



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



THÈSE

Présentée à

L'Université Paul Verlaine – METZ

UFR Mathématiques, Informatique, Mécanique

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR

en

Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique

Par

Akram ZOUGGARI

Une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour la
résolution du problème de choix des fournisseurs

Soutenue le Mardi 6 décembre 2011, devant le jury composé de :

Rapporteurs

Bernard GRABOT

Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes

Farouk YALAOUI

Professeur à l'Université de Technologie de Troyes

Examineurs

Lamia BERRAH

Maître de conférences à l'Université de Savoie

Samir LAMOURI

Professeur à l'ENSAM Paris Tech

Duc Truong PHAM

Professeur à Cardiff School of Engineering

André THOMAS

Professeur à l'Université Henri Poincaré

Directeur de thèse

Lyes BENYOUCEF

Professeur à Polytech Marseille

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements les plus vifs au Professeur Lyes BENYOUCEF , directeur de cette recherche. J'ai particulièrement apprécié sa rigueur scientifique et sa disponibilité.

Je tien à remercier les Professeurs Bernard GRABOUT et Farouk YALAOUI d'avoir accepté l'évaluation de ce travail en tant que rapporteurs et d'avoir apporter une lecture attentive à ce mémoire. Je remercie également les examinateurs Docteur Lamia BERRAH, Professeurs Samir LAMOURI, Duc Truong PHAM et Andrés THOMAS pour leurs remarques pertinentes et leurs conseils avisés qui m'ont été d'une aide précieuse. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens également à adresser des remerciements sincères à M. Mohammed DAHANE pour l'aide concrète qu'il m'a apportée et à tous les membres du laboratoire LGIPM.

Je ne saurais oublier mes amis, Maen, Zhouhang, Mary, Abderrahmane et Hamza pour leur soutien et difficile travail de relecture.

Enfin, je ne peux clore cette page de remerciements sans évoquer mes proches et tous ceux avec qui, de près ou de loin, j'ai passé ces dernières années ; je leur suis très redevable.

Je dédicace cette thèse à mes parents

Table de matières

Table de matières	5
Liste des figures	7
Liste des tableaux	9
Introduction générale	11
Chapitre 1 Contexte et motivations	16
1.1. Introduction	17
1.2. Qu'est ce qu'une chaîne logistique ?.....	18
1.3. Gestion de la Chaîne logistique.....	19
1.4. Différents types de décisions dans la gestion d'une chaîne logistique.....	20
1.5. Quelques problèmes dans la gestion d'une chaîne logistique	21
1.6. Nos motivations.....	24
1.7. Conclusion.....	26
Chapitre 2 :Etat de l'art et position du problème	27
2.1. Introduction	28
2.2. Problème de choix des fournisseurs	28
2.3. <i>Problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat</i>	30
2.4. <i>Critères de choix</i>	32
2.5. <i>Position du problème</i>	33
2.6. Gestion des connaissances : concepts et définitions.....	36
2.7. Conclusion.....	41
Chapitre 3 : Quelques concepts théoriques	42
3.1. Introduction	43
3.2. Ensemble flou.....	43
3.2.1. <i>Définition</i>	43
3.2.2. <i>Variables linguistiques</i>	43
3.2.3. <i>Concepts et formulation</i>	45
3.3. Agrégation des matrices	46

3.3.1. Agrégation des matrices floues triangulaires	46
3.3.2. Indice et ratio de consistances d'une matrice agrégée	47
3.4. Méthode AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>).....	47
3.4.1. Points forts de la méthode AHP	47
3.4.2. Différentes étapes de la méthode AHP	48
3.5. AHP floue.....	49
3.6. Les méthodes TOPSIS et TOPSIS floue	51
3.6.1. Principes de la méthode TOPSIS.....	51
3.6.2. La méthode TOPSIS floue	52
Chapitre 4 : Approche de résolution proposée	56
4.1. Introduction	57
4.2. Présentation de l'approche générique	57
4.2.1. Description générique d'un problème de choix d'alternatifs	57
4.2.2. Pourquoi utiliser la simulation ?	59
4.3. Architecture de l'approche	63
4.4. Nos hypothèses	68
4.5. Conclusion.....	69
Chapitre 5 : Expériences numériques et analyses	70
5.1. Introduction	71
5.2. Configuration de l'application.....	71
5.3. Agrégation des matrices de comparaison des critères	72
5.4. Choix des fournisseurs en utilisant la méthode AHP floue	74
5.5. Simulation basée sur les connaissances.....	77
5.5.1. Acquisition des connaissances	78
5.5.2. Application de l'algorithme RULES3	79
5.5.3. Application de l'algorithme RULES6	81
5.5.4. Affectation des ordres d'achats en utilisant TOPSIS floue	84
5.5.5. Ratios des ordres d'achat	86
5.5.6. Application de l'approche sur un problème à grande taille	87
5.6. Conclusion.....	89
Conclusion et perspectives	90
Références.....	94

Liste des figures

Figure 1.Synoptique du manuscrit de thèse.....	15
Figure 2. Différents flux et entités dans une chaîne logistique	19
Figure 3.Courants structurant le concept de gestion de la chaîne logistique (Tan, 2001).....	20
Figure 4.Problème de choix de fournisseurs	24
Figure 5. Structure la chaîne logistique étudiée	34
Figure 6. Passage entre données, informations et connaissances	37
Figure 7.Organigramme de RULES3 (Pham et Aksoy, 1993).....	39
Figure 8.Organigramme de RULES6 (Pham et Afify, 2005).....	40
Figure 9.Classification selon la logique classique.....	44
Figure 10.Classification selon la logique floue	44
Figure 11. Structure hiérarchique de la méthode AHP.....	49
Figure 12.représentation graphie de $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$ (Chang 1996).....	51
Figure 13. Structure hiérarchique dans un problème de choix	58
Figure 14.Problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achats.....	59
Figure 15.Simulation de la chaîne logistique étudiée.....	60
Figure 16.Organigramme de l'approche.....	61
Figure 17.Agrégation des matrices.....	62
Figure 18. Génération des règles d'acquisition des connaissances	62
Figure 19. Architecture de l'approche.....	64
Figure 20.Interface de configuration du simulateur	65
Figure 21. Configuration du module flou.....	66
Figure 22.Module flou.....	67
Figure 23.Module réseau	67
Figure 24. Exemple de structure hiérarchique.....	74

Liste des tableaux

Tableau 1. Exemple d'apprentissage.....	38
Tableau 2. Valeur des indices de consistance aléatoire (Saaty, 1980)	47
Tableau 3. Variables linguistiques	67
Tableau 4. Paramètres de configuration de l'application	71
Tableau 5. Demandes client	72
Tableau 6. Valeurs linguistiques et valeurs floues triangulaires	72
Tableau 7. Matrice de comparaison des classes par DO_1	72
Tableau 8. Matrice de comparaison des classes par DO_2	73
Tableau 9. Matrice de comparaison des classes par DO_3	73
Tableau 10. Matrice de comparaison des classes par DO_4	73
Tableau 11. Matrice de comparaison des classes par DO_5	73
Tableau 12. Matrice agrégée en nombres flous	73
Tableau 13. Poids des fournisseurs potentiels	76
Tableau 14. Valeurs linguistiques et valeurs floues triangulaires, échelle [0, 1]	77
Tableau 15. Valeurs linguistiques du critère délai de livraison.....	77
Tableau 16. Valeurs floues du critère délai de livraison	77
Tableau 17. Exemple d'apprentissage pour le critère qualité.....	78
Tableau 18. Exemple d'apprentissage pour le critère prix	78
Tableau 19. Valeurs linguistiques pour le critère qualité	79
Tableau 20. Valeurs floues triangulaires pour le critère qualité.....	80
Tableau 21. Valeurs linguistiques pour le critère prix.....	80
Tableau 22. Valeurs floues pour le critère prix	81
Tableau 23. Valeurs linguistiques pour le critère qualité	82
Tableau 24. Valeurs linguistiques pour le critère prix.....	83
Tableau 25. Valeurs floues pour le critère prix	83

Tableau 26. Matrice de comparaison fournisseurs critères	84
Tableau 27. Distances entre les fournisseurs et A^+	84
Tableau 28. Distances entre les fournisseurs et A^-	85
Tableau 29. Coefficients de proximité CC	85
Tableau 30. Matrice de comparaison fournisseur-critère	85
Tableau 31. Distance entre les fournisseurs et A^+	86
Tableau 32. Distance entre les fournisseurs et A^-	86
Tableau 33. Coefficients de proximité CC	86
Tableau 34. Ratios des ordres d'achats pour les cinq fournisseurs (RULES3)	86
Tableau 35. Ratios des ordres d'achats pour les cinq fournisseurs (RULES6)	87
Tableau 36. Poids des fournisseurs	87
Tableau 37. Ratios des ordres d'achats pour les dix fournisseurs (RULES3)	88
Tableau 38. Ratios des ordres d'achats pour les dix fournisseurs (RULES6)	88

Introduction générale

Les entreprises de production de biens et de services, qui par le passé se sont senties protégées de la concurrence étrangère à bas prix, constatent de plus en plus qu'elles doivent non seulement créer de la valeur pour leurs clients, mais garantir des prix inférieurs à ceux proposés par la concurrence. Fournir le produit et/ou le service désiré par le client, plus rapidement, à moindre coût et de manière plus performante que les autres est de nos jours le souci majeur de chaque entreprise à l'échelle locale et/ou internationale.

De nos jours, les coûts d'approvisionnement (achat+transport) de composants, produits semi-finis et produits finis sont d'une importance majeure pour les entreprises. A titre d'exemple, en industrie automobile, les coûts d'approvisionnement des fournisseurs externes peuvent atteindre facilement les 50% des revenus de l'entreprise. Ils peuvent atteindre plus de 80% du coût de revient d'un produit dans le secteur de la haute technologie (Jain et Benyoucef 2008) (Jain et al., 2008, 2007). Cela montre l'importance des décisions relatives aux activités d'approvisionnement. En effet, ces décisions déterminent la partie la plus importante du coût final d'un produit. Parmi ces décisions, le choix des fournisseurs est sans doute la décision la plus critique (Ding et al., 2008, Jain et al., 2007). Pour différents secteurs d'activités, les exemples sont multiples témoignant de l'importance de ces décisions qui a des impacts sur la pertinence et la viabilité de l'entreprise à long terme (Aissaoui et al., 2007, Thompson, 1990).

La recherche de nouveaux fournisseurs est une priorité majeure pour toute entreprise qui souhaite persister et gagner de nouvelles parts du marché sachant que ce dernier (le marché) est sans merci. Cela est lié sans doute à plusieurs aspects parmi lesquels 1) la réduction du cycle de vie des produits (très court, de 3-4 années) où de nouveaux modèles doivent être fréquemment développés en utilisant le plus souvent des composants innovants et/ou des technologies nouvelles et 2) la majorité des industries sont, historiquement, très consommatrices de main d'oeuvre qui a conduit sans doute à des variations complexes tant sur les besoins en matières premières qu'en main d'oeuvre qualifiée face à un marché chaotique.

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire de thèse abordent le problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat. *Notre principal défi est de développer une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour résoudre ce problème dans un environnement dynamique et aléatoire.*

Le rapport de thèse est structuré en cinq chapitres comme suit.

Le chapitre 1 est dédié principalement à la présentation du contexte et des motivations de notre travail de recherche. Dans un premier temps, nous rappelons quelques définitions des différents concepts liés à la gestion de la chaîne logistique ainsi que les différents niveaux décisionnels respectivement stratégique, tactique et opérationnel. Pour mieux représenter notre problématique de recherche, quelques problèmes de gestion de la chaîne sont recensés. Nous terminons le chapitre par la présentation des motivations de notre travail de recherche en insistant sur les types de critères utilisés (quantitatifs et qualitatifs), les méthodes de résolution proposées, l'aspect groupe de décideurs et la dynamique de la chaîne logistique.

Le chapitre 2 présente notre état de l'art sur les travaux de recherches dédiés au problème de choix des fournisseurs. Dans la section 2.2, le problème de choix de fournisseurs sans affectation des ordres d'achat est abordé. Dans la section 2.3, nous insistons sur le problème de choix avec affectation des ordres d'achat. La section 2.4 est consacrée à la présentation des différents critères de choix. La section 2.5 décrit en détails le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat traité dans le cadre de ce travail de recherche. La section 2.6 présente un tour d'horizon des différents concepts et définitions en relation avec l'acquisition et la gestion des connaissances. Nous insistons sur les présentations des algorithmes RULES3 et RULES6 utilisés dans le développement de l'approche proposée.

Le chapitre 3 détaille certains concepts théoriques utilisés dans le développement de notre approche. Plus précisément, ces concepts concernent les ensembles flous ; la méthode d'agrégation des matrices ; les méthodes de calcul de l'indice de consistance et du ratio de consistance des matrices ; les méthodes AHP (Analytic Hierarchy Process) et AHP floue et les méthodes TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) et TOPSIS floue.

Le chapitre 4 décrit la structure générale de l'approche proposée. Une présentation des problèmes de décision multicritère avec une structure hiérarchique. Pour permettre une meilleure visibilité, cette structure hiérarchique est projetée sur le problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat. Le chapitre termine par recenser certaines d'hypothèses de notre problématique.

Le chapitre 5 détaille les expériences numériques réalisées qui permettent de démontrer l'applicabilité de l'approche développée dans le cadre de cette thèse. Une comparaison entre les résultats obtenus en utilisant l'algorithme RULES3 et ceux en utilisant l'algorithme RULES6 est illustrée et les résultats obtenus analysés. Le chapitre termine par la présentation

de l'application de l'approche dans le cas d'un problème de grande taille. Les résultats obtenus permettent d'attester que l'approche peut être appliquée avec succès sur des problèmes de grandes tailles

Nous terminons ce mémoire par quelques remarques et perspectives pour des travaux de recherche futurs sur le problème.

Le figure 1 présente le synoptique du mémoire afin de faciliter sa lecture.

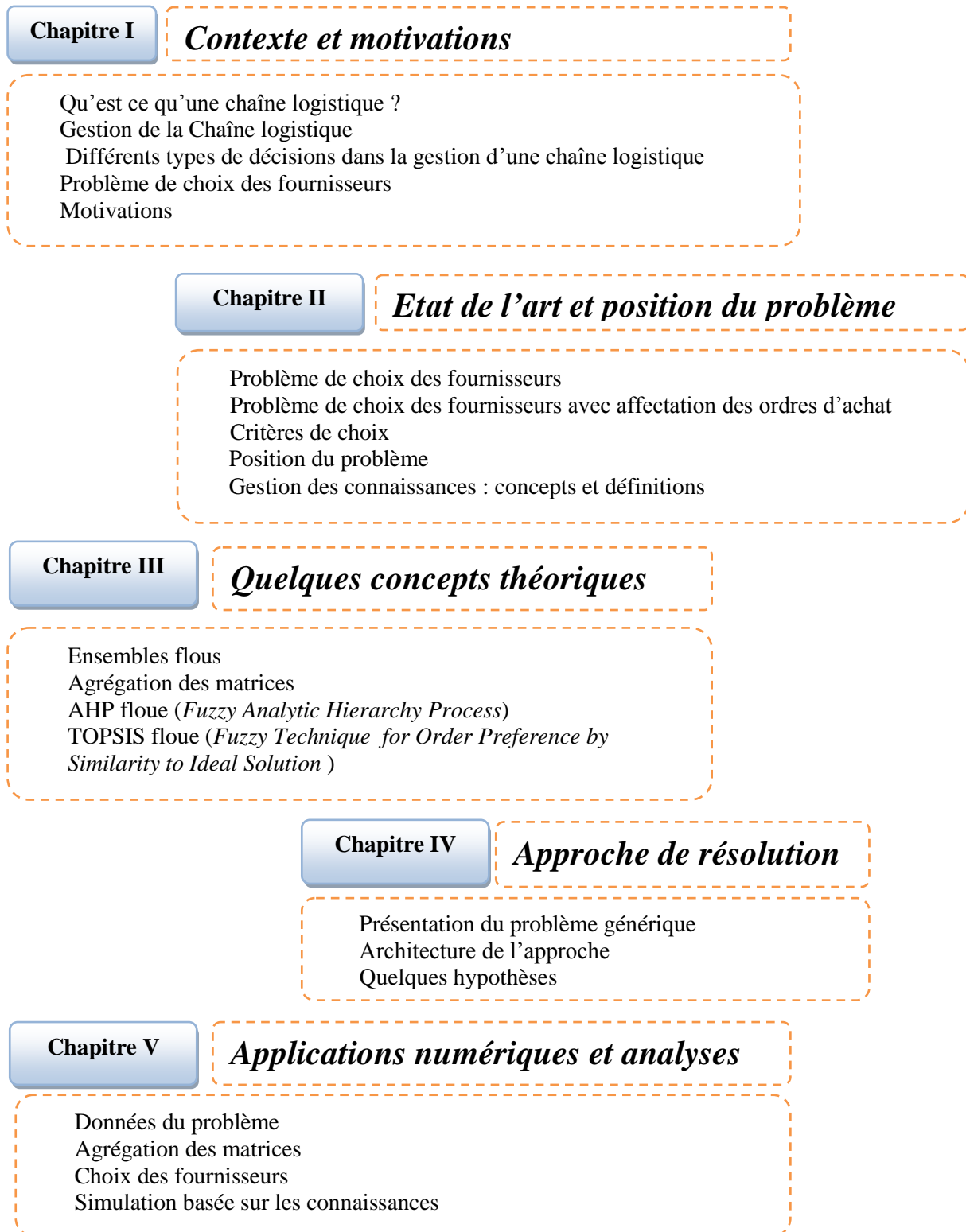


Figure 1.Synoptique du manuscrit de thèse

Chapitre 1 Contexte et motivations

Ce chapitre est dédié principalement à la présentation du contexte et des motivations de notre travail de recherche. Dans un premier temps, nous rappelons quelques définitions des différents concepts liés à la gestion de la chaîne logistique ainsi que les différents niveaux décisionnels respectivement stratégique, tactique et opérationnel. Pour mieux représenter notre problématique de recherche, quelques problèmes de gestion de la chaîne sont recensés. Nous terminons le chapitre par la présentation des motivations de notre travail de recherche en insistant sur les types de critères utilisés (quantitatifs et qualitatifs), les méthodes de résolution proposées, l'aspect décision de groupe et la dynamique de la chaîne logistique.

1.1. Introduction

Confrontées à des marchés instables, de plus en plus concurrentiels et globalisés, beaucoup d'entreprises constatent les limites de l'optimisation de leurs seuls systèmes de production. Ces entreprises cherchent à explorer de nouvelles sources de compétitivité à travers l'optimisation de leurs chaînes logistiques et de leurs relations avec leurs partenaires. Fournir au client le produit et/ou le service désiré, avec des conditions de coût, qualité et délais meilleures que celles offertes par les concurrents sur le marché est de nos jours le souci majeur de chaque entreprise existant dans un marché local et/ou international.

Le monde d'hier était caractérisé par des produits standards, des productions de masse et des demandes client généralement prévisibles. De nos jours, la situation se situe quasiment à l'opposé. En effet, les clients de plus en plus exigeants imposent des solutions sur mesure (variété élevée), des demandes incertaines, en petites quantités et avec un degré d'incertitude toujours plus important. Un client peut, à tout moment, changer ou annuler sa commande, même si les produits sont en cours de livraison. Comme le constate les experts, la concurrence dans un futur proche ne sera pas entre les entreprises mais entre les chaînes logistiques ou 'Supply Chain' (Christopher, 1992).

L'intérêt accordé à la notion de chaîne logistique résulte d'une vision globale de l'entreprise. Les études montrent que les gains potentiels attendus par une entreprise qui s'intéresse uniquement à sa gestion interne sont très limités si on les compare aux gains potentiels sur toute la chaîne logistique. D'où l'intérêt de dépasser les frontières de l'entreprise et d'intégrer tous les partenaires (fournisseurs, centres de distribution, etc.), de manière à ce que les produits demandés soient fabriqués, avec la qualité exigée, et distribués aux bons clients, aux bons moments, en profitant de la synergie des partenaires à travers une gestion globale de la chaîne.

Plusieurs cas industriels attestent des bénéfices qu'une entreprise peut tirer lorsqu'elle adopte une vision globale de ses activités. A titre d'exemple, la réorganisation du réseau de production et de distribution de la société Digital Equipment Corporation lui a permis de réaliser des économies considérables de l'ordre de 100 millions de dollars selon (Arntzen et *al.*, 1995). De même, Hewlett Packard (HP) a réduit ses coûts d'approvisionnement de 25% en cherchant une meilleure optimisation de la localisation de ses stocks à travers le monde (Lee et *al.*, 1993).

1.2. Qu'est ce qu'une chaîne logistique ?

La littérature dédiée à l'étude des chaînes logistiques est très riche. Dans cette section, nous rappelons quelques définitions de la notion de chaîne logistique.

Définition 1.1 : Une chaîne logistique est « *un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Nous trouvons la chaîne logistique dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre* », (Ganeshan, 1995).

Définition 1.2 : Une chaîne logistique est « *le processus depuis les matières premières initiales jusqu'à la consommation finale du produit fini intégrant les fournisseurs et utilisateurs – Les fonctions à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise qui permettent à la chaîne de valeur de fabriquer des produits et fournir des services au client* » (APICS, 1998).

Définition 1.3 : Une chaîne logistique est définie comme « *un réseau global d'organisations qui coopèrent pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des flux de matière et d'informations entre les fournisseurs et les clients* » (Fenies et Gourmand, 2004).

En Général, une chaîne logistique inclut la transformation et le transport des produits, depuis les formes de matières premières et composants, en passant par les différentes phases de production, d'assemblage, de stockage et de distribution, jusqu'à l'obtention des produits finis. En plus des flux de matières, une chaîne logistique compte deux autres flux respectivement d'informations et financiers. Chaque étape de transformation ou de distribution des produits peut impliquer des entrées venant de plusieurs fournisseurs et des sorties allant vers plusieurs clients intermédiaires, avec également différents flux d'informations. Une chaîne logistique est dite 'globale' si ses sites sont localisés ou peuvent être localisés dans différents pays lors de sa conception. Dans ce cas, des aspects relatifs à l'importation et l'exportation comme les taux de change, les taxes douanières, les assurances, les législations doivent être prises en compte. La figure 2 illustre les trois flux.

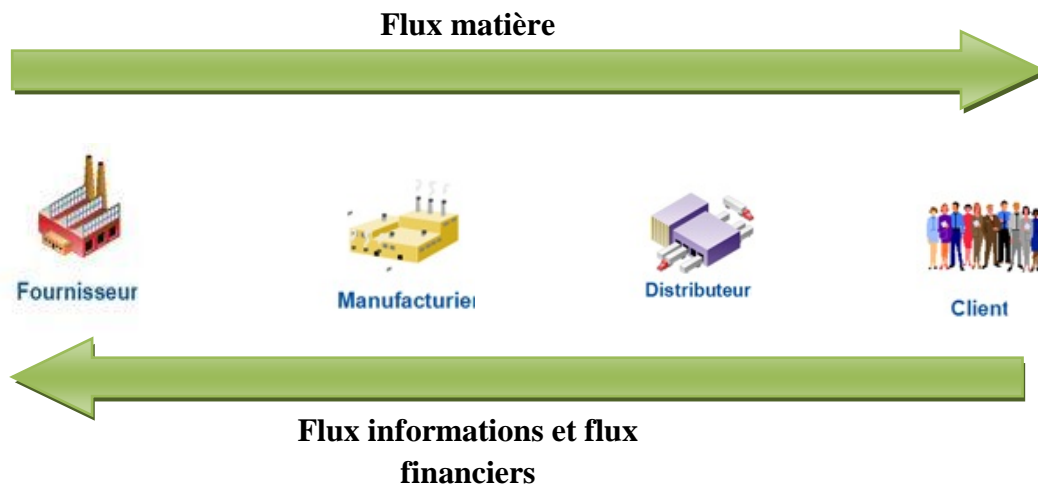


Figure 2. Différents flux et entités dans une chaîne logistique

1.3. Gestion de la Chaîne logistique

La gestion de la chaîne logistique traite plusieurs types de problèmes, en fonction de l'horizon de décision considéré. Les décisions liées à la gestion des Chaînes logistiques sont classées en deux catégories. Les décisions structurelles, par exemple la localisation d'une nouvelle unité de production ou d'un centre de distribution, impactent sur les performances de la chaîne logistique à long terme. Les décisions opérationnelles, comme l'ordonnancement des tâches, le choix de niveau de stock d'un produit, l'impact de ces décisions est à court terme, (Thierry et *al.*, 2008).

Selon Smich- Levi et *al.* (2000), la gestion d'une chaîne logistique est un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs et les centres de distribution, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée avec une bonne quantité, au bon endroit et au bon moment dans l'objectif de minimiser les coûts de production et de garantir le niveau de service exigé par le client.

Tan (2001) identifie deux grands courants qui ont adhéré au développement du concept de gestion de la chaîne logistique. Le premier courant « achat-approvisionnement » insiste sur l'intégration des différents partenaires de la chaîne pour une gestion optimale des activités d'approvisionnement. Le deuxième courant « transport-logistique » insiste sur l'intégration des partenaires de la chaîne pour une gestion optimale des activités de transport. La figure 3 illustre les éléments clés de chaque courant.

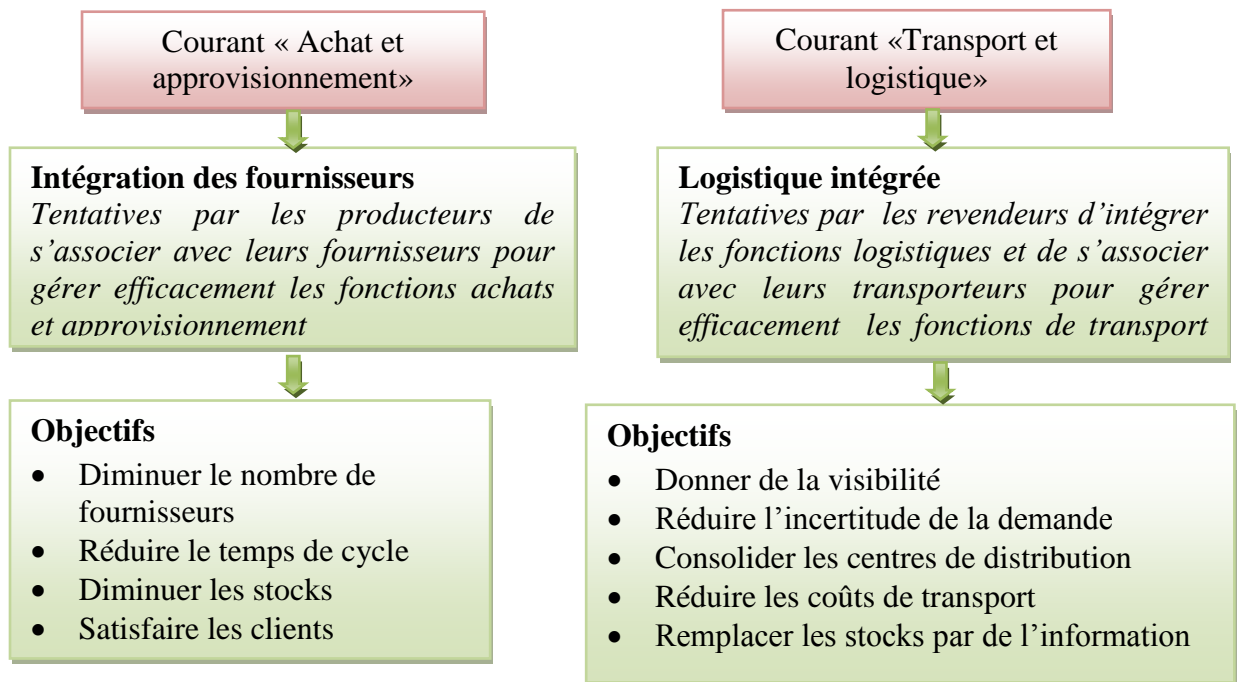


Figure 3. Courants structurant le concept de gestion de la chaîne logistique (Tan, 2001)

1.4. Différents types de décisions dans la gestion d'une chaîne logistique

Pour situer les différents problèmes de gestion des chaînes logistiques, les décisions correspondantes sont généralement regroupées en trois niveaux hiérarchiques respectivement stratégique, tactique et opérationnel (Ballou, 1999, Ding, 2004 et Thierry et al., 2008).

- **Décisions stratégiques (DS)**

Il s'agit de la politique à long terme de l'entreprise. Présent sur un horizon de plus de deux ans, ces décisions ont des impacts sur les performances et la durabilité de l'entreprise. La configuration de la chaîne, en particulier la localisation des différents sites (fournisseurs, usines, centres de stockage et de distribution) et le choix des différents modes de transport, sont des décisions stratégiques que les entreprises cherchent à optimiser en premier.

- **Décisions tactiques (DT)**

Les décisions du niveau tactique permettent de produire au moindre coût pour satisfaire les demandes prévisibles en s'inscrivant dans le cadre fixé par le plan stratégique de l'entreprise (donc à ressources matérielles et humaines connues). Elles sont présent sur un horizon de moins de 18 mois comme par exemple la détermination des quantités à approvisionnées, la définition d'un plan de distribution, etc.

- Décisions opérationnelles (DO)

Dans le respect des décisions tactiques et pour faire face à des demandes au jour le jour, des décisions opérationnelles sont prises pour assurer le fonctionnement au quotidien de la chaîne. Parmi ces décisions, on trouve la gestion des stocks, la gestion de la main d'œuvre, la gestion des équipements, l'ordonnancement de la production, etc.

Ces trois classes de décisions de gestion de la chaîne logistique se différencient par au moins trois éléments :

- Par l'horizon de temps considéré. Les décisions opérationnelles sont prises au jour le jour. Les décisions tactiques concernent la planification à moyen terme. Les décisions stratégiques concernent la planification à long terme.
- Par le niveau d'agrégation. Les décisions opérationnelles sont prises au niveau de l'atelier, les décisions tactiques au niveau de l'usine et les décisions stratégiques au niveau de l'ensemble de l'entreprise.
- Par le niveau de responsabilité. Les décisions opérationnelles sont prises par les agents de maîtrise, les décisions tactiques par les cadres et les décisions stratégiques par la direction générale de l'entreprise.

1.5. Quelques problèmes dans la gestion d'une chaîne logistique

La gestion d'une chaîne logistique exige, non seulement des outils performants, mais aussi des compétences et des expériences humaines afin de déterminer : (i) le nombre, la localisation, la capacité, les types d'usines, d'entrepôts, de centres de distribution à utiliser ; (ii) l'ensemble des fournisseurs potentiels à sélectionner ; (iii) les différents modes de transport à choisir ; (iv) les quantités de matières premières et produits finis à acheter, produire, stocker et transporter des fournisseurs aux clients finaux passant par les différentes usines, entrepôts et centres de distribution en utilisant les différents modes de transport, etc. Ce ne sont pas des décisions faciles, surtout à l'échelle internationale, et exigent une étude délicate. Différents problèmes, liés à la gestion des chaînes logistiques, ont été étudiés et les techniques utilisées rapportées dans la littérature. Néanmoins, du fait de la complexité de la modélisation et la résolution, certaines problématiques n'ont pas reçu l'attention nécessaire.

Nous rappelons ci-dessous quelques problèmes de prise décisions rencontrés lors de la gestion d'une chaîne logistique classées par type de logistique :

1. Logistique d'approvisionnement

- Choix des fournisseurs (DS)
- Planning d'approvisionnement (DS)
- Coordination (DS)
- Dimensionnement des effectifs (DT)
- Plan des besoins matières (DT)
- Plan des effectifs (DO)
- Politiques d'approvisionnement (synchrone, Kanban, JIT, etc.)

2. Logistique de production

- Localisation des centres de production (DS)
- Configuration des centres de production (DS)
- Choix des technologies (DS)
- Gestion des stocks (DT)
- Planification de la production (DT)
- Gestion des machines/ateliers (DT)
- Tailles des lots (DO)
- Programmation des machines (DO)
- Ordonnancement des opérations (DO)

3. Logistique de distribution

- Configuration du réseau de distribution (urbain, grande distribution, etc.) (DS)
- Choix des modes de transport (DS)
- Plan de distribution (DT)
- Gestion des stocks des entrepôts (DT)
- Gestion et contrôle dynamiques des ressources et opérations (routes, personnels, horaires, ...) (DO)

4. Logistique de vente

- Plan marketing (DS)
- Plan stratégique des ventes (DS)
- Prévision moyen terme des ventes (DT)
- Plan court terme des ventes (DO)

Le problème de choix de fournisseurs fait partie des problèmes conception de la chaîne logistique de niveau stratégique. Ce choix est l'une des décisions qui ont un impact considérable sur la performance globale de l'entreprise. Il consiste à choisir certains fournisseurs parmi un ensemble de fournisseurs potentiels qui se chargeront de l'approvisionnement de la chaîne logistique. Les décisions de choix sont compliquées du fait que divers critères (qualitatifs et quantitatifs) doivent être considérés dans le choix. De plus, cette décision fait l'objet d'un choix de groupe de décideurs pour permettre une meilleure coordination entre différents services de l'entreprise. L'analyse et l'utilisation de tels critères dans un contexte de groupe de décideurs ont fait l'objet de recherches depuis plusieurs années. La figure 4 présente un exemple de choix de fournisseur.

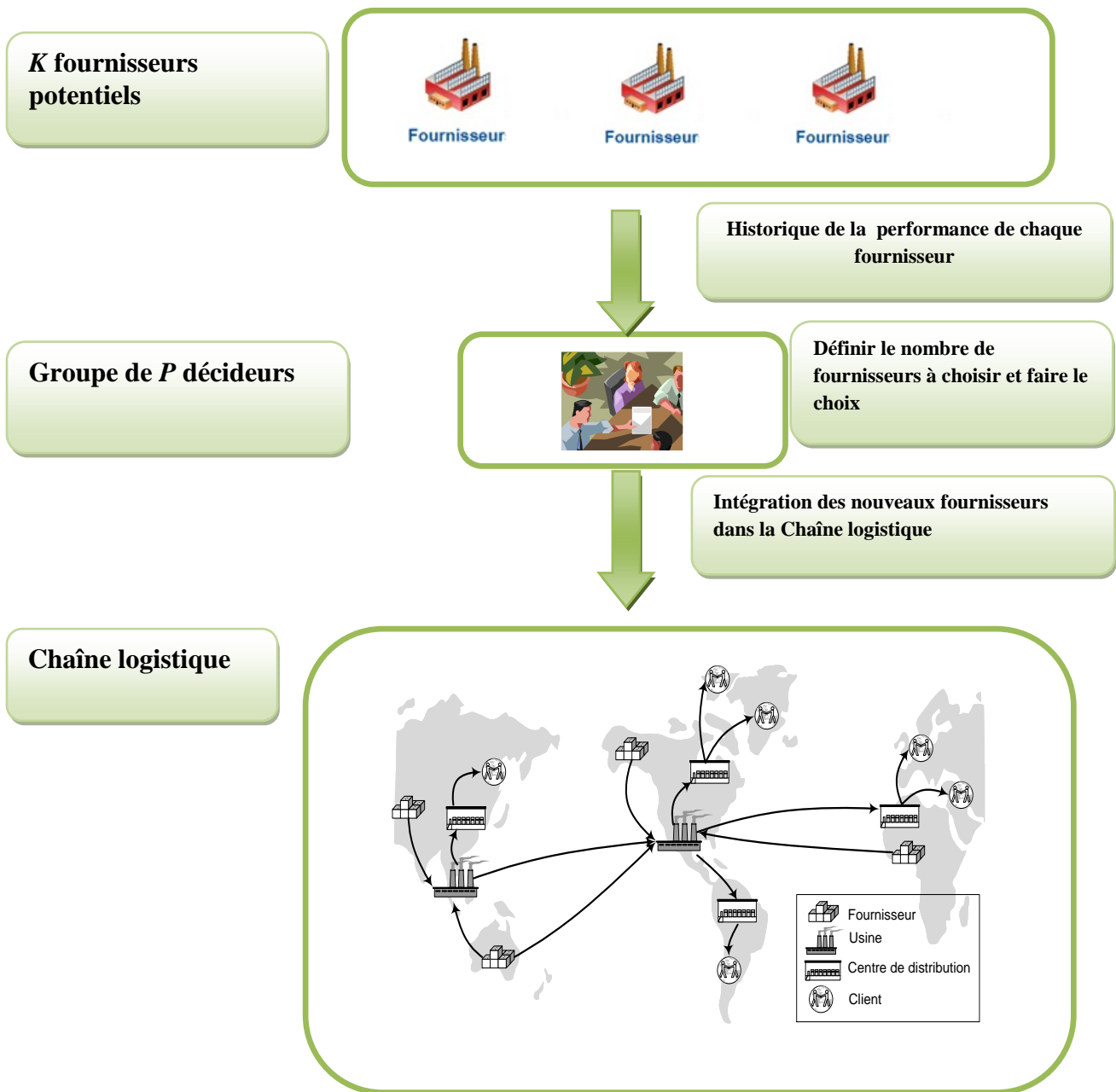


Figure 4. Problème de choix de fournisseurs

1.6. Nos motivations

L'état de l'art est très riche de travaux dédiés au problème de choix de fournisseurs. Lié à sa complexité, peu de travaux abordent explicitement le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat. Nous recensons ci-dessous quelques points importants qui ont motivés le développement d'une nouvelle approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour traiter ce problème de décisions multicritères.

- **Motivation 1** : La majorité des approches développées sont basées sur des critères fonctionnels/classiques tels que la qualité, le prix, le délai de livraison, etc. *Ces approches ne considèrent pas les répercussions de la stratégie globale de l'entreprise sur les décisions en tenant compte explicitement des critères qualitatifs tels que l'innovation, la flexibilité, le risque, l'agilité, la réactivité, etc.* (Chan et Kumar, 2007).
- **Motivation 2** : L'aspect multicritères dans le choix de fournisseurs est très important. *Toutefois, la majorité des approches utilisées cherchent à orienter/modifier les critères qualitatifs et par fois quantitatifs vers le coût* (Chan, 2003, Chan et Kumar, 2007).
- **Motivation 3** : Le problème de choix de fournisseurs demande une décision ou un ensemble de décisions, qui nécessitent l'intervention de plusieurs services de l'entreprise (Dyer et Forman, 1992). La méthode AHP prend en compte cet aspect de groupe de décideurs. Saaty (1989, 1990) décrit la méthode AHP avec un groupe de décideurs, où il propose des solutions pour trouver un compromis entre les préférences des décideurs. *Mitchell et Wasil (1989) constatent que les petits groupes de décideurs sont plus efficaces, mais pour que la décision finale soit acceptée et mise en œuvre le mieux serait de se baser sur des groupes de décideurs de tailles importantes.*
- **Motivation 4** : Dans la pratique, les comportements futurs des fournisseurs et du marché sont incertains. Par conséquent, il est difficile d'affecter une valeur fixe pour chaque fournisseur par rapport à un critère donné. Les approches basées sur des scénarios traitent ce type de problème. Malheureusement, afin d'explorer toutes les configurations possibles pour les différentes entités de la chaîne, un grand nombre de scénarios est nécessaire ce qui est difficile à gérer. *Pour cela, le décideur affecte le plus souvent un intervalle qui décrit le comportement des entités de la chaîne avec des lois de probabilité* (Jain et al., 2009). *Cette méthode n'est malheureusement pas facile à mettre en place et nécessite beaucoup d'efforts de la part du décideur. Par conséquent, il est possible d'utiliser d'autres représentations plus malléable et facilement interprétable telles que les règles de décision basées sur les connaissances.*
- **Motivation 5** : La plupart des études sur le choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat proposent des modèles et des approches avec des hypothèses restrictives sur la manière de répartir les ordres entre les différents fournisseurs choisis (le plus souvent des répartitions équivalentes entre les différents fournisseurs). *Cette*

hypothèse restrictive place les fournisseurs choisis au même niveau d'importance. Par conséquent, l'intégration explicite de la stratégie de répartition des ordres d'achat lors du choix des fournisseurs est une très importante (Wu et al., 2009, Guneri et al., 2009).

- **Motivation 6** : Bien que l'état de l'art est très riche de travaux qui traite la question de sélection des critères utilisés lors du choix, toutefois, *il existe un manque important dans la sélection des critères relatifs à la sécurité, à la localisation géographique, à la stabilité politique et économique, etc. qui sont devenus extrêmement importants. De plus, il n'est toujours pas facile pour une entreprise d'évaluer et choisir les fournisseurs sur la base de ces critères (Chan et Kumar, 2007).*
- **Motivation 7** : Plusieurs approches mathématiques ont été développées par le passé pour traiter le problème de choix de fournisseurs. Toutefois, ces méthodes ne considèrent pas explicitement les critères qualitatifs et le plus souvent les transforment en critères quantitatifs. La prise en compte explicite des critères qualitatifs lors du choix est une nécessité pour les décideurs (Ding et al., 2008).

1.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le contexte et les motivations de notre travail de recherche. Dans un premier temps, quelques définitions des différents concepts liés à la gestion de la chaîne logistique ainsi que les différents niveaux décisionnels (stratégique, tactique et opérationnel) sont abordées. Pour mieux représenter notre problématique de recherche, nous avons listé quelques problèmes de gestion de la chaîne.

Dans une deuxième partie, nous avons présenté en détails les motivations de notre travail de recherche en insistant sur les types de critères utilisés (quantitatifs et qualitatifs), les méthodes de résolution proposées, l'aspect décision de groupe et la dynamique de la chaîne logistique (l'évolution de la chaîne logistique dans le temps).

Le chapitre qui suit donne un état de l'art complet du problème de choix de fournisseurs. Nous mettons l'accent sur les travaux où les stratégies d'affectation des ordres d'achat sont explicitement rapportées. De plus, une partie du chapitre sera consacrée à la présentation des différents critères de choix utilisés dans le cadre de cette thèse. Enfin, nous terminons le chapitre par une description détaillée du problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat traité dans le cadre de ce travail de recherche.

Chapitre 2 :Etat de l'art et position du problème

Ce chapitre présente notre état de l'art sur les travaux de recherches dédiés au problème de choix des fournisseurs. Dans la section 2.2, le problème de choix de fournisseurs sans affectation des ordres d'achat est abordé. Dans la section 2.3, nous insistons sur le problème de choix avec affectation des ordres d'achat. La section 2.4 est consacrée à la présentation des différents critères de choix. La section 2.5 décrit en détails le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat traité dans le cadre de ce travail de recherche. La section 2.6 présente un tour d'horizon des différents concepts et définitions en relation avec l'acquisition et la gestion des connaissances. Nous insistons sur les présentations des algorithmes RULES3 et RULES6 utilisés dans le développement de l'approche proposée. Une conclusion termine le chapitre.

2.1. Introduction

Le problème du choix de fournisseurs est l'une des décisions stratégiques qui ont un impact considérable sur la performance de l'entreprise. Avec les évolutions des systèmes manufacturiers, cette décision devient plus en plus critique. Pour le décideur, le problème de choix de fournisseurs consiste à déterminer le nombre de fournisseur et le portefeuille de fournisseurs à retenir.

L'état de l'art est très riche de travaux dédiés au problème de choix des fournisseurs. Dans cette section, nous insistons sur les travaux où les méthodes suivantes ont été utilisées respectivement: AHP (*Analytic Hierarchy Process*); ANP (*Analytic Network Process*); DEA (*Data Envelopment Analysis*); TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*); CBR (*Case Based Reasoning*); P-SVM (*Potential Support Vector Machine*); GP (*Goal Programming*); MP (*Mathematical Programming*) et MOMILP (*multi-objectif mixed integer linear programming*).

2.2. Problème de choix des fournisseurs

Sevкли et *al.* (2008) commencent par donner une présentation du modèle de l'entreprise BOEING. Dans sa stratégie, BOEING adopte un programme de certification des fournisseurs privilégiés et un processus rigoureux de choix des fournisseurs pour avoir des relations à long terme. Les auteurs proposent une méthode dénommée DEAHF (*Data Envelopment Analytic Hierarchy*) un couplage de la méthode DEA avec la méthode AHP pour traiter le problème de choix de fournisseurs chez BOEING. Les étapes principales de cette méthode DEAHF sont principalement: (i) définition des critères de décision pour l'implémentation de la structure hiérarchique; (ii) calcul des poids des critères et (iii) calcul du poids global de chaque fournisseur. Les auteurs comparent les résultats obtenus par DEAHF et AHP en utilisant un cas d'étude de BOEING. Ils concluent que les résultats obtenus par DEAHF sont meilleurs que ceux obtenus par la méthode AHP.

Benyoucef et *al.* (2008) traitent un problème de choix de fournisseurs issus de l'industrie textile. Le problème consiste à choisir un certain nombre de fournisseurs parmi les fournisseurs potentiels, les modes de transports à utiliser et la politique de stockage à adopter par l'unique centre de distribution de la chaîne. Ils présentent une approche d'optimisation basée sur la simulation utilisant les algorithmes génétiques multicritères pour résoudre ce problème.

Chan et al. (2007) s'intéressent à un problème de choix de fournisseurs à l'échelle internationale et justifient l'utilisation du critère 'situation politique et économique du pays d'origine du fournisseur candidat'. Les auteurs utilisent la méthode AHP floue pour résoudre le problème. Ils justifient le choix de la méthode AHP par sa nature pratique et systématique pour ce type de problème. De plus, la logique floue est utilisée en raison de sa capacité de représenter les informations incertaines. Un exemple numérique est présenté permettant de valider la méthode. Pour conclure, les auteurs constatent que la complexité du problème croît en fonction du nombre des critères et sous-critères utilisés dans une dimension internationale du problème.

Jain et al. (2007) présentent un état de l'art dédié aux méthodes utilisées pour la résolution du problème de choix des fournisseurs. Ils recensent l'ensemble des méthodes utilisées et lisent les avantages et les inconvénients de chacune. Les auteurs proposent une méthode basée sur «*Association Rules Mining Algorithms*» floue pour avoir plus de flexibilité dans l'évaluation des fournisseurs et les prises de décisions. Ils justifient le choix de la logique floue par la nature des informations utilisées qui ont une forme qualitative et non quantitative. Après la définition des différents critères, les auteurs utilisent une base de données qui contient certaines informations propres à chaque fournisseur par rapport aux critères de choix. Sur un exemple numérique, les auteurs montrent l'efficacité de la méthode développée et insistent sur le fait que les règles peuvent être exploitées via une base de données pour fournir aux décideurs une évaluation plus souple des fournisseurs potentiels.

Tanonkou et al. (2007) traitent un problème de conception d'un réseau de distribution stochastique où les décisions de sélection des fournisseurs, de localisation des centres de distribution et d'affectation des zones de demande sont traitées simultanément. L'objectif est de résoudre un problème d'optimisation complexe qui regroupe trois niveaux de décisions : (i) choix des localisations des centres de distribution, (ii) sélection des fournisseurs pour assurer les approvisionnements (en un seul type de produit) et enfin, (iii) affectation des zones de demande aux centres localisés. Une formulation du problème en MOMILP et une approche de résolution basée sur la relaxation lagrangienne sont proposées. Des expériences numériques sont réalisées et analysées dans les cas des délais d'approvisionnement aléatoires et constants.

Kumar et al. (2003) proposent une approche basée sur la méthode GP en nombres entiers dans un environnement flou (fuzzy mixed integer goal programming). Les auteurs cherchent à optimiser trois principaux critères à savoir : minimiser le coût global, minimiser les rejets des demandes faites et minimiser le nombre de livraisons en retard. L'ensemble est soumis à

différentes contraintes liées aux demandes clients, aux capacités des fournisseurs, aux budgets alloués aux fournisseurs, etc. Cette formulation est très efficace pour résoudre des problèmes dans le cas où les informations sont de natures vagues et incertaines.

Ghodsypour et O'Brien (2001) présentent une approche basée sur la programmation non-linéaire mixte (cas mono et multi-objectif) pour résoudre un problème de choix de fournisseurs. L'approche tient compte des limitations des budgets des différents clients, des coûts logistiques, des prix, etc. Un exemple numérique est présenté pour montrer l'efficacité de l'approche.

2.3. Problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat

Pour résoudre un problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat multicritères, Mafakheri *et al.* (2011) proposent une approche composée de deux étapes basée sur la programmation dynamique. Pour la première étape la méthode AHP est utilisée pour traiter le problème de décision multicritères pour la classification des fournisseurs. La deuxième étape un modèle est proposé pour calculer les ordres d'achats dans la fonction objectif est la minimisation du coût total dans la chaîne logistique. Les contraintes inclus dans le modèle sont : contraintes liées à la demande, contraintes liées à la capacité et contraintes liées au niveau du stock. Pour résoudre le problème une approche basée sur la programmation dynamique est développée.

Rezaei et Davoodi (2011) développent pour un problème choix des fournisseurs avec dimensionnement des lots (lot-sizing) dans le cas d'une chaîne logistique multi-produits, deux modèles sont proposés. Les deux modèles sont construits à la base de trois fonctions objectifs qui sont, coût, qualité et le niveau de service et un ensemble de contrainte. A cause de la complexité des deux modèles les auteurs utilisent l'algorithme NSGA-II comme méthode de résolution.

Amin *et al.* (2011) appliquent la méthode SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*) pour résoudre en premier temps le problème de choix des fournisseurs. Grâce à l'intégration des nombres flous triangulaires, la méthode SWOT traite des critères qualitatifs et quantitatifs en même temps. Pour déterminer les ordres d'achat pour les fournisseurs choisis un programme linéaire en nombres flous. Pour montrer l'efficacité de la méthode un cas d'étude est présenté.

Lin (2009) propose une méthode de choix de fournisseurs en tenant compte des effets de l'interdépendance entre les critères de choix. Parmi les critères utilisés, le prix ; la qualité et le délai de livraison. La méthode est composée de deux étapes principales : (i) la première étape permet de résoudre le problème de choix de fournisseurs en combinant la méthode ANP avec la programmation mathématique en nombres flous et (ii) la deuxième étape utilise la programmation linéaire multi-objectif pour résoudre le problème de calcul des ratios d'affectation des ordres d'achat.

Pour une entreprise de télécommunication, Onüt *et al.* (2009) proposent une approche basée sur un couplage entre la méthode ANP floue et la méthode TOPSIS floue pour résoudre un problème de choix de fournisseurs. Des nombres flous triangulaires sont utilisés dans toutes les matrices de comparaison. Les critères prix, qualité, temps de livraison et temps de production sont utilisés lors du choix.

Lee (2008) développe une approche innovante pour évaluer la relation entre le donneur d'ordre et le fournisseur. L'approche AHP floue est utilisée ainsi que les critères prix et risque pour le choix des fournisseurs. Guo *et al.* (2009) proposent une approche qui combine entre P-SVM et l'arbre de décision. Pour appliquer cette approche, le problème de choix des fournisseurs est transformé en problème de classification.

Wu *et al.* (2009) développe une approche hybride basée sur l'arbre de décision, les réseaux de neurones et la méthode DEA pour évaluer les performances des fournisseurs potentiels. L'approche est composée de deux modules: le premier pour la classification des fournisseurs. Le deuxième module pour l'apprentissage sur les nouveaux fournisseurs. De même, Guneri *et al.* (2009) développent une approche basée sur un couplage entre la méthode TOPSIS floue et la programmation linéaire pour traiter le problème.

Faez *et al.* (2009) décrivent une nouvelle approche intégrant la programmation mathématique avec la méthode CBR (*Case Based Reasoning*) floue. L'approche proposée vise à améliorer les méthodes CBR avec l'intégration des paramètres flous pour la décision de choix de fournisseurs. Plus précisément, un modèle de programmation en nombres entiers est employé pour trouver les meilleurs fournisseurs et calculer les ordres d'achat pour chaque fournisseur choisi. Des contraintes liées à la demande client et aux capacités des fournisseurs sont intégrées dans le modèle.

Amid *et al.* (2009) s'intéressent à un problème de choix de fournisseurs où on cherche à minimiser le coût ; minimiser le nombre d'articles rejetés et minimiser le temps de retard de

livraison. En plus du choix des fournisseurs, les auteurs traitent le problème d'affectation des ordres d'achat avec un programme linéaire multi-objectif flou.

Wang *et al.* (2008a) développent un modèle basé sur la programmation en nombres entiers pour choisir les fournisseurs et déterminer les ratios des ordres d'achat. Le modèle cherche à minimiser le coût de stockage total de la chaîne logistique en respectant les contraintes de capacités des fournisseurs et en satisfaisant la demande client avec la qualité exigée. De plus, Sanayei *et al.* (2008) développent une approche basée sur la programmation linéaire et la théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) pour le classement, le choix des meilleurs fournisseurs et calcul des ordres d'achats.

Demirtas et Üstün (2008) proposent une approche à deux étapes. Quatorze critères quantitatifs et qualitatifs répertoriés en quatre classes respectivement bénéfice, opportunité, coût et risque sont utilisés. L'approche combine la méthode ANP avec la programmation linéaire en nombres entiers multi-objectif.

Aissaoui *et al.* (2007) présentent un état de l'art sur le problème de choix de fournisseur et dimensionnement des lots (lot-sizing). Les auteurs proposent une classification des derniers travaux réalisés sur le sujet.

La littérature est très riche avec des modèles et approches utilisant la programmation mathématique (programmation linéaire (Pan, 1989), goal programming (Buffa et Jackson, 1983), programmation mixte en nombre entier (Basnet et Leung 2005, Rosenthal *et al.*, 1995 et Chaudhry *et al.*, 1993) et la programmation non-linéaire (Ghodsypour et O'Brien, 2001 et Rosenblatt *et al.*, 1998) principalement dans des environnements flous. Certaines approches font appel à d'autres méthodes dans un environnement flou comme AHP, ANP, DEA, TOPSIS (Zouggari et Benyoucef, 2011b), CBR, P-SVM, GP, MP et MOMILP. Dans le cadre de cette thèse et comme une contribution, nous visons le développement d'une nouvelle approche dans un environnement flou où un mécanisme de capitalisation des connaissances est incorporé permettant aux décideurs d'avoir une capacité d'appréciation des différents critères de choix et affectation des ordres d'achat.

2.4. Critères de choix

Pour le problème de choix des fournisseurs, Dickson (1966) est la référence par excellence pour avoir introduit les définitions des critères pertinents dans les années 60. Dans son étude, Dickson établit un classement de 23 critères selon leur importance dans le choix de

fournisseurs. Ce classement est basé sur un questionnaire envoyé aux responsables du service d'achat d'un certain nombre d'entreprises situées aux USA et au Canada. 273 réponses ont été reçues. A l'époque, les quatre critères les plus importants étaient dans l'ordre : la 'qualité' du produit, la performance de la livraison, la performance passée du fournisseur et la politique de 'garantie'.

Une revue détaillée est donnée par Weber et *al.* (1991), couvrant 74 articles sur choix de fournisseurs. Les auteurs observent que les aspects liés au 'prix', à la 'livraison', à la 'qualité' et à la 'capacité de production' sont les critères les plus souvent considérés dans la littérature. Au total, les 23 critères présentés dans l'étude de Dickson couvrent encore la plupart des critères utilisés de nos jours. Cependant, leurs importances changent suivant le contexte industriel considéré. Notamment le prix est aujourd'hui un critère clé dans un marché concurrentiel et instable (Quayle, 1998).

Dans son article, Ellram (1990) présente une étude des aspects importants à considérer dans le choix de fournisseurs. Il décrit en détails trois critères principaux : (i) l'état technologique du fournisseur; (ii) l'état financier du fournisseur et (iii) la stratégie et la culture organisationnelle du fournisseur. Pour chacun de ces trois critères principaux, l'auteur identifie plusieurs sous-critères importants.

De même Barbarosoglu et Yazgac (1997) regroupent les critères du choix de fournisseurs en trois catégories : (i) la capacité technique et l'état financier du fournisseur ; (ii) l'historique des performances du fournisseur et (iii) le système qualité du fournisseur. Comme dans (Ellram 1990), les auteurs présentent des sous-critères de choix pour chacun des trois principaux critères.

2.5. Position du problème

La chaîne logistique étudiée est composée de trois niveaux : un marché, un centre de distribution et un ensemble de fournisseurs potentiels (Figure 5).

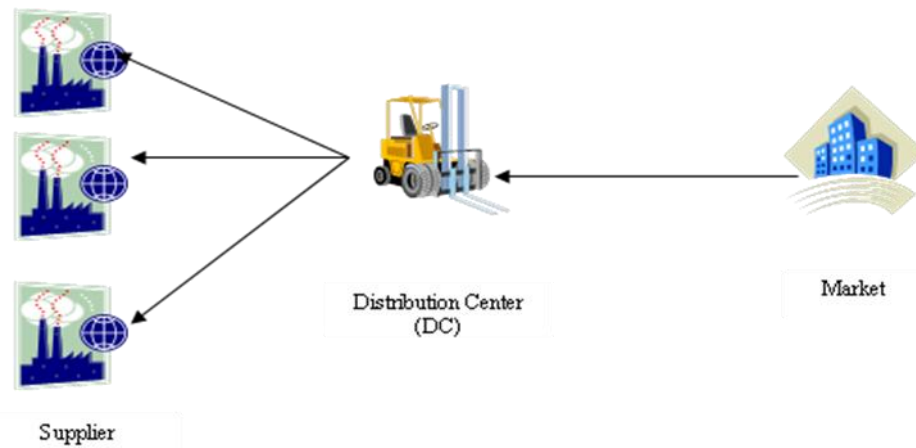


Figure 5. Structure la chaîne logistique étudiée

2.5.1. Marché (Client)

Entité dans laquelle la demande initiale en un seul type de produit est générée. Cette demande est livrée à partir du centre de distribution. La demande peut être représentée par un planning ou une loi de probabilité sur une période bien défini. Les attributs liés à la demande sont : la quantité demandée, la fréquence de la demande et la date de la demande. Dans notre chaîne logistique, nous supposons que le client génère la demande pour un seul type de produit.

2.5.2. Centre de distribution (DC)

Entité intermédiaire entre le fournisseur et le marché, le DC joue un rôle critique dans notre cas, le stock du DC est contrôlé selon une politique de gestion de stock défini par les décideurs. Le DC reçoit des demande du marché et envoi des commande aux fournisseurs selon sa stratégie de gestion de stock. Les principaux attributs liés à cette entité sont : capacité su stock, politique de gestion du stock, coût de la gestion du stock. Le rôle de cette entité dans la chaîne logistique est, la réception, le stockage et l'expédition.

2.5.3. Fournisseur

C'est l'origine du flux matière, le fournisseur alimente le DC en matière première, composants, produits semi-finis et aussi en produits finis. Dans notre étude nous ne nous intéressons pas au processus de fabrication et gestion de stock chez le fournisseur et nous avons ajouté au fournisseur la priorité d'avoir une capacité infinie. Selon (Ding, 2008), un fournisseur est une entité qui fabrique et assemble les produits pour les vendre aux acheteurs, qui peuvent être des usines, les centres de distribution ou des clients finaux.

2.5.4. Classes de critères utilisés

Dans le cadre de ce travail de recherche et pour classer les fournisseurs, nous avons utilisé la structure de 'classe'. Les quatre classes sont respectivement CLASSE I 'stratégie de performance', CLASSE II 'qualité du service', CLASSE III 'innovation' et CLASSE IV 'risque'.

1. Classe I 'stratégie de performance'

Quatre critères sont liés à cette classe :

- *Qualité* : pourcentage des produits qui respectent les exigences du DC en termes de qualité.
- *Prix* : prix unitaire communiqué par chaque fournisseur.
- *Age et position dans le marché* : âge du fournisseur, sa position dans le marché en terme de nombre de clients ou nombre de transactions effectuer.
- *Engagement environnemental* : pourcentage du profil du fournisseur dédié à la protection de l'environnement.

2. Classe II 'qualité du service'

Pour cette classe nous avons quatre critères

- *Livraison* : pourcentage des produits livrés dans les délais garantis par le fournisseur.
- *Service après vente* : temps de réponse pour une action de service après vente garantie par le fournisseur.
- *Actions de maintenance corrective* : mesures nécessaires définies et non planifiées par le fournisseur afin de maintenir la meilleure qualité de service.
- *Actions de maintenance préventive* : mesures nécessaires définies et planifiées par le fournisseur afin de maintenir la meilleure qualité de service.

3. Classe III 'innovation'

Pour cette classe nous avons deux critères

- *Recherche et développement* : pourcentage du bénéfice total du fournisseur consacré aux activités de recherche et de développement.
- *Service innovation* : pourcentage du bénéfice total du fournisseur consacré à l'innovation.

4. Classe IV ‘risque’

Nous avons deux critères pour la classe risque

- *Localisation géographique* : La localisation physique du fournisseur.
- *Stabilité économique et politique* : Le statut politique du pays du fournisseur et de sa nature vers les politiques commerciales peut influencer sur la relation à long terme entre l'entreprise et le fournisseur potentiel.

2.6. Gestion des connaissances : concepts et définitions

Avant de définir la gestion des connaissances, nous allons montrer la différence entre connaissance, information et donnée. Une connaissance n'est ni une information ni une donnée.

Définition 2.1 : Une donnée est un fait discret et objectif qui ne fait appel à aucune intention, ce qui lui confère son objectivité (Prax, 2000).

Définition 2.2: L'information est une collection de données organisées pour donner forme à un message (Prax, 2000).

Définition 2.3: L'information est un renseignement obtenu de quelqu'un ou sur quelque chose, en particulier une nouvelle communiquée au public par la presse, la radio, etc. Dictionnaire Larousse,(2005).

Définition 2.4: La connaissance est une capacité humaine acquise avec le temps, qui permet de relier des informations en leur donnant du sens (Prax, 2000).

En résumé de toutes ces définitions, les données sont donc des éléments primaires et relativement objectifs qui, une fois contextualisés et organisés, permettent de générer des informations. Des informations qui, après structuration et interprétation, laisseront émerger des connaissances. La figure 6 illustre le passage entre les trois concepts.

La capitalisation des connaissances vise à préserver et valoriser les connaissances de l'entreprise '*La capitalisation des connaissances dans une organisation a pour objectif de favoriser la croissance, la transmission et la conservation des connaissances dans cette organisation*' (Steels, 1993). *Elle peut porter tant sur le savoir théorique que sur le savoir-faire de l'entreprise. Elle nécessite la gestion des ressources de connaissances de l'entreprise afin de faciliter leur accès et leur réutilisation* (O'Leary, 1998). *Elle consiste donc à capturer*

et représenter les connaissances de l'entreprise pour faciliter leur accès, leur partage et leur réutilisation (Barthès, 1996).

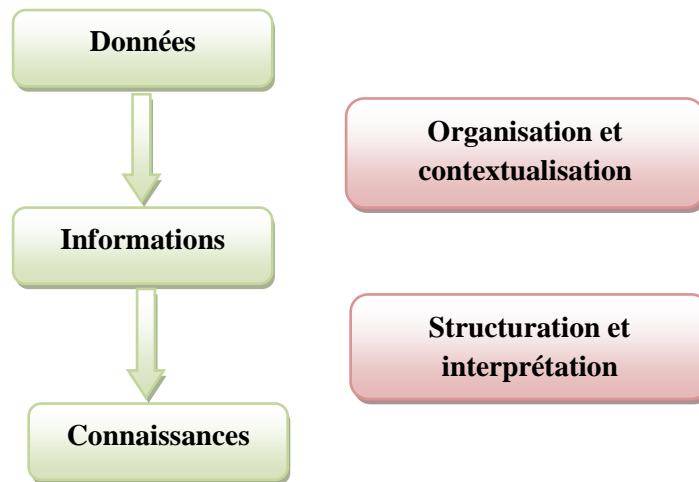


Figure 6. Passage entre données, informations et connaissances

Pour la gestion des connaissances, les techniques d'apprentissages automatiques sont indispensables. Ces techniques doivent faciliter l'acquisition de connaissances pour n'importe quel système. *L'acquisition de connaissances est le processus le plus long et difficile dans le développement des systèmes experts* (Pham and Dimov, 2003). Il existe plusieurs techniques utilisées dans des travaux de recherches pour l'apprentissage automatique, comme les réseaux de neurones, l'arbre de décision, etc.

L'état de l'art est très riche de techniques et méthodes d'acquisition des connaissances comme l'algorithme ID3 (Quinlan, 1983), l'algorithme ID5 (Utgoff, 1988) et CN2 (Clark et Boswell, 1991). Dans le cadre de cette thèse, nous nous limitons à la présentation de l'algorithme d'acquisition des connaissances appelé RULES dans ses deux versions RULES3 (Pham et Aksoy, 1993) et RULES6 (Pham and Afify, 2005).

Les deux algorithmes RULES3 et RULES6 ont besoin d'exemples d'apprentissage. Les éléments d'un exemple d'apprentissage sont les attributs et les classes. Le tableau 1 résume un exemple d'apprentissage, où les attributs sont respectivement météo ; arbres et température et les classes sont respectivement hiver ; printemps ; été et automne. Ces quatre classes représentent les quatre saisons de l'année.

Tableau 1. Exemple d'apprentissage

Exemple	Météo	Arbres	Température	Saison
1	soleil	vert	Moyenne	printemps
2	soleil	jaune	Elevée	été
3	pluvieux	sans feuilles	Moyenne	automne
4	pluvieux	sans feuilles	Basse	hiver
5	neige	sans feuilles	Basse	hiver

La qualité des règles dépend de la qualité de l'exemple d'apprentissage. De plus, chaque fois que le nombre d'exemples utilisé est grand, la qualité des règles générées est meilleure. Toutefois, le temps de calcul augmente en conséquence. Pour cela, il faut faire un compromis entre la taille de l'exemple d'apprentissage et le temps de calcul. *L'objectif ici n'est pas de citer tous les exemples, car dans ce que nous n'aurons pas besoin de générer des règles de décisions.*

2.6.1. Algorithme RULES3

RULES3 est un algorithme d'apprentissage inductif utilisé pour extraire des règles de la forme *SI-ALORS*. L'objectif de cet algorithme est la génération d'un ensemble de règles pour des objets du modèle. Dans notre cas, ces objets sont nos critères. Chaque objet est représenté par un ensemble d'attributs (voir le chapitre 4). Pour chaque attribut, nous avons un ensemble de valeurs, si le nombre des attributs est égales à n_a alors le nombre de règles générées sera entre 1 et n_a (Pham et *al.*, 2003). L'algorithme RULES3 demande n_a itérations. Après la première itération, nous aurons des règles avec une seule condition. De même, après la deuxième itération, nous aurons des règles avec deux conditions, etc. Dans la première itération, chaque élément (*ie.*, couple attribut - valeur) est examiné pour savoir s'il peut construire une règle (*ie.*, si l'exemple appartient à une seule classe alors il forme une règle, dans le cas contraire, l'exemple appartient à plus d'une classe, alors l'algorithme passe à l'élément suivant). Cette procédure est exécutée jusqu'à la classification de tous les exemples ou le nombre d'itérations est égal au nombre d'attributs. La figure 7 illustre l'organigramme de RULES3.

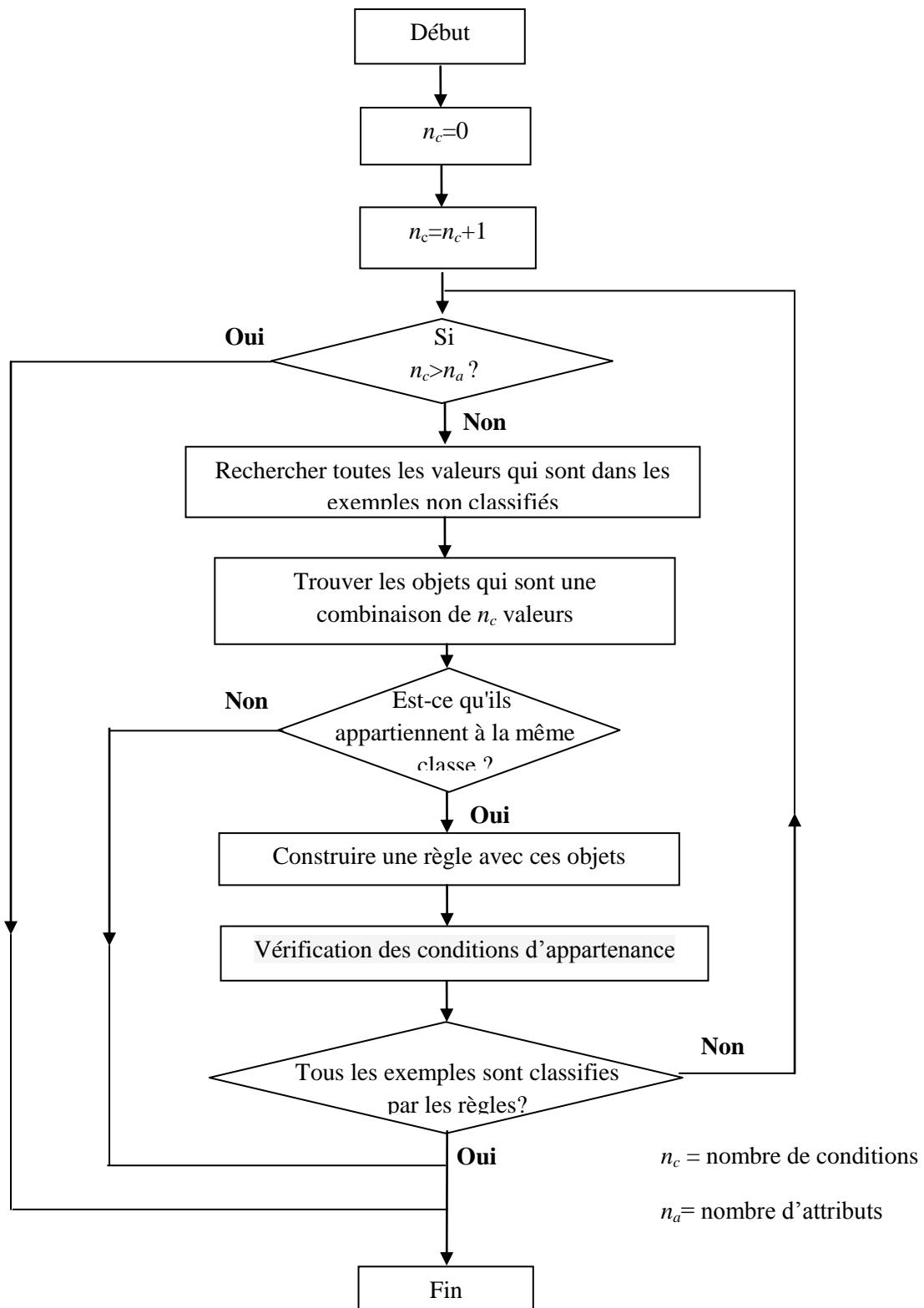


Figure 7. Organigramme de RULES3 (Pham et Aksoy, 1993)

Aksoy (2005) montre la capacité de RULES3 à traiter des problèmes avec des exemples incomplets souvent rencontrés en pratique. Un exemple est dit ‘incomplet’ lorsque nous n’avons pas de valeurs pour certains attributs.

2.6.2. Algorithme RULES6

RULES6 est aussi l'un des algorithmes de la famille RULES, proposé par (Pham et Afify, 2005). Il est basé sur le même principe que RULES3. A partir d'un exemple d'apprentissage, nous allons construire des règles de type *SI-ALORS*. L'algorithme RULES6 est dérivé de l'algorithme RULES3 et RULES3 Plus (Pham et Dimov, 1997). *Les auteurs proposent des modifications des RULES3 et RULES3 Plus pour que l'algorithme RULES6 puisse résoudre des problèmes de grandes tailles ce qui représenté un handicap majeur des RULES3 et RULES3 Plus.* La figure 8 illustre l'organigramme de RULES6.

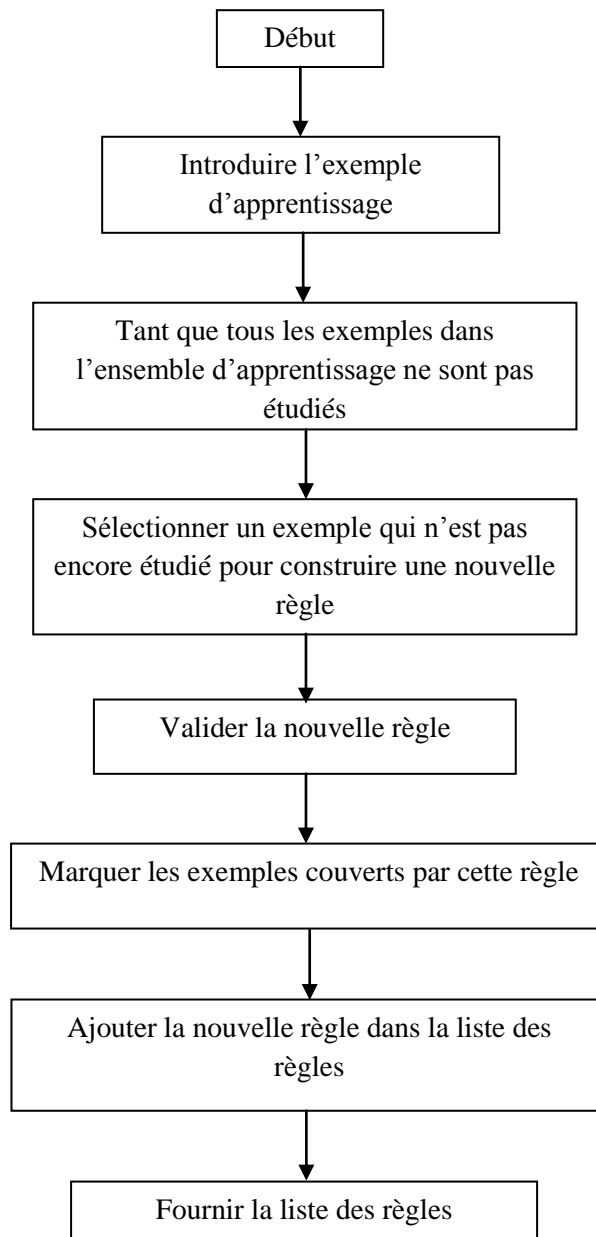


Figure 8. Organigramme de RULES6 (Pham et Afify, 2005)

RULES6 est capable de gérer le bruit (*ie.*, un exemple isolé) dans les données de l'exemple d'apprentissage en adoptant une technique simple pour évaluer les règles générées. Il permet d'extraire un ensemble de règles à partir d'un exemple d'apprentissage. Après l'introduction de l'exemple d'apprentissage, RULES6 génère des règles à partir des exemples non couverts pas des règles déjà générées. Pour chaque règle générée, RULES6 vérifie si les autres exemples qui ne sont pas couverts par les autres règles sont couverts par cette nouvelle règle. Si c'est le cas, RULES6 marque l'exemple comme couvert et passe à l'exemple suivant. RULES, s'arrête lorsque tous les exemples de l'exemple d'apprentissage sont marqués couverts. Pour générer les règles de décisions, RULES6 construit des règles capables de couvrir autant d'exemples de la même classe de décision.

Les deux algorithmes RULES3 et RULES6 sont appliqués dans le cadre de cette thèse en utilisant le même exemple d'apprentissage afin de générer des règles de décisions (chapitre 5). Ces règles sont utilisées lors du calcul des nouvelles valeurs des critères prix et qualité.

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue de la littérature des travaux de recherche consacrés aux problèmes de choix de fournisseurs sans et avec affectation des ordres d'achat. De plus, nous avons recensé la plupart des critères de choix utilisés.

Dans un deuxième temps, nous avons décrit en détails le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat traité dans le cadre de ce travail de recherche. Utilisés dans le développement de notre approche, nous avons présenté les différents concepts et définitions en relation avec l'acquisition et la gestion des connaissances ainsi que les algorithmes RULES3 et RULES6.

Le chapitre qui suit donne les concepts théoriques des différentes méthodes utilisées dans le cadre de cette thèse. Plus précisément, nous rappelons les principes des ensembles flous, de la méthode d'agrégation des matrices, des méthodes AHP et AHP floue, des méthodes TOPSIS et TOPSIS floue.

Chapitre 3 : Quelques concepts théoriques

Ce chapitre présente les concepts théoriques des ensembles flous et de la méthode d'agrégation des matrices, des méthodes AHP et AHP floue, des méthodes TOPSIS et TOPSIS floue. Ces concepts sont indispensables pour le développement de notre approche. Une conclusion termine le chapitre et introduit le chapitre 4.

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons le cadre général des certaines méthodes de résolution utilisées dans l'étude des problèmes de décision multicritères. Avant de présenter en détail ces méthodes, nous rappelons les concepts fondamentaux des ensembles flous. Nous passons par la suite à la présentation de la méthode d'agrégation des matrices, suivie par les méthodes AHP, AHP floue, TOPSIS et TOPSIS floue.

3.2. Ensemble flou

3.2.1. Définition

La notation d'ensembles flous a été introduite pour la première fois par Zadeh (1965) afin de représenter mathématiquement l'imprécision relative à certaines classes d'objets. Un ensemble flou est un ensemble de valeurs qui appartiennent à une certaine classe avec une certaine certitude (Zadeh, 1965).

La logique floue permet de faire le lien entre modélisation numérique et modélisation symbolique. Ce qui a permis des développements industriels spectaculaires à partir d'algorithmes très simples assurant la transformation des connaissances symboliques en entités numériques et inversement. De plus, la théorie des ensembles flous a également donnée naissance à un traitement original de l'incertitude fondé sur l'idée d'ordre. Cette idée d'ordre permet de formaliser le traitement de l'ignorance partielle et de l'inconsistance dans les systèmes d'informations avancés. Les ensembles flous ont eu également un impact sur les techniques de classification automatique et ont contribué à un certain renouvellement des approches existantes de l'aide à la décision.

3.2.2. Variables linguistiques

Pour bien mettre en évidence le principe fondamental de la logique floue, nous présentons dans cette section, un exemple explicatif. Nous classons la taille des personnes en trois catégories: "petit", "entre les deux " et "grand". Selon les deux figures 9 et 10, la classification des personnes en trois catégories est bien claire mais différente.

En effet, *par rapport à la logique classique*, toutes les personnes avec une taille de moins de 1.50m sont considérées comme "petit" et celles de 1.70m appartiennent à la catégorie des grands. Le passage du petit au grand se fait progressivement et par cas, ce qui implique qu'une telle classification n'est pas logique.

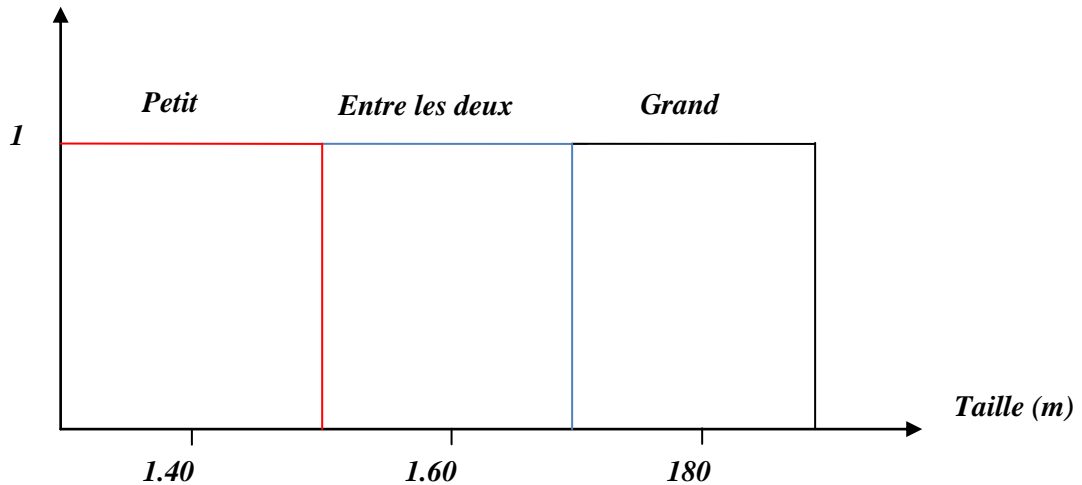


Figure 9. Classification selon la logique classique

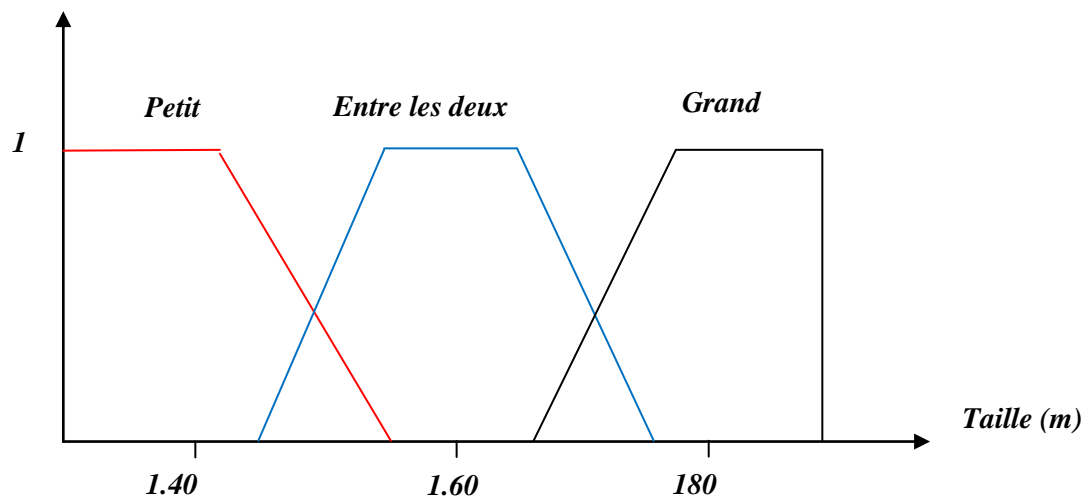


Figure 10. Classification selon la logique floue

Cependant, en utilisant la logique floue, la fonction d'appartenance f permet de tenir compte du fait qu'une personne de 1.45 m est considérée comme petite avec $f=0.7$, et comme étant entre les deux avec $f=0.3$.

Pour décrire une certaine situation, nous utilisons souvent des expressions floues comme : *rapide* ; *grand* ; *beaucoup* ; *petit* ; *chaud* ; etc. Chaque variable linguistique a besoin d'une définition. Pour cela, la fonction d'appartenance f est définie et permet d'associer à chaque variable x (la taille d'une personne) une valeur entre 0 et 1 représentant le degré d'appartenance de x aux variables linguistiques. D'après l'exemple 3.2.2, si $x=1.40\text{m}$ alors $f(x)=1$ pour la variable linguistique 'petit'. De même, si $x=1.45\text{m}$, alors $f(x)$ peut prendre les valeurs 0.7 pour la valeur linguistique 'entre les deux' et 0.3 pour la valeur linguistique 'petit'.

3.2.3. Concepts et formulation

Les variables linguistiques sont liées entre elles au niveau des inférences (Zadeh, 1965), moyennant les opérateurs "ET", "OU" et "NON". Dans le cadre cette thèse, nous utilisons des nombres flous triangulaires. En général, un nombre flou triangulaire est défini par triplet $\tilde{a} = (l, m, u)$ où l, m et u sont des nombres réels (Zouggari et Benyoucef, 2011a).

La fonction d'appartenance f notée par $\mu_{\tilde{a}}(x)$ dans le cas des nombres flous triangulaires est définie par:

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x < l, \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{si } l \leq x \leq m, \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{si } m < x \leq u, \\ 0, & \text{si } x > u, \end{cases} \quad (3.1)$$

- **Transformation d'une variable linguistique en variable floue triangulaire**

En théorie des ensembles flous triangulaires, à chaque variable linguistique correspond un triplé $\tilde{a} (l, m, u)$ où l, m et u sont des nombres réels le plus souvent.

- **Distance entre deux nombres flous**

En général la distance euclidienne entre deux sous-ensembles flous A et B est donnée par :

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2} \quad (3.2)$$

Dans le cas de nombres flous triangulaires, $n=3$.

Chen (2000) a proposé l'utilisation de la distance entre deux nombre flous triangulaire définie par l'équation (3.3)

Soient $\tilde{a}_1 (l_1, m_1, u_1)$ et $\tilde{a}_2 (l_2, m_2, u_2)$ deux nombres flous triangulaires. La distance entre \tilde{a}_1 et \tilde{a}_2 est donnée par:

$$d(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (3.3)$$

- **Quelques opérations arithmétiques** (Chen T. C. 2000)

Dans le cas des nombres flous triangulaire positifs (Chen T. C. (2000)) réduit l'arithmétique à :

$$\tilde{a}_1 + \tilde{a}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (3.4)$$

$$\tilde{a}_1 - \tilde{a}_2 = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (3.5)$$

$$\tilde{a}_1 \times \tilde{a}_2 = (l_1 \times u_1, m_1 \times m_2, l_2 \times u_2) \quad (3.6)$$

$$\tilde{a}_1 / \tilde{a}_2 = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, l_2 / u_1) \quad (3.7)$$

$$\tilde{a}_1 \times \alpha = (l_1 \times \alpha, m_1 \times \alpha, u_1 \times \alpha), \text{ pour } \alpha \in R \quad (3.8)$$

3.3. Agrégation des matrices

Supposons que nous avons p décideurs, où chaque décideur $k \in \{1, \dots, p\}$ donne une matrice d'appréciation d'un ensemble d'objets sous forme linguistique. Un objet peut être un critère, un client, un fournisseur, etc. Après transformation de la matrice de la forme linguistique à la forme floue (voir exemple dans le chapitre 5 pour les nombres flous triangulaires), nous cherchons à obtenir une matrice dite agrégée de l'ensemble des p matrices. Dans le cadre de cette thèse et pour pouvoir obtenir une matrice agrégée floue triangulaire, nous utilisons les formules proposées par (Büyüközkan et Feyzioglu, 2004) et (Vahidnia *et al.*, 2008).

3.3.1. Agrégation des matrices floues triangulaires

Pour calculer les valeurs de la matrice agrégée d'un ensemble de p matrices floues triangulaires, nous utilisons les formules suivantes:

$$l_{ij} = \min_{k \in \{1, \dots, p\}} (l_{ijk}) \quad (3.9)$$

$$m_{ij} = \left(\prod_{k=1}^p m_{ijk} \right)^{1/p} \quad (3.10)$$

$$u_{ij} = \max_{k \in \{1, \dots, p\}} (u_{ijk}) \quad (3.11)$$

L'avantage d'utiliser la moyenne géométrique plutôt que la moyenne arithmétique est, que la moyenne géométrique est moins sensible que la moyenne arithmétique aux valeurs les plus élevées d'une série de données.

3.3.2. Indice et ratio de consistances d'une matrice agrégée

Pour que la matrice agrégée soit *valide* (ie. acceptable) et peut être utilisée par la suite, nous déterminons dans un premier temps son indice de consistance *CI* (*Consistency Index*). *CI* est donné par :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - z}{z - 1} \quad z : \text{nombre d'objets comparés par les } p \text{ décideurs.} \quad (3.12)$$

$$\lambda_{\max} = \max_j \left(\frac{L_j + U_j}{2 \times M_j} \right) \quad \text{avec } L_j = \frac{\sum_{i=1}^z l_{ij}}{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^z l_{ij}}, \quad U_j = \frac{\sum_{i=1}^z u_{ij}}{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^z u_{ij}} \quad \text{et } M_j = \frac{\sum_{i=1}^z m_{ij}}{\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^z m_{ij}}$$

Après le calcul de *CI*, nous calculons le ratio de consistance *CR* (*Consistency Ratio*). *CR* est calculé en divisant le *CI* sur l'indice de consistance aléatoire *RC* (*Random Consistency*). Le tableau 3.1 donne les valeurs de *RC* en fonction de *Z*.

Tableau 2. Valeur des indices de consistance aléatoire (Saaty, 1980)

<i>Z</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RC</i>	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3.4. Méthode AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

Proposée par Saaty en 1980 (Saaty, 1980), la méthode AHP est simple dans son principe et dans son application. Cette simplicité explique le nombre important de travaux scientifiques où la méthode AHP a été utilisée avec succès. Elle procède par combinaisons deux à deux des éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport aux éléments du niveau supérieur.

La méthode AHP est utilisée avec succès dans de nombreux domaines, dont celui de la décision multicritères. La méthode commence par la définition de l'objectif principal à atteindre ou la décision à prendre, à partir de là, elle décompose cet objectif en une structure hiérarchique de critères et de sous critères d'évaluation. Dans le dernier niveau hiérarchique nous retrouvons les candidats à évaluer (les alternatifs). Parmi les avantages de la méthode AHP, sa capacité de structurer un problème complexe ; multicritère ; permet la comparaison des éléments (alternatifs, critères et sous critères) et facile à implémenter.

3.4.1. Points forts de la méthode AHP

Les raisons de la popularité de la méthode AHP sont :

- Structure hiérarchique : tri les éléments d'un problème dans différents niveaux et dans des groupes à caractéristiques similaires ;
- Interdépendance : permet de considérer l'interdépendance des éléments d'un problème sans insister sur le raisonnement linéaire (les éléments de chaque niveau de la structure hiérarchique sont dépendant) ;
- Consistance : permet de garder une consistance logique des jugements utilisés pour déterminer les priorités ;
- Synthèse: permet d'obtenir une appréciation générale de la désirabilité de chaque alternatif ;
- Identification des priorités: permet de considérer la priorité relative de chaque critère pour ainsi obtenir le meilleur alternatif selon l'objectif identifié.

3.4.2. Différentes étapes de la méthode AHP

Nous allons développer dans cette section les différentes étapes de la méthode AHP.

Etape 1 : Décomposer le problème en une structure hiérarchique

Au début de la méthode, définissons une arborescence hiérarchique des critères, des sous critères et des alternatifs. Chaque élément de cette hiérarchie doit être défini (figure 11).

- Définir l'objectif (*niveau 0*).
- Définir les critères de décision ou de jugement (*niveau 1*).
- Le dernier niveau de la hiérarchie comprendra les différents alternatifs, choisies au préalable (*niveau 2*).

Etape 2 : Effectuer les combinaisons binaires niveau par niveau

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie deux par deux, par rapport à l'élément du niveau supérieur.
- Les matrices de comparaison ainsi obtenues auront la propriété suivante

- $A=a_{ij}$
- $a_{ii}=1$ et $a_{ji}=1/ a_{ij}$

Etape 3 : Déterminer les priorités

- Calculer l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues de l'étape 2 ;
 - La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteur propre ;
1. L'importance relative des différents critères est exprimée par les valeurs du vecteur normalisé;
 2. Plus cette valeur est grande, plus le critère correspondant est important.

Etape 4 : Synthétiser les priorités

- Une fois que les priorités pour tous les critères figurant dans la hiérarchie ont été déterminées, le poids de chaque alternatif est calculé et un classement des alternatifs est réalisé.

La figure 11 illustre la structure hiérarchique de la méthode AHP.

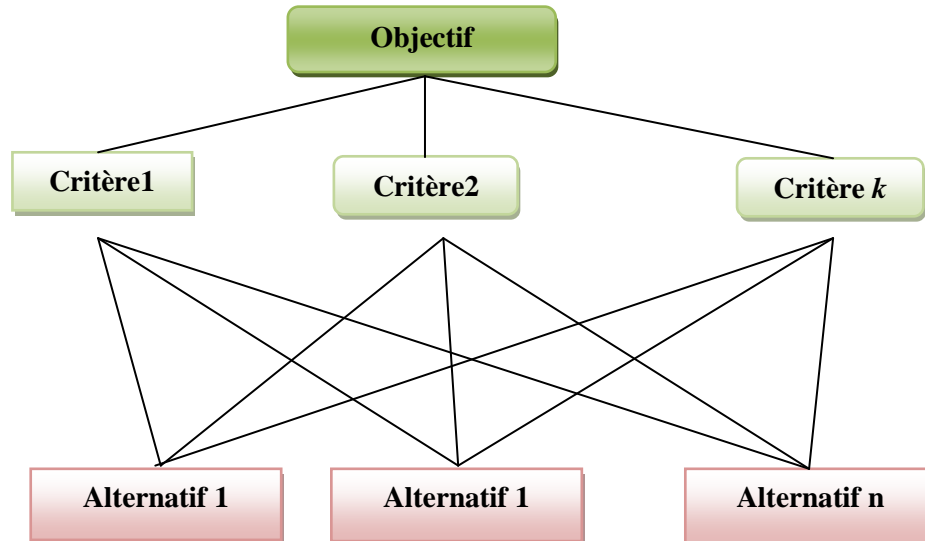


Figure 11. Structure hiérarchique de la méthode AHP

3.5. AHP floue

L'utilisation de la méthode AHP dans un environnement flou remonte aux travaux de Van Laarhoven et Pedrycz (1983). Les auteurs montrent comment comparer des ratios flous en

décrivant des fonctions d'appartenances triangulaires. Dans son article, Chang (1996) présente une approche basée sur la méthode AHP floue en introduisant les nombres flous triangulaires pour la comparaison binaire entre les critères. Il propose pour la première fois une méthode de calcul des priorités pour des matrices de comparaison floues triangulaires. Kahraman et *al.* (2003) présentent une approche basée sur la méthode AHP floue pour le problème de sélection des emplacements d'installation des entités dans une chaîne logistique. De même, Bozdag et *al.* (2003) implémentent l'AHP floue pour choisir le meilleur système manufacturé.

Wang et *al.* (2008b) montrent via un exemple que les vecteurs de propriétés déterminés par la méthode proposée par Chang (1996) mènent à des décisions fausses. Dans (Wang et *al.*, 2008b) les auteurs corrigent la formule de normalisation des sommes de la méthode (voir étape 2 ci-dessous). La méthode est composée de cinq étapes (Zouggari et Benyoucef 2011c).

Considérons une matrice de comparaison floue:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) \dots (l_{1,n}, m_{1,n}, u_{1,n}) \\ \dots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) \dots (1,1,1) \end{bmatrix}$$

avec $\tilde{a}_{ij} = \tilde{a}_{ji}^{-1}$ et $\tilde{a}_{ji}^{-1} = (\frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}})$

Etape 1 : Calculer la somme de chaque ligne de \tilde{A}

$$RS_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = (\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij}), \quad i = 1, \dots, n \quad (3.13)$$

Etape 2 : Normalisation des sommes en utilisant la formule proposée par Wang (2008b)

$$\tilde{S} = \frac{RS_i}{\sum_{j=1}^n RS_j} = (\frac{\sum_{j=1}^n l_{ij}}{\sum_{j=1}^n l_{ij} + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n m_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{kj}}, \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}}{\sum_{j=1}^n u_{ij} + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n l_{kj}}) \text{ avec } k \neq i \quad (3.14)$$

Etape 3 : Calcul du degré de possibilité de $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j$

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \begin{cases} 1, & \text{si } m_i > m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)}, & \text{si } l_j \leq u_i \\ 0, & \text{sinon} \end{cases} \quad i, j = 1, \dots, n \text{ et } j \neq i \quad (3.15)$$

La figure 12 illustre la représentation graphique du degré de possibilité de $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j$

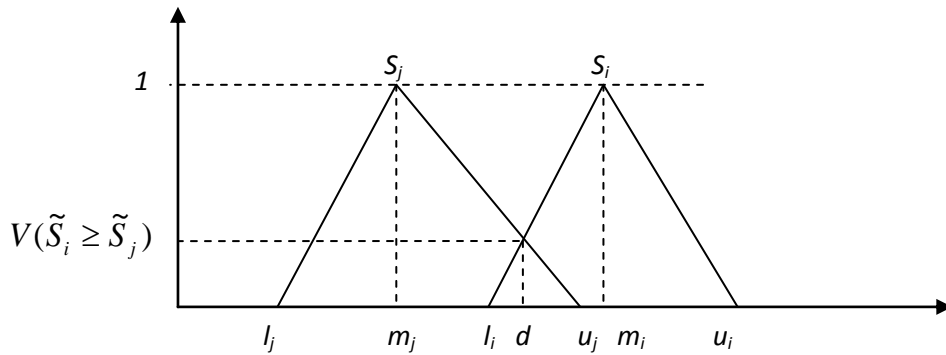


Figure 12. représentation graphique de $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$ (Chang 1996)

Etape 4 : Calcul du degré de possibilité pour chaque \tilde{S}_i par rapport aux autres nombres flous

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq i) = \min_{j \in \{1, \dots, n\}, j \neq i} V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j), \quad (3.16)$$

Etape 5 : Définition du vecteur de priorité $W = (w_1, \dots, w_n)^T$ pour la matrice de comparaison floue

$$w_i = \frac{V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq k)} \quad i = 1, \dots, n \quad (3.17)$$

Il est important de signaler que la méthode AHP floue sera appliquée dans le cadre de notre travail de recherche pour le problème de choix de fournisseurs.

3.6. Les méthodes TOPSIS et TOPSIS floue

3.6.1. Principes de la méthode TOPSIS

TOPSIS est l'une des méthodes classiques de résolution des certains problèmes de décision multicritère MCDM (*Multi-Criteria Decision-Making*), proposée pour la première fois par

(Hwang et Yoon, 1981). Elle se base sur la relation de dominance qui est représentée par les distances entre les poids et la solution idéale. Son principe consiste à choisir une solution qui se rapproche le plus de la solution idéale et de s'éloigner le plus possible de la pire solution pour tous les critères. En effet, la solution choisie par TOPSIS doit avoir la distance la plus courte de la solution idéale et la distance la plus long de la pire solution (Wang et Lee, 2007).

Pour l'application de la méthode TOPSIS classique, les poids des critères sont connus avec précision. Toutefois, dans la pratique, une majorité des données n'est pas connue avec précision (Singh et Benyoucef, 2011a). La logique floue permet de traiter ce type de problème d'imprécision des données d'où l'application de la méthode TOPSIS floue avec succès.

3.6.2. La méthode TOPSIS floue

Dans la méthode TOPSIS floue tous les poids sont définis par des variables linguistiques. La méthode utilisée dans le cadre de notre travail de recherche consiste en 6 étapes :

Étape 1: Construction de la matrice de décision floue

Supposons que nous avons m alternatifs A_i ($i=1,2,\dots, m$) qui doivent être évalués en utilisant n critères C_j ($j=1,2,\dots,n$).

$$\tilde{D} = \begin{array}{c|cccccc} & - & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_n \\ \hline A_1 & \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ A_2 & \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ A_3 & \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \tilde{x}_{33} & \dots & \tilde{x}_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{array}$$

$$W = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n] \tag{3.18}$$

W : vecteur des poids des différents critères

\tilde{x}_{ij} et \tilde{w}_j des nombres flous triangulaires avec $\tilde{w}_j = (\tilde{w}_{j1}, \tilde{w}_{j2}, \tilde{w}_{j3})$ et $\tilde{x}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}, \tilde{c}_{ij})$.

\tilde{x}_{ij} représente l'appréciation de l'alternatif A_i par rapport au critère C_j et \tilde{w}_j représente le poids du critère C_j .

Etape 2: Normalisation de la matrice de décision floue

Les données sont normalisées dans l'objectif d'éliminer les anomalies avec les différentes unités de mesure utilisées dans un problème MCDM. Les valeurs normalisées des nombres flous triangulaires sont inclus dans l'intervalle $[0, 1]$. La matrice de décision floue normalisée est donnée par \tilde{R} .

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \quad i=1,2,\dots, m \text{ et } j=1,2,\dots, n \quad (3.19)$$

Pour des nombres flous triangulaires $\tilde{x}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}, \tilde{c}_{ij})$, les valeurs normalisées sont calculées comme suit :

1. Pour les critères de nature gain

$$\tilde{r}_{ij} = \left\{ \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right) \right\} \quad (3.20)$$

2. Pour les critères de type coût

$$\tilde{r}_{ij} = \left\{ \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \right\} \quad (3.21)$$

avec : $c_j^+ = \max_i c_{ij}$ si le critère est de type gain

$a_j^- = \min_i a_{ij}$ si le critère est de type coût

Etape 3: Construction de la matrice de décision des poids flous

Compte tenu des différents poids pour chaque critère, la matrice de décision de poids normalisée est calculée en multipliant les poids d'importance des critères d'évaluation par les valeurs normalisées.

Les valeurs normalisées de la matrice de décision \tilde{V} sont définies comme suit :

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, i=1,2,\dots,m \text{ et } j=1,2,\dots,n \quad (3.22)$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times \tilde{w}_{ij} \quad (3.23)$$

avec \tilde{w}_{ij} le poids en nombre flou du critère C_j .

Etape 4: Calcul de la solution idéale positive et la solution idéale négative

La solution idéale positive FPIRP (*fuzzy positive ideal reference point*) notée A^+ et la solution idéale négative FNIRP (*fuzzy negative ideal reference point*) notée A^- sont définies par :

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) = \{(\max_i v_{ij} | i=1,2,\dots,m), j=1,2,\dots,n\} \quad (3.24)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) = \{(\min_i v_{ij} | i=1,2,\dots,m), j=1,2,\dots,n\} \quad (3.25)$$

avec, $\tilde{v}_j^+ = (1,1,1)$ et $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$, $j=1,2,\dots,m$.

Etape 5: Calcul des distances entre chaque alternatif et FPIRP et FNIP

Les distances sont calculées comme suit :

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (3.26)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (3.27)$$

avec $d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+)$ la distance entre deux nombres flous calculée par l'équation (3.2). d_i^+ la distance entre l'alternatif A_i et FPIRP, et d_i^- la distance entre l'alternatif A_i et FNIRP.

Etape 6: Calcul des coefficients de proximité (*closeness coefficient*) notés CC_i et classement des alternatifs

Pour chaque alternatif i , CC_i est donné par:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i=1,2,\dots,m \quad (3.28)$$

Les alternatives sont classées par rapport à leurs *CC*. L'alternative avec le plus grand *CC*, sera le meilleur alternatif.

3.7. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons passé en revue les différentes méthodes nécessaires à notre approche. Dans un premier temps, nous avons présenté les concepts de la logique floue suivis des méthodes AHP, AHP floue, TOPSIS et TOPSIS floue. La méthode AHP floue sera utilisée pour le choix des fournisseurs. De plus, la méthode TOPSIS floue sera utilisée pour le calcul des ratios de répartition des ordres d'achat entre les fournisseurs choisis.

Le chapitre qui suit présente les différentes étapes de notre approche de résolution couplant logique floue et capitalisation des connaissances.

Chapitre 4 : Approche de résolution proposée

Ce chapitre décrit la structure générale de l'approche proposée. Une présentation des problèmes de décision multicritère avec une structure hiérarchique. Pour permettre une meilleure visibilité, cette structure hiérarchique est projetée sur le problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat. Le chapitre termine par recenser certaines d'hypothèses de notre problématique.

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, une description détaillée de notre problème de prise de décisions est donnée dans un premier temps. Baptisée approche de simulation basée sur les connaissances, nous présentons dans un deuxième temps l'architecture globale ainsi que différents modules de l'approche.

L'approche développée dans le cadre de ce travail de recherche est destinée à résoudre différents types de problèmes de décision multicritères qui ont une structure hiérarchique pour un choix entre plusieurs alternatifs. Pour cela, nous allons faire une description générique de l'approche, suivie par une projection de l'approche sur le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achats traité dans le cadre de cette thèse.

4.2. Présentation de l'approche générique

Cette section présente une approche générique qui peut être configurable ou adaptable pour tout problème de choix de fournisseurs multicritères. Elle peut être utilisée pour résoudre des problèmes de choix d'alternatifs multicritères. Mais avant de développer l'approche, nous proposons une description d'un problème générique.

4.2.1. Description générique d'un problème de choix d'alternatifs

Soient k alternatifs (fournisseurs dans notre cas), l classes de choix, chaque classe l_i comprend m_i critères et chaque critère C_{ij} compte n_{ij} attributs (voir chapitre 5 exemple illustratif). p décideurs sont en charge du choix des alternatifs. Les nombres, les définitions des alternatifs, des classes, des critères, des attributs et des décideurs changent d'un problème à un autre. Le problème consiste à faire un choix entre les k alternatifs. Pour cela, les décideurs fournissent des matrices d'appréciation entre les alternatifs, les classes et les critères de choix. La figure 12 présente l'architecture hiérarchique entre les classes, les critères et les attributs.

Pour un problème de choix d'alternatifs avec affectation des ordres d'achat, les décideurs ont besoin de connaître le nombre d'alternatifs à garder et connaître la manière de déterminer les ratios/taux d'affectation des ordres. La Figure 12 résume un cas particulier de problème de choix d'alternatifs avec affectation des ordres d'achats dans le cas où l'alternatif correspond à un fournisseur.

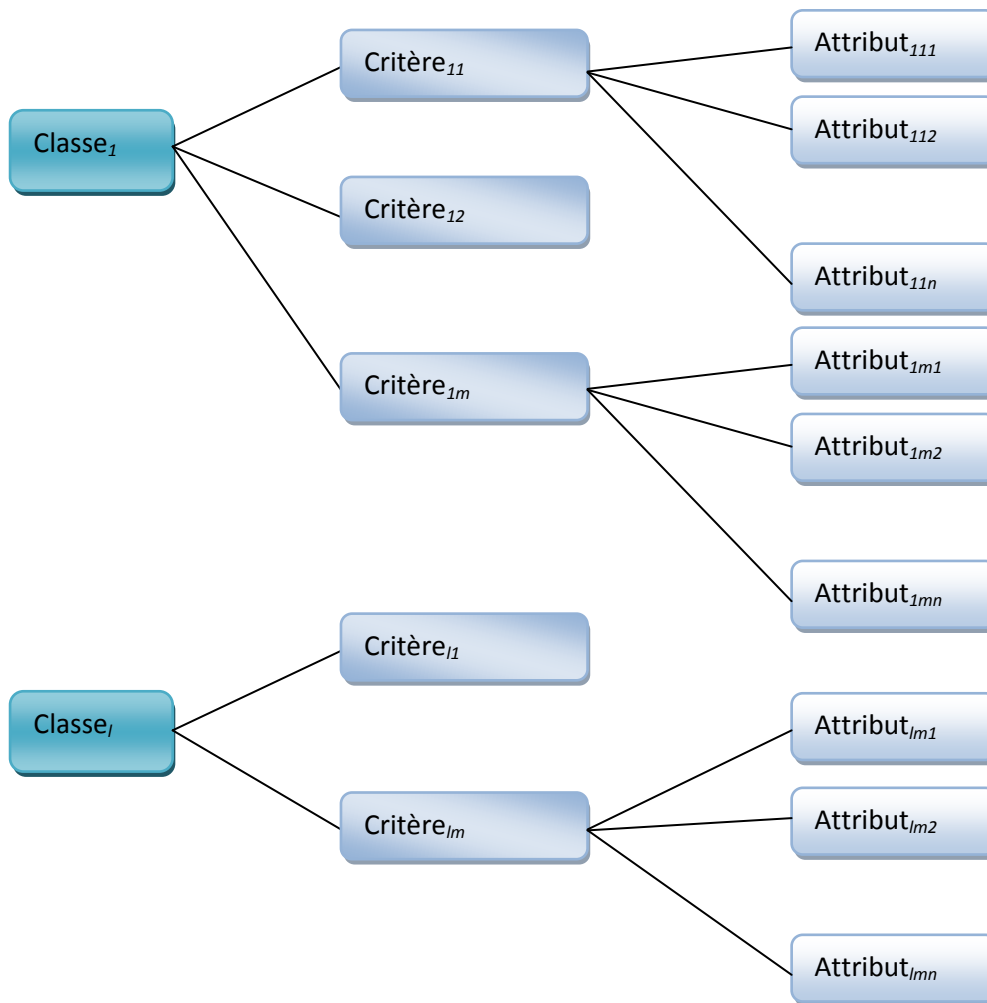


Figure 13. Structure hiérarchique dans un problème de choix

Pour chaque problématique (choix de fournisseurs+affectation des ordres d'achat), un ensemble de classes et de critères sont sélectionnés selon le cas d'étude. Les décideurs vont fournir les matrices de comparaison des classes et des critères.

Du fait que chaque décideur fournit ses propres matrices, nous appliquons une méthode d'agrégation pour obtenir une seule matrice qui sera utilisée comme donnée d'entrée par la méthode AHP floue pour le choix des alternatives. Pour chaque alternatif, nous avons un ensemble de matrices d'appréciation de son historique pour chaque classe et critère. Le problème avec ces matrices est, qu'elles sont basées sur les informations (historique) fournies par l'alternatif. Les décideurs n'ont aucune visibilité par rapport à la crédibilité de ces informations. Grâce au module de gestion des connaissances, qui sera développé par la suite, les décideurs capitalisent des connaissances réelles sur les alternatives. Ces connaissances remplacent l'historique fourni par les alternatives.

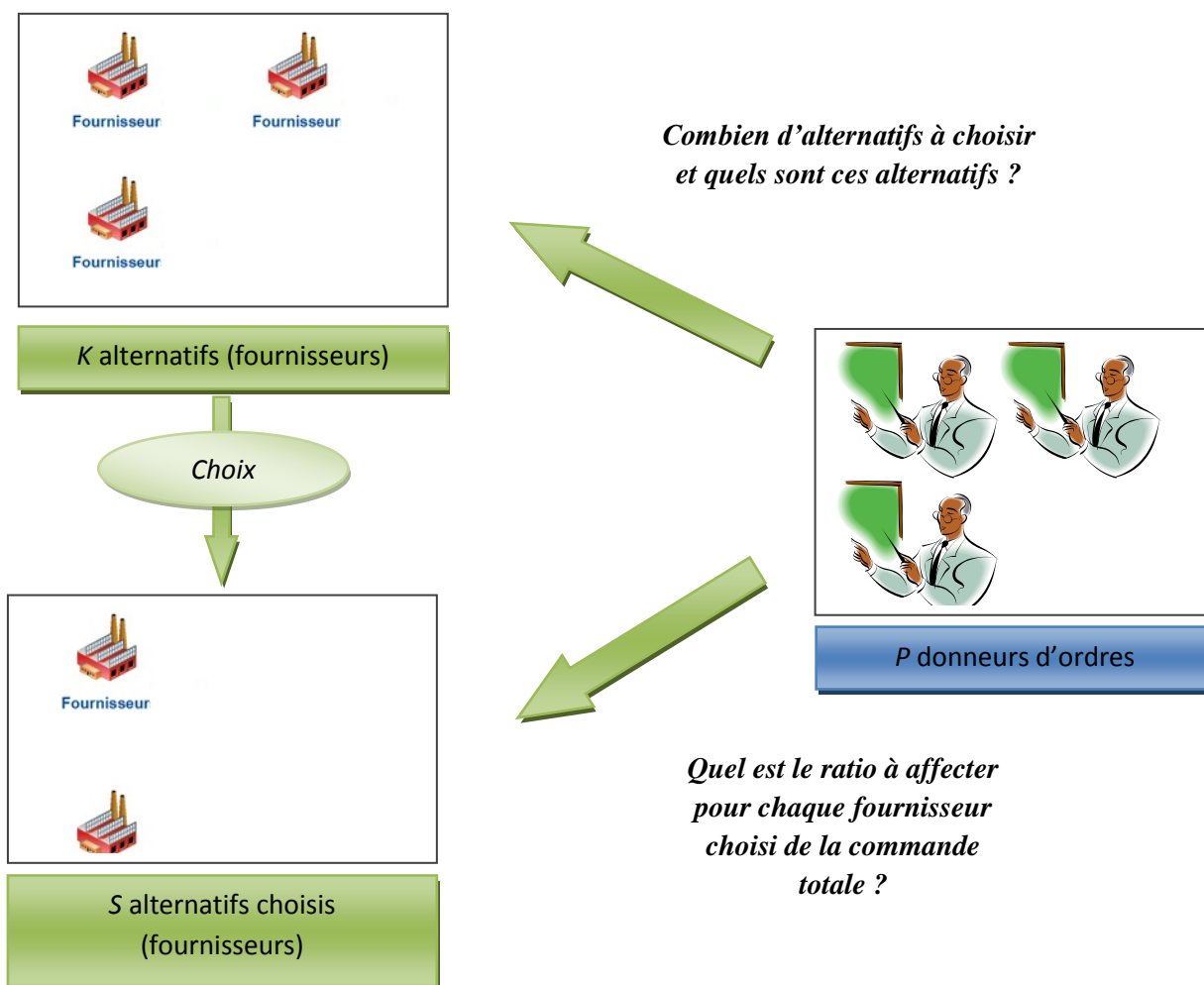


Figure 14. Problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achats

Comme nous l'avons déjà signalé, deux problématiques de niveaux stratégique et tactique sont traitées dans le cadre de cette thèse respectivement le problème de choix des fournisseurs et le problème d'affectation des ordres d'achats. Pour ce dernier problème, nous calculons les taux/ratios d'affectation des ordres d'achats entre les fournisseurs sélectionnés. Ces taux correspondent aux pourcentages d'affectation de la demande globale entre les différents fournisseurs sélectionnés. Les taux des ordres d'achats sont révisés après chaque horizon (voir section 4.2.2 ci-dessous) d'affectation des ordres d'achat. Les nouveaux taux dépendent de la performance du fournisseur choisi durant l'horizon de choix.

4.2.2. Pourquoi utiliser la simulation ?

La simulation intervient pour générer de nouvelles valeurs des attributs qui rentrent dans le calcul des valeurs de certains critères. Ces valeurs seront utilisées par la suite dans le calcul des nouveaux taux d'affectation des ordres d'achat. La simulation permet de remplacer les données réelles absentes dans notre cas, par des valeurs qui se rapprochent de la réalité. La

figure 14 illustre une projection des différents instants de calcul des taux d'affectation des ordres d'achat des fournisseurs choisis pendant l'horizon de simulation.

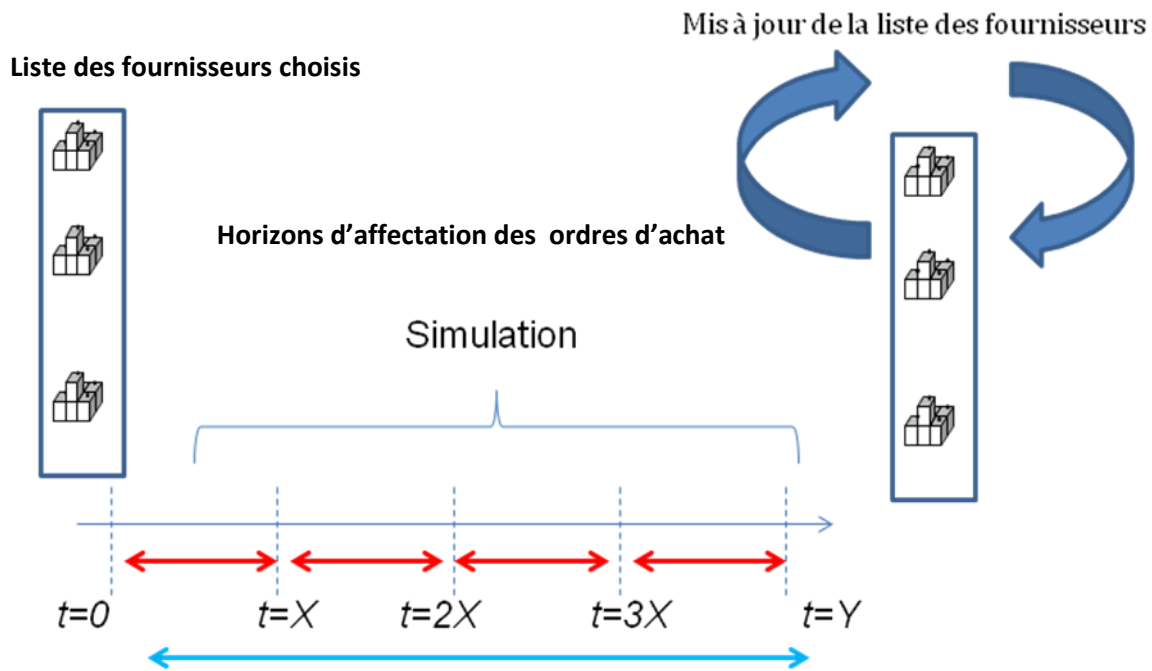


Figure 15. Simulation de la chaîne logistique étudiée

X = horizon d'affectation des ordres d'achat.

Y = horizon de choix des fournisseurs.

4.2.3. Différentes étapes de l'approche

L'approche proposée est composée de cinq étapes :

- Agrégation des matrices ;
- Choix des fournisseurs ;
- Génération des nouvelles règles ;
- Simulation ;
- Calcul des nouveaux taux d'ordre d'achat.

L'organigramme présenté dans la figure 15 illustre les différentes étapes de notre approche.

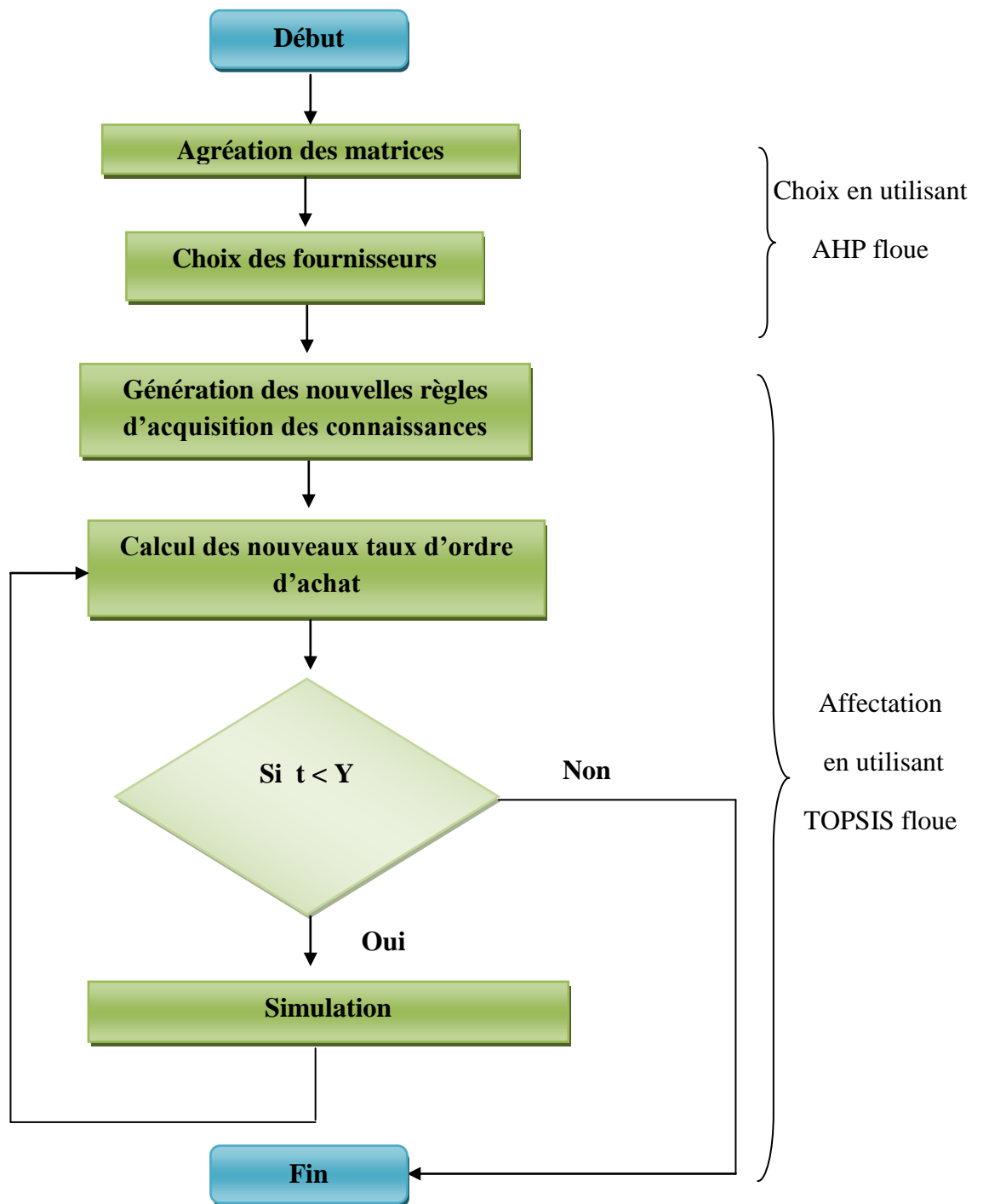


Figure 16.Organigramme de l'approche

Étape1 : Agrégation des matrices

Au début les décideurs vont fournir un ensemble de matrices de comparaison de classes et des critères. L'objectif de l'agrégation est d'obtenir une seule matrice de comparaison pour chaque couple de classes ou couple de critères. La matrice résume l'appréciation générale des décideurs. Cette étape sera exécutée une seule fois (figure 16).

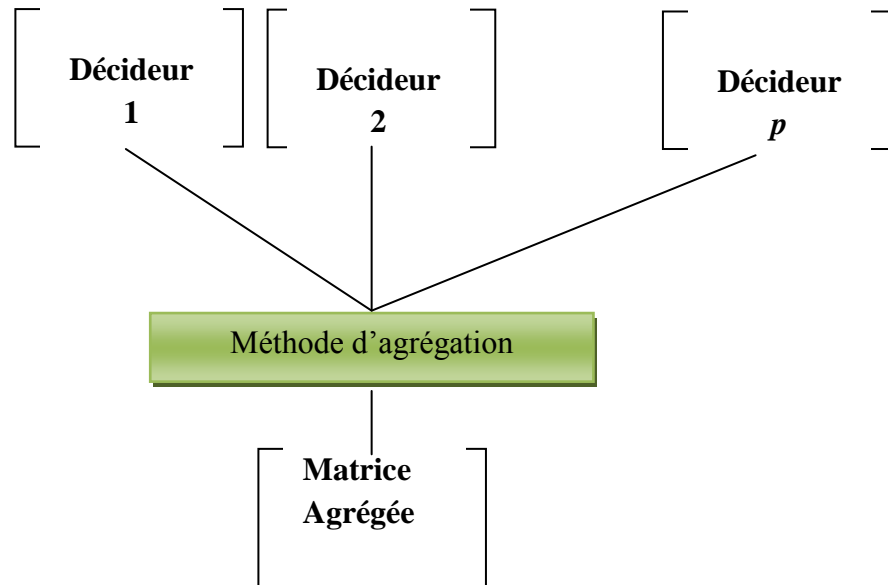


Figure 17. Agrégation des matrices

Etape 2 : Choix de fournisseurs

Le nombre de fournisseurs à choisir est défini par l'entreprise suivant sa stratégie d'approvisionnement avant le lancement de l'approche. La procédure de choix de fournisseurs (AHP floue dans notre cas) a comme données d'entrer une liste de fournisseurs potentiels, la liste des classes et des critères de choix. La méthode AHP floue sera utilisée comme technique de choix, à la fin de la procédure nous avons une liste de fournisseurs choisis.

Etape 2 : Génération des règles d'acquisition des connaissances

Pour calculer les nouvelles valeurs de *certain*s critères utilisés dans la détermination des taux d'affectation des ordres d'achat (prix et qualité dans notre cas), nous avons besoin de règles d'acquisition des connaissances. La figure 17 donne une vue globale de génération de ces règles en utilisant un exemple d'apprentissage donné par l'entreprise.

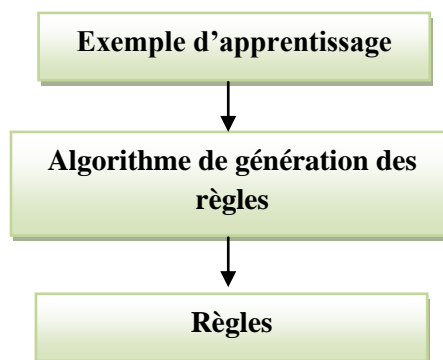


Figure 18. Génération des règles d'acquisition des connaissances

Pour chaque critère (utilisé dans la détermination des taux d'affectation), un exemple d'apprentissage est associé. Cet exemple permet de générer les règles d'acquisition des connaissances nécessaires à la détermination des nouvelles valeurs de ce critère pour lancer la simulation. La qualité de l'exemple d'apprentissage influence sur la qualité des règles générées. Dans notre cas, l'algorithme d'apprentissage est remplacé par les algorithmes d'acquisition des connaissances RULES3 et RULES6 présentés dans le chapitre 2.

Etape 4 : Calcul des nouveaux taux d'affectation

La méthode TOPSIS floue est utilisée pour le calcul des taux. Les données d'entrée sont la liste des fournisseurs choisis et la liste des critères utilisés (prix, qualité et délai de livraison dans notre cas) pour le calcul des taux. A la fin de l'exécution de cette méthode, les taux d'affectation des ordres d'achat sont obtenus.

Etape 5 : Simulation

En lançant la simulation, le comportement de la chaîne logistique est évalué pendant un horizon fixe de longueur X . Pour cela, la simulation a besoin de plusieurs paramètres respectivement :

- La politique de gestion du stock de CD ;
- La commande du marché ;
 - Suivant une loi de probabilités.
 - Suivant un planning.
- La liste des fournisseurs choisis ;
- Valeur de X .

4.3. Architecture de l'approche

L'approche proposée est composée de trois niveaux respectivement le niveau utilisateur, le niveau interface utilisateur-application et le niveau application. Nous présentons en détail les différents niveaux. La figure 18 donne une vue d'ensemble de cette architecture.

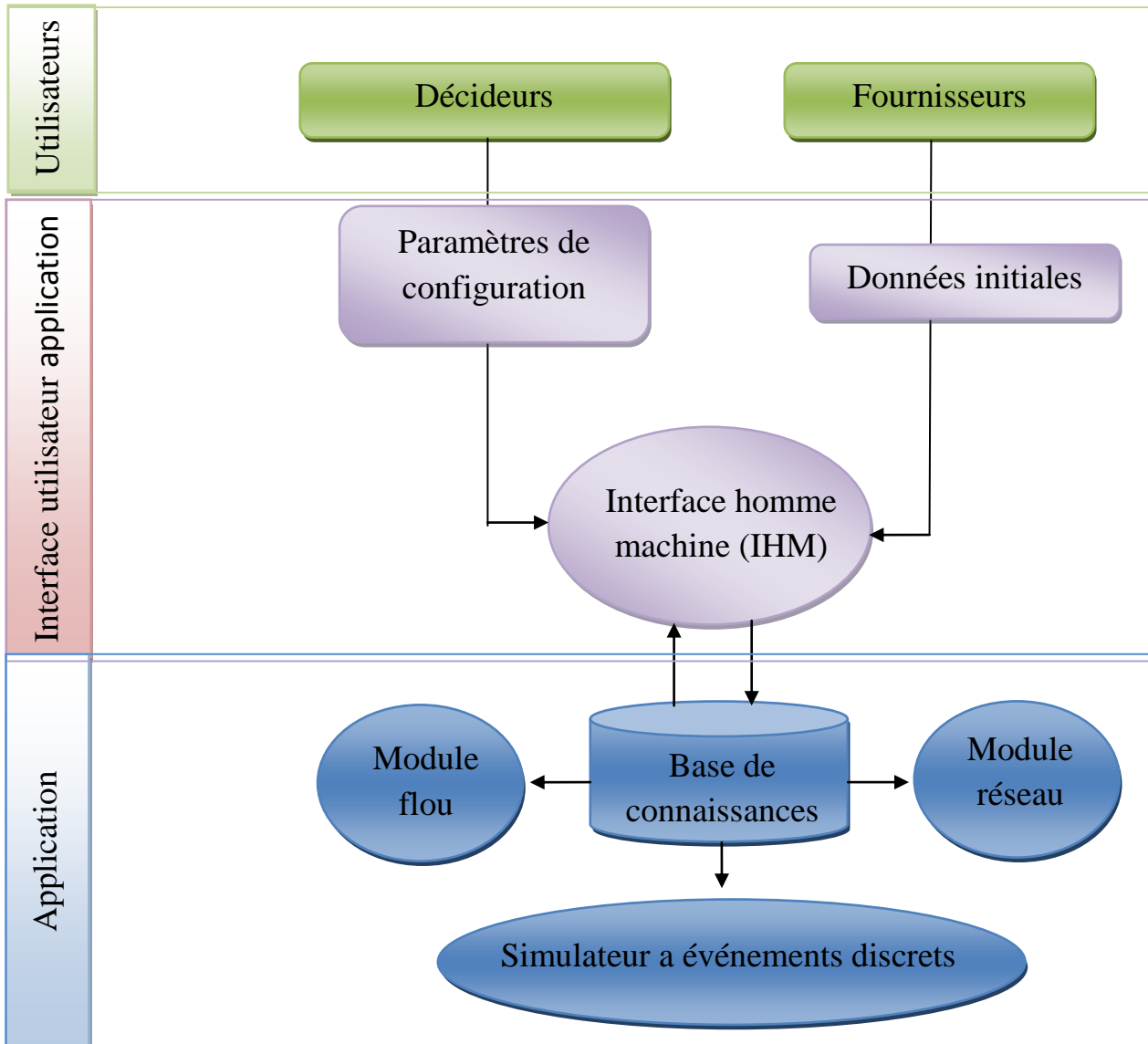


Figure 19. Architecture de l'approche

4.3.1. Niveau utilisateur

Nous avons dans ce niveau deux types d'utilisateurs respectivement les fournisseurs et les décideurs. Les fournisseurs vont fournir l'historique de leur performance par rapport aux critères de décision. Cet historique initial est stocké dans la base de connaissances et servira au choix et au calcul des taux d'affectation des ordres d'achat à l'instant $T=0$. Au début, il n'est pas exclu que pour être choisi, les fournisseurs communiquent pour certaines informations fausses sur leurs performances par rapport aux classes et aux critères.

Pour les décideurs, les tâches principales sont : choisir les horizons de simulation ; configuration des différents entités de la chaîne logistique (CD, marché); qu'elles classes et

critères de choix utiliser, etc. Ils fournissent aussi les matrices de comparaisons utilisées par les méthodes AHP floue et TOPSIS floue et les exemples d'apprentissage pour l'algorithme d'acquisition des connaissances.

4.3.2. Niveau interface homme-machine

Cette partie de l'approche regroupe toutes les interfaces de communication entre les utilisateurs et l'application. La figure 19 illustre l'interface pour paramétrer le simulateur. Les paramètres récupérés à partir de cet interface sont : l'horizon de simulation (1 an) ; l'horizon de choix (1 an); l'horizon d'affectation des ordres d'achat (3 mois); nombre de fournisseurs candidats (10) et le pourcentage de fournisseurs à choisir (30%). Il est important de signaler que ces informations sont données par l'entreprise suivant sa stratégie globale d'approvisionnement. Les p décideurs ne sont pas en mesure de communiquer ces informations. Ils communiquent uniquement les matrices d'appréciation des classes et des critères.

Parameter	Value	Unit
Simulation horizon	1	year
Suppliers selection horizon	1	year
Order allocation horizon	3	month
Number of candidat suppliers	10	
Percentage of potential suppliers after AHP	30	%

Figure 20. Interface de configuration du simulateur

La figure 20 illustre l'interface de paramétrage des valeurs floues triangulaires en fonction des variables linguistiques utilisées par la méthode AHP floue.

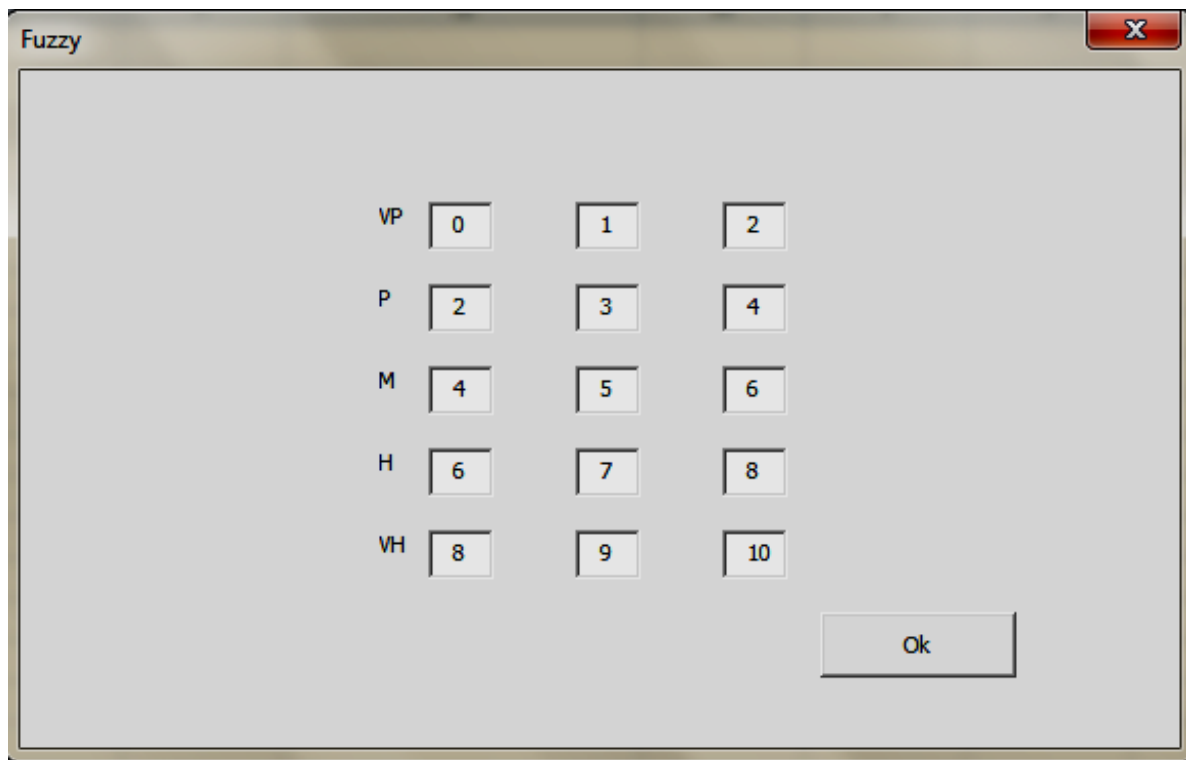


Figure 21. Configuration du module flou

4.3.3. Niveau application

Ce niveau comprend le cœur de l'approche. Il regroupe quatre modules nécessaires pour le choix, le calcul des taux d'affectation, pour simuler le comportement de la chaîne logistique et générer les règles d'acquisition des connaissances. Ils sont nommés respectivement module flou ; module réseau ; simulateur à événements discrets basé sur les connaissances et la base de connaissances.

- **Module flou**

Le rôle du module flou est la *fuzzification* et la *defuzzification* des nombres flous. Dans notre exemple numérique (voir chapitre 5) cinq valeurs linguistiques sont utilisées. Chaque valeur linguistique correspond à une valeur floue. Plusieurs types de valeurs floues peuvent être utilisés respectivement flou triangulaire, flou trapézoïdale, etc., Le tableau 3 illustre les cinq variables floues utilisées. L'utilisateur de l'approche communique des valeurs linguistiques. Une fois communiquées, le module flou calcule l'équivalence en valeurs floues (figure 21).

Tableau 3. Variables linguistiques

	Variable linguistique
TE	Très élevé
E	Elevé
M	Moyenne
Ma	Mauvais
TM	Très mauvais

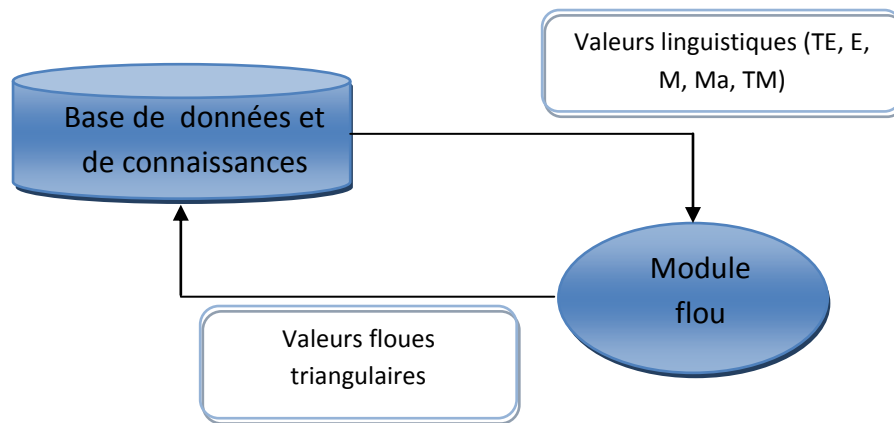


Figure 22. Module flou

- **Module réseau**

Ce module permet la configuration générale de la chaîne logistique à simuler. Le marché communique son planning d’approvisionnement pendant l’horizon de simulation. L’entreprise communique sa politique de stockage, le nombre de fournisseurs à choisir, les horizons de simulation de choix et d’affectation des ordres d’achat. Le module réseau récupère ces informations pour permettre le lancement de la simulation (figure 22).

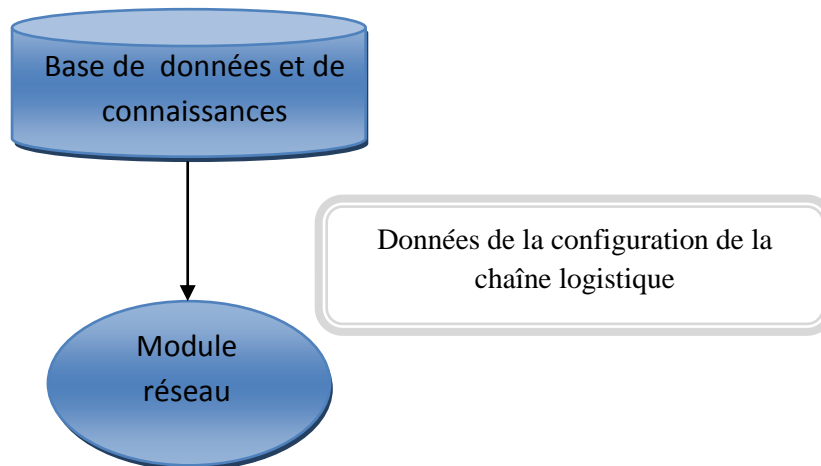


Figure 23. Module réseau

- **Simulateur a événements discrets**

Le simulateur va imiter le comportement de la chaîne pendant tout l’horizon de simulation. Il génère les valeurs des attributs pour les critères prix et qualité choisis pour l’affectation des ordres d’achats. Il est important de signaler que le troisième critère utilisé ‘délai de livraison’ est généré directement par le simulateur. Pour la configuration du simulateur, nous avons besoin de la politique de gestion du stock du CD, des demandes du marché et des valeurs possibles de chaque attribut associé aux critères prix et qualité.

4.4. Nos hypothèses

- **Capacité des fournisseurs**

Dans le cadre de cette thèse, nous supposons que les fournisseurs disposent de capacités illimitées (*ie.*, les fournisseurs peuvent répondre à toutes les demandes émises par le CD). Cette hypothèse facilite la tâche de modélisation et de résolution de notre problématique principale. Toutefois, il n’est pas exclu de remédier à cette hypothèse est étendre l’approche mais avec des complications de modélisation.

- **Cas mono-produit**

Par hypothèse, nous nous plaçons dans le cas mono-produit. Pour étudier le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d’achat dans le cas multi-produit, il est possible d’appliquer la même approche séparément pour chaque type de produit avec l’hypothèse forte d’indépendance des produits entre eux.

- **Type de transport**

Le choix du mode de transport entre les différentes entités de la chaîne n’a pas été considéré dans notre étude. L’intégration de ce problème compliquera l’étude. Par hypothèse, nous avons supposé l’existence d’une seule connexion de transport utilisant un seul mode. Toutefois, il sera plus intéressant d’explorer cette problématique et voir comment, en plus du choix des fournisseurs, il est possible de choisir les modes de transports associés.

- **Temps de transport**

Dans le cadre de cette thèse, nous n’avons pas modélisé explicitement le temps de transport entre le fournisseur et le CD. Nous avons considéré pour chaque fournisseur le temps de réponse à une commande émise par le CD. En effet, pour chaque fournisseur, à chaque fois qu’une commande du CD est générée pour une certaine quantité donnée, une quantité égale

ou inférieure est livrée. Si la quantité livrée est égale à la quantité demandée alors pas de retard de livraison. Dans le cas contraire, la quantité non livrée est supposée perdue. Cette perte permet de mesurer la qualité du délai de livraison du fournisseur en question.

4.5. Conclusion

Nous avons abordé dans ce chapitre la structure générale et les différents niveaux de l'approche proposée. Une présentation des problèmes de décision multicritère avec une structure hiérarchique est donnée avec une projection sur le problème de choix des fournisseurs avec affectation des ordres d'achat. Nous avons terminé le chapitre par la présentation d'un complément d'hypothèses de notre problématique.

Le chapitre qui suit montre via un exemple numérique l'applicabilité de notre approche sur un problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat dans le cas d'un groupe de décideurs.

Chapitre 5 : Expériences numériques et analyses

Dans ce chapitre un exemple numérique est détaillé permettant de démontrer l'applicabilité de l'approche développée dans le cadre de cette thèse. Une comparaison entre les résultats obtenus en utilisant l'algorithme RULES3 et ceux en utilisant l'algorithme RULES6 est illustrée et les résultats obtenus analysés. Le chapitre termine par la présentation de l'application de l'approche dans le cas d'un problème de grande taille. Les résultats obtenus permettent d'attester que l'approche peut être appliquée avec succès sur des problèmes de grandes tailles.

5.1. Introduction

Dans ce chapitre, exemple numérique est présenté permettant d'illustrer l'applicabilité de notre approche. La première étape concerne la définition des différents paramètres de configuration de la chaîne ainsi que toutes les matrices de décision. Etape par étape, nous essayons de détailler les différents résultats obtenus. Nous terminons le chapitre par une comparaison entre les résultats obtenus en utilisant l'algorithme RULES3 et ceux en utilisant l'algorithme RULES6. Pour démontrer que l'approche est aussi applicable dans le cas de problèmes de grandes tailles, un exemple numérique est détaillé à la fin du chapitre.

5.2. Configuration de l'application

Au début, les différents paramètres de la configuration de la chaîne sont fournis par l'entreprise. Parmi ces paramètres, l'horizon de choix, le nombre de fournisseurs potentiels, le nombre de fournisseurs à choisir, etc. (tableau 4).

Tableau 4. Paramètres de configuration de l'application

Paramètre	Valeur
Horizon de simulation	1 an
Horizon de choix de fournisseurs	1 an
Horizon d'affectation des ordres d'achat	3 mois
Nombre de fournisseurs potentiels	20
Nombre de fournisseurs à choisir	5

Dans notre cas, nous avons un seul client représentant le marché qui génère une demande selon un planning (*ie.*, pour chaque période d'une semaine, le client lance une demande d'une quantité Q). Le tableau 5 résume la demande client sur un horizon d'un an pour des périodes d'une semaine. Dans notre exemple, nous considérons des mois de 4 semaines, donc une année de 48 semaines.

La politique de gestion du stock du centre de distribution est (s, S) . A chaque demande client, la position du stock est révisée. Une commande du centre de distribution est générée si la position du stock P_t est inférieure au niveau s , la taille de cette commande est égale à $(S - P_t)$. Par hypothèses :

$S = 500$ unités

$s = 200$ unités

Tableau 5. Demandes client

Semaine	demande	Semaine	Demande	Semaine	Demande	Semaine	Demande
1	90	14	120	27	150	40	120
2	100	15	150	28	120	41	80
3	150	16	80	29	80	42	100
4	120	17	80	30	100	43	110
5	80	18	100	31	110	44	150
6	100	19	110	32	150	45	100
7	110	20	150	33	100	46	100
8	150	21	120	34	100	47	120
9	100	22	100	35	120	48	100
10	100	23	120	36	100		
11	120	24	110	37	90		
12	100	25	90	38	100		
13	100	26	100	39	150		

Le paramétrage du module flou est donné par le tableau 6

Tableau 6. Valeurs linguistiques et valeurs floues triangulaires

Valeur linguistique	Valeur floue triangulaire
TE	(7, 9, 10)
E	(5, 7, 9)
M	(4, 6, 8)
Ma	(3, 4, 5)
TM	(0, 2, 4)

5.3. Agrégation des matrices de comparaison des critères

Nous allons présenter en détails les différentes étapes pour le calcul des matrices agrégées. Dans notre exemple, nous avons cinq décideurs (*ie.*, $p=5$) noté DO_1 , DO_2 , DO_3 , DO_4 et DO_5 . Chaque décideur donne les matrices de comparaison des quatre classes respectivement C_1 : Stratégie de performance, C_2 : Qualité du service, C_3 : innovation, C_4 : Risque et des critères associés à chaque classe. Avant de calculer les matrices agrégées, nous allons transformer les valeurs linguistiques en valeurs floues triangulaires par l'utilisation des valeurs présentées dans le tableau 6.

Tableau 7. Matrice de comparaison des classes par DO_1

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	1	TE	TE	TE
C_2	1/TE	1	M	E
C_3	1/TE	1/M	1	TE
C_4	1/TE	1/E	1/TE	1

Tableau 8. Matrice de comparaison des classes par DO₂

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	TE	E	TE
C ₂	1/TE	1	M	E
C ₃	1/E	1/M	1	TE
C ₄	1/TE	1/E	1/TE	1

Tableau 9. Matrice de comparaison des classes par DO₃

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	M	TE	E
C ₂	1/M	1	M	E
C ₃	1/TE	1/M	1	M
C ₄	1/E	1/E	1/M	1

Tableau 10. Matrice de comparaison des classes par DO₄

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	TE	E	E
C ₂	1/TE	1	M	M
C ₃	1/E	1/M	1	E
C ₄	1/E	1/M	1/E	1

Tableau 11. Matrice de comparaison des classes par DO₅

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	E	TE	M
C ₂	1/E	1	E	E
C ₃	1/TE	1/E	1	TE
C ₄	1/M	1/E	1/TE	1

Après l'application des formules (3.8)-(3.11), nous avons la matrice agrégée affichée dans le tableau 12.

Tableau 12. Matrice agrégée en nombres flous

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	(1, 1, 1)	(4, 7.6, 10)	(6, 8.1, 10)	(4, 7.2, 10)
C ₂	(0.1, 0.13, 0.25)	(1, 1, 1)	(4, 5.3, 8)	(4, 6.5, 8)
C ₃	(0.1, 0.12, 0.16)	(0.13, 0.18, 0.25)	(1, 1, 1)	(4, 7.6, 10)
C ₄	(0.1, 0.13, 0.25)	(0.13, 0.15, 0.25)	(0.1, 0.13, 0.25)	(1, 1, 1)

Pour que cette matrice soit valide, il faut calculer l'indice de consistance et le ratio de

consistance. Dans notre cas, $Z=4$ donc $RC = 0.9$ Comme le ratio de consistance CR est inférieur à 0.1 alors la matrice agrégée est valide.

$$CI = \frac{4.12 - 4}{4 - 1} = 0.04, \quad CR = \frac{0.04}{0.9} = 0.044 < 0.1$$

5.4. Choix des fournisseurs en utilisant la méthode AHP floue

La figure 23 présente la structure hiérarchique du problème de choix de fournisseurs étudié.

La structure compte 4 niveaux respectivement :

- Niveau 0 : Objectif ‘choix des fournisseurs’
- Niveau 1 : Classes
- Niveau 2 : Critères
- Niveau 3 : Fournisseurs

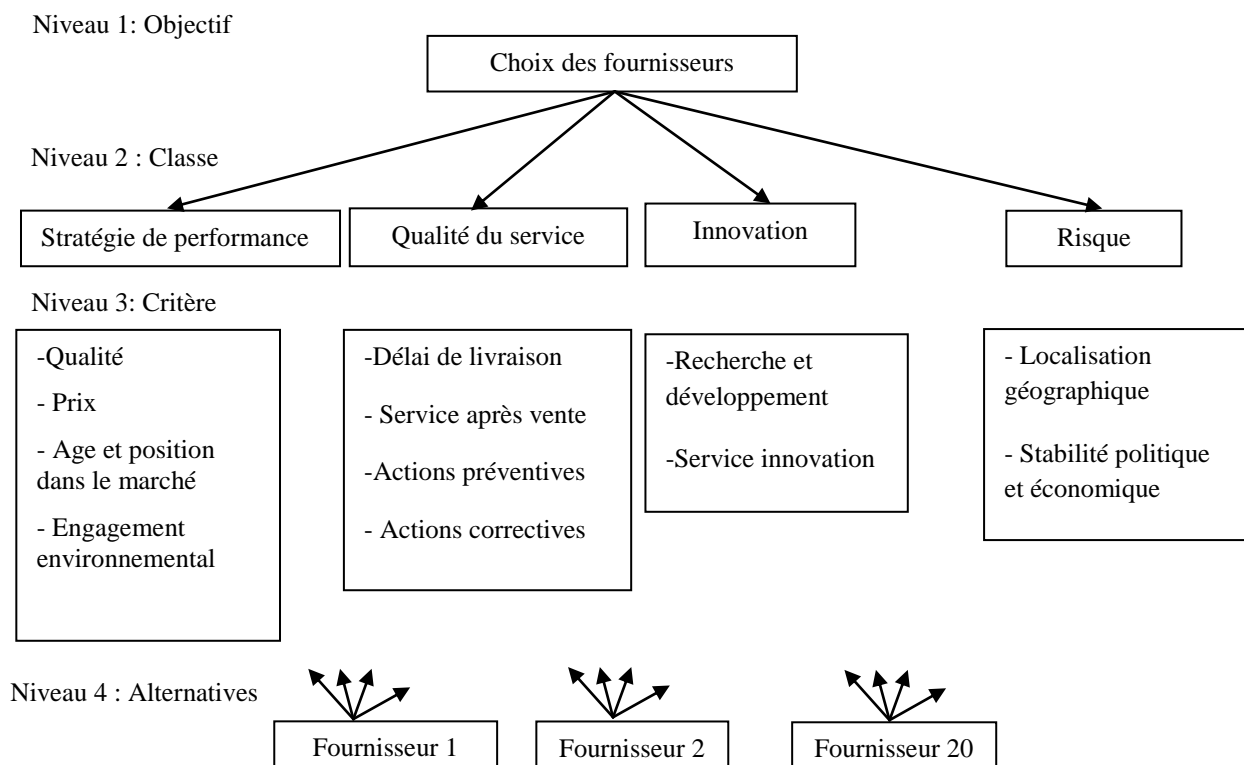


Figure 24. Exemple de structure hiérarchique

En utilisant les formules (3.12)-(3.16), les valeurs synthétisées floues A_i et le degré minimum de possibilité M pour les quatre classes C_i ($i= 1, 2, 3, 4$) sont calculées :

$$A_1 = (0.28, 0.53, 0.43)$$

$$A_2 = (0.15, 0.25, 0.26)$$

$$A_3 = (0.13, 0.19, 0.20)$$

$$A_4 = (0.021, 0.03, 0.03)$$

$$M(A_1 \geq A_2, A_3, A_4) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$M(A_2 \geq A_1, A_3, A_4) = \min(0.06, 1, 1) = 0.06$$

$$M(A_3 \geq A_1, A_2, A_4) = \min(0.29, 0.5, 0.1) = 0.29$$

$$M(A_4 \geq A_1, A_2, A_3) = \min(0.97, 1, 1) = 0.97$$

Le vecteur des poids W pour les quatre classes est donné par (0.4, 0.02, 0.12, 0.47) avec :

$$w_i = \frac{M(\tilde{A}_i \geq \tilde{A}_j | j = 1, \dots, 4; j \neq i)}{\sum_{k=1}^4 M(\tilde{A}_k \geq \tilde{A}_j | j = 1, \dots, 4; j \neq k)} \quad (5.1)$$

De la même manière, les poids des critères de chaque classe ainsi que les poids des différents fournisseurs potentiels sont calculés.

- **Classe ‘stratégie de performance’**

$$A_1 = (0.23, 0.44, 0.41)$$

$$A_2 = (0.19, 0.34, 0.33)$$

$$A_3 = (0.12, 0.18, 0.20)$$

$$A_4 = (0.026, 0.03, 0.04)$$

$$M(A_1 \geq A_2, A_3, A_4) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$M(A_2 \geq A_1, A_3, A_4) = \min(0.5, 1, 1) = 0.5$$

$$M(A_3 \geq A_1, A_2, A_4) = \min(0.13, 0.06, 0.1) = 0.06$$

$$M(A_4 \geq A_1, A_2, A_3) = \min(0.83, 0.94, 1) = 0.83$$

Le vecteur des poids W pour les quatre critères de C_1 est donné par (0.37, 0.18, 0.02, 0.43).

- **Classe ‘qualité de service’**

$$A_1 = (0.85, 1.16, 1.5)$$

$$A_2 = (0.66, 0.88, 1.12)$$

$$A_3 = (0.26, 0.36, 0.48)$$

$$A_4 = (0.07, 0.09, 0.10)$$

$$M(A_1 \geq A_2, A_3, A_4) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$M(A_2 \geq A_1, A_3, A_4) = \min(0.5, 1, 1) = 0.5$$

$$M(A_3 \geq A_1, A_2, A_4) = \min(0.88, 0.54, 1) = 0.54$$

$$M(A_4 \geq A_1, A_2, A_3) = \min(2, 2, 1) = 1$$

Le vecteur des poids W pour les quatre critères de C_2 est donné par (0.3, 0.15, 0.16, 0.39).

- **Classe ‘innovation’**

$$A_1 = (0.19, 0.37, 0.35)$$

$$A_2 = (0.25, 0.63, 0.6)$$

$$M(A_1 \geq A_2) = \min(1, 0.28) = 0.28$$

$$M(A_2 \geq A_1) = \min(1, 1) = 1$$

Le vecteur des poids W pour les deux critères de C_3 est donné par (0.22, 0.78).

- **Classe ‘risque’**

$$A_1 = (0.22, 0.41, 0.37)$$

$$A_2 = (0.27, 0.58, 0.52)$$

$$M(A_1 \geq A_2) = \min(1, 0.36) = 0.36$$

$$M(A_2 \geq A_1) = \min(1, 1) = 1$$

Le vecteur des poids W pour les deux critères de C_4 est donné par (0.26, 0.74)

Les poids des fournisseurs potentiels sont dans le tableau 13

Tableau 13. Poids des fournisseurs potentiels

Fournisseur	Poids	Fournisseur	Poids
Fournisseur1	0.12	Fournisseur11	0.09
Fournisseur2	0.14	Fournisseur12	0.112
Fournisseur3	0.11	Fournisseur13	0.10
Fournisseur4	0.105	Fournisseur14	0.08
Fournisseur5	0.078	Fournisseur15	0.09
Fournisseur6	0.08	Fournisseur16	0.12
Fournisseur7	0.10	Fournisseur17	0.10
Fournisseur8	0.128	Fournisseur18	0.07
Fournisseur9	0.097	Fournisseur19	0.108
Fournisseur10	0.11	Fournisseur20	0.082

Nous constatons que les fournisseurs 2, 8, 1, 16 et 12 ont les meilleurs poids. Par conséquent, ils sont choisis pour intégrer la chaîne. Une fois le choix réalisé, nous passons maintenant à la détermination des taux/ratios des ordres d’affectation en utilisant la méthode TOPSIS floue et où les critères utilisés sont le prix, la qualité et le délai de livraison.

5.5. Simulation basée sur les connaissances

Grâce au module de simulation basé sur les connaissances, nous allons imiter le comportement de la chaîne logistique. Ce module est composé de deux parties. La première partie concerne la simulation et la deuxième concerne l'acquisition des connaissances. Les données générées par le simulateur, les valeurs des attributs, seront utilisées par la partie acquisition des connaissances pour calculer des nouvelles valeurs pour les critères qualité et prix. Pour le critère délai de livraison, le simulateur fournit directement la valeur du critère. Après des simulations sur des horizons de trois mois (un an au total), les valeurs linguistiques pour le critère délai de livraison des fournisseurs choisis sont obtenues. Les valeurs floues triangulaires correspondantes sont illustrées dans le tableau 15. Pour cette partie, le tableau 14 renseigne sur les valeurs floues dans l'intervalle [0,1] tirées de (Singh et Benyoucef, 2011b) et utilisées par la méthode TOPSIS floue.

Tableau 14. Valeurs linguistiques et valeurs floues triangulaires, échelle [0, 1]

Valeur linguistique	Valeur floue triangulaire
TE	(0.7, 0.9, 1)
E	(0.6, 0.7, 0.9)
M	(0.4, 0.6, 0.8)
Ma	(0.3, 0.4, 0.5)
TM	(0.1, 0.2, 0.3)

Tableau 15. Valeurs linguistiques du critère délai de livraison

	Fournisseur 1	Fournisseur 2	Fournisseur 8	Fournisseur 12	Fournisseur 16
Après 3 mois	Ma	E	M	Ma	E
Après 6 mois	Ma	Ma	M	M	P
Après 9 mois	M	M	E	E	M
Après 12 mois	M	Ma	M	E	P

Tableau 16. Valeurs floues du critère délai de livraison

	Fournisseur 1	Fournisseur 2	Fournisseur 8	Fournisseur 12	Fournisseur 16
Après 3 mois	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.8)
Après 6 mois	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.6, 0.7, 0.9)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.1, 0.2, 0.3)
Après 9 mois	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.6, 0.7, 0.8)	(0.6, 0.7, 0.9)	(0.3, 0.4, 0.5)
Après 12 mois	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.6, 0.7, 0.9)	(0.1, 0.2, 0.3)

Pour calculer les valeurs des deux critères prix et qualité, nous proposons d'utiliser les attributs suivants qui pour nous représente une première tentative d'identification d'attributs associés à la qualité et au prix. Il n'est pas exclu d'utiliser d'autres attributs :

Critère qualité :

- *qualité de l'emballage* ;
- *qualité de la finition* ;
- *taille*.

Critère Prix :

- *prix hors taxes* ;
- *taux de change*.

Par définition, 'I', 'a' et '1' correspondent à la valeur 'convenable'. 'II', 'b' et '2' correspondent à la valeur 'moyen'. Ces valeurs seront utilisées pour décrire la qualité de chaque attribut.

Pour décrire la 'qualité de l'emballage' et le 'prix hors taxes', nous utilisons 'I' et 'II'. Aussi, pour décrire la 'qualité de la finition' et le 'taux de change', nous utilisons 'a' et 'b'. En fin, pour décrire la taille, nous utilisons '1' et '2'.

5.5.1. Acquisition des connaissances

Pour la partie connaissance, les deux algorithmes RULES3 et RULES6 sont utilisés. Les résultats obtenus sont comparés en fonction des évolutions linguistiques des valeurs des différents critères (prix et qualité) et aussi les ratios des taux d'affectations.

Pour cela, à chaque critère (prix et qualité), un exemple d'apprentissage est associé. Ces deux exemples représentent les données d'entrées des algorithmes RULES. Une liste de règle est obtenue après chaque exécution. Les tableaux 17 et 18 présentent les exemples d'apprentissage utilisés pour les critères 'prix' et 'qualité'

Tableau 17.Exemple d'apprentissage pour le critère qualité

Exemple	Qualité de l'emballage	Qualité de la finition	La taille	Valeur linguistique
1	II	a	1	TE
2	I	b	2	E
3	I	a	2	H
4	II	a	2	M
5	II	b	2	M
6	I	a	1	TE

Tableau 18.Exemple d'apprentissage pour le critère prix

Exemple	Prix hors taxes	Taux de change	
1	I	1	TE
2	II	2	M
3	II	1	E

5.5.2. Application de l'algorithme RULES3

a. Critère Qualité

Après l'exécution de l'algorithme RULES3, les règles suivantes sont obtenues:

Si Qualité de l'emballage = I alors Qualité = E

Si taille = 1 alors Qualité = TE

Si Qualité de la finition = b alors Qualité = M

Si Qualité de l'emballage = II alors Qualité = M

Après la simulation d'une année d'activités de la chaîne, les valeurs des attributs 'qualité d'emballage', 'qualité de la finition', 'taille' sont obtenues. A partir de ces valeurs, les nouvelles valeurs linguistiques du critère 'qualité' sont obtenues par l'application des règles d'apprentissage. Le tableau 19 résume les valeurs linguistiques du critère 'qualité'. Le tableau 20 présente les valeurs floues triangulaires des valeurs du tableau 19.

Du tableau 19, si les valeurs des trois attributs du fournisseur 8 pour la livraison 6 sont (II, b, 2), il n'est pas possible d'appliquer ni la première règle ni la deuxième règle, car la valeur de l'attribut 'qualité d'emballage' est égale à II et celle de la 'taille' est égale à 2. Par contre, il est possible d'appliquer la troisième règle, puisque comme la valeur de 'qualité de la finition' est égale à b alors la valeur du critère 'qualité' est égale à M.

Tableau 19. Valeurs linguistiques pour le critère qualité

Livraison id	Fournisseur 1		Fournisseur 2		Fournisseur 8		Fournisseur 12		Fournisseur 16	
Livraison 1	(II, b, 1)	TE	(II, a, 2)	M	(I, a, 1)	E	(II, a, 1)	TE	(II, a, 2)	M
Livraison 2	(II, b, 2)	M	(I, b, 1)	E	(II, a, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, b, 2)	M
Livraison 3	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, b, 2)	E	(II, b, 1)	TE
Livraison 4	(II, b, 2)	M	(I, a, 1)	E	(II, b, 2)	M	(II, a, 2)	M	(I, a, 1)	E
Livraison 5	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, b, 1)	E
Livraison 6	(II, b, 2)	M	(II, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(I, b, 2)	E	(II, a, 2)	M
Livraison 7	(II, a, 1)	TE	(II, a, 1)	TE	(I, a, 1)	E	(I, a, 2)	E	(I, a, 1)	E
Livraison 8	(II, a, 1)	TE	(I, a, 1)	E	(I, a, 1)	E	(I, b, 2)	E	(I, b, 1)	E
Livraison 9	(II, a, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, a, 1)	TE
Livraison 10	(I, a, 1)	E	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, b, 2)	E	(II, b, 1)	TE
Livraison 11	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, a, 2)	M	(II, a, 2)	M
Livraison 12	(II, a, 2)	M	(II, a, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M
Livraison 13	(II, b, 1)	TE	(II, b, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(I, a, 2)	E	(II, b, 1)	TE
Livraison 14	(I, a, 2)	E	(II, a, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, a, 1)	E	(I, a, 2)	E

Tableau 20. Valeurs floues triangulaires pour le critère qualité

Livraison id	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Livraison 1	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)
Livraison 2	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)
Livraison 3	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 4	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)
La valeur moyenne après trois mois	(0.4, 0.52, 0.62)	(0.7, 0.5, 0.65)	(0.32, 0.45, 0.57)	(0.52, 0.7, 0.82)	(0.42, 0.57, 0.7)
Livraison 5	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 6	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)
Livraison 7	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)
La valeur moyenne après trois mois	(0.43, 0.56,0.66)	(0.56, 0.73, 0.83)	(0.33, 0.46,0.6)	(0.36, 0.53, 0.7)	(0.36, 0.53,0.7)
Livraison 8	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 9	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 10	(0.4,0.6,0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 11	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.42, 0.57, 0.7)	(0.42, 0.57, 0.7)	(0.42, 0.57, 0.7)	(0.45, 0.62, 0.77)	(0.52, 0.7, 0.82)
Livraison 12	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)
Livraison 13	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 14	(0.4,0.6,0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6,0.8)	(0.4, 0.6,0.8)
La valeur moyenne après trois mois	(0.47, 0.63,0.76)	(0.43, 0.56,0.66)	(0.43, 0.56,0.66)	(0.36, 0.53,0.7)	(0.47, 0.63,0.76)

b. Critère prix

Les règles obtenues en utilisant l’algorithme RULES3 pour le critère ‘prix’ sont:

Si Prix hors taxes = I alors Prix = TE

Si Prix hors taxes = II et Taux de change =2 alors Prix = M

Si Taux de change =1 alors Prix=E

Le même calcul que celui réalisé pour le critère ‘qualité’ sera réalisé pour le critère ‘prix’. Après la simulation d’une année d’activités, des nouvelles valeurs pour les attributs ‘prix hors taxe’ et ‘taux de change’ sont calculées. Les valeurs linguistiques correspondantes au critère ‘prix’ sont calculées en utilisant les règles d’apprentissage ci-dessus. Le tableau 21 illustre les résultats obtenus.

Tableau 21. Valeurs linguistiques pour le critère prix

Livraison id	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16					
Livraison 1	(I, 2)	TE	(II, 2)	M	(II, 1)	E	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE
Livraison 2	(II, 1)	E	(I, 1)	TE	(I, 1)	TE	(I, 1)	TE	(II, 1)	E
Livraison 3	(II, 2)	M	(II, 1)	E	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE	(II, 1)	E
Livraison 4	(II, 1)	E	(I, 1)	TE	(I, 2)	TE	(II, 1)	H	(I, 2)	TE
Livraison 5	(II, 1)	E	(II, 1)	E	(I, 2)	TE	(II, 2)	M	(I, 2)	TE
Livraison 6	(II, 1)	E	(I, 1)	TE	(II, 2)	M	(II, 2)	M	(I, 1)	TE

Livraison 7	(II, 2)	M	(II, 2)	M	(II, 1)	E	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE
Livraison 8	(I, 2)	M	(I, 1)	TE	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE	(II, 2)	M
Livraison 9	(II, 2)	M	(I, 2)	TE	(II, 2)	M	(I, 1)	TE	(II, 2)	M
Livraison 10	(I, 1)	TE	(I, 1)	TE	(II, 1)	E	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE
Livraison 11	(II, 1)	E	(II, 1)	E	(II, 1)	E	(II, 2)	M	(II, 2)	M
Livraison 12	(II, 2)	M	(II, 2)	M	(I, 1)	TE	(I, 2)	TE	(II, 2)	M
Livraison 13	(I, 2)	TE	(II, 1)	H	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE	(II, 2)	M
Livraison 14	(I, 1)	TE	(I, 2)	TE	(I, 1)	TE	(II, 2)	M	(I, 1)	TE

Tableau 22. Valeurs floues pour le critère prix

Livraison id	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Livraison 1	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.8)
Livraison 2	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)
Livraison 3	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)
Livraison 4	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.3, 0.4, 0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.37, 0.55, 0.92)	(0.37, 0.55, 0.92)	(0.35, 0.5, 0.65)	(0.35, 0.5, 0.65)	(0.35, 0.5, 0.65)
Livraison 5	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 6	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 7	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
La valeur moyenne après trois mois	(0.36, 0.53, 0.7)	(0.36, 0.53, 0.7)	(0.36, 0.53, 0.7)	(0.3,0.4,0.5)	(0.36, 0.53, 0.7)
Livraison 8	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 9	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 10	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 11	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.35, 0.5, 0.65)	(0.37, 0.55, 0.72)	(0.35, 0.5, 0.65)	(0.37, 0.55, 0.72))	(0.325,0.45,5.75)
Livraison 12	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 13	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 14	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
La valeur moyenne après trois mois	(0.33, 0.46, 0.6)	(0.3,0.4,0.5)	(0.36,0.53,0.7)	(0.33, 0.46, 0.6)	(0.33, 0.46, 0.6)

5.5.3. Application de l'algorithme RULES6

Dans cette section, l'algorithme RULES6 est appliqué à la place de l'algorithme RULES3 sur les valeurs des attributs dans le but de générer des nouvelles valeurs linguistiques et floues associées aux critères 'prix' et 'qualité'. Les tableaux 23 et 24 présentent les résultats obtenus.

a. Critère qualité

Après l'exécution de l'algorithme RULES6, les suivantes sont obtenues :

Si Qualité de l'emballage = II alors Qualité = M

Si Qualité de la finition = b alors Qualité = E

Si taille=1 alors Qualité =TE

Tableau 23. Valeurs linguistiques pour le critère qualité

Livraison id	Fournisseur1		Fournisseur2		Fournisseur8		Fournisseur12		Fournisseur16	
Livraison 1	(II, b, 1)	M	(II, a, 2)	M	(I, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(I, b, 1)	E
Livraison 2	(II, b, 2)	M	(I, a, 1)	TE	(II, a, 2)	TE	(II, b, 2)	M	(I, b, 2)	E
Livraison 3	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, b, 1)	E	(II, b, 1)	M
Livraison 4	(II, b, 2)	M	(I, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(I, b, 2)	E	(II, b, 1)	M
Livraison 5	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, b, 1)	E
Livraison 6	(II, b, 2)	M	(I, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	M	(I, a, 1)	TE
Livraison 7	(II, a, 2)	M	(II, a, 2)	TE	(I, a, 1)	TE	(II, b, 1)	M	(I, b, 2)	E
Livraison 8	(II, a, 1)	M	(I, a, 1)	TE	(I, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	M
Livraison 9	(II, a, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(I, b, 1)	E	(II, a, 2)	M
Livraison 10	(I, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(I, a, 1)	TE	(II, b, 2)	M
Livraison 11	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(II, b, 1)	M	(II, b, 2)	M
Livraison 12	(II, a, 2)	M	(II, a, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(I, b, 2)	E	(I, a, 1)	TE
Livraison 13	(II, b, 1)	M	(II, b, 1)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	TE
Livraison 14	(I, a, 1)	TE	(II, a, 2)	TE	(II, b, 2)	M	(II, b, 1)	TE	(I a, 1)	TE

Tableau 24. Valeurs floues triangulaires pour le critère qualité

Livraison id	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Livraison 1	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 2	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 3	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 4	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.3,0.4,0.5)	(0.5, 0.65, 0.75)	(0.5, 0.65, 0.75)	(3.5,0.5,0.65)	(3.5,0.5,0.65)
Livraison 5	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 6	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 7	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
La valeur moyenne après trois mois	(0.3, 0.4,0.5)	(0.56, 0.72, 0.83)	(0.43, 0.56,0.66)	(0.3,0.4,0.5)	(0.5,0.7,0.86)
Livraison 8	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 9	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 10	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 11	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.4, 0.52, 0.62)	(0.5, 0.65, 0.75)	(0.5, 0.65, 0.75)	(0.42,0.57,0.47)	(0.32,0.45,0.57)
Livraison 12	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 13	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 14	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)
La valeur moyenne après trois mois	(0.56, 0.73,0.83)	(0.56, 0.73,0.83)	(0.43,0.56,0.66)	(0.46,0.63,0.46)	(0.7, 0.9,1)

b. Critère prix

Les règles obtenues avec l'algorithme RULES6 sont:

Si Prix hors taxes = I alors Prix = TE

Si Taux de change =2 alors Prix=M

Si Prix hors taxes = II alors Prix = E

Les tableaux 24 et 25 présentent les résultats obtenus après la simulation d'une année d'activités.

Tableau 24. Valeurs linguistiques pour le critère prix

Livraison id	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Livraison 1	(I, 2) TE	(II, 2) M	(II, 1) E	(I, 2) TE	(II, 2) M
Livraison 2	(II, 1) E	(I, 1) TE	(I, 1) TE	(I, 1) TE	(II, 2) M
Livraison 3	(II, 1) E	(II, 1) E	(I, 2) TE	(II, 1) E	(II, 1) E
Livraison 4	(II, 1) E	(I, 1) TE	(I, 2) TE	(II, 2) M	(I, 1) TE
Livraison 5	(II, 1) E	(II, 1) E	(I, 2) TE	(II, 2) M	(I, 2) TE
Livraison 6	(II, 1) E	(I, 1) TE	(I, 1) TE	(II, 1) E	(I, 2) Te
Livraison 7	(II, 2) M	(II, 2) M	(II, 1) E	(I, 2) TE	(II, 2) M
Livraison 8	(I, 2) TE	(I, 1) TE	(I, 2) TE	(I, 2) TE	(II, 1) E
Livraison 9	(II, 2) M	(I, 2) TE	(II, 2) M	(II, 2) M	(II, 1) E
Livraison 10	(I, 1) TE	(I, 1) TE	(II, 1) E	(II, 1) E	(II, 2) M
Livraison 11	(II, 1) H	(II, 1) E	(II, 1) E	(I, 2) TE	(I, 1) TE
Livraison 12	(II, 2) M	(II, 2) M	(I, 1) TE	(II, 2) M	(II, 2) M
Livraison 13	(I, 2) TE	(II, 1) TE	(I, 2) TE	(II, 1) E	(II, 1) E
Livraison 14	(I, 1) TE	(II, 2) M	(I, 1) TE	(I, 1) TE	(II, 2) M

Tableau 25. Valeurs floues pour le critère prix

Livraison id	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Livraison 1	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 2	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 3	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 4	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)
La valeur moyenne après trois mois	(0.47, 0.67, 0.62)	(0.52,0.7,0.37)	(0.62,0.82,0.95)	(0.52,0.7,0.37)	(0.42,0.57,4.75)
Livraison 5	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 6	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)
Livraison 7	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.36, 0.53, 0.7)	(0.46,0.63,0.46)	(0.6, 0.8, 0.93)	(0.46,0.63,0.46)	(0.56,0.73,0.83)
Livraison 8	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 9	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 10	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 11	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)
La valeur moyenne après trois mois	(0.52,0.7,0.82)	(0.62,0.82,0.95)	(0.45,0.62,5.5)	(0.52,0.7,0.82)	(0.45,0.62,0.77)

Livraison 12	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)
Livraison 13	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)
Livraison 14	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)	(0.7, 0.9,1)	(0.3,0.4,0.5)
La valeur moyenne après trois mois	(0.56, 0.73, 0.83)	(0.43,0.56,0.66)	(0.7, 0.9,1)	(0.46,0.63,0.76)	(0.33,0.46,0.6)

5.5.4. Affectation des ordres d'achats en utilisant TOPSIS floue

La dernière étape dans notre approche consiste à calculer les ratios d'affectation des ordres d'achats pour chaque fournisseur choisi. La méthode TOPSIS floue est appliquée après chaque trois mois d'activités. Les données d'entrer sont les matrices de poids en nombres floues triangulaires. Puisque nous avons différentes matrices de poids fournisseur-critère, par rapport au type de règles utilisées, nous allons diviser le calcul en deux parties. Les ratios obtenus avec les matrices générées par RULES3 et les ratios obtenus avec les matrices générées par RULES6.

- **Résultats avec RULES3**

Le tableau 26 illustre la matrice de comparaison des trois critères prix, qualité et délai de livraison pour les cinq fournisseurs choisis à l'instant $t=0$.

Tableau 26.Matrice de comparaison fournisseurs critères

	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Prix	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)
Qualité	(0.4,0.6,0.8)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.3,0.4,0.5)	(0.7, 0.9,1)
Délai de livraison	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.7, 0.9,1)	(0.4,0.6,0.8)

Les tableaux 27 et 28 présentent les distances entre les fournisseurs et A^+ (*Fuzzy Positive Ideal Solution*) et A^- (*Fuzzy Negative Ideal Solution*) en utilisant les formules (3.23)-(3.27).

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \dots, \tilde{v}_n^+) = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1)]$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \dots, \tilde{v}_n^-) = [(0.32, 0.32, 0.32), (0.21, 0.21, 0.21), (0.28, 0.28, 0.28)]$$

Tableau 27.Distances entre les fournisseurs et A^+

d^+	Prix	Qualité	Délai de livraison
d(Fournisseur1, A^+)	0.26	0.32	0.44
d(Fournisseur2, A^+)	0.45	0.40	0.65
d(Fournisseur8, A^+)	0.11	0.14	0.34
d(Fournisseur12, A^+)	0.34	0.56	0.22
d(Fournisseur16, A^+)	0.21	0.27	0.55

Tableau 28. Distances entre les fournisseurs et A^-

d	Prix	Qualité	Délai de livraison
d(Fournisseur1, A^-)	0.23	0.20	0.27
d(Fournisseur2, A^-)	0.45	0.43	0.67
d(Fournisseur8, A^-)	0.67	0.34	0.54
d(Fournisseur12, A^-)	0.34	0.44	0.45
d(Fournisseur16, A^-)	0.16	0.18	0.17

A ce niveau, les coefficients de proximité CC (*closeness coefficients*) pour les cinq fournisseurs choisis sont donnés dans le tableau 29 CC_i est calculé par :

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-},$$

Tableau 29. Coefficients de proximité CC

	Fournisseur 1	Fournisseur 2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
CC_i	0.40	0.51	0.72	0.52	0.33

• **Résultats avec RULES6**

Nous procédons de la même manière que précédemment. Après trois mois, les nouvelles valeurs des coefficients de proximité CC sont calculées. Les valeurs de A^+ et A^- sont données par:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \dots, \tilde{v}_n^+) = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1)]$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \dots, \tilde{v}_n^-) = [(0.38, 0.38, 0.38), (0.315, 0.315, 0.315), (0.28, 0.28, 0.28)]$$

Le tableau 30 représente la matrice de comparaison fournisseur-critère et les tableaux 31 et 32 présentent les distances entre les fournisseurs et A^+ (*Fuzzy Positive Ideal Solution*) et A^- (*Fuzzy Negative Ideal Solution*) en utilisant les formules (3.23)-(3.27).

Tableau 30. Matrice de comparaison fournisseur-critère

	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
Prix	(0.375, 0.55, 0.92)	(0.375, 0.55, 0.92)	(0.35, 0.5, 0.65)	(0.47, 0.682, 0.85)	(0.35, 0.5, 0.65)
Qualité	(0.47, 0.682, 0.85)	(0.47, 0.682, 0.85)	(0.47, 0.682, 0.85)	(0.375, 0.55, 0.92)	(0.35, 0.5, 0.65)
Délai de livraison	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.4, 0.6, 0.8)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.1, 0.2, 0.3)

Tableau 31.Distance entre les fournisseurs et A^+

d^+	Prix	Qualité	Délai de livraison
d(Fournisseur1, A^+)	0.32	0.22	0.24
d(Fournisseur2, A^+)	0.61	0.37	0.22
d(Fournisseur8, A^+)	0.26	0.16	0.46
d(Fournisseur12, A^+)	0.44	0.45	0.31
d(Fournisseur16, A^+)	0.26	0.34	0.54

Tableau 32.Distance entre les fournisseurs et A^-

d^-	Prix	Qualité	Délai de livraison
d(Fournisseur1, A^-)	0.12	0.23	0.57
d(Fournisseur2, A^-)	0.23	0.28	0.43
d(Fournisseur8, A^-)	0.41	0.25	0.31
d(Fournisseur12, A^-)	0.37	0.24	0.57
d(Fournisseur16, A^-)	0.33	0.23	0.41

Le tableau 33 résume les valeurs des CC pour les cinq fournisseurs

Tableau 33. Coefficients de proximité CC

	Fournisseur1	Fournisseur2	Fournisseur8	Fournisseur12	Fournisseur16
CC_i	0.54	0.44	0.52	0.49	0.46

5.5.5. Ratios des ordres d'achat

A la fin, à partir des valeurs des CC_i , obtenus dans les deux sections précédentes nous allons calculer les ratios des ordres d'achats par la normalisation des CC_i . Les tableaux 34 et 35 résument les valeurs des ratios obtenus, après la normalisation des CC obtenus avec les résultats de RULES3 et RULES6.

Tableau 34.Ratios des ordres d'achats pour les cinq fournisseurs (RULES3)

	$t = 0$	Après 3 mois	Après 6 mois	Après 9 mois
Fournisseurs 1	0.16	0.28	0.14	0.20
Fournisseurs 2	0.20	0.16	0.30	0.31
Fournisseurs 8	0.29	0.22	0.22	0.10
Fournisseurs 12	0.21	0.14	0.19	0.15
Fournisseurs 16	0.14	0.20	0.15	0.24

Tableau 35. Ratios des ordres d'achats pour les cinq fournisseurs (RULES6)

	$t = 0$	Après 3 mois	Après 6 mois	Après 9 mois
Fournisseurs 1	0.22	0.14	0.26	0.31
Fournisseurs 2	0.18	0.36	0.15	0.22
Fournisseurs 8	0.21	0.09	0.22	0.17
Fournisseurs 12	0.20	0.21	0.22	0.12
Fournisseurs 16	0.19	0.20	0.15	0.18

Les résultants obtenus montrent l'applicabilité de l'approche utilisée. Nous avons constaté que les valeurs des ratios sont fortement dépendantes des valeurs prises par des critères. De plus, une différence entre les ratios obtenus en utilisant l'algorithme RULES3 et ceux en utilisant l'algorithme RULES6 est constatée. Ainsi, la comparaison des résultats en utilisant RULES3 et RULES6 explique qu'il existe une réelle dépendance entre les règles d'acquisition des connaissances et les ratios d'affectation des ordres d'achat.

Au niveau du temps de calcul et implémentation informatique, l'algorithme RULES6 est simple à implémenter par rapport à RULES3. Cela est dû au nombre d'étapes de chaque algorithme. Les temps de calcul pour générer les règles associées à RULES6 et à RULES3 sont respectivement 0.0014 secondes et 0.0047 secondes. Dans la section suivante, nous allons appliquer l'approche sur un problème plus grand.

5.5.6. Application de l'approche sur un problème à grande taille

Nous avons considéré un problème avec 50 fournisseurs potentiels et où l'entreprise souhaite choisir 10 fournisseurs pour ses activités d'approvisionnement. Les mêmes classes et critères sont utilisés.

Tableau 36. Poids des fournisseurs

Fournisseur	Poids	Fournisseur	Poids	Fournisseur	Poids
Fournisseur1	0.12	Fournisseur19	0.162	Fournisseur37	0.09
Fournisseur2	0.154	Fournisseur20	0.117	Fournisseur38	0.112
Fournisseur3	0.65	Fournisseur21	0.123	Fournisseur39	0.124
Fournisseur4	0.05	Fournisseur22	0.087	Fournisseur40	0.09
Fournisseur5	0.078	Fournisseur23	0.091	Fournisseur41	0.04
Fournisseur6	0.09	Fournisseur24	0.151	Fournisseur42	0.12
Fournisseur7	0.43	Fournisseur25	0.073	Fournisseur43	0.92
Fournisseur8	0.072	Fournisseur26	0.9	Fournisseur44	0.07
Fournisseur9	0.127	Fournisseur27	0.132	Fournisseur45	0.108
Fournisseur10	0.11	Fournisseur28	0.007	Fournisseur46	0.082

Fournisseur11	0.067	Fournisseur29	0.121	Fournisseur47	0.069
Fournisseur12	0.052	Fournisseur30	0.093	Fournisseur48	0.084
Fournisseur13	0.078	Fournisseur31	0.071	Fournisseur49	0.04
Fournisseur14	0.09	Fournisseur32	0.011	Fournisseur50	0.065
Fournisseur15	0.096	Fournisseur33	0.087		
Fournisseur16	0.07	Fournisseur34	0.092		
Fournisseur17	0.092	Fournisseur35	0.076		
Fournisseur18	0.053	Fournisseur36	0.102		

Le tableau 36 résume les poids des 50 fournisseurs. Les 10 fournisseurs choisis sont les fournisseurs 1, 2, 9, 10, 15, 19, 20, 21, 24, 27, 29, 38, 39, 42 et 45.

Les tableaux 37 et 38 présentent les ratios des ordres d'achats pour les dix fournisseurs choisis pendant les quatre périodes (de trois mois chacune) en utilisant respectivement RULES3 et RULES6. Les résultats obtenus montrent que les ratios de taux d'affectation sont fortement dépendants de l'algorithme de gestion des connaissances.

Tableau 37. Ratios des ordres d'achats pour les dix fournisseurs (RULES3)

	t = 0	Après 3 mois	Après 6 mois	Après 9 mois
Fournisseurs1	0.07	0.11	0.09	0.1
Fournisseurs2	0.08	0.09	0.12	0.12
Fournisseurs9	0.13	0.12	0.1	0.03
Fournisseurs20	0.05	0.06	0.08	0.08
Fournisseurs21	0.14	0.13	0.11	0.11
Fournisseurs24	0.08	0.04	0.1	0.09
Fournisseurs27	0.11	0.17	0.04	0.05
Fournisseurs29	0.06	0.09	0.07	0.16
Fournisseurs38	0.05	0.03	0.13	0.07
Fournisseurs39	0.02	0.06	0.06	0.09
Fournisseurs42	0.15	0.02	0.04	0.03
Fournisseurs45	0.06	0.08	0.06	0.07

Tableau 38. Ratios des ordres d'achats pour les dix fournisseurs (RULES6)

	t = 0	Après 3 mois	Après 6 mois	Après 9 mois
Fournisseurs1	0.11	0.07	0.08	0.02
Fournisseurs2	0.05	0.12	0.14	0.1
Fournisseurs9	0.09	0.05	0.11	0.06
Fournisseurs20	0.15	0.14	0.07	0.12
Fournisseurs21	0.1	0.08	0.02	0.04
Fournisseurs24	0.12	0.06	0.09	0.09
Fournisseurs27	0.07	0.1	0.11	0.11
Fournisseurs29	0.11	0.07	0.08	0.06

Fournisseurs38	0.05	0.02	0.09	0.13
Fournisseurs39	0.08	0.11	0.13	0.07
Fournisseurs42	0.06	0.02	0.06	0.04
Fournisseurs45	0.01	0.16	0.02	0.16

5.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un exemple numérique qui nous a permis d'illustrer l'applicabilité de l'approche développée. La comparaison des résultats en utilisant RULES3 et RULES6 explique qu'il existe une réelle dépendance entre les règles d'acquisition des connaissances et les ratios d'affectation des ordres d'achat. Le temps de calcul pour générer les règles est presque identique avec un avantage pour l'algorithme RULES6. De plus, un exemple de grande taille a été présenté permettant d'affirmer que l'approche peut être utilisée dans le cas de problèmes de grandes tailles.

Ces travaux de recherche ont fait l'objet de plusieurs articles (Zougari et Benyoucef 2011d ; Zougari et Benyoucef 2011e ; Zougari et Benyoucef 2010a ; Zougari et Benyoucef 2010b ; Zougari et Benyoucef 2010c ; Zougari et Benyoucef 2010 ; Zougari et Benyoucef 2009b)

Conclusion et perspectives

Conclusion

Dans un contexte économique instable, sous l'effet d'une concurrence accrue, pour beaucoup d'entreprises de production de biens et de services, la recherche de nouveaux fournisseurs est une priorité majeure. Dans le cadre de cette thèse, nous avons abordé le problème de choix de fournisseurs avec affectation des ordres d'achat pour un groupe de décideurs. L'objectif principal est de développer une nouvelle approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour ce problème critique. Dans notre approche,

Pour résoudre le problème de choix des fournisseurs, la méthode AHP floue est utilisée. De même, pour calculer les ratios des taux d'affectation des ordres d'achat entre les fournisseurs choisis, la TOPSIS floue est utilisée dans un environnement où certaines données relatives aux critères sont capturées via des algorithmes d'apprentissage. Le choix de ces deux méthodes est justifié par rapport à la structure de chaque problématique. Pour le problème de choix de fournisseurs, nous avons une structure hiérarchique, structure utilisée par la méthode AHP. Pour le calcul des ratios des taux d'affectation, nous avons utilisé comme données d'entrée des matrices de comparaison fournisseur-critère. Cela a motivé le choix de méthode TOPSIS. Les deux méthodes AHP et TOPSIS évoluent dans des environnements flous.

Dans le premier chapitre, après la présentation du contexte général de notre étude, nous avons détaillé les différents niveaux décisionnels dans une chaîne logistique. Ce premier chapitre nous a permis de positionner notre problématique par rapport aux niveaux décisionnels dans une chaîne logistique :

- *Choix de fournisseurs : niveau stratégique*
- *Affectation des ordres d'achat : niveau tactique*

Parmi les points importants présentés dans le premier chapitre, les motivations de notre travail de recherche. Dans le chapitre deux, nous avons concentré nos efforts sur la présentation des travaux de recherche dédiés au problème de choix des fournisseurs. Nous avons constaté qu'il existe un manque d'approches capables de prendre en compte non seulement de la chaîne logistique mais de la dynamique des paramètres et plus particulièrement des critères utilisés. Pour cela, nous avons proposé d'intégrer un module de simulation basé sur les connaissances développées en utilisant les algorithmes RULES3 et RULES6.

Dans le chapitre trois, nous avons présenté les concepts théoriques ainsi que les différentes méthodes utilisées pour le développement de notre approche.

- *Ensemble flou*
- *Agrégation des matrices : Groupe de décideurs*
- *AHP floue : Problème de choix des fournisseurs*
- *TOPSIS floue : Problème d'affectation des ordres d'achat*

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté notre approche. Un modèle générique de résolution est proposé. Ce modèle peut être adapté pour résoudre différents types de problèmes de décision multicritères avec une structure hiérarchique pour faire un choix entre plusieurs alternatives. L'approche est composée de trois niveaux : niveau utilisateur ; niveau interface utilisateur-application et niveau application. Nous avons considéré dans notre étude quatre hypothèses sur le modèle afin de simplifier les tâches de modélisation et de traitement de la problématique globale à savoir:

- *Fournisseurs avec des capacités illimitées*
- *Chaîne logistique mono-produit*
- *Type de transport non considéré*
- *Temps de transport négligé*

Dans le chapitre cinq, nous avons proposé un exemple numérique afin de démontrer l'applicabilité de l'approche développée. Nous avons généré les règles de calcul des valeurs des critères en utilisant deux algorithmes respectivement RULES3 et RULES6. Les résultats obtenus ont été comparés et nous avons constaté que RULES6 est meilleur que RULES3 en terme de temps de calcul et facilité d'implémentation.

Perspectives

Comme perspectives, dans un premier temps, nous envisageons d'examiner d'autres classes de critères autres que les classes proposées. En effet, l'utilisation d'autres classes et critères peut être une perspective pour le développement du modèle générique de l'approche. Aussi, nous cherchons à relâcher certaines hypothèses restrictives comme la capacité de production illimitée, le délai de transport, etc., pour se rapprocher de la réalité. Un défi à soulever sera la réadaptation de notre approche.

Aussi, nous cherchons à examiner la possibilité d'utiliser la méthode ANP à la place de la méthode AHP lors du choix des fournisseurs. En effet, la méthode AHP se base sur une hypothèse critique d'indépendance des différentes classes de critères. Or, dans la pratique, il

n'est pas exclu de voir des problèmes de choix des fournisseurs avec une interdépendance entre les classes de critères. Comment l'approche ANP floue sera utilisée dans ce cas est une perspective de recherche intéressante.

Pour la partie gestion des connaissances, nous avons fait une première tentative avec les algorithmes RULES3 et RULES6. D'autres types d'algorithmes peuvent être utilisés, comme l'arbre de décision, les réseaux de neurones, etc.

Pour terminer, il est important de signaler que notre approche est générique et peut être adaptée à tout problème de choix ou sélection d'entités (fournisseurs, centre de distribution, usines, etc.), de technologies, de produits, etc. Toutefois, le passage d'une problématique à une autre nécessite un effort considérable d'analyse, de modélisation, de résolution et d'interprétation des résultats.

Références

Amid A., Ghodsypour S.H. et O'Brien C. (2009). A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in supply chain. *International Journal of Production Research*, 121(2), pp.323-332.

Amin S.H. Razmi J., et Zhang, G. (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert systems with applications* , 38 (1), pp. 334–342.

APICS Dictionary, (1998). 9th edition, APICS edition, Atlanta.

Aissaoui N., Haouari M. et Hassini E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers and Operations Research*, 34 (12), pp. 3516-3540.

Aksoy M. S. (2005). Pruning decision trees using RULES3 inductive learning algorithm. *Mathematical and Computational Applications*, 10(1), pp. 113-120.

Arntzen B. C., Brown G. G., Harrison T. P. et Trafton L. L.(1995). Global supply chain management at Digital Equipment Corporation. *Interfaces*, vol. 25, pp. 69-93.

Ballou R. H. (1999). Business Logistics Management. *Prentice-Hall*, Fourth edition.

Basnet C. et Leung J.M.Y. (2005). Inventory lot-sizing with supplier selection. *Computers and Operations Research*, 32(1), pp. 1-14.

Barbarosoglu G. et Yazgac T. (1997). An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. *Production and Inventory Management Journal*, 38(1), pp. 14-21.

Barthès J-P. (1996). Description and applications of an object-oriented model PDM. in modelling complex data for creating information. J.E. Dubois, N. Gershon, Eds. *Springer-Verlag*.

Benyoucef L., Vipul J. et Charpentier P. (2008). Approches centralisées de simulation des chaînes logistiques. Principes et applications. *La simulation pour la gestion des chaînes logistique. Edition lavoisier*, pp. 161-192.

Botta-Genoulaz V., Lamothe J., Pirard F., Riane F. et Valla A. (2008). Simulation à événements discrets pour la gestion de chaînes logistiques. *La simulation pour la gestion des chaînes logistiques*. Edition lavoisier, pp. 93-129.

Bozdog C.E., Kahraman C. et Ruan D. (2003). Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems. *Computers in Industry*, 51(1), pp. 13-29

Buffa F.P. et Jackson W.M. (1983). A goal programming model for purchase planning. *Journal of Purchasing and Material Management*, pp. 27-34.

Büyüközkam G. et Feyziog̃lu, O. (2004). A fuzzy-logic-based decision-making approach for new product development. *International Journal of Production Economics*, Vol.90, N° 1 pp. 27-45.

Chan F. T. S. et Kumar N. (2007). Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega*, 35(4), pp. 417-431.

Chan F. T. S. (2003). Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach. *International Journal of Production Research*, 41(15), pp. 3549-3579.

Chan F.T. S., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C. W. et Choy, K. L. (2007). Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. *International Journal of Production Research*, pp. 1 – 33.

Chen T. C. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making. *Fuzzy sets and systems*, 114(1) pp.1-9.

under fuzzy environment

Chang D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), pp. 649-655.

Chaudhry S.S., Forst F.G. et Zydiac J.L. (1993). Vendor selection with price breaks. *European Journal of Operational Research*, 70 (1), pp. 52-66.

Christopher M. (1992). Logistics and supply chain management : Strategies for reducing costs and improving services. *Financial Times*. Pitman publishing, London.

Clark P. et Boswell R. (1991). Rule induction with CN2: some recent improvements. *In Y. Kodratoff edition, Machine Learning - EWSL-91*, pp. 151-163.

Demirtas E. A. et Üstün O. (2008). An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation. *Omega*, 36(1), pp. 76-90.

Dickson G. W. (1966). An analysis of vendor selection : systems and decisions. *Journal of Purchasing*, vol. 2(1), pp. 5-17.

Dictionaries Larousse (2005). Larousse, ISBN-10: 2035320852.

Ding H., Benyoucef L. et Xie X. (2008). Simulation-based evolutionary multi-objective optimization approach for integrated decision-making in supplier selection. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 31(3/4), pp. 144-157.

Ding, H. (2004). Une approche d'optimisation basée sur la simulation pour la conception des chaînes logistiques : Application dans les industries automobile et textile. *Rapport de thèse*, université de Metz.

Dyer J. H. et Forman E. H. (1992). Group decision support with the analytic hierarchy process. *Decision support system*, Vol. 8, pp. 99-124.

Ellram L. M. (1990). The supplier selection decision in strategic partnerships. *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26(4), pp. 8-14.

Faez F., Ghodsypour S.H. et O'Brien C.O. (2009). Vendor selection and order allocation using an integrated fuzzy case-based reasoning and mathematical programming model. *International Journal of Production Economics*, 121(2), pp. 395-408.

Féniès P., Gourgand M. et Tchernev N. (2004). Une contribution à la mesure de la performance d'une Supply Chain Hospitalière : l'exemple du processus opératoire . *2ème conférence francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH), Mons*.

Ganeshan R. et Harrison T. (1995). An introduction to supply chain management. *Penn State University*, department of Management Science and Information Systems.

Ghodsypour S.H. et O'Brien C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. *International Journal of Production Economics*, 73(1), pp. 15-27.

Guneri A. F., Yucel A. et Ayyildiz G. (2009). An integrated fuzzy-ahp approach for a supplier selection problem in supply chain management. *Experts systems with applications*, 36(5), pp. 9223-9228.

Guo X., Yuan Z. et Tian B. (2009). Supplier selection based on hierarchical potential support vector machine. *Expert systems with applications*, 36(3), pp. 6978-6985.

Hwang C.L. et Yoon K. (1981). Multiple attribute decision making: methods and application. *Springer*, New York.

Jain V., Wadhwa S. et Deshmukh, S. G. (2007). Supplier selection using fuzzy association rules mining approach. *International Journal of Production Research*, 45(6), pp. 1323-1353.

Jain V. et Benyoucef L. (2008). Managing Long Supply Chain Networks: Some Emerging Issues and Challenges. *Journal of Manufacturing Technology and Management*, 19(4), pp. 469-496.

Jain V., Benyoucef L. et Deshmukh S. G. (2009). Strategic supplier selection: some emerging issues and challenges. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 5(1), pp. 61-88.

Kahraman C., Cebeci U. et Ulukan Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP", *Logistics Information Management*, 16(6), pp. 16-6.

Kumar M., Vrat, P. et Shankar, R. (2003). A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 46, Issue 1, pp. 69-85.

Lee A.H.I. (2008). A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. *Experts systems with applications*, 36(2), pp. 2879-2893.

Lee H.L., Billington C. et Carter B. (1993). Hewlett-Packard gains control of inventory and service through design for localization. *Interfaces*, vol. 23, pp. 1-11.

Lin R.H. (2009). An integrated FANP-MOLP for supplier evaluation and order allocation. *Applied mathematical modeling*, 33(6), pp. 2730-2736.

Mafakheri F., Breton M. et Ghoniem, A. (2011). Supplier selection-order allocation: a two-stage multiple criteria dynamic programming approach.

International Journal of Production Economics. 132 (1), pp. 52–57.

Mitchell et Wasil E. (1989). AHP in practice: Applications and observations from a management consulting perspective: *Applications and Studies*. Springer-Verlag, NY.

O'Leary (1998). Enterprise knowledge management. *Computer*, 31(3), p 54-61.

Onüt S., Kara S.S. et Isik E. (2009). Long-term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Expert systems with applications*, 36(2), pp. 3887-3895.

Pan A.C. (1989). Allocation of order quantity among suppliers. *Journal of Purchasing and Material Management*, pp. 36-39.

Pham D.T. et Afifi A.A. (2005). RULES-6: a simple rule indication algorithm for handling large data sets. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers-Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 219, pp. 1119-1137.

Pham D.T., Bigot S. et Dimov S.S. (2003). RULES-5: a rule induction algorithm for classification problems involving continuous attributes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers-Part C: *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol. 217, pp. 1273-1286.

Pham D.T. et Dimov M.S. (1997). An algorithm for incremental inductive learning. *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 211(3), ppp. 239-249.

Pham D.T. et Aksoy M.S. (1993). A new algorithm for inductive learning. *Journal of Systems Eng.*, Vol. 5, pp. 115-122.

Prax J-Y. (2000). Le guide du knowledge management, *Edition DUNOD*.

Poito J-P., (1996). La gestion des connaissances, comme condition et résultat de l'activité industrielle. *Intellectica*, 1(22), pp. 185-202.

Quayle M (1998). Industrial procurement: factors affecting sourcing decisions. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 4, pp. 199-205.

Quinlan, J.R. (1983). Learning efficient classification procedures and their application to chess end games. In *Machine learning: An Artificial Intelligence Approach*. Michalski, Carbonell & Mitchell edition, Tioga Publishing. Palo Alto, CA, pp 463-478.

Rezaei J. et Davoodi M. (2011). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection. *Int. J. Prod. Econ.* 130 (1), pp. 77–86.

Rosenthal E.C., Zydiak J.L. et Chaudhry S.S. (1995). Vendor selection with bundling. *Decision Science*, 26 (1), pp. 35-48

Rosenblatt M.J., Herer H.Y. et Hefter I. (1998). An acquisition policy for a single-item multi-supplier system. *Management Science*, 44 (11), pp. 96-100.

Saaty T.L (1990). The Analytic hierarchy process, *Pittsburgh, RWS Publications*.

Saaty T.L. (1989). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modeling*, 9(3/5), pp. 161-176.

Saaty, T.L., (1980.) *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, NY, 437 pp.

Sanayei A., Mousavi S. F., Abdi M.R. et Mohaghan A. (2008). An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming. *Journal of Franklin Institute*, 345(7), pp. 731-747.

Simchi-Levi D., Kaminsky P. et Simchi-Levi E. (2000). Designing et managing the supply chain : concepts, strategies, and case studies. *Irwin McGraw-Hill*, USA 2000.

Singh R. K. et Benyoucef L (2011a). Fuzzy TOPSIS based approach for multi-criteria reverse auctions. ROADEF 2011.

Singh R. K. et Benyoucef L (2011b). A fuzzy TOPSIS-based approach for e-sourcing. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(3), pp. 437-448.

Steels L. (1993). Corporate knowledge management. *Actes du Congrès ISMICK'93*. Université Technologique de Compiègne, pp. 9-30.

Sevкли M., Lenny K.S.C., Zaim S., Demirbag M. et Tatoglu E. (2008). Hybrid analytical hierarchy process model for supplier selection. *Industrial Management & Data Systems*, 108(1), 122-142.

Tan K.C. 2001. A framework of supply chain management literature. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(1), pp.39-48.

Thierry C., Thomas A. et Bel G. (2008). La simulation pour la gestion des chaînes logistiques, introduction. *La simulation pour la gestion des chaînes logistique*. Edition lavoisier, pp. 15-55.

Tanonkou G. A., Benyoucef L. et Xie X., (2007). A scenario analysis of a location problem with uncertain demand. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 32(4), pp. 290 – 297.

Thompson K.N. (1990). Vendor profile analysis. *Journal of purchasing and materials management*, 26(1), pp. 11-18.

Utgoff P.E. (1988). ID5: An incremental ID3. *Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning, Michigan, USA*, pp. 107-120.

Vahidnia M.H. , Alesheikh A., Alimohammadi A. et Bassiri A., (2008). Fuzzy analytical hierarchy process in gis application. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing , part B2, pp. 593-596.

Van Laarhoven P.J.M. et Pedrycz W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 229–241.

Wang G., Jiang Z., Li, Z. et Liu W. (2008a). Supplier selection and order allocation in multiple-sourcing inventory systems. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 3(1), pp. 23-27.

Wang Y. M., Luo Y. et Hua Z. (2008b). On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications. *European Journal of Operational Research*, 186(2), pp. 735-747.

Wang, Y. L. et Lee, H. S. (2007). Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *International Journal computers and mathematics with applications*, 53(11), pp.1762-1772.

Weber C. A., Current J. R. et Benton W. C. (1991). Vendor selection criteria and methods. *European Journal of Operational Research*, vol. 50, pp. 2-18.

Wu W-Y, Sukoco B. M., Li C-Y et Chen S. H. (2009). An integrated multiobjective decision-making process for supplier selection with bundling problem. *Experts systems with applications*, 36(2), pp. 2327-2337.

Zadeh L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), pp. 338-353.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2011a). Simulation based fuzzy TOPSIS approach for Group Multi-criteria Supplier Selection Problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, (in press).

Zouggari A. et Benyoucef L. (2011b). Simulation based fuzzy tool for supplier selection with order allocation. *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Beijing, China, July 10-12, pp.364-369.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2011c). Multi-criteria group decision supplier selection problem using fuzzy TOPSIS based approach. *7th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT)*, Aix-Les-Bains, France, 18-22 July. ISBN: 978-90-78677-00-0. pp.628-635.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2011d). Supplier selection with order allocation using a simulation-based fuzzy approach. *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, Metz, France, 25-27 May. ISBN 978-2-9600532-3-4. pp. 908-916.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2011e). Simulation-based fuzzy TOPSIS approach for multi-criteria supplier selection problem. *12e congrès annuel de la société française de recherche opérationnelle et d'aide à la décision (ROADEF)*, Saint-Étienne, France, 2 - 4 March.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2010a). An innovative decision making tool for global supplier selection with order allocation. *7th CIRP International Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP-ICME)*, Naples, Italy, 23-25 June, ISBN 978-88-95028-65-1.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2010b). Simulation-based fuzzy TOPSIS approach: application to the supplier selection problem. *7th International Symposium on Intelligent and Manufacturing Systems*, Sarajevo, Bosnia Herzegovina, 15-17 September.

Zouggari A. et Benyoucef L. (2010c). Fuzzy-knowledge based approach for multi-criteria supplier selection problem. *6th IPROMS Virtual Conference*, Wales, UK, 15-26 November.

Zouggari A., Benyoucef L. et Jain V. (2009a). Supplier selection with order allocation: A fuzzy knowledge based approach. *2nd International Researchers Symposium on Innovative Production Machines and Systems IPROM IRS Symposium (IPROMS-IRS)*, Naples, Italy, 22 -24 July, pp.181-184.

Zouggari A., Benyoucef L. et Jain V. (2009b). A Knowledge -based discrete event simulation approach for supplier selection with order allocation. *3rd IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEE-IEEM)*, Hong Kong, 8-11 December, pp. 1673-1678.

Résumé : L'objectif principal de notre thèse est de contribuer au développement d'une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour résoudre un problème d'actualité traitant de la sélection des fournisseurs dans une chaîne logistique avec affectation des ordres d'achat dans un environnement dynamique et aléatoire.

La recherche de nouveaux fournisseurs est une priorité majeure pour toute entreprise qui souhaite persister et gagner de nouvelles parts du marché sachant que ce dernier (le marché) est sans merci. Cela est lié sans doute à plusieurs aspects. Parmi ces derniers et pour ne citer que deux, 1) la réduction du cycle de vie des produits (très court, de 3-4 années) où de nouveaux modèles doivent être fréquemment développés en utilisant le plus souvent des composants innovants et/ou des technologies nouvelles et 2) la majorité des industries sont, historiquement, très consommatrices de main d'œuvre qui a conduit sans doute à des variations complexes tant sur les besoins en matières premières qu'en main d'œuvre qualifiée face à un marché chaotique.

Abstract : Supplier selection is nowadays one of the critical topics in supply chain management. This paper presents a new decision making approach for group multi-criteria supplier selection problem, which clubs supplier selection process with order allocation for dynamic supply chains to cope market variations. More specifically, the developed approach imitates the knowledge acquisition and manipulation in a manner similar to the decision makers who have gathered considerable knowledge and expertise in procurement domain. Nevertheless, under many conditions, exact data are inadequate to model real-life situation and fuzzy logic can be incorporated to handle the vagueness of the decision makers. As per this concept, fuzzy-AHP method is used first for supplier selection through four classes (CLASS I: Performance strategy, CLASS II: Quality of service, CLASS III: Innovation and CLASS IV: Risk), which are qualitatively meaningful. Thereafter, using simulation based fuzzy TOPSIS technique, the criteria application is quantitatively evaluated for order allocation among the selected suppliers. As a result, the approach generates decision-making knowledge, and thereafter, the developed combination of rules order allocation can easily be interpreted, adopted and at the same time if necessary, modified by decision makers. To demonstrate the applicability of the proposed approach, an illustrative example is presented and the results analyzed.