 2007.
- [She, 07] Z.J. Shen, Integrated Supply Chain Design Models: A survey and future research directions. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 3, 1, 1-27, 2007.
- [Son, 08] M. Song, C.A. Di Benedetto, Supplier's involvement and success of radical new product development in new ventures. *Journal of Operations Management*, 26 (1), 1–22, 2008.
- [Son, 06] M. Sonnez, A review and critique of supplier selection process and practices. Occasional papers series, business School, Loughborough University, 2006.
- [Sta, 93] C.L. Stamm and D.Y. Golhar, JIT purchasing attribute classification and literature review. *Production Planning Control*, 4(3), 273–282, 1993.

- [Tac, 08] V.D.V. Taco and D.P. van Donk, A critical review of survey-based research in supply chain integration. *International Journal of Production Economics*, 111, 42–55, 2008.
- [Tan, 01] K.C. Tan, A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7, pp 39-48, 2001.
- [Tan, 99] K.C. Tan, S.B. Lyman and J.D. Wisner, Supply chain management: a stratégie perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 22 (5), 614–631, 1999.
- [Tel, 03] O. TELLE, Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique. Aide à la coopération au sein d'une relation Donneur d'Ordres/Fournisseur. Thèse de doctorat, 2003.
- [Tho, 96] D.J. Thomas and P.M. Griffin. Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*, 94, pp 1-15, 1996.
- [Ven, 07] R.R. Venkata, Decision making in the manufacturing environment: using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods. Springer Series in advanced Manufacturing. Springer-Verlag London, 2007.
- **[Vid, 97]** C. J. Vidal and M. Goetschalckx, Strategic production-distribution models: critical review whit emphasis on global supply chain models, *European Journal Of Operation research*, 98, P. 1-18, 1997.
- [Vin, 89] P. Vincke, L'aide multicritere à la décision, Editions de L'université de Bruxelles, 1989.
- [Web, 91] C. A. Weber, J. R. Current and W. C. Benton, Vendor selection criteria and methods, *European journal of operational research*, 50, P. 2-18, 1991.
- [Wil, 09] H. Williams, X. Xiaowei and K.D. Prasanta, Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: Literature review. *European Journal of Operational Research*, 2009.
- [Wil, 81] O.E Williamson, The economics of organization: the transaction cost approach, *American Journal of sociology*, Vol. 87, pp 548-577, November 1981.
- [Wel, 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.
- [Wig, 84] O. Wight, Manufacturing Resource Planning, OWC, 1984.
- [Wri, 75] P. L. Wright, Consumer choice strategies/ simplifying vs. Optimizing, *Journal of marketing research*, Vol. 12, P. 60-67, 1975.
- **[Yah, 99]** S. Yahia and M. Kingsman, vendor rating for an entrepreneur development programmer: a case study using the analytic hierarchy process method. *Journal of operational research society*, Vol.26, No.50, pp916-930, 1999.
- [Yal, 06] F. Yalaoui and C. Chu. A new exact method to solve the Pm/ri/Sum Ci problem. *International Journal of Production Economics*, 100, 1, 168-179, 2006.
- [Zad, 65] L.A. Zadeh, Fuzzy sets, Information and control, pp.338-353, 1965.
- [Zha, 08] X. Zhao, B. Huo, B.B. Flynn and J. Yeung, The impact of power and relationship commitment on the integration between manufacturers and customers in a supply chain. *Journal of Operations Management*, 26 (3), 368–388, 2008.



1. Disponibilité des infrastructures (DL, DT, DSV)

| D | L | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.1 |
| U ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |

| DS | SV | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |

| D | T | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.1 | 0.5 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{O}_1 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.1 | 0.5 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.1 | 0.5 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |

2. Main d'œuvre (QM, DM)

| QM | | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.9 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.9 | 0.1 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| U ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |

| DM | 1 | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.3 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| U 1 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.3 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| U 3 | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |

3. Client/ Marché (PM, AM, SM)

| PM | | S ₁ | S ₂ | S_3 | S ₄ | S ₅ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.3 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.1 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.1 |

| SM | | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| O ₁ | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.9 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.1 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |

| AM | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{O}_1 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |

4. Fournisseurs / Ressources (DF, PF)

| DS | | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| U ₁ | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.7 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.1 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 |
| U ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |

| PF | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.1 | 0.9 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.5 |
| $\mathbf{U_2}$ | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| 03 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.7 | 0.3 |

5. Concurrents (LC, RC)

| LC | | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S ₅ |
|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|----------------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.1 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 0.1 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.7 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
| U 3 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |

| RC | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.7 |
| U ₁ | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.3 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| 03 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |

6. Environnement (AC, IE)

| AC | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S ₅ |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| O ₁ | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| U ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.1 | 0.9 | 0.3 | 0.5 |

| IE | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.3 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.3 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |

7. Gouvernement (SPG, FINV, ETA, IT).

| SPC | ì | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| 03 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |

| FIN | $\mathbf{I}\mathbf{V}$ | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|----------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| U 1 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |

| ETA | 4 | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| U ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |

| IT | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{U}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |

8. Réglementation d'import export (VTC, TTD)

| VT | VTC | | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|----------------|----------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.9 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.9 |
| 03 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |

| TTI | D | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| $\mathbf{U_3}$ | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| 03 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |

- 1. Performance financière
- a. Coût d'obtention (CRF, CAFF)

| CRF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.50 |
| \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.70 |
| \mathbf{P}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.81 |
| \mathbf{P}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.30 |

| CAFF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.54 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.45 |
| \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.42 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.68 |

b. Coût de contrôle, (CCF, CTFF)

| CCF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.62 |
| \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.56 |
| \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.48 |
| \mathbf{P}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.32 |

| CTFF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.78 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.37 |
| \mathbf{P}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.78 |
| \mathbf{P}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |

- 2. Performance compétitives stratégiques
- a. Qualité (IQPF, CPHQ)

| IQPF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.45 |
| \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.70 |

| CPHQ | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.81 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.54 |
| \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.20 |
| \mathbf{P}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.82 |

b. Délai d'obtention (DPF, FLEX)

| DPF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.43 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.59 |
| \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| \mathbf{P}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |

| FLEX | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.64 |
| \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.30 |
| \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.60 |
| \mathbf{P}_4 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.85 |

3. Compétences stratégique (RPTC, MPTEC, PPTC)

| RPTC | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.16 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.26 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.78 |

| MPTEC | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.10 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.33 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.73 |

| PPTC | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.70 |
| \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.9 | 0.62 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.58 |

4. Risque approvisionnement (DF, RDI)

| DF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.54 |
| \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.70 |
| \mathbf{P}_3 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.19 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.67 |

| RDI | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 | VAG |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.60 |
| \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.32 |
| \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.24 |
| \mathbf{P}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.73 |

1. Décision « choix de fournisseurs »

a). Evaluation des fournisseurs (GQ_F, P_F, MP_F, VFLEX, DLFEX)

| GQ | _F | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{F}_1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 1 1 | \mathbf{F}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{F}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 12 | \mathbf{F}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |

| P_I | 7 | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{F}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| 1 1 | \mathbf{F}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{F}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.3 |
| 12 | \mathbf{F}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{F}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| 1 3 | \mathbf{F}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |

| MOI | OP_F | S ₁ | S_2 | S ₃ | S ₄ | S ₅ |
|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|-----------------------|
| | \mathbf{F}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 1 | \mathbf{F}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{F}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| 1 2 | \mathbf{F}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

| VFI | EX | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{F}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 11 | \mathbf{F}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{F}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| 1 2 | \mathbf{F}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{F}_2 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{F}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

| DLF | LEX | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{F}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{F}_2 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 11 | \mathbf{F}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{F}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| 1 2 | \mathbf{F}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{F}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{F}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{F}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.3 |

b). Caractéristiques des pièces (Cons_i, FC_i, VP_i, EQ_i)

| Consi | \mathbf{P}_1 | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |

| $FC_{i,t}$ | \mathbf{P}_1 | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |

| $\mathbf{VP_{i}}$ | \mathbf{P}_1 | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.3 |
| \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.3 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |

| EQ | \mathbf{P}_1 | \mathbf{P}_2 | \mathbf{P}_3 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |
| \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |
| \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |
| \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |

2. Décision de « faire » ou de « faire-faire »

| Cl | RF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <u> </u> | | | | | |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.3 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| S_5 | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |

| CA | FF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.5 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| S ₄ | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| S_5 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 |

| C | CF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| S ₅ | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |

| CT | FF | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 33 | \mathbf{P}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| S_5 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

| IQPF | | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|------------|------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S_1, S_2 | $ \begin{array}{c cccc} S_1, S_2 & P_1 \\ S_3, S_4 & P_2 \end{array} $ | | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| S_3, S_4 | | | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| S_5 | \mathbf{P}_3 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |

| CPHQ | | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S_1, S_2 | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.7 |
| S_3, S_4 | | | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| S_5 | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |

| PPTC | | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S_1, S_2 | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| S_3, S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| S_5 | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

| MPTEC | | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| $S_1, S_2 \mid P_1$ | | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| S_3 , S_4 | · — | | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| S_5 | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |

| RPTC | | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| S_1, S_2 | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| S_3 , S_4 | · · | | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| S_5 | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |

| Fl | LV | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| S_5 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.7 |

| DP | F | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| S_5 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |

| DF | | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.1 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| S_5 | \mathbf{P}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |

| RD | I | \mathbf{D}_1 | \mathbf{D}_2 | \mathbf{D}_3 | \mathbf{D}_4 |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| S_1 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| S_2 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |
| S_3 | \mathbf{P}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| S_4 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{P}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| S_5 | \mathbf{P}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{P}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 |

3. Décision de « localisation »

a. Disponibilité des infrastructures (DL, DT, DSV)

| DL | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|-----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| n n n | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.7 | 0.1 | 0.9 | 0.1 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.3 |
| P_1, P_2, P_3 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.3 |

| DSV | | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.3 | 0.7 |
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |
| F ₁ , F ₂ , F ₃ | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |

| DT | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.1 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |

b. Main d'œuvre (QM, DM)

| QM | [| S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| U ₃ | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

| DM | [| S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{U}_1 | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| 01 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{U}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| 02 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| U_3 | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| 03 | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |

c. Client/ Marché (PM, AM, SM)

| PM | | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 |
|--------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| D. D. D. | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| $\mathbf{P}_1, \mathbf{P}_2, \mathbf{P}_3$ | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |

| SM | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| 1 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| 1 2 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.3 | 0.3 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |
| 13 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.3 | 0.9 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |

| AM | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 |

d. Fournisseurs / Ressources (DF, PF)

| DS | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.7 |
| 1 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.7 | 0.1 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| 1 2 | \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| 1 3 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |

| PF | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.1 | 0.9 | 0.3 | 0.5 |
| 1 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.5 |
| 1 2 | \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 |
| 1 3 | \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.3 | 0.9 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.1 | 0.9 | 0.7 | 0.3 |

e. Concurrents (LC, RC)

| LC | | S ₁ | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.1 |
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| 11 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 0.1 | 0.7 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.7 |
| 1 2 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.3 | 0.9 | 0.1 | 0.7 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 0.7 |
| 13 | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |

| RC | | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 |
|----------------|----------------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| \mathbf{P}_1 | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| 11 | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.3 | 0.7 |
| \mathbf{P}_2 | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| 12 | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.3 |
| \mathbf{P}_3 | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| 13 | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |

f. Environnement (AC, IE)

| AC | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.5 |

| IE | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.3 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.1 |

g. Motivation gouvernementale (SPG, FINV, ETA, IT)

| SPG | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S ₅ | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|----------------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.9 |

| FINV | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |

| ETA | S_1 | S_2 | S_3 | S_4 | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.7 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |

| IT | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-----|
| | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |

h. Réglementation d'import export (VTC, TTD)

| VTC | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.7 |

| TTD | S_1 | S_2 | S_3 | S ₄ | S_5 | |
|--------------------------------------------------|----------------|-------|-------|----------------|-------|-----|
| P ₁ , P ₂ , P ₃ | \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.9 |
| | \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.5 |
| | \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.7 |

A) La compétitivité de l'entreprise 1. Ressources humaines (MOB, DEVP, PROD)

| MOB | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.3 |
| \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 |

| DEVP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

| PROD | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

2. Ressources matérielles (PTEC, FEQ, RTC)

| PTEC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 |

| FEQ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.3 | 0.9 |
| \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.3 | 0.9 |

| RTC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

3. Qualité des produits (CONQ, NPCL, NRCL)

| CONQ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |

| NPCL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

| NRCL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.1 |
| \mathbf{D}_2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| \mathbf{D}_3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| \mathbf{D}_4 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |

4. Economie des ressources (RST, RCM, RCUP)

| RST | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.3 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.3 | 0.7 |

| RCM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.9 |
| \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.7 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.9 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.1 | 0.7 |

| RCUP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| \mathbf{D}_2 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| \mathbf{D}_3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| \mathbf{D}_4 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |

5. Performance financières (CRC, RENTC, NVPM)

| CRC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

| RENTC | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.3 |
| \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.9 | 0.3 |

| NVPM | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| \mathbf{D}_2 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.7 | 0.5 |
| \mathbf{D}_3 | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |
| \mathbf{D}_4 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 0.9 | 0.5 |

6. Performance des fournisseurs (FF, DPART)

| FF | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| \mathbf{D}_2 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| \mathbf{D}_3 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.1 |
| \mathbf{D}_4 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |

| DPART | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| \mathbf{D}_1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{D}_2 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{D}_3 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| \mathbf{D}_4 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |