

Table des matières

| | |
|------------------------|------|
| Liste des figures | IX |
| Liste des tableaux | XI |
| Liste des abréviations | XIII |
| Introduction générale | 1 |

Première Partie : Synthèse de l'état de l'art

Chapitre I

L'aide à la décision de groupe et l'analyse multicritères

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 10 |
| 2. L'aide à la décision : concepts fondamentaux | 10 |
| 2.1 Décision..... | 10 |
| 2.2 Le processus décisionnel | 11 |
| 3. Les systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS) | 12 |
| 4. Le groupe de décision | 13 |
| 4.1 Typologie de groupes | 13 |
| 4.1.1 Groupe interactif..... | 13 |
| 4.1.2 Groupe nominal..... | 13 |
| 4.1.3 Equipe | 13 |
| 4.2 Les membres du groupe (Les acteurs impliqués dans la prise de décision)..... | 13 |
| 4.2.1 Le facilitateur..... | 13 |
| 4.2.2 Les participants..... | 14 |
| 4.3 Processus de prise de décision de groupe..... | 14 |
| 4.4 Typologie des processus de décision de groupe..... | 16 |
| 4.5 Avantage d'un GDSS | 17 |
| 5. L'aide multicritères à la décision : concepts fondamentaux..... | 17 |
| 5.1 Définitions | 18 |
| 5.2 L'action..... | 18 |
| 5.3 Le critère | 18 |
| 5.4 La matrice de performances..... | 18 |
| 5.5 Les paramètres subjectifs..... | 19 |
| 5.6 Classification des méthodes multicritères | 19 |
| 5.7 La relation de surclassement..... | 21 |
| 5.8 Les problématiques de décision | 21 |
| 5.9 La modélisation des préférences | 21 |
| 6. La famille ELECTRE..... | 21 |
| 7. La famille PROMETHEE | 22 |
| 8. Processus d'analyse multicritères d'aide à la décision..... | 22 |
| 9. L'aide à la décision par les méthodes de votes | 24 |
| 9.1 La méthode Borda | 24 |
| 9.2 La méthode Condorcet | 24 |

| | |
|---------------------------|----|
| 10. Travaux connexes..... | 24 |
| 11. Conclusion..... | 27 |

Chapitre II

La négociation dans les Systèmes Multi Agents (SMA)

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 30 |
| 2. Terminologie structurant les SMA..... | 30 |
| 2.1 L'agent..... | 30 |
| 2.2 Les Systèmes Multi Agents | 30 |
| 2.3 Les différents types d'agents..... | 31 |
| 3. Méthodologie de conception des interactions SMA..... | 34 |
| 3.1 Méthodologie Cassiopee | 34 |
| 3.2 Méthodologie GAIA..... | 34 |
| 3.3 Méthodologie MaSE..... | 34 |
| 3.4 Méthodologie Aalaadin..... | 35 |
| 4. Les plateformes SMA..... | 35 |
| 5. La négociation dans les Systèmes Multi Agents | 37 |
| 5.1 Définition..... | 37 |
| 5.2 Protocole de négociation | 38 |
| 5.3 Propriétés du protocole | 39 |
| 5.4 Objets de la négociation..... | 39 |
| 5.5 Le modèle décisionnel des agents..... | 39 |
| 5.6 Les caractéristiques de la négociation | 39 |
| 5.7 Les techniques de la négociation..... | 40 |
| 5.8 Protocole à concession monotone (Monotonic concession protocol)..... | 42 |
| 6. Travaux relatifs à la négociation | 42 |
| 7. Conclusion..... | 45 |

Chapitre III

Les services Web dans les GDSS

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 48 |
| 2. Les services Web..... | 48 |
| 3. Avantages et inconvénients des services Web | 49 |
| 4. Les différents composants d'un service Web..... | 50 |
| 4.1 REST | 50 |
| 4.2 XML-RPC..... | 51 |
| 4.3 SOAP | 51 |
| 4.4 SOAP Versus REST | 52 |
| 5. Architecture orientée services..... | 53 |
| 5.1 Langage a balises étendu XML..... | 54 |
| 5.2 Le langage de description WSDL..... | 54 |
| 5.3 L'annuaire des services UDDI..... | 56 |
| 7. Pourquoi les Services Web ? | 58 |

| | |
|---|----|
| 8. Les systèmes d'aide à la décision de groupe basés sur le Web | 59 |
| 9. Les systèmes d'aide à la décision basés sur le Web | 60 |
| 10. Couplage des SMA et les services Web | 61 |
| 11. Conclusion..... | 63 |

Deuxième Partie : Contributions

Chapitre IV

Le système d'aide à la décision proposé

| | |
|--|-----|
| 1. Introduction..... | 66 |
| 2. Objectifs du système proposé Web-GDSS | 66 |
| 3. Modèles décisionnels | 67 |
| 3.1 Modèles décisionnels de groupe | 67 |
| 3.2 Modèle décisionnel proposé | 69 |
| 3.2.1 Structuration du modèle et formalisation du problème | 69 |
| 3.2.2 Exploitation du modèle décisionnel | 70 |
| 4. Description du système d'aide à la décision de groupe proposé | 71 |
| 4.1 Le sous système SMA | 72 |
| 4.1.1 Modélisation des agents | 73 |
| 4.1.2 Diagramme de classe | 73 |
| 4.2 Le sous système de protocole de négociation..... | 74 |
| 4.3 Le sous système d'authentification des décideurs..... | 75 |
| 4.4 Le sous système de services Web | 77 |
| 4.4.1 Description des services Web | 77 |
| 4.4.2 Les composants du système..... | 78 |
| 4.4.3 Interaction des composants du système..... | 80 |
| 5. Les préférences des décideurs | 81 |
| 5.1 Présentation de la méthode PROMETHEE II | 82 |
| 5.1.1 Algorithme de la méthode PROMERHEE II..... | 82 |
| 5.1.2 Pourquoi PROMETHEE II ?..... | 84 |
| 5.2 Présentation de la méthode AHP | 84 |
| 5.2.1 Algorithme de la méthode AHP..... | 84 |
| 5.2.2 Pourquoi AHP ?..... | 88 |
| 5.3 Présentation de la méthode ELECTRE TRI..... | 89 |
| 5.3.1 Algorithme général d'ELECTRE TRI..... | 90 |
| 5.3.2 Pourquoi ELECTRE TRI ?..... | 92 |
| 6. Scorage par les méthodes de vote | 92 |
| 6.1 Méthode Borda | 92 |
| 6.2 La méthode Condorcet | 93 |
| 6.3 Pourquoi les systèmes de vote (Borda et Condorcet) ?..... | 94 |
| 7. La négociation dans Web-GDSS..... | 95 |
| 7.1 Les phases de la négociation..... | 97 |
| 7.2 Caractéristiques du protocole de négociation proposé..... | 101 |
| 7.2.1 Objets de la négociation..... | 101 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.2.2 | Primitives de négociation | 101 |
| 7.2.3 | Le seuil de négociation | 102 |
| 7.2.4 | Les stratégies des agents..... | 102 |
| 7.3 | Modélisation du processus de négociation..... | 104 |
| 7.3.1 | Diagramme de cas d'utilisation | 104 |
| 7.3.2 | Diagramme de séquence..... | 105 |
| 8. | Démarche décisionnelle adoptée par Web_GDSS | 106 |
| 8.1 | Structuration du modèle de décisionnel | 106 |
| 8.2 | Exploitation du modèle décisionnel | 106 |
| 9. | Conclusion..... | 108 |

Chapitre V

Mise en œuvre du Web-GDSS

| | | |
|-------|--|-----|
| 1. | Introduction..... | 110 |
| 2. | Technologies utilisées | 111 |
| 2.1 | NetBeans IDE 8.1 | 111 |
| 2.2 | Tomcat..... | 111 |
| 2.3 | MySQL | 111 |
| 2.4 | JUDDI..... | 111 |
| 2.5 | La plateforme JADE | 112 |
| 2.5.1 | L'architecture de la plateforme JADE..... | 112 |
| 2.5.2 | Outils de contrôle et de débogage..... | 113 |
| 2.5.3 | Agent RMA..... | 113 |
| 2.5.4 | Agent Dummy | 113 |
| 2.5.5 | Agent Sniffer | 114 |
| 3. | Les services Web..... | 114 |
| 3.1 | Gestion des services Web | 114 |
| 3.2 | WSDL des méthodes multicritères..... | 115 |
| 4. | Etudes de cas : résultats expérimentaux | 117 |
| 4.1 | Phase de formulation du problème décisionnel 1 | 118 |
| 4.2 | Phase d'exploitation du modèle | 123 |
| 4.2.1 | Simulation du processus de négociation..... | 124 |
| 4.2.2 | Interprétation des échanges de messages par les agents | 128 |
| 4.3 | Phase de Formulation du problème décisionnel 2..... | 129 |
| 4.4 | Phase d'exploitation du modèle | 131 |
| 4.4.1 | Simulation du processus de négociation..... | 131 |
| 4.4.2 | Interprétation des échanges de messages par les agents | 133 |
| 5. | Conclusion..... | 136 |
| | Conclusion générale et perspectives | 138 |
| | Bibliographie | 142 |
| | Webographie | 155 |

Liste des figures

| | |
|--|-----|
| Figure 1.1: Processus décisionnel selon Simon. | 11 |
| Figure 1.2 : Cycle de la décision de Courbon. | 11 |
| Figure 1.3 : Modèle du processus de conception en groupe selon Kvan. | 15 |
| Figure 1.4 : Modèle du processus de conception en groupe selon Chiu. | 15 |
| Figure 1.5 : Modèle du processus de décision en groupe selon Laborie. | 16 |
| Figure 1.6 : Processus d'AMCD. | 23 |
| Figure 2.1: Structure d'un agent réactif. | 31 |
| Figure 2.2: Structure d'un agent cognitif. | 32 |
| Figure 2.3 : Structure d'un agent hybride. | 32 |
| Figure 2.4 : Structure d'un agent BDI. | 33 |
| Figure 2.5 : Le protocole FIPA Contract Net. | 42 |
| Figure 3.1 : Structure d'un message SOA. | 52 |
| Figure 3.2 : Structure du document WSDL. | 55 |
| Figure 3.3 : Les trois facettes de l'annuaire UDDI. | 57 |
| Figure 3.4 : Architecture générale du modèle de communication SOA. | 58 |
| Figure 4.1 : Modèle décisionnel proposé par Hamdadou. | 69 |
| Figure 4.2 : Modèle du processus décisionnel proposé. | 71 |
| Figure 4.3 : Architecture générale du Web-GDSS. | 72 |
| Figure 4.4 : Diagramme de classes UML associé aux agents. | 73 |
| Figure 4.5 : Diagramme d'activité authentifiant les agents. | 76 |
| Figure 4.6 : Interaction des composants. | 81 |
| Figure 4.7 : Démarche d'utilisation de PROMETHEE II. | 83 |
| Figure 4.8 : Les différentes étapes pour dériver les vecteurs propres. | 86 |
| Figure 4.9 : Démarche d'utilisation de AHP. | 88 |
| Figure 4.10 : Démarche d'utilisation d'ELECTRE TRI. | 91 |
| Figure 4.11 : Diagramme de cas d'utilisation du protocole de négociation proposé. | 104 |
| Figure 4.12 : Diagramme de séquence du protocole proposé. | 106 |
| Figure 4.13 : Démarche décisionnelle adoptée par Web-GDSS. | 108 |
| Figure 5.1 : Architecture JUDDI. | 113 |
| Figure 5.2 : Architecture d'une plateforme JADE. | 114 |
| Figure 5.3 : L'interface de l'agent Sniffer. | 115 |
| Figure 5.4 : Les principales méthodes de gestion des services Web. | 116 |
| Figure 5.5 : WSDL de la méthode ELECTRE TRI. | 116 |
| Figure 5.6 : WSDL de la méthode PROMETHEE II. | 117 |
| Figure 5.7 : WSDL de la méthode AHP. | 118 |
| Figure 5.8 : Authentification des décideurs. | 122 |
| Figure 5.9 : Les paramètres subjectifs de chaque agent. | 122 |
| Figure 5.10 : Interface de l'initiateur. | 123 |

| | |
|--|-----|
| Figure 5.11 : Rangement des alternatives (sites) par participant..... | 125 |
| Figure 5.12 : Envoie du message PROPOSE par l'initiateur..... | 126 |
| Figure 5.13 : Envoie les réponses à l'initiateur..... | 127 |
| Figure 5.14 : L'envoi du message PROPOSE aux participants et les réponses..... | 128 |
| Figure 5.15 : Réception du message AGREE envoyé par les participants..... | 128 |
| Figure 5.16 : Le journal des évènements. | 130 |
| Figure 5.17 : Echanges de messages de négociation via sniffer. | 131 |
| Figure 5.18 : Exemple d'une matrice binaire. | 133 |
| Figure 5.19 : Affichage du rangement obtenu par AHP. | 133 |
| Figure 5.20 : Proposition de l'action et les réponses reçu par l'initiateur. | 135 |
| Figure 5.21 : Envoi du message CONFIRM aux participants. | 135 |
| Figure 5.22 : Echanges de messages de négociation via sniffer. | 136 |
| Figure 5.23 : Le journal des événements. | 137 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1.1 : Structure d'une matrice de performances | 19 |
| Tableau 2.1 : Les plateformes SMA | 36 |
| Tableau 2.2 : Synthèse des principaux protocoles de négociation et GDSS. | 45 |
| Tableau 4.1 : Les phases des processus de décision..... | 68 |
| Tableau 4.2 : Description des méthodes de l'agent initiateur..... | 74 |
| Tableau 4.3 : Description des méthodes de l'agent participant..... | 74 |
| Tableau 4.4 : Les services Web implémentés. | 78 |
| Tableau 4.5 : Les composants du système et leur utilisation..... | 80 |
| Tableau 4.6 : Exemple d'une matrice de comparaison par paire. | 85 |
| Tableau 4.7 : Table des indices de cohérence aléatoire..... | 87 |
| Tableau 4.8 : Tableau des ratios de cohérence acceptables..... | 87 |
| Tableau 4.9 : Tableau de scorage. | 93 |
| Tableau 4.10 : Le résultat du scrutin Condorcet..... | 94 |
| Tableau 4.11 : Les primitives du participant..... | 101 |
| Tableau 4.12 : Les primitives du coordinateur. | 101 |
| Tableau 5.1 : Identification des critères..... | 119 |
| Tableau 5.2 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 1..... | 120 |
| Tableau 5.3 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 2..... | 120 |
| Tableau 5.4 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 3..... | 120 |
| Tableau 5.5 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 4..... | 120 |
| Tableau 5.6 : Résumé de la matrice de performances..... | 124 |
| Tableau 5.7 : Scorage avec la méthode Condorcet..... | 126 |

Liste des abréviations

| | |
|------------------|--|
| AD | Aide à la Décision. |
| AHP | Analytic Hierarchy Process. |
| AMCD | Aide MultiCritères à la Décision. |
| BDD | Base De Données |
| DSS | Decision Support System. |
| ELECTRE | ELimination Et Choix Traduisant la REalité |
| GDSS | Group Decision Support System. |
| HTML | HyperText Markup Language |
| HTTP | HyperText Transfer Protocol |
| HTTPS | HyperText Transfer Protocol Secure |
| LIO | Laboratoire d'Informatique Oran. |
| MMAD | Méthode Multicritères d'Aide à la Décision. |
| OASIS | Organization for the Advancement of Structured Information Standards |
| PROMETHEE | Peference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations |
| REST | REpresentational State Transfer |
| SAD | Système d'Aide à la Décision. |
| SGBDR | Système de Gestion de Base de Données Relationnelle |
| SIAD | Système Interactif d'Aide à la Décision. |
| SMA | Système Multi-Agents. |

| | |
|-----------------|--|
| SOA | <i>Service Oriented Architecture</i> |
| SOAP | <i>Simple Object Access Protocol</i> |
| SW | Service Web |
| UDDI | <i>Universal Description Discovery an Integration</i> |
| UML | Unified Modeling Language. |
| URI | Uniform Resource Identifier |
| W3C | World Wide Web Consortium |
| Web_GDSS | Web_Group Decision Support System. |
| WSDL | <i>Web Service Definition Language</i> |
| XML | eXtensible Markup Language |

Introduction Générale

Contexte de l'étude

Les systèmes d'aide à la décision sont présents dans de nombreux domaines, leur but est de résoudre des problèmes liés à des situations complexes à différents niveaux de la société : politique (Maire, Ministre, Député, etc.), économique (Directeur général, Manager, etc.), administratif (Directeur d'école, Chef de service, etc.).

Une décision implique forcément de faire un choix entre plusieurs alternatives. Une décision n'apparaît plus comme un résultat fourni par un seul décideur, en effet une très grande partie des problèmes décisionnels se caractérise par la diversité des points de vue qui sont souvent contradictoires et qui mesurent des aspects de nature différente. Ces décisions, font appel à l'expertise de plusieurs acteurs, en particulier ceux concernés par la décision, cela constitue ce qui est connu dans la littérature spécialisée sous la dénomination prise de décision collective, décision de groupe ou décision multi participants, ici la décision apparaît comme un compromis entre plusieurs intérêts et points de vue divergents.

Depuis quelques années, le recours à des méthodes d'aide à la décision s'est largement répandu dans différents domaines. En effet prendre une décision se base sur un certain nombre de critères, d'où l'émergence de l'aide multicritères à la décision qui vise à modéliser les préférences d'un expert. L'aide multicritères à la décision est considérée comme l'une des techniques les plus efficaces pour traduire la réalité et résoudre des problèmes de prise de décision dans des situations complexes.

L'aide à la décision, en général, prend deux formes l'aide à la décision mono décideur et l'aide à la décision multi-décideurs (collective) prenant essentiellement la forme d'une négociation.

Par négociation, Nous entendons un échange d'informations dans une discussion, entre individus afin d'arriver à un accord, en effet, c'est un processus à travers lequel plusieurs entités prennent une décision commune. Ces individus expriment d'abord des demandes contradictoires, puis ils tentent de trouver un accord par concession ou par la recherche de nouvelles alternatives qui les satisfassent. Dans la littérature associée, il existe diverses formes de négociation dont les plus utilisées sont : les systèmes de vote, les systèmes d'enchères, la négociation et l'argumentation.

L'aide à la décision est un domaine vaste visant à concevoir des outils informatiques pour aider un décideur à analyser un problème ou une situation, et/ou à lui fournir des solutions, éventuellement hiérarchisées, sur la base de critères logiques qu'il aura préalablement sélectionnés. La prise de décision dépasse aujourd'hui le cadre traditionnel du décideur qui s'isole pour prendre une décision.

Problématique

L'aide à la décision est un domaine présent au quotidien, dans la vie courante. En effet, nous faisons face constamment à une situation qui nous amène à prendre une décision, à laquelle plusieurs acteurs participent à sa réalisation.

A ce titre, nous prenons des décisions continuellement, à tous les niveaux : individuel, organisationnel et inter-organisationnel.

Souvent, l'avis, l'aide, le support d'ami(e)s, l'experts, la société de conseil, etc. font partie du processus de décision. Ce qui caractérise l'aide à la décision à la fois comme étant une activité qualifiée d'approche "formelle" et "abstraite".

Pendant les années 50, Simon ([Simon, 1954], [Simon, 1956], [Simon, 1957]) développe sa théorie de la "rationalité limitée" selon laquelle un décideur confronté à un problème de choix, est amené à choisir la première solution qui "satisfait" ses nécessités, et non pas selon un critère d'optimisation idéal. Par la suite, une multitude d'approches a vu le jour, débauchant sur une amélioration du processus décisionnel canonique de Simon.

A partir de 1966, Bernard Roy [Roy, 1968] ouvre la voie à une autre approche, celle des méthodes basées sur les relations de surclassement. Auparavant, il y a eu d'autres méthodes pour obtenir une relation de préférence globale, représentant un ensemble de critères, comme la théorie du choix social notamment les procédures de vote [Borda, 1781] et [Condorcet, 1785].

Nos préoccupations de recherche, par la présente étude, se situent dans le cadre de l'aide à la décision multicritères de groupe. Cette discipline est vue, dans la littérature spécialisée, comme étant un domaine complexe à aborder en prenant en considération non seulement la diversité des décideurs mais aussi leur répartition sur le territoire.

A cet effet, la mise en place d'un système d'aide à la décision de groupe dont les entités sont dispersées géographiquement et temporellement, agissant ou communiquant à partir de différents endroits est une application distribuée. En les aidant à prendre facilement et à distance une décision de groupe, le DSS fournit aux décideurs tous les éléments pertinents pour prendre une décision adéquate. Malheureusement, les modèles traditionnels tels que celui de Simon, ne sont pas en mesure de prendre en compte les divergences de points de vue. Un conflit doit donc être pris en compte pour arriver à un compromis acceptable par tous les acteurs.

Afin de pallier à ces problèmes, nous devons alors répondre à un ensemble de questions à savoir :

- *Comment obtenir un compromis lorsque plusieurs critères (quantitatifs et qualitatifs) contradictoires sont identifiés dans une problématique décisionnelle ?*

- *Comment résoudre un conflit entre une multitude de décideurs ayant chacun des intérêts, des points de vue et des préférences différents ?*
- *Comment satisfaire tous les décideurs ?*
- *Comment modéliser et élaborer un système d'aide à la décision de groupe générique interopérable ?*

Contribution

Nos contributions, par la présente étude, consistent à répondre aux préoccupations citées dans la section problématique. A ce titre et afin d'arriver à un consensus, nous préconisons l'intégration d'un processus de négociation le système d'aide à la décision proposé afin de parvenir à un accord mutuel commun entre un groupe de décideurs. Ces derniers se trouvent souvent à des différents endroits, par conséquent, la négociation doit se faire à distance, car leurs perceptions du problème décisionnel, leurs contraintes, leurs stratégies de décision, leurs objectifs ainsi que leurs préférences ne sont pas partagés. Aider ces décideurs en fournissant une décision commune à chaque décideur est devenue une nécessité.

Dès lors, nous avons exploré l'idée de mettre en place un nouveau modèle de processus décisionnel inspiré du modèle proposé par Hamdadou dans [Hamdadou, 2008] et d'associer de nouveaux outils afin d'évoluer vers un véritable système d'aide multicritères à la décision de groupe.

L'intégration des agents, dans le contexte de l'aide à la décision de groupe, semble particulièrement adéquate. Les décideurs se reconnaissent dans les agents autonomes évaluant au sein d'un environnement pouvant communiquer coopérer et négocier.

La négociation entre agents est un domaine de recherche florissant au cœur des systèmes multi-agents, incorporant de nombreux idées et modèles développés à l'origine dans différentes branches de l'économie (notamment la théorie des jeux), tout en bénéficiant de manière significative de l'adoption de méthodes de calcul [Jennings et al., 2001], [Rosenschein et Zlotkin, 1994]. La plupart des travaux de négociation portent soit sur la négociation bilatérale (« un à un ») [Rosenschein et Zlotkin, 1994], soit sur des enchères [Cramton et al., 2006]. Ces derniers sont des formes de négociation hautement structurées entre plusieurs agents, tandis que la négociation multilatérale est une négociation entre les groupes de plus de deux agents, ces groupes se réunissent librement pour parvenir à un accord en commun acceptable par tous. Un protocole de négociation est alors défini comme un ensemble de règles spécifiant une plage de valeurs utilisée lors de la communication entre les agents.

Dans cette thèse, nous nous intéressons, plus précisément, à la négociation multilatérale par concession monotone. Les protocoles de concession monotone, en particulier, formalisent ce qui pourrait être considéré comme la façon la plus naturelle de penser aux négociations : à l'origine, chacun des décideurs impliqués, fait une proposition particulièrement bénéfique,

puis ils révisent progressivement leurs propositions antérieures afin de parvenir à un accord commun satisfaisant toutes les parties prenantes.

L'objectif visé par la présente étude est de proposer une approche méthodologique pour la mise en place d'un système d'aide à la décision de groupe (GDSS) modélisé par un système multi agents et reposant sur une stratégie de négociation multilatérale combinant des services Web, des méthodes d'analyse multicritères (MAMC) et des méthodes de vote.

Le concept de "service Web" désigne essentiellement une application mise à disposition sur Internet par un fournisseur de services et accessible par les clients via les normes de protocole Internet. Les services Web sont des composants logiciels autonomes, auto-descriptifs et constituant un nouveau paradigme d'intégration d'applications. Les services Web sont mis en œuvre à travers trois technologies standards : WSDL, UDDI et SOAP. Ces technologies facilitent la description, la découverte et la communication entre les services. Le service Web est considéré comme l'outil le plus approprié pour faciliter la prise de décision à distance.

Les méthodes multicritères AHP [Saaty, 1980], ELECTRE TRI [Roy, 1985] et PROMETHEE II [Brans, 1982] sont introduites au niveau de notre système pour pallier aux limites du paradigme monocritère. En effet, dans notre vie plusieurs points de vue qui sont à la fois contradictoires, quantitatifs et qualitatifs, sont jugés pertinents. A cet effet, ces différents points de vues doivent être pris en considération, d'où l'émergence de l'aspect multicritères et l'apparition d'outils d'analyse permettant de résoudre plusieurs problématiques multicritères complexes.

Les systèmes multi agents conviennent quant à eux, principalement, à la modélisation et à la simulation des GDSS afin de représenter la diversité des décideurs. A ce titre, notre système attribue deux rôles aux décideurs : un initiateur qui a pour rôle d'être le coordinateur de la négociation et des participants. Le protocole de négociation proposé est basé sur la concession où chaque participant commence par proposer l'alternative qu'il préfère et à chaque tour : soit il accepte l'alternative soit il concède. Dans notre travail, nous considérons qu'un agent concède en écartant tout ou partie de ses propositions précédentes.

De plus, nous avons intégré deux méthodes de vote largement connues à savoir Borda et Condorcet [Gonzalez Suitt et al., 2014] au protocole de négociation, pour permettre à un agent coordinateur de choisir parmi les propositions, la plus appropriée en fonction des préférences de ses interlocuteurs. Ces préférences sont générées par des vecteurs dits vecteurs de préférence obtenus à partir des méthodes d'analyse multicritères.

L'originalité de ce travail de recherche porte sur la réalisation d'une méthodologie générique et interactive pour l'aide à la décision multicritères de groupe Web-GDSS afin d'améliorer les insuffisances et augmenter, en conséquence, les performances des DSS classiques. Le système d'aide à la décision proposé permet de :

- Représenter la multiplicité et la diversité des décideurs en se basant sur le paradigme des systèmes multi agents. L'idée étant alors de modéliser le plus finement possible les décideurs et de les faire interagir dans le but d'arriver à une décision collective.
- Modéliser les différents décideurs impliqués dans la décision finale par des agents. Le système d'aide à la décision comporte deux types d'agents, un agent initiateur (coordinateur) et un ensemble d'agents participants.
- Identifier un ensemble de décideurs disposant d'un fort pouvoir et des décideurs disposant d'un faible pouvoir. A cet effet nous associons un poids pour chaque décideur pour mieux refléter la réalité décisionnelle.
- Identifier les préférences des décideurs concernés par la décision de groupe. Afin de représenter de manière la plus fidèle possible leurs préférences, les participants sont dotés de méthodes d'analyse multicritères (MAMC) permettant de faire le tri et le rangement de l'ensemble des alternatives identifiés.
- Prendre une décision collective tout en respectant les préférences de chacun, pour cela les agents participants passent par un processus de négociation de type concession monotone. Ce protocole de négociation se focalise sur la concession où les agents concèdent pour arriver à un accord commun sur un sujet donné.
- Localiser les méthodes d'analyse multicritères et localiser les décideurs appropriés par le biais de services web.
- Prendre en considération l'aspect multicritères par l'utilisation des trois méthodes AHP, ELECTRE TRI et PROMETHEE II. La méthode multicritères AHP est utilisée afin de ranger les alternatives selon une agrégation totale. La méthode ELECTRE TRI sert à trier les différentes alternatives et la méthode PROMETHEE II sert à ranger les alternatives selon une agrégation partielle.
- Effectuer le choix de l'alternative la plus pertinente en appliquant les méthodes de votes à savoir Borda et Condorcet.

D'après notre recherche bibliographique, aucune étude n'a réalisé un Système d'Aide à la Décision de Groupe générique basé agents, exploitant à la fois : les méthodes d'analyses multicritères, les services web et la négociation par concession.

La présente étude, a été menée au niveau de notre équipe de recherche au sein du laboratoire LIO. Dans une optique de continuer sur les différents travaux de l'équipe, nous nous sommes inspirés, principalement, du modèle décisionnel proposé par Hamdadou dans [Hamdadou, 2008] pour la mise en œuvre de notre système.

Organisation de la thèse

Dans le cadre de nos recherches, notre thèse est concernée par trois domaines explicités dans les chapitres et s'articulant autour de l'aide à la décision, des systèmes multi agents, des méthodes d'analyse multicritères et des services web :

La première partie : Synthèse de l'état de l'art

Aborde les différents concepts et paradigmes exploités dans cette étude afin de mettre en œuvre le système proposé pour pallier aux problématiques décisionnelles multicritères et multidécideurs. Cette partie comporte trois chapitres :

Chapitre I : L'aide à la décision de groupe et l'analyse multicritères

Dans ce chapitre, nous abordons les notions de décision, d'aide à la décision et d'aide à la décision de groupe, ainsi que du processus décisionnel.

Ensuite, nous présentons plus en détails le domaine d'aide à la décision multicritères qui constitue la base de notre recherche.

Par la suite, les principaux travaux de recherche dans la littérature concernant les domaines à la fois multicritères et multi décideurs sont explicités.

Chapitre II : La négociation dans les systèmes multi agents

Dans ce chapitre, nous présentons les notions d'agents et de systèmes multi agents (SMA), ainsi qu'un descriptif d'un large éventail de protocoles de négociation associés aux systèmes multi agents, dans le but d'arriver à un accord commun. Les principaux travaux traitant de la négociation sont également décrits.

Chapitre III : Les services Web dans les GDSSs

Ce chapitre, met en avant les services web, l'architecture SOA ainsi que ses différents composants à savoir l'annuaire UDDI, SOAP, WSDL. Par la suite, un éventail de travaux intégrant les services web dans les GDSS est présenté.

La seconde partie : Contributions

Décrit nos principales contributions portant sur la proposition et la mise en œuvre d'un système d'aide à la décision de groupe permettant de faire face aux problématiques décisionnelles multicritères et multi décideurs. Cette partie est composée de deux chapitres.

Chapitre IV : Système d'Aide à la Décision Proposé

Ce chapitre décrit notre contribution qui porte sur la proposition et la mise en œuvre d'un système d'aide à la décision de groupe, à travers lequel un groupe de décideurs arrive à un consensus en passant par un processus de négociation structuré dans un contexte multicritères. Un modèle de processus de prise de décision de groupe est, également, proposé, comprenant les différentes étapes à travers lesquelles, il est possible de trouver un consensus acceptable par tout le groupe.

Chapitre V : Mise en Œuvre du Web-GDSS

Dans ce chapitre, nous détaillons les outils informatiques proposés à la réalisation du système, ainsi que les données utilisées relatives à une étude de cas réel, tout en discutant les résultats obtenus.

Le présent document s'achève par une conclusion où nous récapitulons les apports de la présente étude tout en mettant l'accent sur l'importance des différentes approches utilisées au sein du système, pouvant déboucher sur des perspectives de recherche intéressantes.

Première partie

Synthèse de L'état de l'art

Chapitre I

L'aide à la décision de groupe et l'analyse multicritères

Dans ce chapitre, nous présentons les concepts de base structurant l'aide à la décision, d'une manière générale tout en mettant l'accent, sur les systèmes interactifs d'aide à la décision de groupe et les méthodes d'analyse multicritères. Nous présentant ainsi des principaux travaux de recherche réalisés dans le domaine de l'aide à la décision multicritères de groupe proposés dans la littérature.

Chapitre I

L'aide à la décision de groupe et l'analyse multicritères

Sommaire

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 10 |
| 2. L'aide à la décision : concepts fondamentaux | 10 |
| 2.1 Décision..... | 10 |
| 2.2 Le processus décisionnel | 11 |
| 3. Les systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS) | 12 |
| 4. Le groupe de décision..... | 12 |
| 4.1 Typologie de groupes | 13 |
| 4.1.1 Groupe interactif..... | 13 |
| 4.1.2 Groupe nominal..... | 13 |
| 4.1.3 Equipe | 13 |
| 4.2 Les membres du groupe (Les acteurs impliqués dans la prise de décision)..... | 13 |
| 4.2.1 Le facilitateur..... | 13 |
| 4.2.2 Les participants..... | 14 |
| 4.3 Processus de prise de décision de groupe..... | 14 |
| 4.4 Typologie des processus de décision de groupe..... | 16 |
| 4.5 Avantage d'un GDSS | 17 |
| 5. L'aide multicritères à la décision : concepts fondamentaux..... | 17 |
| 5.1 Définitions | 18 |
| 5.2 L'action..... | 18 |
| 5.3 Le critère | 18 |
| 5.4 La matrice de performances..... | 18 |
| 5.5 Les paramètres subjectifs..... | 19 |
| 5.6 Classification des méthodes multicritères | 19 |
| 5.7 La relation de surclassement..... | 21 |
| 5.8 Les problématiques de décision | 21 |
| 5.9 La modélisation des préférences | 21 |
| 6. La famille ELECTRE..... | 21 |
| 7. La famille PROMETHEE | 22 |
| 8. Processus d'analyse multicritères d'aide à la décision..... | 22 |
| 9. L'aide à la décision par les méthodes de votes | 24 |
| 9.1 La méthode Borda | 24 |
| 9.2 La méthode Condorcet | 24 |
| 10. Travaux connexes..... | 24 |
| 11. Conclusion..... | 27 |

1. Introduction

Quand nous parlons de prise de décision, il revient souvent le terme « décideur » comme étant la personne (unique) qui a pris la décision, mais dans de nombreuses organisations, une décision n'est plus considérée comme étant le résultat d'un seul décideur mais un compromis entre plusieurs individus présentant des intérêts et des points de vue divergents.

En effet, à cause de l'ampleur et des grands enjeux que représente la prise de décision, il est nécessaire de faire appel à l'expertise de plusieurs personnes qualifiées et concernées par cette dernière et de les impliquer dans le processus de prise de décision.

2. L'aide à la décision : concepts fondamentaux

Selon Roy [Roy,1985], l'aide à la décision peut être définie comme étant "*L'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part*".

Il existe cependant d'autres travaux qui définissent l'aide à la décision. Comme dans [Mintzberg et al.,1976], l'aide à la décision est « *a set of action and dynamic factors that begins with the identification of a stimulus for actions and ends with a specific commitment to action* ».

Lawsen et Shen dans [Lawson et Shen,1998], notent que l'aide à la décision est "*the process of choosing among alternatives, implementing a decision and using the subsequent outcome data to shape any further decisions associated with the earlier one*".

L'auteur dans [Stoner, 1994], définit l'aide à la décision comme étant "*the process by which a course of action is selected as the solution to a specific problem*".

Les auteurs dans [Bartol et al., 1997] décrivent l'aide à la décision comme "*the process through which managers identifies organizational problems and attempt to resolve them*".

2.1 Décision

Dans [Levi, 1989], l'auteur définit la décision comme étant « *une action qui est prise pour faire face à une difficulté ou répondre à une modification de l'environnement, c'est à dire, pour résoudre un problème qui se pose à l'individu ou à l'organisation* ».

Tandis que dans [Holtzman, 1989] « *une décision est le résultat d'un processus mental qui choisit une parmi plusieurs alternatives mutuellement exclusives* ».

Selon Roy dans [Roy, 2000] « *une décision est souvent vue comme le fait d'un individu isolé (le décideur) exerçant un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné* ».

La définition de la décision dépend de l'école qui la propose, en effet, les écoles rationalistes-analytiques définissent la décision comme étant : « *un choix entre plusieurs alternatives* » [Schneider, 1996], les approches cognitives définissent la décision comme « *le résultat d'un processus global de résolution de problèmes* »

2.2 Le processus décisionnel

Dans la littérature, certaines personnes définissent la décision comme un choix pris par un décideur à un instant t donné, et d'autres personnes ne considèrent pas la décision comme une activité ponctuelle à un instant précis mais comme une suite d'activité évoluant dans le temps d'où découle la notion de processus. En effet, selon Herbert Simon [Simon, 1977], toute décision suit un processus plus ou moins complexe dont les principales étapes sont :

1. **Intelligence** : il s'agit de comprendre en recueillant toutes les informations possibles sur l'entreprise et son environnement.
2. **Modélisation** : traitement des informations recueillis et l'élaboration des solutions possibles par les décideurs.
3. **Choix de la meilleure solution** : parmi les solutions possibles envisagés auparavant.
4. **Evaluation** : cette étape est ajoutée au processus pour contrôler la mise en œuvre de la décision et pour effectuer des correctives en cas d'erreurs ou de non satisfaction par les décideurs.

La figure 1.1 [Simon, 1977] illustre le processus de Simon en montrant le pouvoir qu'offre l'étape d'évaluation de revenir sur les autres étapes pour correction :

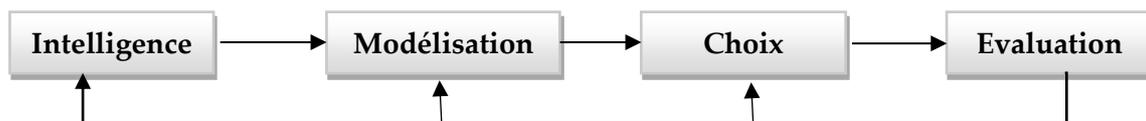


Figure 1.1: Processus décisionnel selon Simon.

L'auteur dans [Courbon, 1982] a également proposé une modélisation du processus décisionnel sous forme cyclique, permettant un bouclage et un réajustement au fur et à mesure de l'évolution du processus [Adla, 2010]. La figure 1.2 illustre le cycle du processus.

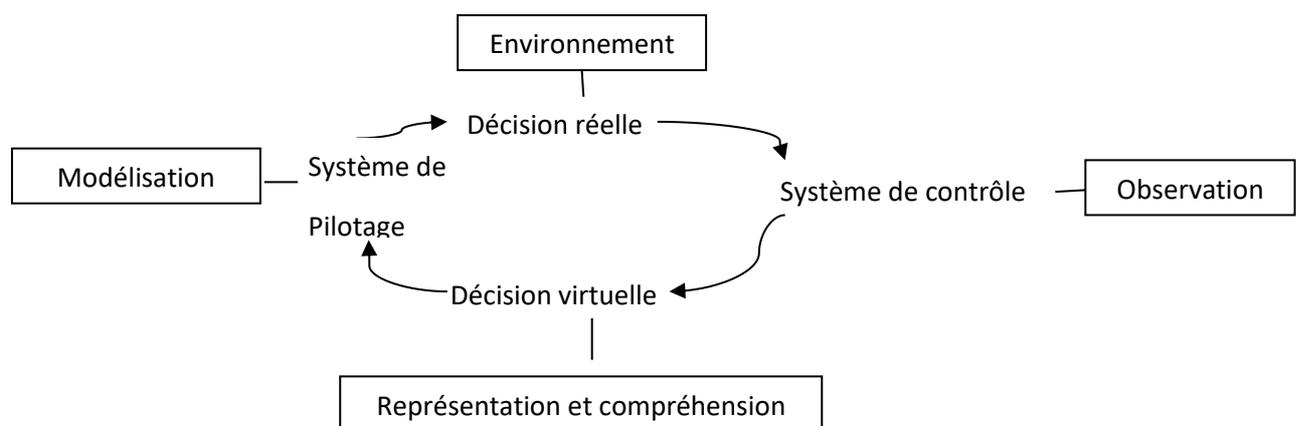


Figure 1.2 : Cycle de la décision de Courbon.

Le processus décisionnel va être plus ou moins long selon qu'il s'agisse d'une décision

stratégique ou opérationnelle. Ce modèle reste à ce jour une référence pour la modélisation des décisions.

3. Les systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS)

Les systèmes d'aide à la décision de groupe (Group Decision Support System GDSS) sont une application du modèle Herbert Simon [Simon, 1977]. Le système d'aide à la décision facilite essentiellement le système d'information dans la phase de renseignement où l'objectif est d'identifier le problème, puis de passer à la phase de conception. Le choix du critère de sélection varie d'un problème à un autre. Ces systèmes peuvent être utilisés pour arriver à prendre une décision et résoudre des problèmes en effectuant une analyse de données brutes, de documents, de connaissances personnelles.

Une définition plus simple et qui cerne bien le contexte serait de dire que la prise de décision collaborative, décision de groupe ou décision multi-participants est *"le processus dans lequel plusieurs décideurs sont impliqués, ayant des intérêts divergents voir conflictuels et prenant part de façon plus ou moins directe à la décision finale* [Nunamaker et al.,1996].

Dans [Marakas, 1999], l'aide à la décision de groupe est définie comme étant « *une activité conduite par une entité collective composée de deux ou plusieurs individus et caractérisée à la fois en termes de propriétés de l'entité collective et de celles de ces membres individuelles* ».

Laborie dans [Laborie,2006] définit l'activité de prise de décision collective (ou collaborative) comme « *une convergence d'interactions cognitives et visuelles, planifiées ou opportunistes, où des personnes acceptent de se rassembler pour un objectif commun, dans une période de temps définie, soit au même endroit, soit dans des endroits différents, dans le but de prendre des décisions* ».

Les GDSS sont des environnements informatiques interactifs qui favorisent un effort concerté et coordonné d'une équipe de décideurs vers l'achèvement de tâches collectives de prise de décision et font évoluer la prise de décision collectivement en facilitant l'échange et l'utilisation d'informations par les membres du groupe d'un côté, et l'interaction entre le groupe et le système d'un autre côté. En plus des données et des modèles de décision, les GDSS doivent prendre en compte la dynamique du processus de prise de décision de groupe.

4. Le groupe de décision

Nous désignons, en général, par le terme « groupe » un ensemble de personnes. Les auteurs dans [Anzieu et Martin, 1971] pensent qu'il serait souhaitable ou bien préférable de réserver l'usage scientifique du mot « groupe » pour désigner un ensemble de personnes réunies ou qui veulent se réunir pour une décision collaborative.

La définition telle quelle, serait fautive, en effet, le verbe « réunir » dans la définition précédente, signifie le rassemblement physique de plusieurs personnes au même lieu et au même instant. Or dans notre étude, il s'agit de permettre à un groupe de communiquer sans contrainte de temps ni de lieu, ça veut dire que nous prenons le mot « se réunir » dans le sens de permettre aux différents membres du groupe de communiquer et de débattre sans être contraints par leurs présences physiques. Un autre point à mettre en évidence est que le mot

« groupe » désigne au moins deux personnes qui se réunissent dans un but commun et que le résultat serait d'aboutir à une décision.

4.1 Typologie de groupes

Il existe trois manières, décrites dans ce qui suit, selon lesquelles le travail de groupe peut être organisé selon les auteurs dans [Anzieu et al., 2003] :

4.1.1 Groupe interactif

Les membres d'un groupe interactif communiquent entre eux et donc travaillent conjointement tout en poursuivant leur tâche, dans une réunion face-à-face. Une seule personne du groupe peut parler pour proposer son idée à un instant donné, car les membres du groupe ne peuvent prêter attention qu'à une seule personne à la fois.

4.1.2 Groupe nominal

Dans un groupe nominal, les membres du groupe travaillent séparément sur la même tâche et un des résultats est choisi comme étant le produit du groupe.

4.1.3 Equipe

Un travail d'équipe combine les deux aspects précédents, c'est-à-dire le travail de groupe interactif et celui du nominal, en effet, le groupe de travail est divisé en équipes (2 à 5 personnes) qui travaillent séparément.

4.2 Les membres du groupe (Les acteurs impliqués dans la prise de décision)

Dans un processus d'aide à la décision, différents acteurs sont amenés à y participer à différents niveaux et avec des titres variés. L'étude de ces acteurs (leurs types, leurs objectifs, systèmes de valeurs, l'interaction entre eux, etc.) constitue un aspect majeur pour la conception et la modélisation d'un processus d'aide à la décision de groupe.

Le choix de la personne qu'il faut inviter à participer aux réunions du processus est très important et ne se fait pas sur un coup de tête, mais après mure réflexion. Selon [Griffith et al., 1998], une personne devrait être invitée aux réunions quand :

- Elle possède des informations nécessaires à la réunion.
- Il est important qu'elle soit engagée dans la décision prise, c'est-à-dire, lorsque la décision la concerne d'une manière ou d'une autre, en d'autres termes, la décision prise aura un impact sur cette personne.

Parmi les acteurs d'un processus d'aide à la décision, il y a deux acteurs principaux qu'il faut identifier : *le facilitateur et les participants*. En effet, le processus de décision de groupe concerne surtout l'organisateur de la prise de décision (appelé aussi facilitateur, médiateur ou bien initiateur) et les experts dans la prise de décision (les participants) [Chen et al., 2007].

4.2.1 Le facilitateur

Le facilitateur est une composante clé dans le processus de prise de décision de groupe, c'est un agent accepté par tous les participants à la réunion. Il doit s'occuper entre autres de :

- Lancer et préparer les étapes du processus décisionnel.
- Définir la problématique de la décision.
- Organiser le groupe de décideurs pour le processus.
- Gérer le groupe de façon à équilibrer les contributions individuelles et le fonctionnement de groupe.
- Faire converger le processus de prise de décision et diffuser les résultats aux participants à la fin, en effet, il est responsable du processus complet et de son achèvement.

4.2.2 Les participants

Les participants sont des acteurs qui interviennent dans le processus de prise de décision, ils produisent et partagent des informations, des idées et des commentaires sur le problème posé.

4.3 Processus de prise de décision de groupe

Le terme processus de prise de décision veut dire les étapes par lesquelles doit passer le groupe pour arriver à la décision finale. Dans ce sens, le processus décisionnel est considéré comme un ensemble d'états, où le groupe part d'un état initial où plusieurs perspectives existent, et en intégrant de nouvelles perspectives, informations et idées, atteint un état final [Adla, 2010].

Dans un autre sens maintenant, et pour les auteurs [Smoliar et Sprague, 2002] : « *Les processus de décision dans les organisations impliquent généralement plusieurs acteurs interagissant entre eux, cette interaction implique la communication de l'information ainsi qu'une compréhension partagée par les décideurs impliqués* ».

Dans [Kvan, 2000], l'auteur suggère que la conception de la collaboration consiste en des actions d'experts parallèles, chacune de courte durée, encadrée par une activité de négociation et d'évaluation. Les participants agissent en tant qu'experts individuels, abordent les problèmes de conception de leurs points de vue. Leur expertise peut changer lors d'une session de conception, leur compréhension est complétée et ils apprennent de leur implication. La figure 1.3 illustre le modèle du processus de conception en groupe selon Kvan [Kvan, 2000].

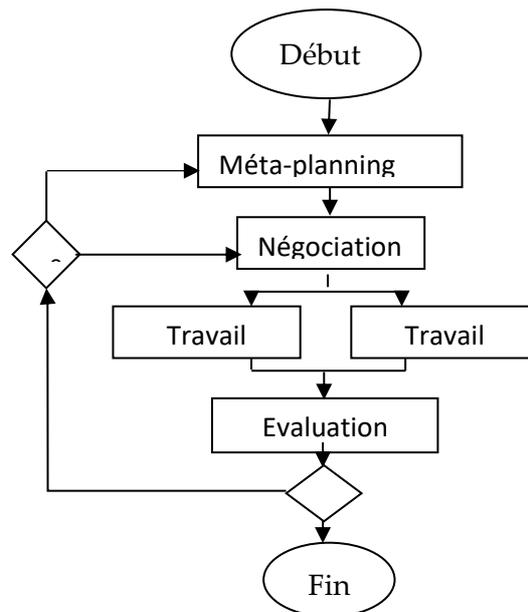


Figure 1.3 : Modèle du processus de conception en groupe selon Kvan.

Dans [Chiu, 2002], l'auteur travaille également sur les processus de conception et propose un processus cyclique permettant de reboucler tant que l'objectif recherché n'est pas atteint, la figure 1.4 illustre ce processus.

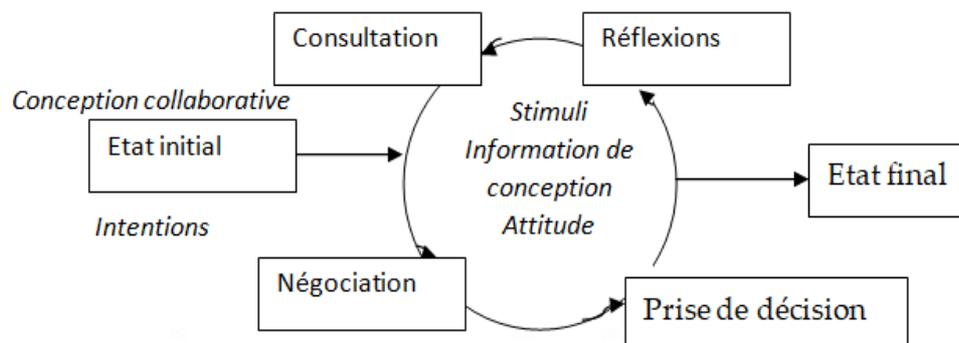


Figure 1.4 : Modèle du processus de conception en groupe selon Chiu.

Dans [Laborie, 2006], l'auteur propose, également, un modèle du processus de décision, en s'inspirant notamment du processus de Kvan et Vera mais en lui attribuant un caractère plus générique. Dans ce modèle, l'auteur met en évidence l'alternance de travaux individuels ou collectifs. Ce modèle reprend également les étapes classiques du processus décisionnel (intelligence, conception, choix et évaluation) défini par Simon [Simon, 1977]. Le travail de Laborie s'intéresse à la décision collaborative appliquée au processus de conception convergente dans le domaine aéronautique. Le modèle du processus de décision collective proposé passe par quatre étapes [Laborie, 2006] :

1. Compréhension collective du problème.
2. Génération des solutions,

3. Négociation et confrontation des points de vue, après une évaluation, la solution est évaluée, si elle est conforme, on passe à l'étape suivante sinon on reprend à l'étape de génération de solutions.
4. Décision, à cette dernière étape la décision est soit d'effectuer la transmission du plan d'actions sinon si elle est non satisfaisante, on passe de nouveau à la première étape, c'est à dire revoir un nouveau cadre de décision.

La représentation du processus de décision collective est illustrée par la figure 1.5.

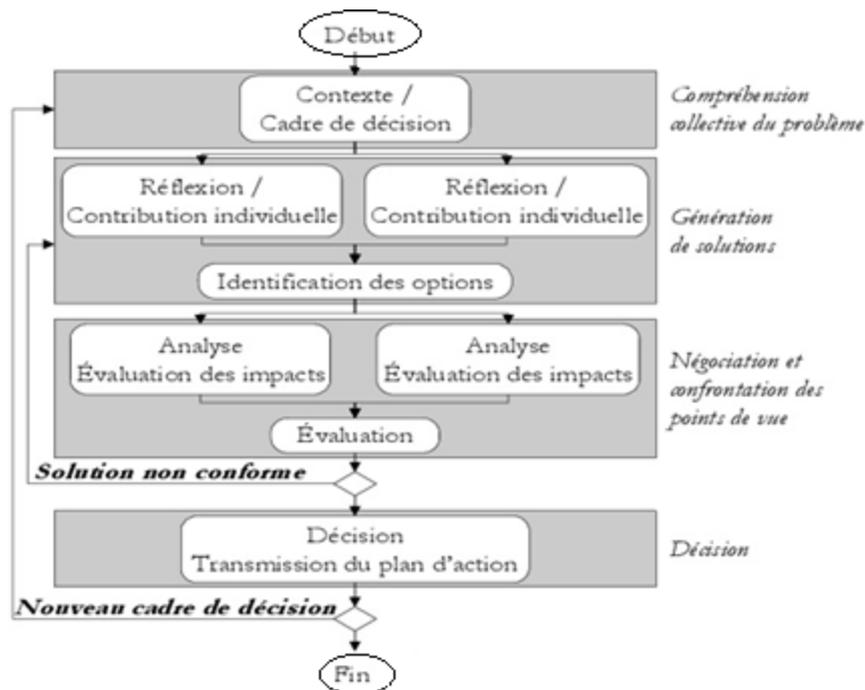


Figure 1.5 : Modèle du processus de décision en groupe selon Laborie.

4.4 Typologie des processus de décision de groupe

Selon l'auteur dans [Denguir, 2007], les processus de décision multi-décideurs peuvent être de différents types :

1. Le cas où les décideurs forment un collectif ayant des intérêts et des objectifs communs dans le processus d'aide à la décision, référencé par un processus décisionnel multi-décideurs « coopératifs ».
2. Le cas où les décideurs présentent des intérêts différents voir conflictuels, dans ce cas le processus décisionnel multi-décideurs est « non-coopératifs ».

Dans un collectif de décideurs coopératifs, Adla dans [Adla, 2010] distingue deux types :

1. Les communautés, où chaque individu a sa propre stratégie pour atteindre l'objectif ;
2. Les organisations, où la stratégie d'évaluation des alternatives est définie et imposée par un comité réduit de direction, d'éthique.

4.5 Avantage d'un GDSS

- Un GDSS a énormément de caractéristiques qui peuvent être, pour certaines, des avantages. Nous mentionnons, dans ce qui suit, quelques-uns de ces avantages [Adla, 2010] :
- Eliminer les barrières de communications ;
- Faciliter la structuration des échanges de délibérations ;
- Aider les participants à générer des idées, organiser les commentaires, analyser les résultats, classer les alternatives etc. ;
- Réunir les participants dans une salle équipée d'ordinateurs organisés en réseau local et d'un écran d'affichage : « la salle de réunion électronique » ;
- Etablir une organisation pour que chaque ordinateur aura un espace privé (pour la préparation des actions/contributions de l'utilisateur) et d'un espace public (pour voir les résultats collectifs) ;
- Permettre aux utilisateurs d'être dans des zones géographiques distantes ;
- Organiser :
 - Un seul site de groupe : tous les membres du groupe sont physiquement ensemble dans un même endroit (une salle par exemple) ;
 - Des sites individuels multiples : où les membres du groupe sont physiquement séparés, chacun dans son poste.
 - Des sites de groupe multiples : où les membres du groupe se rencontrent en sous- groupes à des endroits séparés et ensuite, les réunions de sous- groupes sont interconnectés via EMS (les systèmes de réunion électroniques).

5. L'aide multicritères à la décision : concepts fondamentaux

La prise de décision, comme nous l'avons vue précédemment, s'est présentée comme étant l'activité principale et essentielle des gestionnaires dans l'organisation. Étant donné que ces gestionnaires (décideurs) cherchent à intégrer dans leur décision plusieurs facteurs de nature assez diversifiée, la prise de décision est devenue de plus en plus complexe. Les situations de choix sont nombreuses où les alternatives sont évaluées sur la base de plusieurs objectifs ou critères.

L'aide multicritères à la décision est un paradigme possédant ses propres approches, modèles, et méthodes qui cherchent à aider le décideur, à décrire, évaluer, ranger choisir ou rejeter un ensemble d'alternatives. Ce paradigme s'appuie sur l'évaluation à l'aide de notes, de valeurs et d'intensités de préférences, en fonction d'un ensemble de critères.

L'Aide Multicritères à la Décision (AMCD) désigne un ensemble d'outils d'aide à la décision développés depuis les années 1960. Elle vise à la résolution des problèmes incluant plusieurs alternatives et en considérant plusieurs critères de décision simultanément [Hamdadou, 2017].

5.1 Définitions

Il existe plusieurs définitions de l'aide multicritères à la décision.

D'après Vincke [Vincke, 1989], l'analyse multicritères est "*une approche constructiviste visant à fournir des outils permettant de progresser dans la résolution d'un problème ou plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte*".

Dans [Belton et Stewart, 2002] les auteurs rappellent que « *la recherche en psychologie a montré que le cerveau humain ne peut considérer simultanément qu'un nombre limité d'informations* ».

De ce fait, les principaux objectifs pour toutes les méthodes de l'AMCD sont d'aider les décideurs avec cohérence et transparence afin d'accroître l'efficacité de l'analyse de la décision [Beccali et al., 2003]. Il existe cependant une grande variété de méthodes différentes qui peuvent être utilisées pour atteindre ces objectifs. Pour compliquer davantage l'analyse des décisions, il peut également y avoir plusieurs objectifs (parfois des objectifs concurrents), ainsi que de nombreux critères et alternatives. Un seul décideur peut même avoir plusieurs objectifs tels que maximiser les profits tout en minimisant les risques. Plusieurs décideurs peuvent avoir des intérêts ou des objectifs concurrents, tels que la minimisation des impacts environnementaux par rapport à la maximisation de la création d'emplois pour un projet donné.

Dans ce qui suit, nous allons définir les concepts fondamentaux se rapportant à l'aide multicritères à la décision :

5.2 L'action

Ce sont des éléments qui font l'objet de l'analyse multicritères. Une action est définie par Roy [Roy, 1985] comme étant : « *la représentation comme une éventuelle contribution à la décision globale, susceptible, eu égard à l'état d'avancement du processus de décision, d'être envisagée d'une façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à ma décision* » [Nafi et Werey, 2009].

5.3 Le critère

Un critère g permet d'examiner les actions, d'une façon quantitative ou qualitative.

Selon Roy dans [Roy et Bouyssou, 1993] « *un critère est une fonction à valeurs réelles définie sur l'ensemble A des actions potentielles de telle sorte qu'il soit possible de raisonner ou de décrire le résultat de la comparaison de deux actions a et b à partir des deux nombres $g(a)$ et $g(b)$* » [Nafi et Werey, 2009].

5.4 La matrice de performances

Une matrice de performance dite aussi matrice d'évaluation ou tableau de performance. Comme son nom l'indique, est une matrice où chaque ligne représente une action et chaque colonne un critère. L'intersection d'une ligne i avec une colonne j représente le jugement de l'action par rapport au critère j (performance). Le tableau 1.1 illustre la structure de la matrice de performances.

- Des actions ou alternatives (A) : $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$, n désigne le nombre d'alternatives.

- Des critères(C) : $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$, m : désigne le nombre des critères les S_{ij} ($i=1, m ; j=1, n$) sont des performances.

| Critères | Actions (Alternatives) | | | | |
|----------------|------------------------|-----------------|-----------------|---|-----------------|
| | a ₁ | a ₂ | a ₃ | - | a _n |
| C ₁ | S ₁₁ | - | - | - | S _{1n} |
| C ₂ | S ₂₁ | - | - | - | S _{2n} |
| ... | - | - | - | - | - |
| C _n | S _{m1} | S _{m2} | S _{m3} | - | S _{mn} |

Tableau 1.1 : Structure d'une matrice de performances.

5.5 Les paramètres subjectifs

Ce sont des paramètres qui formalisent, pour chaque critère, l'appréciation subjective de leurs valeurs. Dans la méthodologie multicritères d'aide à la décision, les paramètres subjectifs exprimés par le décideur sont : **le poids, le seuil d'indifférence, le seuil de préférence et le seuil de veto** [Hamdadou, 2017] :

- **Poids des critères** : il s'agit d'un nombre w_j attribué différemment à chaque critère j, selon son importance vis à vis des autres critères.
- **Seuil de préférence** (p_i) : indique l'écart à partir duquel une préférence nette peut être établie entre deux évaluations. L'écart entre le seuil d'indifférence et le seuil de préférence indique une préférence faible entre deux évaluations.
- **Seuil d'indifférence** (q_j) : indique l'écart dans lequel aucune préférence ne peut être établie sur un critère. Ces seuils permettent de tenir compte de l'imprécision et des incertitudes sur les évaluations ou sur les données.
- **Seuil de veto** (v_j) : permet de fixer une notion supplémentaire. Si ce seuil est dépassé sur un critère, alors l'action ne peut être prise en considération. Il définit donc une situation intolérable pour un décideur. Il s'exprime par l'écart maximum acceptable autour de la valeur de l'évaluation.

5.6 Classification des méthodes multicritères

Les méthodes multicritères se distinguent par la manière dont elles comparent les solutions, étape nommée agrégation des performances dans le domaine de l'aide à la décision. Trois démarches d'agrégation sont différenciées [Roy et Bouyssou, 1993], [Maystre et al., 1994], [Moura, 2008] : Agrégation complète, Agrégation partielle et Agrégation locale.

1. Agrégation complète

L'agrégation complète est aussi appelée « approche du critère unique de synthèse évacuant toute incomparabilité ». Il s'agit d'évacuer toute situation d'incomparabilité et introduire toutes les performances dans une seule fonction d'agrégation ou d'utilité (le modèle de préférences s'exprime à travers une fonction unique), en leur attribuant d'éventuels poids. Ce

qui conduit à une compensation totale entre les critères ainsi qu'une transitivité complète. La complète transitivité, la compensation entre critères et les difficultés liées au choix de la fonction d'agrégation (obligation d'y intégrer toutes les préférences des décideurs à part les poids) sont considérés comme des inconvénients cette approche ayant une gravité changeante selon la situation et la problématique traitées [Hamdadou,2017].

Les principales méthodes appartenant à cette approche sont : Multi Attribute Utility Theory (MAUT), Utilités additifs (UTA), Analytic Hierarchic Process (AHP), la technique de Goal Programming , etc.

2. Agrégation partielle

Cette approche se base sur une comparaison par paire des alternatives. Pour chaque paire, il est vérifié si une action surclasse l'autre selon des règles préétablies (relation de surclassement). Soient a et b deux alternatives, a surclasse b est équivalent à « a est au moins aussi bonne que b sur une majorité de critères sans être nettement mauvaise sur les autres » [Roy, 1985].

Les principales méthodes ou familles de méthodes appartenant à cette approche sont :

La famille ELECTRE (Elimination Et choix Traduisant la Réalité), la famille PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichissement Evaluation), ORESTE, QUALIFLEX, etc.

Les principaux avantages de ces méthodes, permettent de traiter simultanément des critères qualitatifs et quantitatifs, les unités de critères sont très hétérogènes et leur codage en une échelle commune est difficile ou artificiel. Ces méthodes prennent en compte les seuils de préférences et de veto. Leurs inconvénients résident dans le fait que cette approche se résume dans la forme du résultat et le nombre important de comparaisons entre les actions (pour n actions, il faut effectuer n fois (n-1) comparaison [Hamdadou, 2017].

3. Agrégation locale

Agrégation locale s'applique sur les problèmes où l'ensemble des alternatives est très grand. La méthode sélectionne dans un premier temps une solution de départ considérée comme « bonne » puis explore localement l'espace des alternatives autour de cette solution pour déterminer s'il y en a des meilleures. L'exploration complète de l'ensemble des alternatives est obtenue par itération du processus. Toutefois, cette technique est peu adaptée aux problématiques de classement des solutions [Roy, 1985].

Les principales méthodes appartenant à cette troisième approche : STEM, Point de mire évolutive, cône d'amélioration.

Dans le contexte de notre étude, nous nous intéressons aux méthodes d'agrégation partielle ou de surclassement et pour cela nous donnons dans ce qui suit un aperçu sur les méthodes des deux familles les plus connues à savoir : PROMETHEE et ELECTRE.

5.7 La relation de surclassement

« Une action a_1 surclasse une action a_2 , noté « $a_1 S a_2$ », si elle est au moins aussi bonne que a_2 relativement à une majorité de critères, sans être trop mauvaise que a_2 relativement aux autres critères » [Schärlig, 1985].

5.8 Les problématiques de décision

Une méthode d'aide à la décision peut viser des objectifs différents. Quatre problématiques de décision sont définies pour caractériser les méthodologies de réponse [Roy, 1985] [Stephan, 2014] :

1. **Problématique de choix (Alpha)** : identifier la meilleure alternative ou sélectionner un nombre limité d'alternatives considérées comme les plus pertinentes ;
2. **Problématique de tri ou de sélection (Béta)** : classer les alternatives selon des groupes homogènes préétablis ;
3. **Problématique de rangement (Gamma)** : générer un classement des différentes alternatives des « meilleures » solutions vers les moins « bonnes » ;
4. **Problématique de description (Delta)** : identifier les caractéristiques principales des alternatives et les décrire selon différents aspects.

5.9 La modélisation des préférences

Avant d'apporter une aide à la décision, il est nécessaire d'évaluer le système de valeurs et les préférences des différents acteurs qui interviennent dans le processus. Quatre situations fondamentales sont considérées comme représentatives des réactions potentielles lors de la comparaison de deux actions [Roy et Bouyssou, 1993] : Les méthodes d'analyse multicritères pour l'identification de stratégies de réhabilitation efficaces.

- a. **Indifférence** : il existe des raisons claires et positives qui justifient de l'équivalence entre les deux actions.
- b. **Préférence stricte** : il existe des raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur d'une action identifiée par rapport à l'autre.
- c. **Préférence faible** : il existe des raisons claires et positives qui infirment une préférence stricte en faveur d'une action mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire une préférence stricte en faveur de l'autre ou une indifférence.
- d. **Incomparabilité** : il n'y a pas de raisons claires et positives qui justifient une des trois situations précédentes.

Ces quatre situations permettent de définir un modèle de préférence qui va déterminer le processus de décision. Suivant les méthodes, la totalité des situations précédentes est prise en compte ou certaines sont éliminées.

6. La famille ELECTRE

Les méthodes ELECTRE ont été développées par Bernard Roy au début des années 1970. Il a ainsi initié toute une série de méthodes, dites de surclassement, basées sur des

comparaisons d'actions deux à deux. Celles-ci demandent peu d'informations pour pouvoir être implémentées, de plus cette information est facilement accessible par le décideur [Abdelhadi,2019].

La famille ELECTRE compte dans sa liste, les méthodes : ELECTRE I [Roy, 1968], ELECTRE II [Roy, 1971], ELECTRE III, ELECTRE IV [Roy et Hugonnard, 1982], ELECTRE IS [Roy, 1985] et la méthode ELECTRE TRI [Roy, 1985].

7. La famille PROMETHEE

Les méthodes PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) sont des méthodes de surclassement. Elles ont été développées dans [Mareschal et al., 1984]. Les méthodes PROMETHEE consistent en la comparaison numérique de chaque action par rapport à toutes les autres actions suivant un processus. A partir de cette comparaison, il est possible de calculer le plus méritant et le moins démeritant de chaque action par rapport à toutes les autres. Le résultat de cette comparaison permet le classement ordonné des actions. Dans la famille PROMETHEE, nous citons les méthodes PROMETHEE I, PROMETHEE II, PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V.

8. Processus d'analyse multicritères d'aide à la décision

Bien que le processus d'analyse décisionnelle puisse être simple et linéaire, l'ajout d'informations supplémentaires lorsque les conditions changent, grâce à la rétroaction des parties prenantes et à la collecte de données supplémentaires, peut impliquer plusieurs itérations. Les principales étapes de l'AMCD traditionnelle comprennent :

- L'identification des problèmes,
- La formulation de l'objectif,
- La sélection des critères et des parties prenantes,
- L'utilisation de la méthode de décision et l'évaluation des résultats.

Les MMCAD sont flexibles afin que le processus puisse être adapté à toute décision. Le processus d'AMCD est décrit comme suit [Ramanathan, 2004] :

1. La première étape du processus de l'AMCD est d'identifier correctement le problème, suivi par la compréhension des objectifs de la situation.
2. La sélection du processus de décision est le point auquel la méthode d'analyse de décision est choisie (par exemple, Processus de hiérarchie analytique AHP, ELECTRE, PROMETHEE...). Les paramètres de décision sont, ensuite, déterminés et le processus démarré. Lorsque de nouvelles informations sont collectées ou que les conditions changent, le processus peut être redémarré, ce qui entraîne une boucle de décision itérative jusqu'à ce que les décideurs soient satisfaits du résultat.
3. Identifier les parties prenantes et les décideurs dans un projet. Un intervenant est généralement une personne qui peut être concernée par un projet ou qui peut avoir un impact sur un projet. Les décideurs comprennent souvent des employés de haut niveau

des services publics, des politiciens et d'autres personnes qui contrôlent les aspects du projet proposé [Ramanathan et al., 2004].

4. Après avoir défini le problème de la décision, la prochaine étape de la procédure d'analyse d'aide à la décision multicritères est la sélection des critères. L'identification des critères est exhaustive et inclut tous les acteurs concernés. Cependant, il n'y a pas de procédure définie pour déterminer le nombre de critères à inclure, ils sont déterminés par les concepteurs de l'analyse et sont spécifiques à chaque problème. Les différents critères peuvent être divisés en catégories suivantes : technique, environnementale, sécuritaire, sociale, économique, de la construction, spatiale, politique et temporelle, entre autres [Munier, 2004].
5. Calcul de la matrice de performance à partir des actions, en ligne, et en colonnes, des critères de la famille F. Les valeurs de la matrice de performance sont les évaluations des actions par rapport aux critères notés $g_j(a_i)$. Une performance peut être une fonction dépourvue de toute notion de cardinalité ou encore une fonction carrément discontinue. Une ligne consacrée au poids des critères est ajoutée à la matrice de performance ainsi que des lignes pour les seuils d'indifférence et de préférence.

Dans [Ben Mena, 2000], l'auteur décrit le processus d'analyse multicritères, en quatre étapes :

1. Création d'une liste des actions potentielles.
2. Création d'une liste des critères et pondération.
3. Calcul de la matrice des performances.
4. Agrégation des performances.

La figure 1.6 résume les principales étapes d'un processus AMCD [Hamdadou, 2017] :

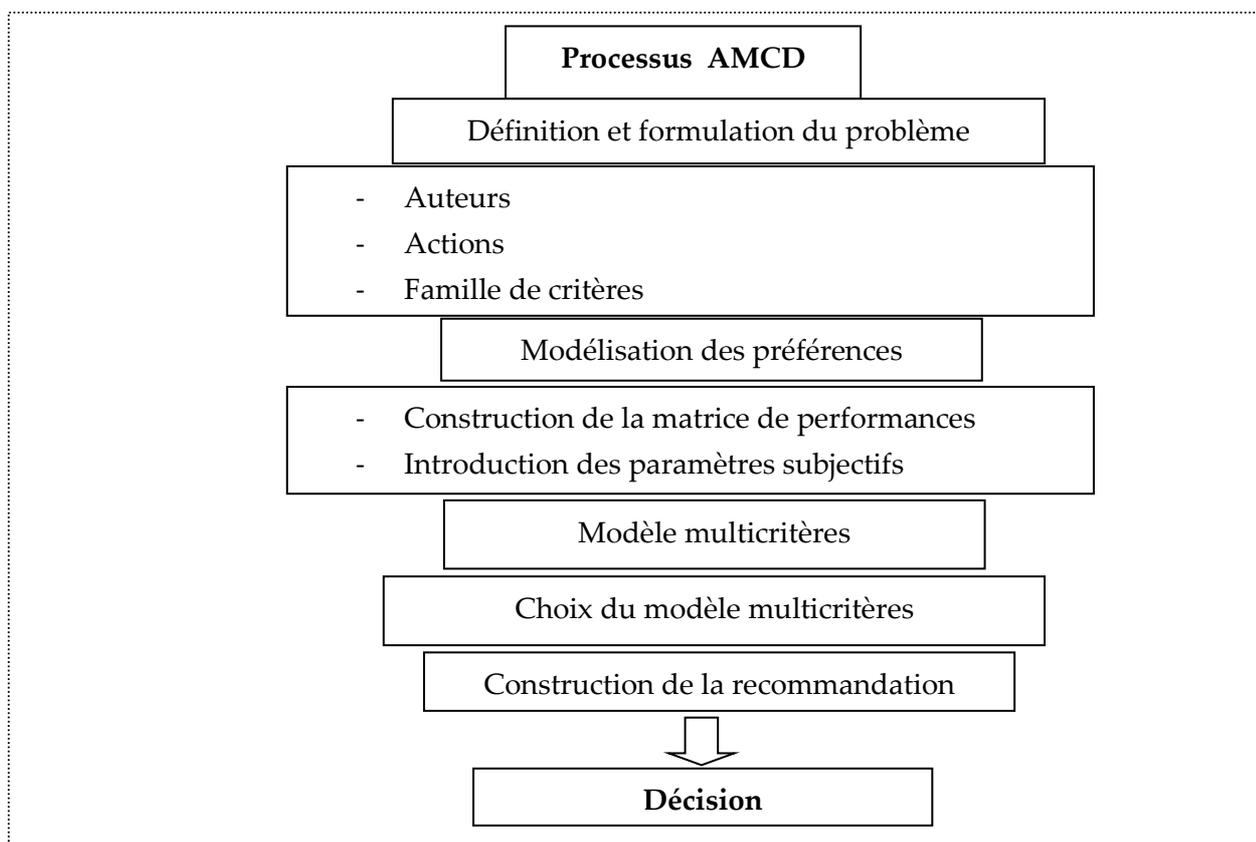


Figure 1.6 : Processus AMCD.

9. L'aide à la décision par les méthodes de votes

Les processus des résolutions de conflits incluent d'autres méthodes d'aide à la décision telles que les méthodes de votes. Les systèmes de vote prennent mieux en compte les préférences des décideurs afin que le résultat corresponde le plus possible à ce qui est exprimé par les décideurs.

Les systèmes de vote sont utilisés pour élire une alternative parmi les différentes alternatives possibles. Les plus simples concernent un choix entre une alternative et le statu quo. Cela revient à proposer l'alternative et à recueillir les votes, pour et les votes contre cette alternative. Les systèmes les plus complexes impliquent un nombre d'alternatives supérieur à deux, les votants devant alors choisir l'alternative qu'ils préfèrent. Le terme de choix social est utilisé afin de représenter l'alternative qui satisfait au mieux la population.

Il existe une grande diversité de systèmes de vote ainsi que de leur mise en application pour un même profil de préférences du votant. Dans [Gonzalez Suittet al., 2014], les auteurs répertorient les principaux systèmes de vote en plusieurs catégories. Parmi ces méthodes citées dans [Gonzalez Suittet al., 2014], notre choix a porté sur les méthodes Borda et Condorcet compte tenu que les auteurs les citent comme les plus connues et appliquées dans la littérature.

9.1 La méthode Borda

La méthode de vote Borda est une méthode très utilisée pour le scorage, elle établit le scorage de manière, à ce qu'à chaque itération, on attribue N points au premier, $N-1$ au deuxième, et ainsi de suite jusqu'à l'alternative classée N -ième, qui reçoit 1 point. Ensuite, le nombre de points de chaque alternative est calculé, l'alternative qui aura le plus de points sera la solution finale [Borda, 1781].

9.2 La méthode Condorcet

Cette procédure, nommée d'après le mathématicien et philosophe français Condorcet (1743-1794), son fonctionnement est comme suit : un candidat a est préféré à un candidat b si et seulement si le nombre de votants ayant classé a devant b est strictement supérieur au nombre de votants ayant classé b devant a (en cas d'égalité les deux candidats sont jugés indifférents) [Condorcet, 1785].

10. Travaux connexes

Dans le cadre de notre recherche, nous avons retrouvé dans la littérature plusieurs travaux pertinents, développées dans le domaine de l'aide à la décision de groupe. Dans ce qui suit, nous citons quelques contributions qui ont retenu notre attention.

| Référence | Travail de recherche | Domaine d'application |
|--------------------------------------|---|---|
| [Guo et al., 2001] | Proposition d'un modèle d'un GDSS conçu pour surmonter les limites des systèmes traditionnels et il est utilisé pour la prise de décision de groupe dans de nombreux domaines. La conception des composants est sous la forme du modèle COM (Component Object Model). Le GDSS est composé de différentes composante de type agent. | L'informatique ubiquitaire |
| [Hemaissia et al., 2007] | Elaboration d'un protocole de négociation multilatérale dans un contexte de coopération. Les dépendances complexes entre plusieurs problèmes sont prises en considération en modélisant les préférences des agents avec prise en compte des préférences d'un agent médiateur. Avec un outil d'aide à la décision multicritères, les agents coopératifs arrivent à un consensus. | Gestion de crises |
| [Matsatsinis et Tzoannopoulos, 2008] | Proposition d'une plate-forme d'agents intelligents basée sur des arguments pour la prise de décision de groupe en utilisant des méthodes d'analyse de décision multicritères. | La planification des transports et de la conservation |
| [Hamdadou et Libourel, 2011] | Proposition d'un système d'aide à la décision de groupe multicritères (DIA_GDSS), un outil collectif de prise de décision basé sur un ensemble de critères, de méthodes de diagnostic et un protocole de négociation multilatérale, intégrant ELECTRE III pour classifier les différentes méthodes de diagnostic. | Diagnostic industriel |
| [Okumura et al.,2013] | Proposition d'un système d'aide à la décision basé sur les systèmes multi agents. Un protocole multi attributs est mis en place pour aider dans le choix de l'espace à attribuer en prenant en compte les informations et les opinions des décideurs. | Aménagement de territoire |
| [Morge etMancarella, 2014] | Proposition de l'outil Margo pour la prise de décision quantitative à plusieurs attributs basés sur un mécanisme d'argumentation annulable abstraite [Dung, 1995]. Margo a été employé dans le projet ArgGRID pour faciliter la composition dynamique de ressources et de services au niveau d'une grille de | E-business |

| | | |
|-----------------------------|---|--------------------------------|
| | calcul. Des agents sont associés aux fournisseurs et aux demandeurs de services, ces agents décident du service qui permet de répondre aux besoins des clients, ils créent, gèrent et rejoignent des organisations virtuelles. | |
| [Lolli et al., 2015] | Elaboration d'un GDSS, nommé FlowSort-GDSS, ce dernier est une extension de la méthode FlowSort pour trier les modes de défaillance en classes de priorité. Cette méthode appartient aux méthodes de la famille PROMETHEE et hérite de leurs propriétés. Les décideurs fournissent les profils de référence sur les facteurs de risque pour définir les classes prioritaires en fonction de leurs expériences et compétences. L'essence de cette méthode réside dans la comparaison par paire entre les modes de défaillance et les profils de référence. | Les systèmes défaillant |
| [Igoulalene et al., 2015] | Utilisation d'une approche hybride basée sur la mesure de possibilité et la méthode TOPSIS (technique for order of preference by similarity to ideal solution). La méthode multicritères TOPSIS floue est utilisée pour établir un classement des alternatives. La recherche de consensus se fait via la théorie des possibilités et des ensembles flous qui permet aux décideurs ayant des préférences contradictoires de trouver un consensus sur l'ensemble des alternatives. | Sélection de chaîne logistique |
| [Lang et Fink, 2015] | Proposition d'un système d'aide à la décision pour la sélection de protocole de négociation (DSS-NPS). Ce système est basé sur une approche d'apprentissage automatique, d'un réseau neurologique artificiel dédié aux prévisions sur la négociation pour un scénario donné. | Apprentissage automatique |
| [Zaraté et al., 2016] | Proposition d'une approche, contenue dans le GDSS, qui permet aux décideurs d'utiliser une méthode multicritères de structuration des problèmes pouvant impliquer des critères publics (partagés) et privés. | Contexte spatial |
| [Oufella et Hamdadou, 2018] | Modélisation des acteurs impactés par la décision de groupe via le paradigme agent. Identification des préférences des différents acteurs à l'aide des | Aménagement de territoire |

| | | |
|-----------------------------|---|---------------------------|
| | méthodes multicritères. Définition d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation. | |
| [Abdelhadi et al., 2018] | Proposition d'une plateforme de communication basée sur les services Web intégrant un protocole de négociation de type médiation doté d'une méthode multicritères Prométhée II. | Générique |
| [Madouri et Hamdadou, 2019] | Elaboration d'un système interactif d'aide multicritères à la décision collective (ARG-GDSS) (Argumentative Group Decision Support System). L'outil proposé est implémenté selon une architecture Web et intègre deux méthodes multicritères ELECTRE III et AHP, il utilise un SIG pour saisir, stocker manipuler les informations grâce à ses fonctionnalités. | Aménagement de territoire |

11. Conclusion

Tout au long de ce chapitre, notre attention s'est focalisée sur la présentation de l'aide à la décision de groupe et tous les concepts relatifs à cette discipline. En utilisant des systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS) bien élaborés, les décideurs arrivent à un compromis de bonne qualité assurant un accord mutuellement acceptable et ce de manière simple, rapide et efficace.

Nous avons présenté, par la suite, l'aide multicritères à la décision. Son but est de fournir aux décideurs des outils qui lui permettent la résolution de problèmes décisionnels en faisant intervenir plusieurs données contradictoires dans la plupart des cas.

Les systèmes d'aide à la décision de groupe sont pour la plupart des chercheurs réalisés et modélisés, en utilisant un système multi agents. Les agents communiquent entre eux via un processus de négociation pour arriver à un compromis acceptable par tous. A ce titre, nous abordons, dans le chapitre suivant, les principales formes de la négociation dans les SMA.

Chapitre II

La négociation dans les Systèmes Multi Agents (SMA)

Dans ce chapitre nous présentons, tout d'abord, les notions fondamentales se rapportant aux Systèmes Multi Agents (SMA). Nous introduisons, par la suite, le concept de la négociation dans les SMA, nous présentons ainsi les principaux travaux relatifs à la négociation en général.

Chapitre II

La négociation dans les Systèmes Multi Agents (SMA)

Sommaire

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 30 |
| 2. Terminologie structurant les SMA..... | 30 |
| 2.1 L'agent..... | 30 |
| 2.2 Les Systèmes Multi Agents..... | 30 |
| 2.3 Les différents types d'agents..... | 31 |
| 3. Méthodologie de conception des interactions SMA..... | 34 |
| 3.1 Méthodologie Cassiopee..... | 34 |
| 3.2 Méthodologie GAIA..... | 34 |
| 3.3 Méthodologie MaSE..... | 34 |
| 3.4 Méthodologie Aalaadin..... | 35 |
| 4. Les plateformes SMA..... | 35 |
| 5. La négociation dans les Systèmes Multi Agents..... | 37 |
| 5.1 Définition..... | 37 |
| 5.2 Protocole de négociation..... | 38 |
| 5.3 Propriétés du protocole..... | 39 |
| 5.4 Objets de la négociation..... | 39 |
| 5.5 Le modèle décisionnel des agents..... | 39 |
| 5.6 Les caractéristiques de la négociation..... | 39 |
| 5.7 Les techniques de la négociation..... | 40 |
| 5.8 Protocole à concession monotone (Monotonic concession protocol)..... | 42 |
| 6. Travaux relatifs à la négociation..... | 42 |
| 7. Conclusion..... | 45 |

1. Introduction

Avec les progrès des technologies de l'information et des systèmes multi-agents (SMA), il est apparu le besoin accru d'utiliser des agents automatiques. Les SMA conviennent aux différents domaines impliquant une négociation entre plusieurs personnes ou organisations ayant des objectifs convergents.

De plus, l'utilité d'utiliser une approche basée agents pendant les négociations est parfaitement justifiée par l'explosion du nombre de messages échangés entre les agents.

Ce groupe d'agents, interagissant dans le but collaboratif, sont programmés et disposés par différents individus.

Un des problèmes majeurs que rencontrent les systèmes multi agents est de parvenir à un accord, qui peut arranger tout le monde. En se basant sur les préférences d'alternatives de chaque agent, un agent envoie alors des messages en vue de trouver un accord satisfaisant tout le groupe.

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur les principaux concepts de systèmes multi agents ainsi que les différentes techniques de la négociation.

2. Terminologie structurant les SMA

Il existe plusieurs concepts associés aux SMA qui méritent d'être discutés en profondeur et défini plus en détail. Les concepts spécifiques qui sont discutés dans cette partie comprennent les termes agent, différents types d'agents, la négociation dans les SMA et les différents types de protocole de négociation.

2.1 L'agent

Un agent est un terme qui a un certain nombre de significations qui diffèrent selon le contexte dans lequel il est utilisé [Rasmusson et Janson, 1999]. Dans [Ferber, 1995] l'auteur définit un agent comme « *Une entité réelle ou virtuelle, évoluant dans un environnement, capable de le percevoir et d'agir dessus, qui peut communiquer avec d'autres agents, qui exhibe un comportement autonome, lequel peut être vu comme la conséquence de ses connaissances, de ses interactions avec d'autres agents et des buts qu'il poursuit* ».

L'auteur, dans [Wooldridge, 2009] définit un agent comme étant : « *Un agent est un système informatique qui est situé dans un environnement donné et qui est capable d'agir de manière autonome dans cet environnement afin d'atteindre ses objectifs de conception* ».

2.2 Les Systèmes Multi Agents

Dans [Cao et al., 2009] « *Un système multi agents fait référence à un réseau d'agents logiciels qui sont couplés ensemble afin de faciliter la résolution des problèmes qui dépassent les capacités de l'agent individuel* ».

Les systèmes multi-agents fonctionnent comme une unité décentralisée répartie entre plusieurs agents plutôt que consolidée en une seule. Ceci permet à chaque agent d'être concentré sur une tâche particulière ou un élément de résolution de problème afin de faciliter la conception de chaque agent.

2.3 Les différents types d'agents

Il existe une différence interne dans l'architecture des agents, ces architectures sont réparties entre des architectures réactives et cognitives. A ces deux typologies, s'ajoute l'architecture hybride et l'architecture BDI (Belief, Desires, Intention) dans le but de résoudre les inconvénients émanant des agents réactifs et cognitifs.

2.3.1 Les agents réactifs

Les agents réactifs sont conçus pour être capables d'actions coordonnées de groupes complexes. Ce type d'agent est décrit par des règles simples du type **stimulus/réponse**. Il ne tient pas compte du passé, ne planifie pas le futur et n'a pas de représentation de son environnement ni des autres agents, ce qui présente un grand avantage et rend les systèmes réactifs plus rapides [Drogoul, 1993].

La structure de l'agent réactif est illustrée par la figure 2.1.

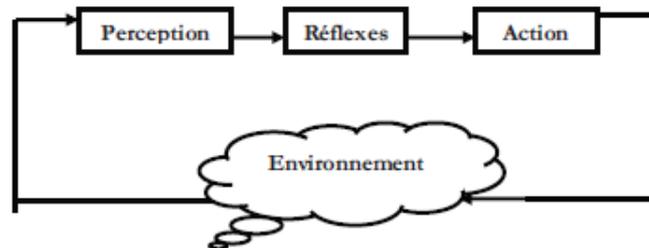


Figure 2.1: Structure d'un agent réactif.

2.3.2 Les agents cognitifs

C'est un type d'agents plus complexe doté de capacités de raisonnement importantes et disposant d'une représentation de son environnement. Chaque agent est muni d'une base de connaissance comprenant l'ensemble des informations et des savoir faire nécessaires à la réalisation de sa tâche ainsi qu'à la gestion des interactions avec les autres agents et avec son environnement [Chaib-Draa et al., 2001]. Pour atteindre leurs buts, ces agents sont capables de monter des plans et de coopérer. Ils utilisent l'expérience qu'ils ont acquise pour prendre des décisions. L'agent cognitif est intéressant du point de vue individuel et collectif, il prend les différentes méthodes de l'intelligence artificielle auxquelles vient s'ajouter un comportement social. La structure de l'agent cognitif est illustrée par la figure 2.2.

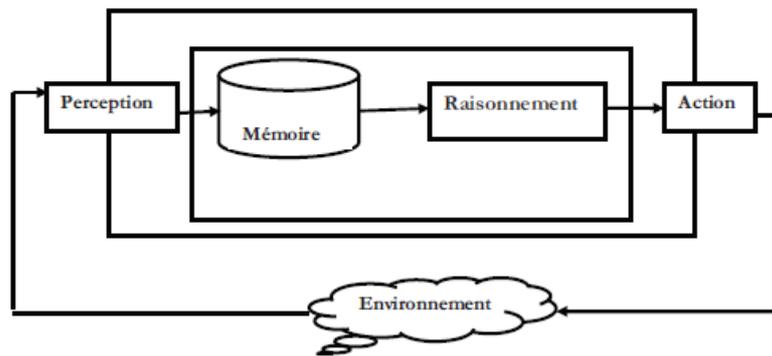


Figure 2.2: Structure d'un agent cognitif.

2.3.3 Les agents hybrides

Les systèmes hybrides sont une combinaison des deux systèmes réactifs et cognitifs. Des chercheurs ont constaté que certains types de problèmes ne pouvant pas être résolus par les systèmes réactifs et cognitifs ils ont misé sur la combinaison des deux approches. Cette vision permet de concilier les capacités des deux types d'agents précédents. Dans ce type d'architecture, les agents sont conçus comme étant composés de niveaux hiérarchiques qui interagissent entre eux. Chaque niveau gère un aspect du comportement de l'agent [Chaib-Draa et al., 2001].

- Au plus bas niveau de l'architecture, il existe une couche purement réactive qui prend ses décisions en se basant sur des données brutes en provenance de l'environnement.
- La couche intermédiaire fait abstraction des données brutes et travaille plutôt avec une vision qui se situe au niveau des connaissances de l'environnement.
- La couche supérieure fait référence à chaque aspect social de l'environnement, c'est-à-dire du raisonnement tenant compte de l'avis des autres agents. La structure d'un agent hybride est illustrée par la figure 2.3.

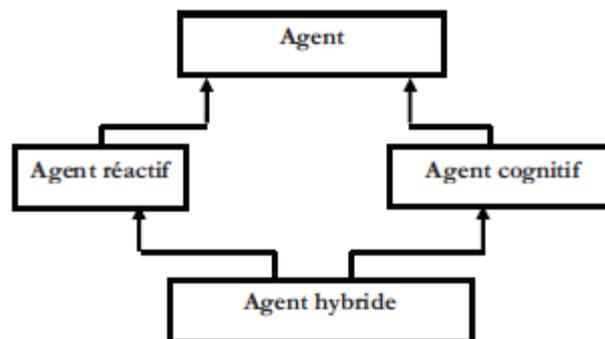


Figure 2.3 : Structure d'un agent hybride.

2.3.4 Les agents BDI (Beliefs, Desires and Intentions)

Les agents BDI sont inspirés des travaux relatifs aux raisonnements pragmatiques, c'est-à-dire le processus de décision permettant de sélectionner les actions à effectuer pour atteindre des objectifs [Chaïb-draa et al., 2001]. C'est une architecture très répandue, elle est basée sur un raisonnement prenant en compte les états mentaux des agents, tels que :

- **Croyances (Beliefs)** : Les croyances sont des données que l'agent possède en provenance de l'environnement. Elles permettent à l'agent de modéliser l'état courant du monde dans lequel il évolue. Des événements antérieurs de l'environnement sont également accumulés pour faciliter le procédé de mise à jour.
- **Désirs (Desires)** : les désirs représentent les différents états du monde que l'agent souhaite réaliser. Ils représentent donc un ensemble de buts que l'agent aimerait possiblement atteindre.
- **Intentions (intentions)** : les intentions sont comparables à des engagements que l'agent prend concernant l'accession à un certain état du monde. Ce choix est effectué parmi ses désirs. Les intentions sont alors des buts que l'agent souhaite réaliser des maintenant.

Autrement dit, il s'agit des buts courants de l'agent.

Un agent BDI doit donc mettre à jour ses croyances avec les informations qui lui proviennent de son environnement via la fonction de perception, décider quelles options lui sont offertes, filtrer ces options afin de déterminer des nouvelles intentions motivées par les croyances et les désirs courants enfin poser ses actions au vu de ces intentions sur l'environnement externe. Cette architecture puissante à pour coût la difficulté de concevoir et implanter un comportement BDI complet [Chaïb draa et al., 2001]. La structure BDI est illustrée par la figure 2.4.

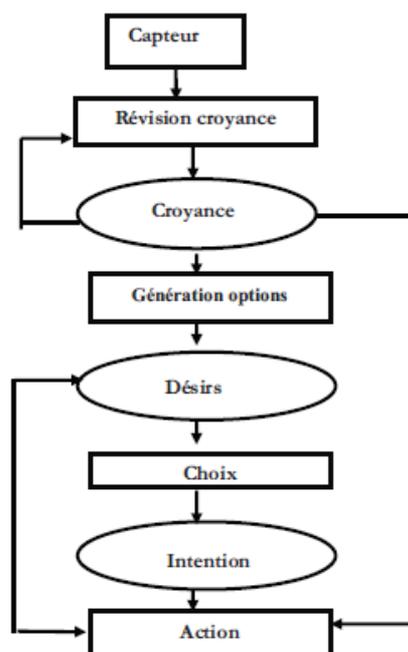


Figure 2.4 : Structure d'un agent BDI.

3. Méthodologie de conception des interactions SMA

Les SMA visent l'élaboration, la conception, la simulation et/ou la compréhension de systèmes coopératifs ou compétitifs, distribués, et ouverts pouvant intégrer des agents humains et/ou artificiels.

Les SMA sont adaptés pour modéliser les phénomènes dans lesquels les interactions en diverses entités sont assez complexes pour être appréhendées par les outils de modélisation classiques. Les SMA sont de plus en plus utilisés car ils permettent de représenter des entités autonomes, dotées de comportements et pouvant coopérer, négocier et communiquer avec d'autres entités.

Dans ce qui suit nous présentons les différentes méthodologies vues dans la littérature.

3.1 Méthodologie Cassiopee

Dans [Collinot et al., 1996], les auteurs présentent la méthode Cassiopée comme une façon d'appréhender un type de résolution de problèmes qui suppose la mise en œuvre de comportements collectifs par un ensemble d'agents logiciels. Ils modélisent ce cadre selon 3 étapes :

1. **Définition des agents** : le concepteur répartit les connaissances et les compétences nécessaires aux systèmes entre agents.
2. **Définition des interactions** : le concepteur définit le mode de communication entre les agents, les natures de leurs échanges.
3. **Définition de l'organisation** : le concepteur définit les liens entre les agents qu'il a conçus.

3.2 Méthodologie GAIA

Les auteurs dans [Wooldridge et al., 2000] présentent la méthodologie GAIA utile pour l'analyse et la conception orientée agent. Le but de cette approche est de laisser la conception de bas niveau et l'implantation la plus ouverte que possible de façon à laisser la possibilité au concepteur d'adopter l'architecture et le langage de programmation qu'il désire.

3.3 Méthodologie MaSE

Dans [Wood et Deloach, 2000], les auteurs suggèrent une modélisation appelée « multiagent systems engineering » (MaSE).

MaSE est semblable à Gaia dans tout ce qui concerne le principe et ses généralités. Elle utilise deux langages, AgML (Agent Modelling Language), qui est un langage graphique, et AgDL (Agent définition langage) pour décrire le comportement du système et celui de l'agent.

3.4 Méthodologie Alaadin

Le modèle Alaadin [Guttman et al., 1998], les auteurs proposent une méthodologie conceptuelle permettant de définir l'ensemble des rôles possibles, spécifier les interactions et décrire les structures abstraites de groupe et d'organisation. Les étapes du processus méthodologique de conception de la structure organisationnelle sont les suivants :

- Identifier les groupes.
- Choisir ou créer un modèle organisationnel spécifique adapté à chaque structure.
- Spécifier la structure organisationnelle dans le modèle choisi.

4. Les plateformes SMA

Plusieurs plateformes SMA existent et permettent de développer et d'exécuter des systèmes multi agents conformément à des normes. Les plateformes offrent des classes d'abstraction pour les agents, ainsi que des classes de communication permettant des interactions entre agents tout en respectant les standards (Fipa-ACL, KQML, etc).

Le tableau 2.1 présente quelques-unes des plateformes multiagents les plus utilisées :

| Les plateformes SMA | Description |
|----------------------|--|
| Agent Builder | Une suite d'outils intégrés permettant de construire des agents intelligents. Développée par Reticular Systems Inc.. Cet outil est remarquable car il allie à la fois un logiciel de grande qualité et un modèle sous-jacent qui a fait ses preuves au niveau académique. La méthodologie globale est documentée dans l'AgentBuilderUser's Guide |
| Jack | Un environnement pour construire, exécuter et intégrer des systèmes multi agents commerciaux, écrits en Java utilisant une approche orientée composants. Il est développé par la société australienne Agent Oriented Software Pty. Ltd. Jack s'intéresse principalement à l'étape de développement. |

| | |
|-------------------------------|--|
| MadKit | Une plateforme multiagents écrite en Java basée sur un modèle organisationnel. Elle est développée par Olivier Gutknecht et Jacques Ferber du LIRMM (Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier). MadKit est avant tout une plateforme d'exécution de systèmes multi- agents, utilisant un micro-noyau d'agent. Le modèle organisationnel sous-jacent est le modèle Aalaadin [Ricordel, 2001]. |
| ZEUS | Un environnement intégré pour la construction rapide d'applications à base d'agents collaboratifs. Il est développé par l'Agent Research Program du British Telecom Intelligent System Research Laboratory. La documentation de Zeus est abondante, et insiste particulièrement sur l'importance des aspects méthodologiques de Zeus [Ricordel, 2001]. |
| Jade (java Agent Development) | Une plateforme permettant le développement et l'exécution de systèmes multi agents conformes aux normes FIPA, cette plateforme est entièrement implémentée en JAVA, conforme aux spécifications FIPA, Open Source et distribuée avec licence LGPL, modifiable en cours d'exécution (mobilité des agents) [Bellifemine et al., 2007]. |

Tableau 2.1 : Les plateformes SMA

D'après le comparatif fait par l'auteur dans [Atohou, 2013], il en ressort que les deux meilleurs outils sont dans l'ordre Zeus et AgentBuilder.

Cependant, dans le cadre de notre travail, nous nous sommes résolus à écarter ces deux outils malgré qu'ils aient obtenus les points les plus élevés et ceux grâce à leurs différents atouts et leur complétude dans le domaine. Ces outils sont également des outils très complexes, très contraignants et les moins souples.

Ces outils demandent beaucoup de temps pour les maîtriser, ce qui exige entre autres l'appropriation au préalable du langage ou des techniques de modélisation, sur lesquels chacun de ces outils se base dans la phase de mise en œuvre. De plus, ils présentent certaines limites par rapport à leur déploiement, leur extensibilité ainsi que leur réutilisabilité.

5. La négociation dans les Systèmes Multi Agents

Dans les systèmes multi agents, lorsque de nombreux agents interagissent, des conflits peuvent survenir, parvenir à un accord au sein d'un groupe d'agents relève d'un processus complexe, chacun ayant des intérêts et des désirs différents voir opposés, il faut alors trouver une solution qui, satisfait pleinement chaque membre du groupe mais aussi convienne à la majorité d'entre eux. La négociation constitue un mécanisme d'interaction puissant permettant de répondre à ces besoins.

5.1 Définition

« La négociation, dans un système multi-agents, est un processus par lequel deux ou plusieurs agents interagissent dans le but d'atteindre un arrangement mutuellement acceptable » [Crary, 1992], [Hafid et al., 1998].

"Negociation is a process by which a joint decision is made by two or more parties. The parties first verbalise contradictory demands and then move towards agreements" [Pruitt, 1981].

L'origine de cette définition étant américaine, sa traduction est : « La négociation est un processus par lequel une décision conjointe est prise par deux parties ou plus. Les parties verbalisent en premier lieu leurs exigences et convergent vers un accord final ».

La négociation procède, généralement, selon une série de tours, avec chaque agent faisant une proposition à chaque tour.

La négociation dans le commerce électronique est le processus dans lequel deux ou plusieurs parties négocient multilatéralement des biens ou des services à des fins mutuelles, en utilisant les outils et techniques du commerce électronique [Beam et Segev, 1997].

Les quatre composants d'un modèle de négociation sont [Shaheen et al., 2004] :

1. L'état d'information des agents et du domaine ;
2. Le protocole de négociation ;
3. Les stratégies de négociation ;
4. L'équilibre de la négociation

Puisque les situations de négociation se produisent lorsqu'il y a un conflit d'intérêts, la première étape est de détecter le conflit. Les agents sont amenés à utiliser la communication pour éliminer les conflits. Les conflits peuvent être sur la disponibilité limitée des ressources, ou il peut y avoir un conflit entre les croyances de certains agents. Dans le premier cas, l'optimisation est le résultat, alors que, dans le second cas, l'un des agents devra changer de croyance [Shen et al., 2002]. Souvent, la négociation est vue comme maximisant la qualité du résultat. Deux types d'optimisation sont possible : soit les agents peuvent essayer d'atteindre l'optimalité de Pareto, ce qui signifie que le résultat maximise le produit des utilités des agents, ou sinon, ils essaient d'atteindre un équilibre de Nash, ce qui signifie un état stable dans le système.

La négociation est effectuée en échangeant des messages entre agents. Depuis le processus implique plusieurs messages, une discussion aura lieu dans laquelle les préférences de chaque agent et les objectifs sont des facteurs importants. De toute évidence, pour pouvoir négocier, les agents doivent être capables de raisonner. Ainsi, la négociation est limitée aux agents cognitifs. La négociation automatisée est essentiellement une recherche répartie dans l'espace des accords potentiels entre les différents négociateurs représentés par des agents autonomes, ce qui implique l'échange de l'information pertinente et vise à trouver un accord commun acceptable par tous les participants.

La négociation a été détaillée, néanmoins plusieurs questions restent à traiter : sous quelle forme se présente la négociation ? Comment entamer et procéder dans une négociation ? Quand doit-on s'arrêter ? Comment atteindre l'objectif visé ? Et bien dans ce qui suit, nous allons essayer de répondre à toutes ces questions en présentant les différentes techniques de négociations ainsi que leurs règles de déroulement.

5.2 Protocole de négociation

Afin de modéliser la négociation automatisée, les protocoles et les stratégies de négociation doivent être différenciés. Le protocole décrit les règles émises entre les participants à la négociation, en précisant les exigences qui permettent leur interaction. La stratégie définit le comportement des participants, visant à atteindre un résultat souhaité. Ce comportement doit être cohérent avec le protocole de négociation, et vise généralement à maximiser les gains individuels de chacun des agents de négociation [Ganzha et al., 2007].

Un framework de négociation devrait spécifier un protocole de négociation, pour contraindre à l'utilisation du langage. Un protocole est un ensemble formel de conventions régissant l'interaction entre les participants [Rahwan et al., 2002b].

Le protocole de négociation définit l'interaction formelle entre les négociateurs, quel que soit le nombre de tours, et comment l'échange d'offres entre les agents est effectué [Lin et Kraus, 2010].

En résumé, ce sont des règles qui gouvernent l'interaction et les types de participants autorisés [Hamdan, 2014] :

1. **Participants possibles** : acheteurs, vendeurs, offreurs, tierce partie, etc.
2. **Etat de négociation** : offrir proposition, accepter proposition, négociation terminée, etc.
3. **Evénements qui déterminent les transitions d'états** : plus d'offres, temps de réponse expiré, etc.
4. **Actions valides des participants** : accepter, rejeter, contre-proposition, etc.

Le protocole définit aussi la manière dont les agents doivent communiquer pour négocier, et appeler « les primitives de communication ou bien de négociation ». Ces primitives représentent le type des messages échangés entre les agents et ils sont regroupés en trois parties [Madouri, 2019] :

1. **Initialisation** : Proposition, Arrangement, Requête, etc.
2. **Réaction à une proposition** : Répondre, Modifier, etc.
3. **Terminaison** : Confirmer, Accepter, Informer, etc.

5.3 Propriétés du protocole

Le protocole employé dans la négociation doit respecter quelques propriétés [Madouri, 2019] :

1. **Efficacité** : un accord globalement optimal doit être atteint.
2. **Stabilité** : aucun agent ne peut modifier le protocole de négociation.
3. **Simplicité** : par défaut d'efficacité, le protocole doit être léger en nombre de messages échangés et en temps de calcul.
4. **Distributivité** : le protocole ne doit pas être centralisé.
5. **Symétrie** : le protocole ne doit pas avantager un agent en particulier.

5.4 Objets de la négociation

C'est l'intervalle des critères pour lesquels une solution doit être trouvée. L'objectif peut contenir un ou plusieurs critères. La négociation peut déboucher sur un accord portant sur les critères suivants : Prix, Qualité, Quantité, Volume, Nombre, Modalités de paiement, Moyens de livraison ou Date de livraison, etc.

5.5 Le modèle décisionnel des agents

Le moyen par lequel un agent atteint son objectif, est aussi appelé « Le raisonnement d'un agent » et il en existe beaucoup, parmi eux, nous citons [Berhane, 2014] :

- Fonctions d'utilité.
- Fonctions de comparaison et de corrélation.
- Préférences.
- Stratégies de négociation.

Une remarque très importante est que le raisonnement est fortement contraint par le protocole et/ou l'objet de négociation.

5.6 Les caractéristiques de la négociation

Il est évident que quand nous procédons à une négociation, nous nous attendons à obtenir un résultat crédible et de bonne qualité, et cela n'est possible que si une négociation entre agents respecte les caractéristiques suivantes [Florea et Panghe, 2000] :

- Les intervenants doivent pouvoir être indifféremment humains ou logiques.
- Ils doivent tous utiliser le même langage pour communiquer.
- La communication doit être asynchrone et banalisée.
- Un agent ne doit pas avoir accès à la totalité de la connaissance des autres agents.
- Plusieurs négociations simultanées doivent être possibles.
- Certains contrats doivent être plus prioritaires que d'autres.
- Certains participants peuvent être plus prioritaires que d'autres.



- L'humain peut commencer la négociation, laisser son agent continuer un certain temps puis reprendre la négociation sans que les autres intervenants ne se rendent compte du changement.
- Le système ne doit pas se bloquer.

5.7 Les techniques de la négociation

Plusieurs types de négociation sont disponibles, mais tous basés sur deux techniques de négociation :

1. La négociation centrée sur l'environnement : adapter le contexte ou l'environnement à la négociation.
2. La négociation centrée sur l'agent : adapter le comportement de l'agent compte tenu des propriétés du contexte donné.

Dans ce qui suit, on extrait les différences en présentant ces types de négociation.

5.7.1 Négociation avec heuristique

Cette stratégie permet aux agents de dépasser la phase de rejet ou la modification d'une proposition (offres) faite par un autre agent. Permet de produire de bonnes solutions ou plutôt des solutions optimales. Les agents doivent fournir des réactions plus utiles aux propositions qu'ils reçoivent. Ces réactions peuvent prendre la forme d'une critique sur la partie de la proposition que l'agent accepte ou refuse d'exécuter cette tâche, ou d'une contre-proposition (proposition refusée ou modifiée) est plus favorable à l'expéditeur et qui est faite en réponse à une proposition [Ferber, 1997].

5.7.2 Négociation à base d'argumentation

Une négociation commence toujours par une proposition qui peut être une offre ou une demande. Cette étape est suivie par un échange d'illocutions qui peuvent être l'émission de contre-propositions ou d'arguments de persuasion. Enfin, une illocution de fin de processus est invoquée, par exemple : acceptation ou refus [Sycara, 1990].

5.7.3 Les enchères

L'enchère désigne toute technique de vente établissant une concurrence, qui a pour objectif de déterminer le futur possesseur de l'article en jeu, par des offres successives. Les enchères se sont automatisées sur Internet grâce aux sites comme eBay, Yahoo enchères, onSale C'est la forme de négociation la plus connue, bien que peu de systèmes d'enchères offrent de réelles possibilités de négociation.

La théorie de vente aux enchères consiste en un vendeur souhaitant maximiser son gain et plusieurs acheteurs souhaitant minimiser leur perte en fonction de l'estime qu'il porte à l'objet de vente. La théorie de VAE présente des protocoles utilisés dans des systèmes multi-agents pour définir des moyens de négociation entre ces agents [Menazelli et Fodil, 2013].

Il existe plusieurs protocoles d'enchère, nous présentons les plus importants [Menazelli et Fodil, 2013] :

- **Enchère ascendante (anglaise /Premier prix-offre Public)** : Elle est certainement la plus populaire. L'initiateur commence l'enchère, d'habitude par l'annonce d'un prix de réservation (le prix minimal pour lequel il est d'accord pour vendre l'objet). Chaque participant annonce publiquement son offre, après plusieurs tours successifs. Quand aucun participant ne veut plus augmenter son offre, l'enchère s'arrête. Le participant ayant fait la plus grande offre gagne l'objet au prix de son offre.
- **Enchère descendante (hollandaise)** : L'initiateur commence par proposer un prix et, par des tours successifs, diminue ce prix jusqu'au moment où un des participants achète l'objet au prix proposé.
- **Enchère à enveloppe scellée (au premier prix)** : Ce type d'enchère, aucun agent n'a connaissance de la mise des autres agents. Ainsi l'agent décide de sa mise en fonction de son estimation de la valeur de l'objet, de la dernière somme enregistrée et également de son estimation des offres des autres agents.
- **Enchère de Vickery (enveloppe scellée au second prix)** : Ici, aucun agent n'a connaissance de la mise des autres agents. Lorsque l'agent remporte l'enchère (en ayant proposé la somme la plus élevée), il remporte le produit mais au prix de la seconde mise, c'est à dire celle se trouvant juste au-dessous de la mise gagnante.

5.7.4 Le Protocole Contrat Net

Le contrat est une technique classique qui peut être vu comme une spécification de différentes actions que chaque partie doit effectuer pour une autre. Le Contrat-Net Protocole définit par Davis et Smith dans [Davis et Smith, 1983] est « *un protocole permettant l'élaboration et l'exécution d'un contrat entre un agent manager et un agent contractant. Il fait intervenir des agents interagissant entre eux pendant l'élaboration et l'exécution du contrat au moyen de performatifs* ».

Le Contrat Net Protocol [Davis et Smith, 1983] est organisé en tours et est réparti entre un ensemble d'agents participants dans la négociation, et un agent coordinateur qui se charge d'orchestrer la négociation dans son ensemble.

Dans chaque itération, l'initiateur propose un contrat à tous les participants concernant une ressource donnée, les participants vont soit accepter ce contrat soit le refuser.

- Dans le cas où la majorité des agents refuse le contrat proposé, l'initiateur le modifie en s'inspirant des propositions précédemment envoyées des participants.
- Sinon si la majorité accepte le contrat, l'initiateur envoie un message pour les informer de la proposition acceptée par tous.

La figure 2.5 illustre les échanges entre l'agent coordinateur (initiateur) et l'agent contractant (participant).

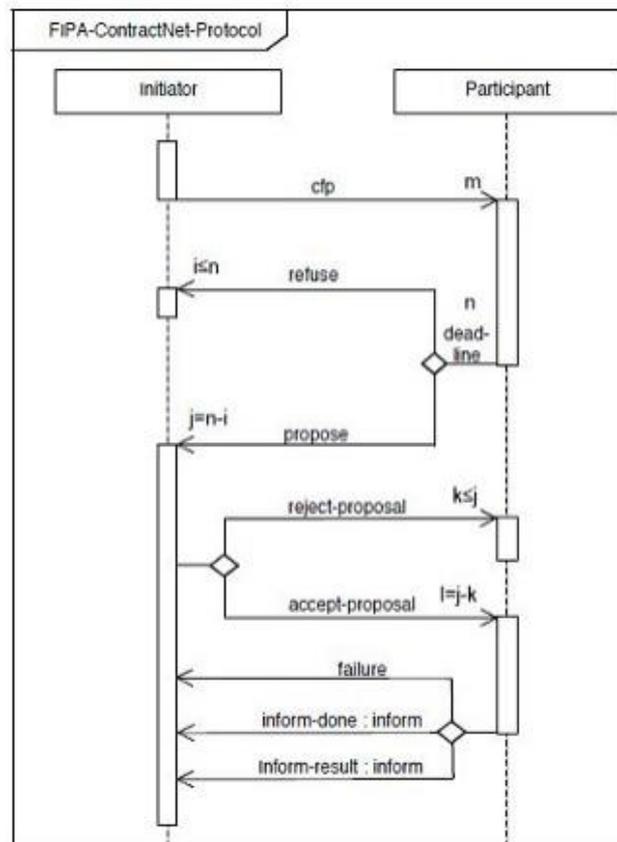


Figure 2.5 : Le protocole FIPA Contract Net.

5.8 Protocole à concession monotone (Monotonic concession protocol)

Le processus commence lorsque chaque agent propose une offre qui maximise son utilité. Puis itérativement, les agents font des compromis jusqu'à arriver à une entente.

Ce protocole est décrit comme suit : Les deux agents partent du point de rencontre. A chaque étape, les deux agents font une proposition en termes d'utilité. Si cela les satisfait alors la négociation s'arrête, sinon l'un des deux (ou les deux) doit concéder en offrant à l'autre une meilleure utilité (il diminue par conséquent la sienne). Ce protocole se termine après un nombre fini d'étapes [Endriss, 2006].

6. Travaux relatifs à la négociation

La négociation est un domaine vaste qui peut prendre diverses formes pouvant être interprétées en tant que méthodes ou bien en tant que protocoles. Nous allons présenter dans ce qui suit et d'une façon détaillée les travaux de recherche les plus pertinents proposés pour la négociation dans les SMA. Les protocoles les plus étudiés pour la négociation se basent sur une métaphore organisationnelle [Davis et Smith, 1983]. Il existe d'autres formes de négociations. L'offre « à prendre ou à laisser », les négociations multi-attributs, les négociations multi-niveaux, la négociation combinée et la négociation basée sur l'argumentation [Verrons,

2004]. Le tableau 2.2 synthétise les différents protocoles de négociation que nous retrouvons dans la littérature.

| Le type de protocoles de négociation | L'objectif | La référence |
|---|---|----------------------------|
| Un système d'enchères électroniques | Elaboration d'un protocole d'enchères dans le cas du système Kasbah, où les utilisateurs créent des agents pour négocier la vente et l'achat de biens sur Internet. L'agent de vente est un agent autonome, il négocie et prend des décisions seules. Des paramètres sont fixés pour guider le comportement de l'agent, tels que fixer la date souhaitée pour vendre l'article, fixer le prix désiré, fixer le prix le plus bas de l'article. | [Chavez et Maes, 1996] |
| Un système d'enchères de vickrey | Elaboration du système MAGMA, qui est une architecture destinée pour un marché virtuel basé sur des agents. Il comprend une infrastructure de communication, des mécanismes de stockage et de transfert d'articles, des transactions bancaires et monétaires et des mécanismes économiques pour les transactions entre producteurs et consommateurs. | [Tsvetovatyy et al., 1997] |
| Un système d'argumentation ANA | Elaboration du système d'argumentation ANA (l'Agent de Négociation Automatisé). Les agents ANA sont des agents égocentrés, utilisent une méthode de négociation pour convaincre les autres d'accepter leurs propositions. Les agents sont capables de représenter leurs propres croyances, désirs et buts, et d'influencer les croyances et les intentions des autres agents du système. Le modèle d'agent dans ce système est un modèle BDI et la décision pour choisir le bon argument dépend des propres buts, des rapports entre ces buts et des croyances de l'agent. | [Kraus et al., 1998] |
| Un système d'enchères descendantes (enchères néerlandaises) | Proposition d'un système de vente dont Les prix diminuent avec le temps. Le vendeur propose un très haut prix pour son bien et le diminue jusqu'à ce qu'un acheteur se manifeste pour acquérir le bien au prix mentionné, ce type d'enchère de ventes électroniques a été utilisée sur le marché | [Noriega, 1999] |

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| | du poisson en Espagne, où les agents peuvent être soit humains, soit virtuels. | |
| Un système de négociation par argumentation | <p>Proposition d'un modèle général de négociation contractuelle avec un framework d'argumentation basé sur la programmation logique pour saisir et formaliser ce modèle.</p> <p>Le framework est basé sur la négociation par contrat. Les contrats peuvent être ajustés en fonction d'arguments raisonnés par des agents impliqués dans l'accord. Ce type de négociation correspond en réalité à la façon dont les humains traitent les contrats dans de nombreux cas.</p> | [Carbogim et Robertson, 1999] |
| Le protocole multilatéral Extended Contract-Net-like (ECNPro) | Elaboration d'un protocole multi agents qui gère les négociations acheteur-vendeur dans la gestion de la chaîne d'approvisionnement. L'approche de la théorie de l'utilité multi-attributs (MAUT) est adoptée pour établir les fonctions d'utilité dans le processus de négociation. Les agents mobiles sont employés dans ECNPro, l'acheteur envoie des agents mobiles aux sites des vendeurs pour mener des négociations locales. | [Wong et Fang, 2010] |
| Un protocole de vente aux enchères | Proposition d'un protocole multi-agents dans le but de résoudre le problème de planification du transport, de produits pétroliers dans le réseau multimodal au Brésil. La planification, implique des négociations entre les entités décentralisées afin de s'entendre sur les produits à transférer, leurs montants, et l'allocation de ressources partagées. | [Banaszewski et al., 2013] |
| Un protocole hybride de vente aux enchères de passation des marchés combiné à la négociation multi-bilatérale. | Présentation d'un modèle basé sur la négociation entre agents pour automatiser le processus de sélection de fournisseurs impliquant un paquet de produits de l'effet de synergie. Le protocole de négociation proposé est un protocole hybride de vente aux enchères de passation des marchés combiné à la négociation multi-bilatérale. | [Yu et Wong, 2015] |
| Un protocole de négociation basée sur l'argumentation et les méthodes heuristiques. | Proposition d'une approche basée sur la théorie des possibilités, qui intègre à la fois la négociation basée sur l'argumentation et des méthodes heuristiques à la recherche de compromis. Les auteurs considèrent la logique possibiliste pratique pour représenter les états | [Amgoud et Prade, 2004b] |

| | | |
|---|---|-----------------------------|
| | des agents (des croyances possibles imprégnées d'incertitude et d'objectifs prioritaires), mais aussi réviser les bases de croyances et décrire la procédure de décision. Les agents possèdent une base de connaissances avec des prédicats et des règles d'inférence. | |
| Un GDSS basé sur l'argumentation | Proposition d'un système basé sur un SMA, un SIG et l'analyse multicritères dans un environnement spatial. Le protocole est à base de coalitions, l'agent initiateur identifie les plus acceptables. Ensuite la coalition la plus optimale supportée par des arguments est proposée aux participants. | [Oufella et Hamdadou, 2018] |
| Un protocole de négociation basé sur la médiation | Elaboration d'une plateforme de communication pour un système d'aide à la décision de groupe (GDSS) utilisant les services Web, et intégrant un protocole de négociation basé sur la médiation et l'analyse multicritères (PROMETHEE II). | [Abdelhadi et al., 2018] |
| Un GDSS par argumentation | Elaboration d'un système d'aide à la décision de groupe qui s'appuie sur la représentation du territoire, grâce aux fonctionnalités d'un système d'information géographique (SIG), et sur la représentation de la multiplicité et la diversité des décideurs grâce aux fonctionnalités d'un système multi agents (SMA), exploitant les MMCAD AHP et ELECTRE III | [Madouri, 2019] |

Tableau 2.2 : Synthèse des principaux protocoles de négociation et GDSS.

7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre le concept de la négociation, les différents types de négociation décrits dans la littérature ainsi que les différents systèmes de négociation réalisés par des équipes de recherche et également réalisés par notre équipe.

D'après cette étude, nous constatons que la plupart des systèmes présentés dans ce chapitre utilisent des protocoles propres à leur domaine d'application.

Nous allons présenter, dans le prochain chapitre, les services Web. Ces derniers seront utilisés dans notre GDSS afin de réaliser la négociation entre les différents décideurs.

Chapitre III

Les services Web dans les GDSS

Dans ce chapitre nous abordons les concepts les services Web en mettant en évidence la définition, et les technologies de ces services. Nous donnons une vue générale de son cycle de vie, ainsi que les travaux intégrant les services web au niveau des GDSS.

.

Chapitre III

Les services Web dans les GDSS

Sommaire

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Introduction..... | 48 |
| 2. | Les services Web..... | 48 |
| 3. | Avantages et inconvénients des services Web | 49 |
| 4. | Les différents composants d'un service Web..... | 50 |
| 4.1 | REST | 50 |
| 4.2 | XML-RPC..... | 51 |
| 4.3 | SOAP | 51 |
| 4.4 | SOAP Versus REST | 52 |
| 5. | Architecture orientée services..... | 53 |
| 5.1 | Langage a balises étendu XML | 54 |
| 5.2 | Le langage de description WSDL..... | 54 |
| 5.3 | L'annuaire des services UDDI | 56 |
| 7. | Pourquoi les Services Web ? | 58 |
| 8. | Les systèmes d'aide à la décision de groupe basés sur le Web | 59 |
| 9. | Les systèmes d'aide à la décision basés sur le Web | 60 |
| 10. | Couplage des SMA et les services Web..... | 61 |
| 11. | Conclusion..... | 63 |

1. Introduction

L'architecture orientée services (SOA) est un modèle de conception d'architecture logiciel prenant en charge une interaction autonome faiblement couplée entre divers composants logiciels.

Le but principal de SOA est de permettre un échange de données entre les composants logiciels sans avoir à se soucier de la plate-forme dans laquelle les composants sont développés ou sont déployés. Le service Web est la technologie qui peut être utilisée pour implémenter des applications et des services dans SOA. En raison des besoins d'interopérabilité entre différentes plateformes et la disponibilité d'outils et de technologies de développement, les services web sont utilisés et mis en œuvre.

Dans ce chapitre, nous décrivons les services Web en mettant en évidence la définition, les acteurs et les technologies de ces services. Nous donnons une vue générale de son cycle de vie, ainsi que l'intégration des services web dans les GDSS.

2. Les services Web

IBM et Microsoft ont proposé les services Web en premier lieu, qui ont été par la suite standardisés par le consortium W3C (World Wide Web Consortium).

Dans la littérature, il existe plusieurs définitions de la technologie des services Web. Nous citons, celles d'IBM et W3C.

Définition1 (Selon IBM).

« Les services Web sont la nouvelle génération des applications web. Ce sont des applications auto-contenues, auto-descriptives et modulaires qui peuvent être publiées, localisées et invoquées depuis le web. Les services Web effectuent des actions allant de simples requêtes à des processus métiers complexes. Une fois un service web déployé, d'autres applications (y compris des services Web) peuvent le découvrir et l'invoquer ».

Définition 2 (Selon W3C).

« Un service Web est un composant logiciel identifié par une URI (Uniform Resource Identifier), et conçu pour supporter l'interaction interopérable de machine à machine sur un réseau. Il possède une interface décrite dans un format exploitable par la machine (WSDL : Web Service Description Language). D'autres systèmes interagissent avec le service Web d'une façon prescrite par sa description en utilisant des messages SOAP (Simple Object Access Protocol), typiquement en utilisant HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol) avec une sérialisation XML (eXtensibleMarkupLanguage) en même temps que d'autres normes du Web ».

Nous pouvons déduire à partir de ces deux définitions, qu'un service web est une entité logicielle offrant une ou plusieurs fonctionnalités allant des plus simples aux plus complexes.

Les services Web sont publiés, découverts et invoqués à travers le Web grâce à l'utilisation des standards de transport d'Internet et d'infrastructures de communication tel que : XML, SOAP, WSDL, UDDI.

XML est utilisé pour représenter les données, SOAP pour transporter les données, WSDL pour décrire les services disponibles, et UDDI (Universal Description Discovery and Integration) pour lister les fournisseurs de services et les services disponibles.

3. Avantages et inconvénients des services Web

Les services Web offrent de nombreux avantages aux entreprises et aux développeurs de logiciels. Certains des avantages clés sont énumérés ci-dessous [Moreno-Garcia, 2013] :

- **Interopérabilité** : les services Web utilisent les standards technologiques tels que http et XML. Tous les services Web sont interopérables les uns avec les autres. Cela signifie qu'un service Web développé sur tout matériel, plate-forme logicielle ou n'importe quel langage de programmation peut communiquer avec un autre service Web développé dans tout autre matériel, plate-forme logiciel ou langage de programmation. C'est l'un des avantages clés des services Web. En ce sens, les services Web sont indépendants de la plate-forme.
- **Réutilisabilité** : couplage faible et l'autonomie sont les principales caractéristiques des services Web. L'application de ces fonctionnalités permet la réutilisabilité des services Web.
- **Convivialité** : les services Web utilisent non seulement des standards ouverts tels que SOAP, WSDL, UDDI et XML mais aussi les services Web sont pris en charge par certaines plates-formes logicielles largement adoptées telles que Java, .NET et PHP.

Pour ces raisons, les services Web sont utilisables pour toutes sortes d'entreprises et aussi pour une variété de cas. D'un autre côté, les services Web dans certains cas d'utilisation présentent des inconvénients. Les principaux inconvénients des services Web sont énumérés comme suit [Moreno-Garcia, 2013] :

- **Poids lourd** : comme un service Web utilise uniquement XML, toutes les opérations du service web telles que la découverte d'un service Web, la liaison d'un service Web, l'authentification et l'échange de données de base vers un autre service nécessitent un traitement XML.
- **Problèmes de sécurité** : Il est facile de contourner les mesures de sécurité mises en place par les pare-feux. L'utilisation du protocole HTTP n'a pas que des avantages car les normes de sécurité des services web laissent encore à désirer.
- **Confiance** : Les relations de confiance entre les différents composants d'un service web sont difficiles à bâtir, puisque parfois ces mêmes composants ne se connaissent même pas.

- **Syntaxe et sémantique** : les travaux généralement se concentrent beaucoup plus sur comment invoquer des services et pas assez sur ce que les services web offrent (sémantique).
- **Fiabilité** : Il est difficile de s'assurer de la fiabilité d'un service car on ne peut garantir que son fournisseur ainsi que les personnes qui l'invoquent travaillent d'une façon fiable.
- **Disponibilité** : Les services web peuvent bien satisfaire un ou plusieurs besoins du client. Sont-ils pour autant toujours disponibles et utilisables ? Ça reste un défi pour les services web.

4. Les différents composants d'un service Web

Une caractéristique qui a permis un grand succès de la technologie des services web et elle est construite sur la base des technologies standards déjà connues et maîtrisées. Cependant, toutes ces technologies ont d'abord été mises en place par plusieurs Sociétés informatiques de grande renommée avant que la standardisation ne soit reprise par le W3C (World Wide Web Consortium 1) ainsi que par l'organisation OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards2). Après un certain temps, des normes ont été édictées, ce qui a donné lieu à plusieurs implémentations différentes, pas forcément compatibles entre elles. Ces technologies utilisées par les services Web sont HTTP, REST, XML-RPC, SOAP, WSDL et UDDI [Moreno-Garcia, 2013].

4.1 REST

REST (Representational State Transfer) est une architecture de services Web. Élaborée en 2000 par Roy Fielding, l'un des créateurs du protocole HTTP, du serveur Apache HTTP et d'autres travaux fondamentaux, REST est une manière de construire une application pour les systèmes distribués comme le World Wide Web. REST est utilisé :

1. Lorsque le client et les serveurs fonctionnent sur un environnement site Web ;
2. Lorsque l'information sur les objets n'a pas besoin d'être communiquée au client.

REST utilise les protocoles HTTP ou similaires, en intégrant un ensemble standard d'opérations connues (par exemple, GET, PUT, POST et DELETE pour HTTP).

REST distingue tout comme une ressource, cela peut être sous forme de fichier stocké dans un ordinateur, un logiciel, un attribut dans une table de base de données ou un fichier physique, etc. Les ressources peuvent être donc soit statiques ou dynamiques. Chaque ressource doit avoir au moins un URI (identificateur de ressource uniforme) pour la représenter.

REST y fait référence en tant que représentation de ressource. URI est l'adresse Web de la ressource, et rend la ressource disponible en ligne. Une ressource peut être consultée / référencée par son URI.

L'architecture de REST côté serveur comprend les éléments suivants [Net 1] :

- **URL** : champ obligatoire pour accéder aux services Web exécutés sur le serveur.

- **GET** : toutes les méthodes permettant d'obtenir des données du serveur ; les formats et interfaces, le serveur prend en charge l'accès aux détails du client.
- **POST** : toutes les méthodes d'ajout de détails au serveur ; toutes les différentes interfaces et formats du serveur pour ajouter des données à sa base de données.
- **PUT** : toutes les méthodes pour mettre à jour les données sur le serveur ; différents types d'interfaces et formats pris en charge par le serveur pour ajouter les données à la base de données.
- **DELETE** : toutes les méthodes pour supprimer les données sur le serveur ; différents types d'interfaces et formats pris en charge par le serveur pour la suppression de données dans la base de données.

4.2 XML-RPC

Il s'agit d'une spécification et d'un ensemble d'implémentations qui permettent aux logiciels s'exécutant sur des systèmes d'exploitation disparates et dans des environnements différents, de passer des appels de procédure via Internet. Ces appels de procédure à distance utilisent un protocole HTTP comme transport et XML comme encodage. XML-RPC est conçu pour être aussi simple que possible, tout en permettant la transmission, le traitement et le retour de structures de données complexes [Cerami, 2002].

4.3 SOAP

SOAP (Simple Object Access Protocol) est un standard du Consortium W3C définissant un protocole de transmission de messages. Il définit un ensemble de règles pour structurer des messages qui peuvent être utilisés dans de simples transmissions unidirectionnelles, mais il est particulièrement utile pour exécuter des dialogues requête-réponse RPC (RemoteProcedure Call). Il n'est pas lié à un protocole de transport particulier.

Le SOAP n'est plus lié à un système d'exploitation ni à un langage de programmation, théoriquement, les clients et les serveurs peuvent tourner sur n'importe quelle plate-forme et être écrits dans n'importe quel langage du moment qu'ils puissent formuler et comprendre des messages SOAP. Il s'agit d'un important composant de base pour développer des applications distribuées qui exploitent des fonctionnalités publiées comme services par des intranets ou internet [Net 2]. Le SOAP utilise principalement les deux standards HTTP et XML [Ben Halima, 2009] :

1. HTTP comme protocole de transport des messages SOAP. Il constitue un bon moyen de transport en raison de sa popularité sur le web.
2. XML pour structurer les requêtes et les réponses, indiquer les paramètres des méthodes, les valeurs de retours, et les éventuelles erreurs de traitements.

La grammaire de SOAP est un moyen d'accès aux objets par appel de méthodes à distance. La figure 3.1 illustre la structure d'un message SOAP contenant deux sous-éléments spécifiques à SOAP. Un message SOAP est composé de deux parties obligatoires : l'enveloppe SOAP, le corps SOAP et une partie optionnelle : l'en-tête SOAP.

- **Élément d'en-tête** : est une partie facultative utilisée pour déclarer les informations d'authentification et de gestion de session.
- **Élément de corps** : est l'élément obligatoire qui implique que c'est là où les principales informations de bout en bout doivent être écrites et véhiculées dans un message SOAP pour être acheminées [Net 2].

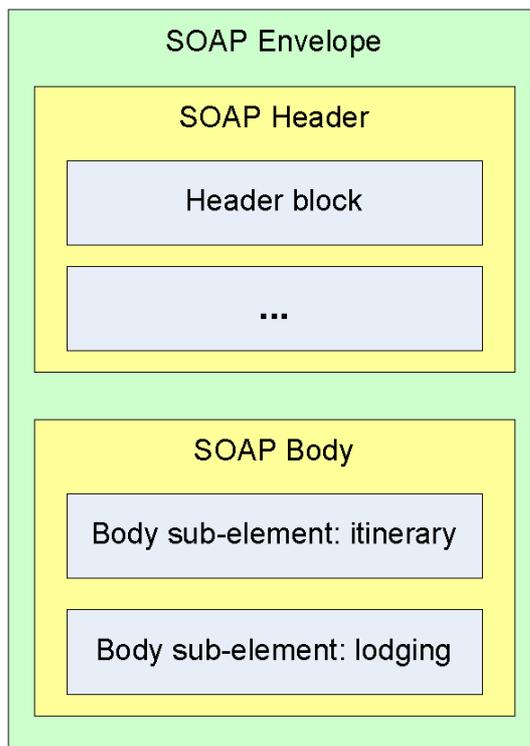


Figure 3.1 : Structure d'un message SOAP.

SOAP est utilisé quand :

- Le client doit avoir accès aux objets présents sur le serveur.
- Un contrat formel entre le client et le serveur est imposé.

La plupart des SOAP sont préférables pour les secteurs financier, bancaire, services de télécommunication, et REST préféré pour les services sociaux : Interaction, chat Web et services mobiles.

4.4 SOAP Versus REST

SOAP est certainement un choix de taille pour l'accès au service Web. Il offre les avantages suivants par rapport à REST [Net 3] :

- Non dépendance par rapport à la langue, la plateforme et le transfert (REST nécessite l'utilisation de HTTP),
- Fonctionne bien dans des environnements distribués (REST nécessite une communication directe point à point),
- Standardisé,

- Fournit une extensibilité de pré-compilation significative sous la forme de normes WS standards,
- Intègre la gestion des erreurs,
- Automatisé lorsqu'il est utilisé avec des produits utilisant certains langages de programmation

En majorité, REST est plus facile à utiliser et est plus souple. Il présente les avantages suivants par rapport à SOAP [Net 3] :

- Aucun besoin d'outils coûteux pour interagir avec le service Web,
- Une courbe d'apprentissage plus petite pour les développeurs,
- Efficace (SOAP utilise XML pour tous les messages, REST peut utiliser des formats de message plus petits),
- Rapide (pas de traitement étendu requis),
- Proche d'autres technologies Web dans sa philosophie de conception.

5. Architecture orientée services

L'architecture orientée services est un modèle utilisé pour transformer les composants d'un système d'information en services pouvant être intégrés pour créer des processus inter-métiers. Les services sont fournis aux autres composants via un protocole de communication, généralement sur un réseau. Le principe d'un service est d'être indépendant de tout fournisseur, Plateforme ou technologie.

Cette architecture utilise souvent les standards de l'industrie tels que le Web Service Description Language (WSDL), Simple Object Access Protocol (SOAP) et Description universelle, découverte et intégration (UDDI). SOA a été rapidement et largement acceptée avec les principes suivants qui apportent un avantage important pour les entreprises [Zuo, 2016] :

- La normalisation qui nécessite l'utilisation d'un ensemble de langages communs pour des applications hétérogènes distribuées à publier, à découvrir et qui peuvent communiquer les unes avec les autres.
- Un module fonctionnel défini comme un service fortement encapsulé avec une granularité plus grande.
- La séparation des préoccupations : un service utilise des interfaces standards pour exposer ses données internes. Les détails de la mise en œuvre sont cachés. Cela permet de mettre en œuvre le service avec différentes technologies et plateformes.
- L'autonomie : un service doit avoir le plein contrôle de ses ressources internes.
- Le couplage lâche : un service devrait éviter de faire appel directement à un autre service.

Par rapport aux autres principes, le plus important est la standardisation qui définit les spécifications de tous les types d'application à découvrir leur permettant de communiquer les unes avec les autres.

D'une part, cela rend aussi possible d'utiliser les systèmes existants pour coopérer avec les nouvelles technologies.

D'autre part, la description de l'interface standard rend possible d'implémenter le service avec différents langages, plates-formes, objets modèles, ou systèmes de messagerie. Pour établir la normalisation de la SOA, W3C a publié une spécification qui utilise un modèle de définition d'interface standard, appelé WSDL (langage de description de service Web).

5.1 Langage a balises étendu XML

XML signifie langage à balises étendu, ou langage à balises extensible. Le langage XML a été standardisé par le W3C en 1998 et est aujourd'hui largement reconnu et utilisé par de nombreuses entreprises comme format universel d'échange de données. XML est un métalangage de représentation de données. Il définit un ensemble de règles de formatage pour composer des données valides.

Contrairement à HTML, le XML est un langage extensible qui a la possibilité de créer de nouvelles balises. Il s'agit d'un langage permettant de mettre en forme des documents grâce à des balises [Pillou, 2017].

Son objectif initial est de faciliter l'échange automatisé de contenus entre systèmes d'informations hétérogènes. XML contient aussi un aspect supplémentaire appelé "schéma", qui précise la structure des tags pour qu'un document soit valide. Il est ainsi possible de restreindre les données acceptées dans un document. Un document XML peut contenir d'autres documents XML. Chaque document contient un "espace de noms", ce qui rend ainsi les tags uniques à l'intérieur d'un document [Bali, 2017].

L'interopérabilité entre les systèmes hétérogènes exige des mécanismes puissants de correspondance et de gestion des types de données des messages entre les fournisseurs et les clients. Pour les services Web, on utilise systématiquement XML avec les Namespaces et la spécification XML Schéma, tous deux indispensables pour exprimer les structures des données habituellement complexes figurant dans les messages échangés

5.2 Le langage de description WSDL

WSDL est un langage basé sur XML décrivant les services Web et comment y accéder. WSDL définit les détails du modèle d'informations de service abstrait. Selon la spécification de WSDL, un service est défini comme un réseau point de terminaison ou ports. Un document WSDL utilise une liste d'éléments pour définir un service Web [Cao, 2010].

- **Types** : un conteneur pour les définitions de type de données (telles que XSD).
- **Message** : une définition abstraite et typée de données en cours d'envoi.
- **Opération** : une description abstraite d'une action soutenue par un service.
- **Type de port** : ensemble abstrait d'opérations pris en charge par un ou plusieurs points.

- **Binding** : spécification concrète de protocole et de format de données pour un type de port particulier.
- **Port** : un unique numéro qui est défini comme une combinaison entre le binding et une adresse réseau.
- **Service** : ensemble de points de terminaison connexes.

Le document WSDL peut être divisé en deux parties. Une partie pour les définitions abstraites, et une autre pour les descriptions concrètes.

La description concrète est composée des éléments qui sont orientés vers le client pour le service physique. Les trois éléments concrets XML présents dans WSDL sont [Net 4] :

- <wsdl:service>
- <wsdl:port>
- <wsdl:binding>

La partie abstraite contient le contrat du service, les éléments sont orientés vers la capacité du service web.

- <wsdl:types>
- <wsdl:message>
- <wsdl:operation>
- <wsdl:portType>

La figure 3.2 [Cao, 2010], illustre la structure d'un document WSDL :

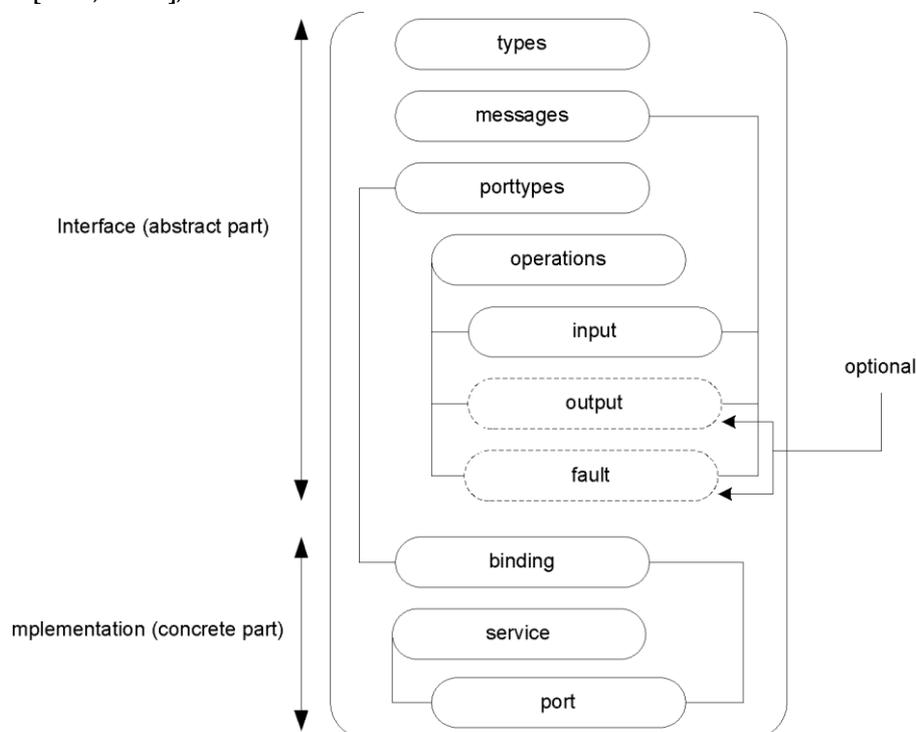


Figure 3.2 : Structure du document WSDL.

5.3 L'annuaire des services UDDI

L'annuaire des services UDDI (Universal Description Discovery and Integration) est un standard pour la publication et la découverte des informations sur les services Web. Le référentiel UDDI est initialement lancée par ARIBA, Microsoft et IBM. Cette spécification est gérée par le groupe OASIS. La spécification UDDI vise à créer une plate-forme indépendante, un espace de travail (framework) ouvert pour la description, la découverte et l'intégration des services des entreprises, basée sur le langage MarkupLanguage (XML).

UDDI prend en charge Quatre types de descriptions de services : pages blanches, pages jaunes et services de pages vertes, tmodel. La figure 3.3 illustre Les trois facettes de l'annuaire UDDI [Net 5].

- a. **Les pages blanches** (BusinessEntity) : contiennent les champs d'information suivants :
 - Nom de l'entreprise (Business name).
 - Description textuelle : liste de chaînes de caractères multilingues.
 - Informations de contact : noms, numéros de téléphone et sites Web.
- b. **Les pages jaunes** (BusinessService) : fournissent les catégories d'entreprises organisées comme suite :
 - Industrie, code à six chiffres pour la classification des entreprises.
 - Produits et services.
 - Emplacement géographique pour les pays et le code de région.
- c. **Les pages vertes** (BindingTemplate) : contiennent l'information utilisée pour décrire comment d'autres entreprises peuvent faire du commerce électronique avec elles. C'est un modèle imbriqué comprenant des processus métier, des descriptions de services et des informations de liaison. Représentent la liaison technique d'un service Web à son point d'accès, son URL et les tModels.
- d. **Un tModel** : représente un type de technologie spécifique, C'est à ce niveau que WSDL intervient comme le vocabulaire de choix pour publier des descriptions techniques de services.
- e. **Une assertion d'éditeur** : représente une relation entre deux BusinessEntity.

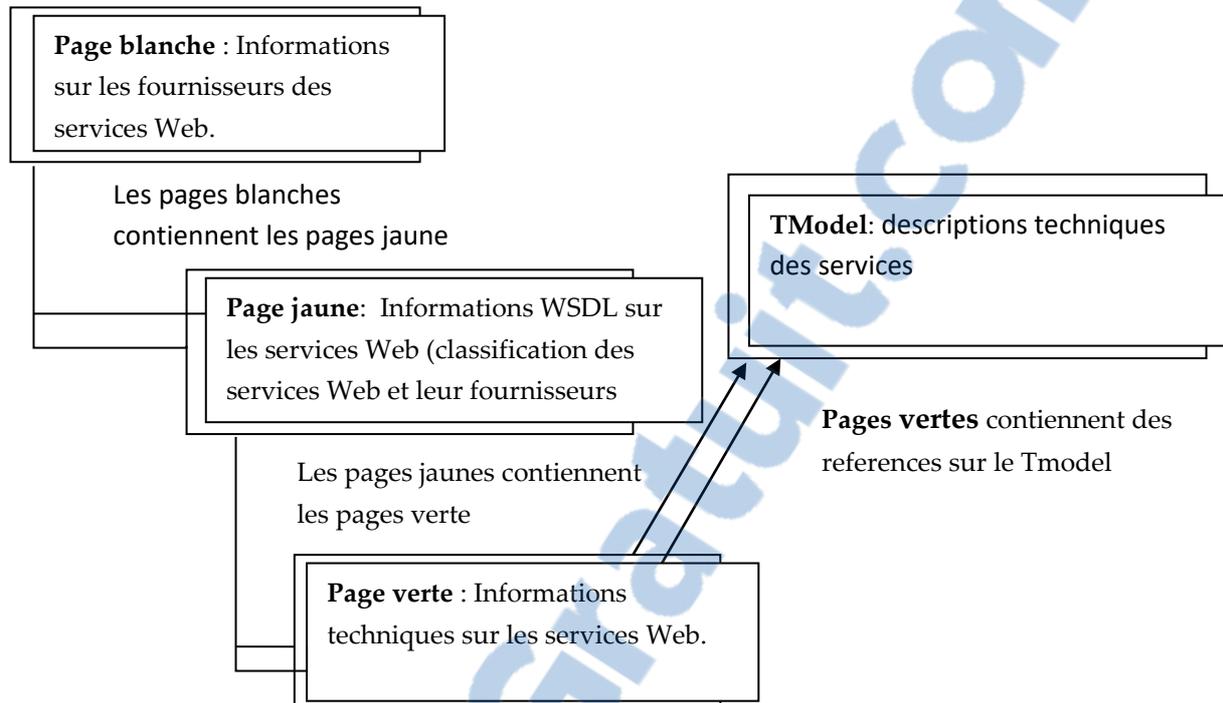


Figure 3.3 : Les trois facettes de l'annuaire UDDI.

Le protocole d'utilisation de l'UDDI offre trois fonctions de base :

1. **Publier (Publish)** : permet de publier un nouveau service.
2. **Rechercher (Find)** : permet d'interroger l'annuaire UDDI.
3. **Invoquer (Bind)** : permet d'établir une connexion entre l'application cliente et le service.

6. Le modèle de communication de SOA

En plus, de la description de l'interface standard, SOA est défini également comme un modèle de communication entre trois composants. La figure 3.4 illustre ce modèle [Zuo, 2016].

1. **Un fournisseur de services Web** conçoit, développe, publie et maintient le service Web.
2. **Un Annuaire de service Web UDDI** est donc un registre de services Web, permettant de stocker les informations d'une liste de services Web, ces derniers sont publiés par différents fournisseurs.
3. **Les clients** sont les applications qui invoquent des services Web.

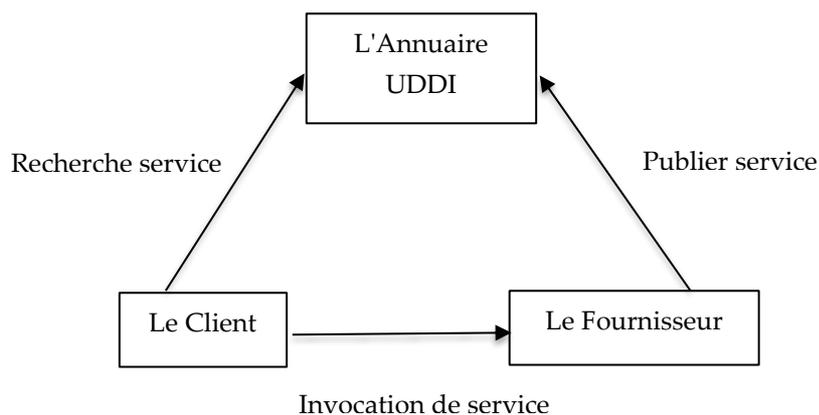


Figure 3.4 : Architecture générale du modèle de communication SOA.

Lorsque le système est prêt, le fournisseur publie des documents WSDL et les autres informations (sémantique, qualité de service, page jaune, etc.) au niveau de l'annuaire de service Web.

Le client obtient les documents WSDL de son service cible par l'intermédiaire d'une requête. Ensuite, l'application cliente crée un stub pour une exécution locale de l'environnement (par exemple un objet Java dans la machine virtuelle Java) en fonction du document WSDL. Le stub gère la logique de l'application cliente et encapsule la demande d'invocation dans un message SOAP à transférer sur HTTP à l'adresse indiquée par le document WSDL. Le service Web analyse et gère le message SOAP. Ensuite, il encapsule le résultat dans SOAP message et le renvoie à l'application cliente [Zuo, 2016].

7. Pourquoi les Services Web ?

Les Services Web sont la plus récente technologie utilisée pour supporter le développement de systèmes d'information distribués, en particulier les applications B2B sur l'Internet. Aujourd'hui, ils semblent être la solution la plus adaptée pour assurer l'interopérabilité sur Internet. Les Services Web ont été conçus pour répondre en premier lieu à cette exigence d'interopérabilité. En fait, les acteurs du monde informatique désiraient supporter l'interopérabilité de façon uniforme et extensible. Il fallait concevoir des solutions qui puissent être intégrées aux standards de l'Internet, comme HTTP et HTML, et/ou utilisées avec eux.

Les Services Web sont le résultat de la convergence de différentes initiatives basées sur XML comme langage de représentation de l'information.

Les Services Web sont basés sur des technologies standardisées, ce qui réduit l'hétérogénéité et fournit un support pour l'intégration d'applications. De plus, les Services Web sont le support pour de nouveaux paradigmes, tels que le traitement et l'architecture orientée service. Ils présentent des avantages significatifs par rapport à CORBA [Abouzaid, 2010].

Le WSDL contient deux parties, l'une abstraite et l'autre concrète et permet la description de types qui ne sont pas prédéfinis dans sa spécification, ceci grâce à l'extensibilité de XML et les schémas XML.

- Comme SOAP est basé sur XML, il permet la création de types de données plus flexibles et non prédéfinis. De plus, SOAP peut être étendu pour répondre à des nouvelles exigences (par exemple de sécurité ou pour les transactions) sans modifier la normalisation de SOAP. En fait, SOAP est plus simple pour être adapté aux besoins d'un contexte.
- De même, et comme pour les autres technologies de Services Web, UDDI peut être étendu pour répondre à des nouvelles exigences. Par rapport à CORBA, UDDI fournit en plus la possibilité de classer un service par ses caractéristiques techniques.
- Les Services Web présentent donc plusieurs avantages comme l'utilisation de standards universels, l'indépendance de plateforme, un environnement universel pour les systèmes d'information distribués, l'utilisation de plusieurs protocoles de transfert (par exemple HTTP, SMTP et FTP), le codage des messages en XML, un comportement compatible avec les pare-feux, une facilité d'adaptation aux systèmes plus anciens (legacy systems), et la localisation par URI (Uniform Resource Identification) [Abouzaid, 2010].

8. Les systèmes d'aide à la décision de groupe basés sur le Web

La décision dans un contexte organisationnel, est généralement obtenue après une forte consultation ou communication entre plusieurs acteurs. Les systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS) facilitent l'aide à la décision collective de groupes de personnes ayant des niveaux de similarités. Un système GDSS doit être facile à utiliser, flexible et peut prendre en charge les participations anonymes au niveau de plusieurs étapes de l'aide à la décision. En outre, il doit faciliter la communication entre les membres du groupe.

Les GDSS peuvent être des applications traditionnelles, installées à un emplacement spécifique, basés sur un serveur (par exemple : une salle pour prendre des décisions) ou sous forme de services Web [Ammari, 2014]. Les applications Web ont l'avantage de prendre en charge les décisions de groupe au sein d'organisations géographiquement réparties.

Ainsi, le système peut être implémenté en tant que service Web et les sessions décisionnelles peuvent faire participer autant de personnes, se trouvant sur des différents endroits sans avoir besoin de rien d'autre qu'un navigateur Web sur un ordinateur connecté à Internet. Les applications Web ont plusieurs caractéristiques communes, ces applications sont distribuées, ce qui signifie que les tâches de calcul ont lieu dans des environnements physiques différents. Dans [Ozer, 2007], l'auteur explore différentes méthodes d'aide à la décision de groupe notamment la méthode (AHP), la méthode de la somme pondérée (WSM), méthode du produit pondéré (WPM), méthode combinée AHP, méthode d'évaluation de groupe, AHP floue, combinaison entre AHP floue et groupe AHP floue. Ces méthodes sont appliquées au problème de décision multicritères qui consiste à sélectionner un "site" préféré. Les membres

du groupe considèrent que les sites de la zone côtière y compris l'aquaculture ou la pisciculture de la région île Grand Marian au Canada atlantique, ont des alternatives souvent conflictuelles. Tandis dans [Bello-Dambatta, 2010], l'auteur a mis en œuvre un système d'aide à la décision en matière de gestion des terres contaminées du Royaume-Uni, basé sur la connaissance et sur le Web. Par contre, dans [Lu et al., 2008] les auteurs ont développé un système multicritères flou d'aide à la décision de groupe (FMCGDSS) pour évaluer le développement de produits cosmétiques.

Un autre travail de recherche [Siddiqui et al., 2018], présente un système d'aide à la décision de groupe basé sur le Web mais pour résoudre le problème de la préparation de termes académiques rencontré dans une école de commerce d'une université du Moyen-Orient. Ce problème implique plusieurs parties prenantes qui doivent coordonner leurs offres de cours, les affectations d'instructeur et la préparation des calendriers correspondants. Cette coordination est facilitée par une application Web qui implémente toutes les étapes du flux de travail. La tâche de planification est automatisée via un module d'optimisation utilisant un modèle de programmation à objectifs multiples et mixtes.

Dans [Krishnaiyer et chan, 2017] en plus du Web, les auteurs intègrent la visualisation dans le SIAD (WVDSS, *Web based Visual Decision Support System*), le but du système est de planifier le processus de livraisons des lettres aux clients. L'approche prend en compte la planification du processus de production. Les informations sont collectées à partir de différents systèmes et analysées afin d'obtenir une solution optimale.

9. Les systèmes d'aide à la décision basés sur le Web

Les Systèmes basés sur le Web (WBSS) constituent un domaine de recherche multidisciplinaire émergent qui vise à étudier la relation des activités humaines avec le Web comme plate-forme, support et interface communs. La généralisation de l'utilisation des services Web pour tous les aspects a eu pour effet de déplacer un grand nombre de systèmes afin d'étendre la limitation physique du traitement de l'information. Les systèmes d'aide à la décision sont des systèmes intelligents, gourmands en logiciels, qui doivent être souples, tolérants aux pannes, robustes, résilients, disponibles, reconfigurables, sécurisés et auto-déployables. Ces SAD reposent sur l'utilisation de technologies de l'information et de la communication (TIC) avancées, notamment les services de bibliothèque numérique, les grilles de calcul et de données, l'informatique en nuage (CC), l'architecture orientée service (SOA). Les SAD offrent aux entreprises un environnement de travail collaboratif omniprésent permettant à leurs membres et aux entités de travailler ensemble plus efficacement dans leurs activités réelles dans un environnement de travail virtuel collaboratif (CVWE) composé d'un réseau de plusieurs postes de travail connectés de manière technologique [Voss et Procter, 2009][Ricci et al., 2007].

Les développements de DSS basés sur le Web [Power, 2007], y compris les DSS conçus pour la gestion de l'environnement, par exemple le Web DSS (SMARTe) réalisé pour la revitalisation durable des friches industrielles [Vaga et al., 2008] et la plateforme web DSS (OntoWEDSS)

conçue quant à elle pour la gestion des eaux usées [Ceccaroni et al., 2004]. De plus en plus, Internet devient la principale source d'informations. Les organisations et les utilisateurs s'appuient de plus en plus sur le Web pour les processus décisionnels [Jarupathirun et Zahedi, 2007]. En général tous types de DSS peuvent être mis en œuvre en utilisant les technologies Web.

L'évolution et la croissance d'Internet, la mondialisation des industries et la prise de conscience croissante par la société des activités pratiquées sur l'environnement, ont conduit les industries à modifier leur façon de faire en utilisant des innovations technologiques [Lago et al., 2007]. Cela a permis d'innover de puissant DSS basé sur le Web, en utilisant des outils d'analyse et de visualisation comme dans [Black et Stockton, 2009].

Le développement de systèmes DSS basés sur le Web présente plusieurs avantages, notamment la réduction de barrières technologiques rendant plus facile et moins coûteuse la prise de décision et mettant à la disposition des décideurs des informations pertinentes [Power, 2000].

Bien que, les traditionnels DSS nécessitent l'installation de logiciels sur des PC individuels et / ou l'utilisation de logiciels propriétaires, les services DSS basés sur le Web sont disponibles sur Internet et ne nécessitent aucune installation. Tous les processus exécutés sur un serveur distant centralisé gérés par le fournisseur de services, et tout ce qui est requis pour l'accès est juste un client léger (navigateur Web, par exemple). Les organisations ne sont plus obligées de s'engager sur du matériel dédié et / ou des logiciels sur mesure.

L'utilisation de Web DSS par rapport aux DSS traditionnels présente d'autres avantages : la distribution des informations et l'indépendance de la plate-forme [Molenaar et Songer, 2001]. D'autres travaux développent des Web DSS, pour l'aide à la décision sur des sols contaminés, tels que les DSS spatiaux présentés dans [Carlton et al., 2007], [Goor et al., 2003], [Howard et al., 2005], [Monte et al., 2009], [Sugumaran et Sugumaran, 2005].

10. Couplage des SMA et les services Web

Les systèmes multi agents et les services web peuvent être utilisés ensemble, Leur couplage est bidirectionnel.

D'une part, les agents utilisent les services Web pour exposer leurs capacités au monde extérieur. Les SMA hétérogènes utilisent les services Web pour des raisons d'interopérabilité [Seghrouchni et al., 2004]. L'environnement d'interopérabilité proposé, est Web-MASI, composé d'une architecture encapsulant les SMA dans le modèle de fonctionnement des services Web et un module d'interopérabilité qui constitue l'interface entre les SMAs et l'environnement services Web. Les agents représentent à la fois les fournisseurs et les clients du service. Ils utilisent les annuaires UDDI afin de publier et de localiser leurs capacités en vue d'être découvertes et utilisées par d'autres agents et ceci de manière modulaire et uniforme. Le Module d'Intégration (MI) offre aux différents systèmes multi-agents une bibliothèque afin de synthétiser, publier, localiser et invoquer des services Web. L'invocation et le suivi

d'exécution du service sont réalisés par un client générique contenu dans le MI. Les services Web générés à partir des capacités des agents sont invocables à la fois par d'autres agents ou par des utilisateurs disposant d'un client générique et vice versa, [Seghrouchni et al., 2004].

D'autre part, les SMA sont utilisés pour implémenter la composition et l'orchestration des services Web [Benseghier, 2017]. Les différentes architectures SMA proposées par les auteurs dans [Vadivelou et al., 2011], dans [El Falou et Bourdon, 2006] et dans [Brahimi et al., 2009] sont dotées de protocoles de négociation et des algorithmes pour composer dynamiquement les services Web.

Dans [Khezrian et al., 2014], il est question de sélectionner des services web en prenant en compte la pondération des critères en fonction des préférences de l'utilisateur, cette recherche permet d'aider les consommateurs de services à prendre une décision plus efficace lors de la sélection du service approprié.

Dans la littérature, la plupart des approches ou des architectures SOA se concentrent principalement et uniquement sur la construction d'un système d'aide à la décision [Xu et al., 2011], [Vescoukis et al., 2012], [Boumahdi et Chalal, 2012].

Nous citons les auteurs Boumahdi et Chalal (2012), qui ont développé une architecture SOA intégrant l'aspect Décisionnel (SOAda). Les auteurs intègrent l'aspect décisionnel en raison des changements rapides effectués dans l'environnement de l'entreprise nécessitant l'introduction de l'aspect décisionnel qui devrait soutenir le processus de conception de l'architecture SOA.

La méthode proposée pour le développement de l'architecture SOA se focalise sur trois vues : métier, système d'information et vue décision. L'objectif est d'utiliser les modèles standards dans chacune des dimensions définies, à Business Process Modeling Notation (BPMN), United Modeling Language (UML) et Decisional Model Notation (DMN) et le langage Service oriented architecture Modeling Language (SoaML) est utilisé pour la conception des services. Cette Architecture concerne les processus métiers et les flux d'information entre eux. Elle permet également de recenser les orientations stratégiques de l'entreprise ainsi que les activités qui doivent être supportées par le système d'information. Il s'agit essentiellement des éléments relatifs au métier de l'entreprise.

Aussi, dans [Xu et al., 2010], les auteurs proposaient un système de sélection de service Web en adéquation avec les besoins des utilisateurs pour générer un modèle.

Ce modèle est un système décisionnel dans le domaine de l'irrigation. Des applications sont appliquées à l'agriculture sur différents endroits. Le système est donc en majorité déployé sur le réseau.

Les systèmes d'aide à la décision en matière d'irrigation adoptent des concepts avancés de l'architecture SOA pour mettre en œuvre le processus de décision d'irrigation en connectant les ressources en fonction des besoins. Le système est conçu en modules fonctionnels pendant le processus d'irrigation sous forme de services pouvant être appelés par lui et également être utilisés par d'autres membres du réseau. Le service est placé dans un registre d'enregistrement de service (UDDI), ce dernier est intégré à la plate-forme de l'agriculture. Les utilisateurs

fournissent les paramètres, puis le système applique automatiquement un modèle d'aide à la décision. Les services correspondant quant à eux, sont appelés via UDDI pour renvoyer par la suite les résultats de la décision à l'utilisateur, en fonction des différentes zones et des différentes cultures, le système n'accepte pas les régions et les cultures spécifiées.

Nous mentionnons aussi le travail de [Vescoukis et al., 2012] où une architecture orientée service flexible pour la planification et l'aide à la décision pour la gestion d'information environnementale est proposée. Cette architecture utilise en temps réel un ensemble de données géo spatiales et des outils de présentation 3D, intégrés avec une valeur ajoutée de services de modélisation environnementale et logistique opérationnelle en s'appuyant sur l'aide à la décision dans le cas où il y a une urgence. Cette architecture est utilisée pour les systèmes hétérogènes, distribués concernant la gestion et l'aide à la décision environnementale en intégrant les services Web.

Dans [Jelokhani-Niaraki, et al., 2018], les auteurs proposent un framework basé sur une ontologie pour l'interopérabilité sémantique des SIG et l'aide à la décision pour assurer la protection de l'environnement ainsi que l'échange des données non ambiguës entre les services Web, SIG et MCDA.

Dans [Abdelhadi et al., 2018], les auteurs ont élaboré un GDSS collaboratif exploitant une plateforme de communication en s'appuyant sur la technologie des services Web et l'analyse multicritères d'aide à la décision.

11. Conclusion

Cette partie de la thèse, met en évidence le concept de service Web et sa pertinence au niveau des systèmes en général et des systèmes décisionnels en particulier. Nous nous sommes intéressés dans un premier temps aux concepts généraux des services web, l'architecture SOA et la place qu'occupe cette dernière dans les systèmes. Nous avons présenté, à travers un cadre de référence, les principaux travaux réalisés visant l'intégration de l'aide à la décision dans SOA et aussi les travaux intégrant SOA dans l'aide à la décision, leur utilisation est bidirectionnelle.

L'état de l'art, nous montre qu'aucun des systèmes étudiés n'est complet et ne répond totalement à nos besoins, pour développer des systèmes d'aide à la décision multicritères de groupe, dotés d'une architecture orientée services.

Cette constatation, lors de notre travail de recherche, nous a poussé à nous intéresser d'une part, au développement d'une méthodologie permettant d'assurer l'intégration, la conception et le déploiement d'une architecture orientée services dans le processus décisionnel, et d'autre part à prendre en considération les critères multiples et la négociation entre les différentes parties concernées par la prise de décision. Notre proposition fera l'objet de la seconde partie de la thèse.

Deuxième Partie

Contributions

Chapitre VI

Le système d'aide à la décision propose

Dans ce chapitre nous décrivons notre contribution. Nous présentons d'une manière détaillée notre système d'aide à la décision de groupe proposé, qui intègre les services Web et un SMA doté d'un protocole de négociation basé sur la concession et les méthodes d'analyse multicritères. Afin de modéliser les aspects du processus décisionnel, nous modélisons notre système, à travers des diagrammes UML.

Chapitre IV

Le système d'aide à la décision proposé

| | | |
|-------|---|-----|
| 1. | Introduction..... | 66 |
| 2. | Objectifs du système proposé Web-GDSS | 66 |
| 3. | Modèles décisionnels | 67 |
| 3.1 | Modèles décisionnels de groupe | 67 |
| 3.2 | Modèle décisionnel proposé | 69 |
| 3.2.1 | Structuration du modèle et formalisation du problème | 69 |
| 3.2.2 | Exploitation du modèle décisionnel | 70 |
| 4. | Description du système d'aide à la décision de groupe proposé | 71 |
| 4.1 | Le sous système SMA | 72 |
| 4.1.1 | Modélisation des agents | 73 |
| 4.1.2 | Diagramme de classe | 73 |
| 4.2 | Le sous système de protocole de négociation..... | 74 |
| 4.3 | Le sous système d'authentification des décideurs..... | 75 |
| 4.4 | Le sous système de services Web..... | 77 |
| 4.4.1 | Description des services Web | 77 |
| 4.4.2 | Les composants du système..... | 78 |
| 4.4.3 | Interaction des composants du système..... | 80 |
| 5. | Les préférences des décideurs | 81 |
| 5.1 | Présentation de la méthode PROMETHEE II | 82 |
| 5.1.1 | Algorithme de la méthode PROMERHEE II..... | 82 |
| 5.1.2 | Pourquoi PROMETHEE II ? | 84 |
| 5.2 | Présentation de la méthode AHP | 84 |
| 5.2.1 | Algorithme de la méthode AHP | 84 |
| 5.2.2 | Pourquoi AHP ?..... | 89 |
| 5.3 | Présentation de la méthode ELECTRE TRI..... | 89 |
| 5.3.1 | Algorithme général d'ELECTRE TRI..... | 90 |
| 5.3.2 | Pourquoi ELECTRE TRI ?..... | 92 |
| 6. | Scorage par les méthodes de vote | 92 |
| 6.1 | Méthode Borda | 92 |
| 6.2 | La méthode Condorcet | 93 |
| 6.3 | Pourquoi les systèmes de vote (Borda et Condorcet) ?..... | 94 |
| 7. | La négociation dans Web-GDSS..... | 95 |
| 7.1 | Les phases de la négociation..... | 97 |
| 7.2 | Caractéristiques du protocole de négociation proposé..... | 101 |
| 7.2.1 | Objets de la négociation..... | 101 |
| 7.2.2 | Primitives de négociation..... | 101 |
| 7.2.3 | Le seuil de négociation | 102 |
| 7.2.4 | Les stratégies des agents..... | 102 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.3 | Modélisation du processus de négociation..... | 104 |
| 7.3.1 | Diagramme de cas d'utilisation..... | 104 |
| 7.3.2 | Diagramme de séquence..... | 105 |
| 8. | Démarche décisionnelle adoptée par Web_GDSS..... | 106 |
| 8.1 | Structuration du modèle de décisionnel..... | 106 |
| 8.2 | Exploitation du modèle décisionnel..... | 106 |
| 9. | Conclusion..... | 108 |

1. Introduction

Dans ce chapitre, notre objectif est de mettre en évidence la conception ainsi que la modélisation de notre système et de présenter les différents composants intégrés qui contribuent à l'analyse du contexte décisionnel.

Notre système d'aide à la décision de groupe proposé est susceptible d'assurer la négociation par concession monotone entre un ensemble de décideurs en conflit.

Notre contribution a été réalisée en couvrant différents domaines de recherche principalement :

- L'aide à la décision collective,
- L'analyse multicritères en utilisant principalement les méthodes AHP, PROMETHEE II et ELECTRE TRI,
- Les services Web,
- Les systèmes multi agents et
- Les méthodes de vote à savoir Borda et Condorcet.

Le système que nous proposons vise à aider les décideurs dans la résolution de différentes problématiques décisionnelles.

2. Objectifs du système proposé Web-GDSS

Afin de mieux illustrer les objectifs du système, nous nous posons certaines questions, notamment :

- *Comment modéliser et élaborer un système d'aide à la décision de groupe générique interopérable ?*
- *Comment obtenir un compromis lorsque plusieurs critères (quantitatifs et qualitatifs) contradictoires sont identifiés dans une problématique décisionnelle ?*
- *Comment résoudre un conflit entre une multitude de décideurs ayant chacun des intérêts, des points de vue et des préférences différents ?*
- *Comment satisfaire tous les décideurs ?*

La principale question que nous nous sommes posés au départ est :

- *Quel système faut-il adopter pour la mise en place d'un processus décisionnel, permettant aux décideurs d'arriver à un accord acceptable par tous.*

Pour répondre à ces différentes préoccupations, nous focalisons notre attention sur la mise en œuvre d'un système d'aide à la décision de groupe doté d'un protocole de négociation basé sur la concession monotone.

En effet, notre objectif réside dans la mise en place d'un système décisionnel multicritères de groupe nommé Web-GDSS. Ce dernier est basé sur l'intégration des méthodes multicritères, des services Web relatifs aux différentes méthodes utilisées et utiles à **l'interaction et la communication** des décideurs éloignés géographiquement.

Nous avons décrit, dans le chapitre précédent, un état de l'art sur les systèmes décisionnels basés sur le Web, utilisant les services Web.

Dans ce chapitre, nous proposons un nouveau système décisionnel basé sur les agents, en couplant les méthodes multicritères et les services Web pour assurer une négociation multilatérale.

3. Modèles décisionnels

Le principal objectif de cette thèse est d'élaborer un système qui permettra de fournir aux décideurs ou aux responsables de la prise de décision, un outil simple et facile d'aide à la décision qui les assiste efficacement, pour arriver à un accord commun.

Le modèle décisionnel est basé sur le modèle de Simon abordé dans le chapitre II ce modèle se décompose en trois grandes étapes : 1) l'information, 2) la conception, 3) le choix.

D'autres auteurs comme Hofer et Schendel dans [Hofer et Schendel, 1987], Mintzberg dans [Mintzberg, 1973], Glueck dans [Glueck, 1972] et Mazzolini [Mazzolini, 1981] considèrent un nombre plus important de phases dans le processus de décision cités dans [Abdelhadi et al., 2018]. Ces modèles sont destinés à modéliser un processus décisionnel mono décideur, qui fait lui-même la collecte et l'analyse de l'information et la prise de décision.

3.1 Modèles décisionnels de groupe

Le modèle de Simon ne répond pas aux besoins demandés, nous l'avons complété par d'autres étapes, en nous inspirant largement du modèle proposé, initialement, au sein de notre laboratoire LIO par Hamdadou dans [Hamdadou, 2008]. Le modèle est caractérisé par le fait d'être multi décideurs, le processus de négociation fait intervenir plusieurs participants depuis la phase d'identification du problème jusqu'à la dernière phase qui est la prise de décision. La première phase correspond à l'appréhension et la compréhension du problème. La conception a pour but de mettre en forme le problème et de rechercher les solutions alternatives. Enfin la dernière phase correspond à la prise de décision en elle-même.

Les principaux travaux réalisés au sein de notre le laboratoire LIO se basent sur le modèle que propose Hamdadou dans [Hamdadou, 2008]. Nous illustrons, dans le tableau 4.1, les caractéristiques des trois principaux travaux :

| [Abdelhadi et al.,2018] | [Oufella et Hamdadou 2018] | [Madouri et Hamdadou, 2019] |
|---|--|---|
| <p>1) Structuration et formulation du problème décisionnel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identifier les critères - Identifier les actions - Identifier les acteurs <p>2) Exploitation du modèle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modéliser les décideurs - Établir le vecteur de préférence avec PROMETHEE II - Négociation <p>3) Concrétisation et évaluation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accepter la décision - Mette en œuvre la décision | <p>1) Structuration et formulation de la situation décisionnelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identification et formulation du problème - Identification et classification des acteurs - Structuration collective du problème <p>2) Décision individuelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Articulation et modélisation des préférences - Agrégation des préférences au niveau individuel avec PAMC (procédure agrégation multicritères) [Roy, 1985] <p>3) Négociation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Protocole de négociation par argumentation <p>4) Concrétisation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accepter la décision - Mette en œuvre la décision | <p>1) Structuration du modèle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identifier les critères - Identifier les actions - Identifier les décideurs <p>2) Exploitation du modèle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modéliser les décideurs - Établir le vecteur de préférence avec ELECTRE III - Négociation par argumentation <p>3) Concrétisation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Accepter la décision - Mette en œuvre la décision |

Tableau 4.1 : Les phases des processus de décision.

La figure 4.1 illustre le processus décisionnel proposé par Hamdadou dans [Hamdadou, 2008]. À ce titre, la multitude des décideurs impliqués dans le processus engendre inévitablement un conflit dû aux divergences des opinions et des préférences des décideurs. En termes de cet observation, l’auteur intègre dans le processus un protocole de négociation permettant d’amener le groupe à une décision approuvée par toutes les parties afin d’assurer la résolution du conflit.

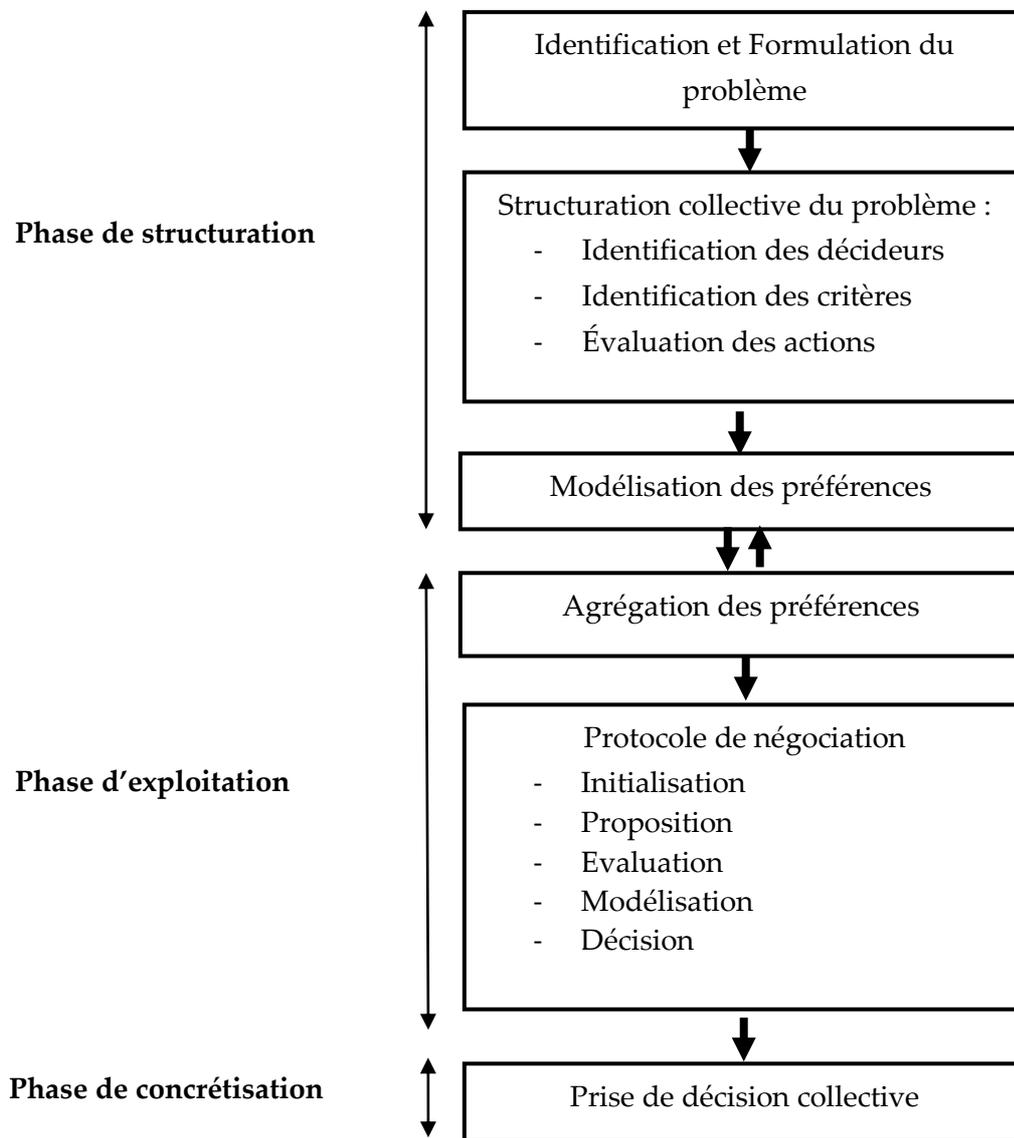


Figure 4.1 : Modèle décisionnel proposé par Hamdadou.

3.2 Modèle décisionnel proposé

Notre modèle décisionnel se base largement sur le modèle de [Hamdadou, 2008], il est structuré en deux principales phases (Structuration du modèle et exploration du modèle).

3.2.1 Structuration du modèle et formalisation du problème

Cette étape vise à identifier le problème et les choix fondamentaux sur la façon de les aborder et de les formaliser. Les trois éléments de base de la situation décisionnelle sont :

- **Identifier les actions (ressources)** : l'identification de toutes les actions potentielles est une étape très importante de toute approche d'aide à la décision, en particulier lorsque la méthode d'analyse multicritères est précédée d'une agrégation partielle.

- **Identifier les critères** : la liste des critères obtenus en agrégeant les facteurs correspondants (sous-critères) doit être aussi complète que possible. Ces critères doivent être liés aux contraintes et objectifs utilisés dans les activités de production.
- **Identifier les décideurs** : le décideur fait référence à une entité concrète localisée (dans un contexte). C'est une unité de décision individuelle ou collective qui peut allouer des ressources, des objectifs et des stratégies. La multiplicité des décideurs rend la négociation difficile.

3.2.2 Exploitation du modèle décisionnel

Cette étape opère en quatre phases :

- 1) **Phase d'évaluation des performances** : Dans la littérature, il existe plusieurs façons d'évaluer les performances. Dans notre étude, nous avons opté pour deux formats différents à savoir :
 - **Le premier format** est de modéliser la structure du problème de décision en une structure hiérarchique reflétant les interactions entre divers éléments du problème, et procéder par la suite, à une comparaison par paire des éléments de la hiérarchie, et enfin déterminer les priorités des actions. Cette opération nous permet d'évaluer la performance d'une action par rapport à un attribut (critère) génère une matrice dite matrice de comparaison binaire. La comparaison se fait deux à deux c'est-à-dire comparer les critères entre eux (les lignes et les colonnes contiennent les critères) ensuite comparer deux à deux les actions entre elles (en ligne les actions en colonne aussi par rapport à un critère donné).
 - **Le deuxième format** est une évaluation en fonction de chaque action par rapport à chaque critère, une matrice dite matrice de performances est alors créée. Elle est constituée d'actions en lignes et des critères en colonnes, les valeurs qui remplissent ce tableau sont l'évaluation de l'action i selon critère j .
- 2) **Phase de modélisation des décideurs (création des agents)** : chaque décideur est modélisé sous forme d'un agent auquel est associé un poids exprimant son importance dans le groupe de décision, cet agent exprime ses préférences à travers des paramètres subjectifs,
- 3) **Phase de test** : à cette étape, le nombre d'actions que contient la matrice est pris en compte afin de déterminer parmi les services Web, quelle méthode multicritères (ELECTRE TRI, AHP ou PROMETHEE II), les participants devront invoquer, afin d'établir leur propre vecteur de préférences.
- 4) **Phase de négociation** : à cette étape l'initiateur entame le scorage des vecteurs de préférences envoyés par les participants, en invoquant soit le service Web de Borda ou le service Web de Condorcet. Après plusieurs tours de négociation dans le cadre du protocole proposé, les agents participants parviennent à un consensus qui satisfait la majorité des parties et génère l'accord final.

La figure 4.2 illustre notre modèle du processus décisionnel proposé.

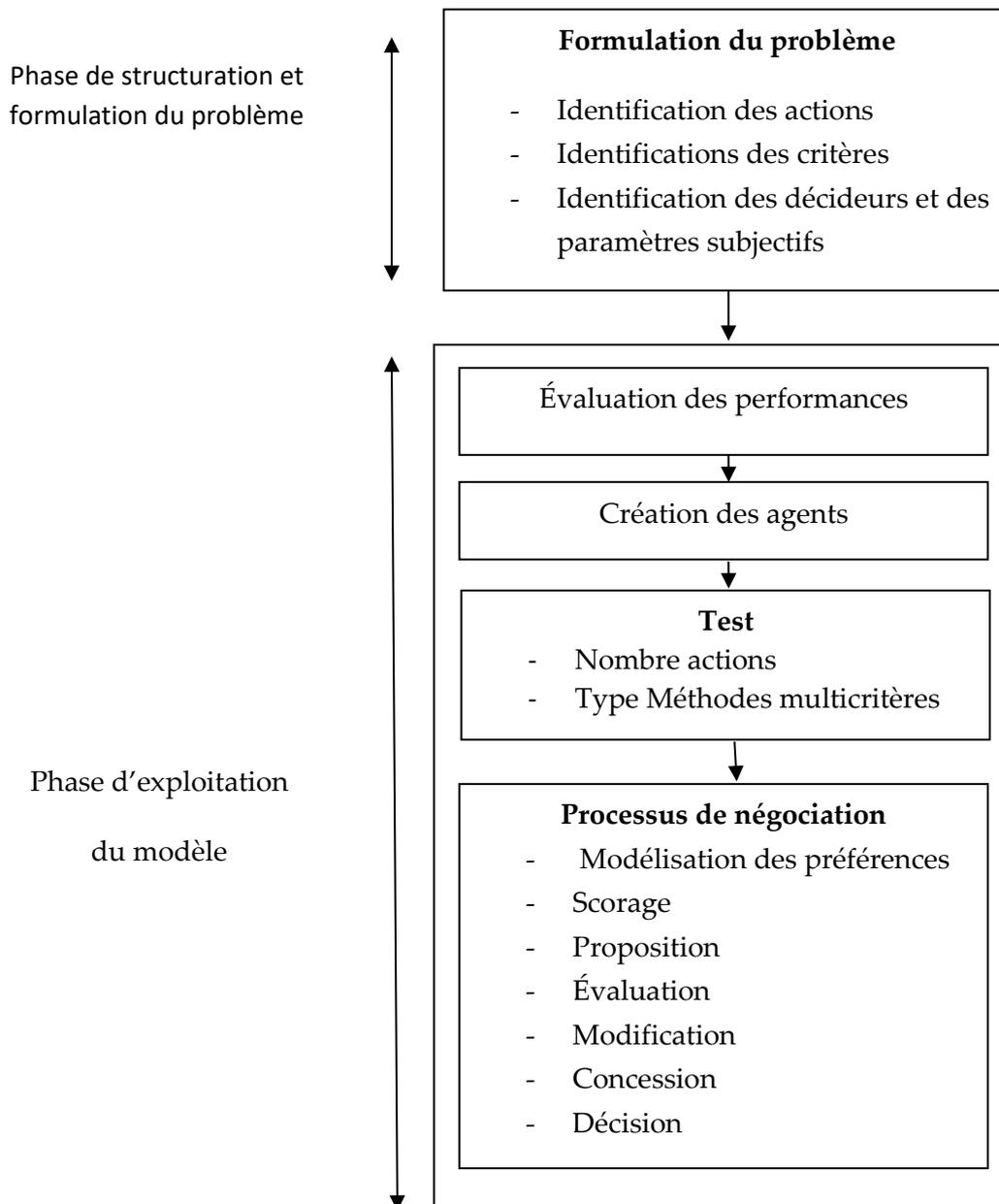


Figure 4.2 : Modèle du processus décisionnel proposé

4. Description du système d'aide à la décision de groupe proposé

Le système d'aide à la décision de groupe (Web-GDSS) proposé, est doté d'un protocole de négociation qui exploite dans l'une de ses étapes une méthode d'analyse multicritères permettant de classer les actions potentielles de chaque agent impliqué dans la prise de décision. Le système Web_GDSS que nous proposons est basé sur des services Web.

Nous allons décrire le système proposé dans la section suivante, nous commençons d'abord par identifier les agents concernés dans ce système tout en décrivant le modèle SMA proposé.

Le système, que nous proposons, est composé de quatre sous systèmes, à savoir, **le sous système SMA**, **le sous système de services Web**, **le sous système d'authentification** et **le sous système protocole de négociation** permettant l'échange d'informations entre les décideurs et la plateforme de communication. La figure 4.3 Architecture générale du Web-GDSS.

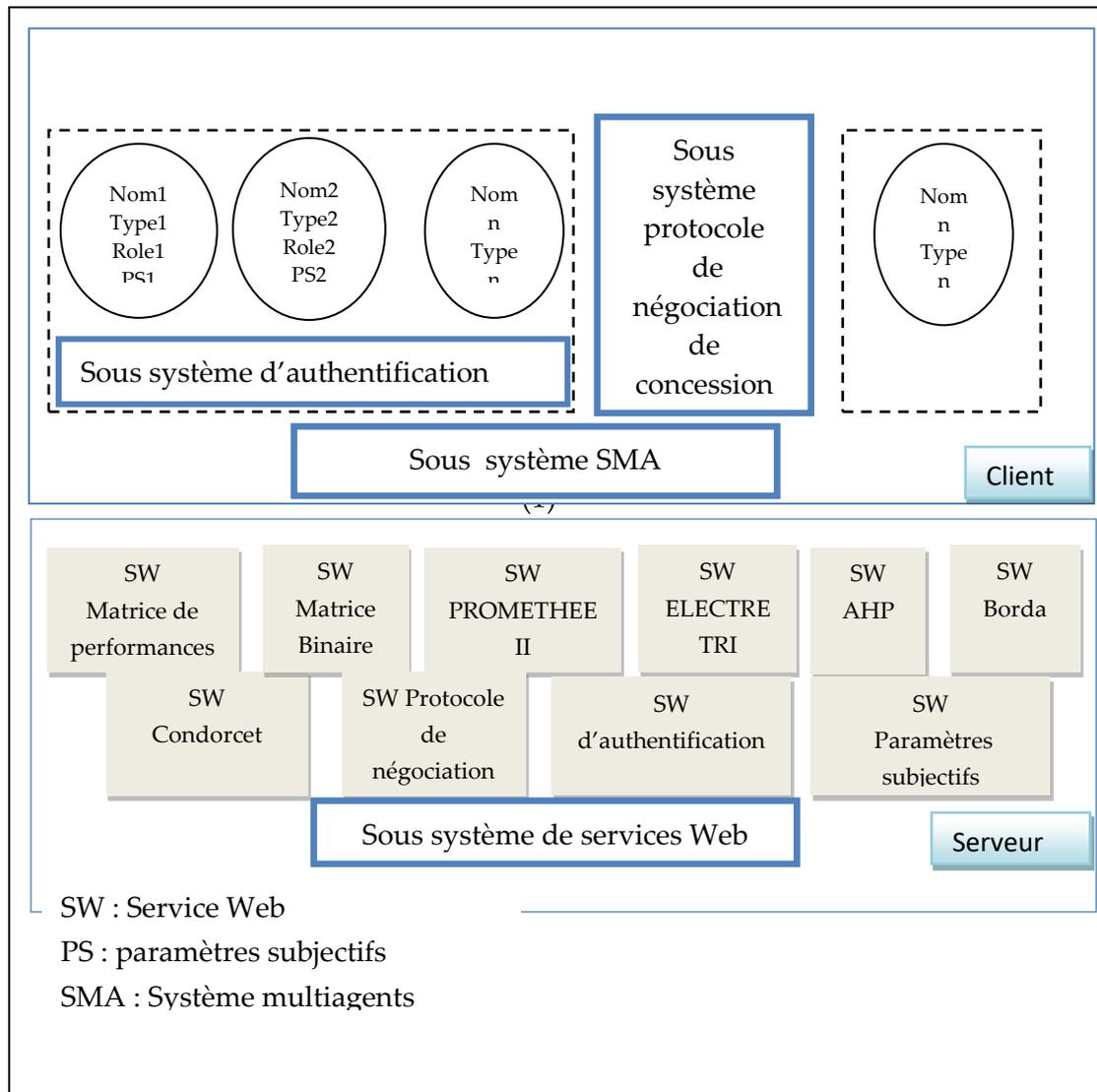


Figure 4.3 : Architecture générale du Web-GDSS.

4.1 Le sous système SMA

Le système multi agents est responsable de la représentation des différents décideurs impliqués au processus décisionnel [Hamdadou et Libourel, 2011]. La technologie multiagents a déjà prouvé ses avantages dans de nombreux domaines. Le système multiagents est particulièrement utilisé dans la mise en œuvre d'applications décisionnelles collectives. Le système SMA est chargé de créer une représentation du monde réel basé sur des agents. Les agents représentent les décideurs pouvant coopérer, communiquer et négocier. Les systèmes

multiagents ont pour but de créer des agents modélisant le monde réel en attribuant à chaque agent un rôle. Le modèle proposé implique deux types d'agents :

- **Un agent initiateur (coordinateur)** : c'est l'agent responsable de la gestion de la négociation, de la modification du contrat et du choix final concernant la ressource choisie.
- **Les agents participants (contractants)** : ce sont les agents concernés par la décision.

4.1.1 Modélisation des agents

La modélisation est basée sur la méthodologie Aalaadin [Ferber, 1997], qui repose sur les concepts d'agent, de groupe et de rôle pour définir une organisation réelle. Un Agent est défini comme une entité autonome et communicante jouant des rôles dans le groupe. Le groupe est composé de différents agents. Le rôle représente une fonction, un service ou l'identification d'un agent appartenant à un groupe particulier.

4.1.2 Diagramme de classe

Dans le module SMA associé à notre Web-GDSS, les agents ont deux rôles (initiateur et participant), par conséquent, le diagramme de classe associé comprend deux classes à savoir la classe « initiateur » et la classe « participant ».

La figure 4.4 illustre le diagramme de classes UML associé aux agents.

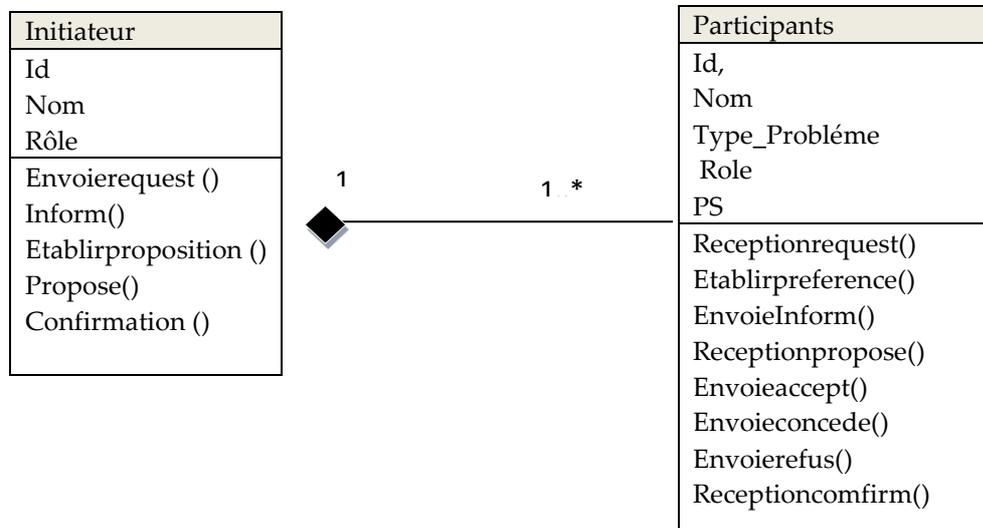


Figure 4.4 : Diagramme de classes UML associé aux

1. Description des classes

Le diagramme de classe associé comprend deux classes à savoir la classe « initiateur » et la classe « participant » :

- **Initiateur** : C'est la classe qui représente l'initiateur, elle contient l'ensemble des messages et des méthodes utilisés par l'initiateur.
- **Participants** : C'est la classe qui représente les participants, chacun de ces derniers prend une instance de cette classe, elle contient l'ensemble des messages et des méthodes qu'utilise les participants (Décideurs).

2. Description des méthodes

La description des méthodes associées à l'initiateur et aux participants utilisées dans le protocole de négociation proposé est illustrée par les tableaux 4.2 et 4.3, respectivement :

| Méthode | Description |
|------------------------------|---|
| EnvoieRequest() | Envoie un message REQUEST pour initier la négociation |
| Inform () | Reçoit le message INFORM envoyé par les participants qui contient le vecteur de rangement |
| EtablirProposition () | Etablit le scorage des ressources selon les rangements des participants reçus |
| Propose () | Envoie une proposition à travers le message Propose |
| Confirmation () | Envoie un message Confirm si le seuil de négociation est atteint pour dire que la négociation est un succès |

Tableau 4.2 : Description des méthodes de l'agent initiateur.

| Méthode | Description |
|----------------------------|--|
| ReceptionRequest() | Reçoit le message REQUEST envoyé par l'initiateur |
| EtablirPreference() | Établit les préférences chez les participants |
| EnvoieInform() | Envoie les préférences établies via un message INFORM |
| ReceptionPropose() | Reçoit la proposition contenue dans le message PROPOSE et effectue le traitement nécessaire |
| EnvoieAccept() | Envoie un message ACCEPT si la ressource proposée est satisfaisante (valeur d'utilité supérieure à celle de l'initiateur). |
| EnvoieConcession() | Envoie un message CANSL si la ressource proposée est satisfaisante (valeur d'utilité supérieure à celle de l'initiateur). |
| EnvoieRefus() | Envoie un message REFUS si la ressource proposée n'est pas satisfaisante |
| ReceptionConfirm() | Reçoit le message Confirm si la négociation est un succès |

Tableau 4.3 : Description des méthodes de l'agent participant.

4.2 Le sous système de protocole de négociation

Notre protocole de négociation est basé sur la médiation et la concession simultanément [Hamdani et Hamdadou, 2019], mettant en scène un agent initiateur responsable du bon déroulement de la négociation et un ensemble d'agents participants représentant les différents décideurs concernés par la décision [Hamdadou et Libourel, 2011], [Hamdadou et Bouamrane, 2016].

Il est indispensable que les agents participants passent par une phase de négociation, selon un protocole bien structuré que nous décrivons dans la suite du chapitre. La négociation se déroule entre l'agent coordinateur et l'ensemble des agents participants.

4.3 Le sous système d'authentification des décideurs

Dans [Abdelhadi et al., 2018] les auteurs proposent une plateforme de communication s'articulant autour de deux sous systèmes client et un sous système de type REST contenant les services Web : service Web gestion des comptes utilisateurs, service Web messagerie, service Web partage de documents, service Web système de formulaires, service Web Analyse multicritères, service Web protocole de négociation et le service Web Authentification.

L'authentification, dans cette plateforme, précède toute utilisation et permet de confirmer l'identité d'un utilisateur (agent initiateur, agent décideur) et son rôle. La plateforme reconnaît deux rôles principaux : « administrateur » et « utilisateur ».

Le sous système d'authentification, que nous proposons est déployé sur chaque ordinateur permettant d'identifier le décideur et en même temps de créer et de modéliser les agents participants correspondants aux décideurs. L'authentification est établie selon les étapes suivantes :

1. Les décideurs saisissent les informations correspondantes : nom, mot de passe, rôle, type de problème décisionnel à résoudre et leur poids.
2. Un agent participant est ensuite créé pour chaque décideur.
3. L'agent participant invoque le service Web WSR participants via UDDI, pour stocker les informations saisies préalablement, dans la base de données.
4. L'initiateur entame la recherche des agents participants à partir de la base de données en invoquant le service Web WSFparticipants.
5. Une liste d'agents est ensuite affichée au niveau de la page de l'initiateur.
6. L'agent initiateur envoie un message pour démarrer la négociation.

La figure 4.5 illustre le diagramme UML d'activité correspondant. Ce diagramme illustre les étapes par lesquelles passe le processus d'authentification.

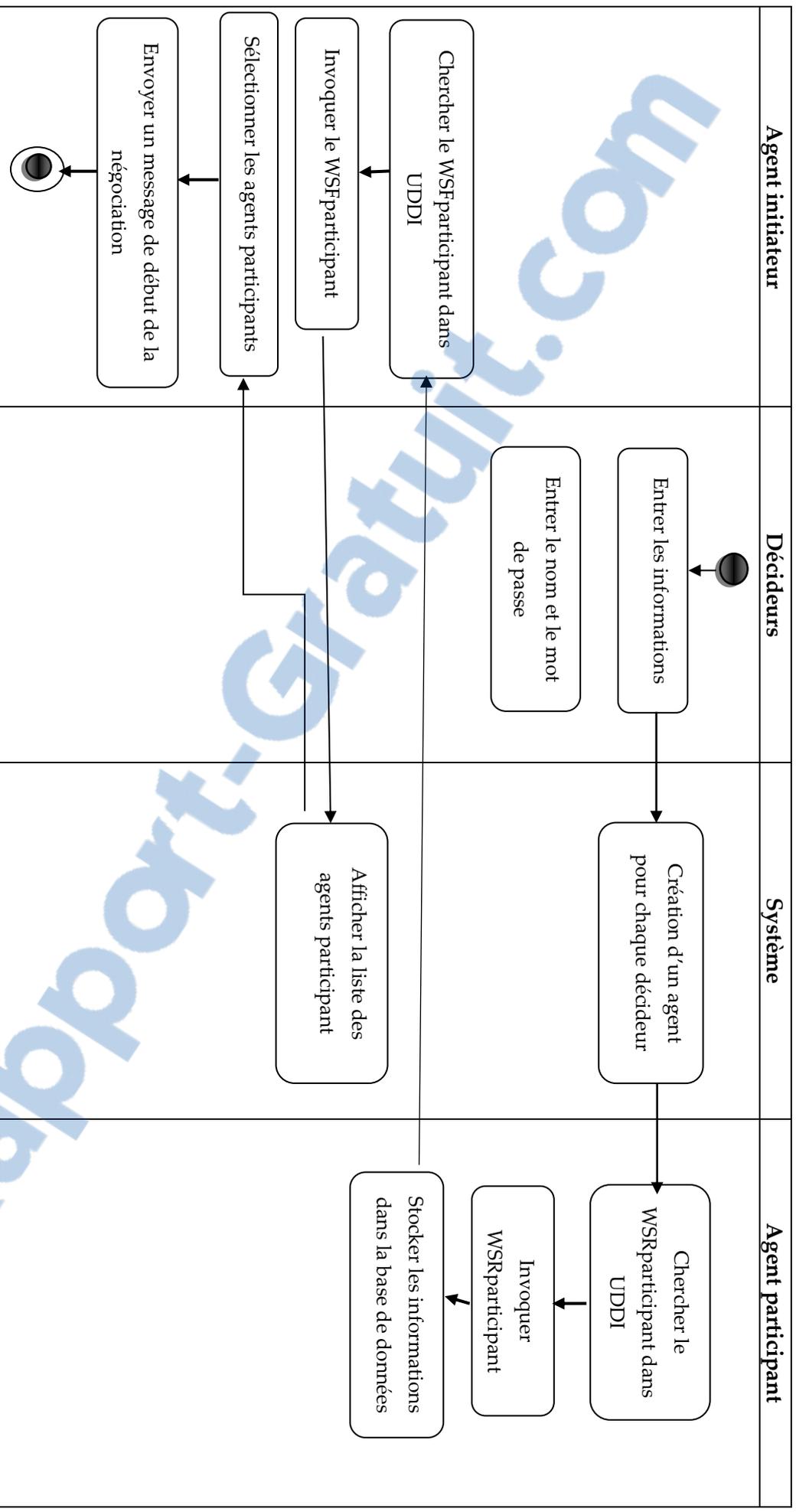


Figure 4.5 : Diagramme d'activité authentifiant les agents.

4.4 Le sous système de services Web

Le sous système de services Web est un ensemble de services électroniques identifiés par une ressource uniforme (URI). Les normes XML (eXtensible Markup Language) sont utilisées pour spécifier les interfaces de service et pour invoquer des services via le Web. La technologie de service Web est décrite dans le chapitre précédent.

4.4.1 Description des services Web

Dans notre système, nous proposons des services Web conçus pour être invoqués localement ou à distance. En effet, afin de procurer une aide individuelle à la décision, le système met à la disposition des décideurs, plusieurs services Web :

- Un service Web qui sert à l'invocation de la matrice de performances.
- Un service Web qui sert à invoquer la matrice binaire (fournie par l'initiateur et envoyée aux participants).
- Un service Web qui invoque la méthode d'analyse multicritères par agrégation complète AHP, utile pour les agents participants, afin de classer l'ensemble des solutions possibles (actions potentielles) de la « meilleure » à la « moins bonne ».
- Un service Web qui invoque la méthode d'analyse multicritères par agrégation partielle ELECTRE TRI, utile pour l'agent initiateur, afin d'attribuer chaque action à une catégorie prédéfinie.
- Un service Web qui invoque la méthode d'analyse multicritères par agrégation partielle PROMETHEE II, utile pour les agents participants, afin de classer l'ensemble des solutions possibles (actions potentielles) de la « meilleure » à la « moins bonne ».
- Un service Web qui invoque les méthodes de vote permettant de trancher parmi un groupe en faisant ressortir la préférence majoritaire. Les deux méthodes Borda et Condorcet sont utiles, dans notre cas, pour le scorage des actions par l'agent initiateur.
- Un service Web qui invoque le protocole de négociation par concession monotone avec ou sans valeur d'utilité.
- Un service Web d'authentification qui enregistre les participants et les recherche sur la base de données.
- Un service Web qui enregistre les paramètres subjectifs dans la base de données, pour que, par la suite, les agents participants l'invoquent.

Notre système est composé d'une application cliente là où se trouvent les agents et d'une application Web du côté serveur contenant les services Web.

Une base de données contenant les informations relatives aux agents est aussi mise en place en interaction avec les services Web. La technologie utilisée est SOA, un service Web est un ensemble de méthodes comme on peut le voir dans le tableau 4.4 illustrant les méthodes implémentées.

| Méthode | Fonction |
|--|---|
| @WebMethod public List getAllparticipant() | Retourne le nombre de participants présents dans la base de données. |
| @WebMethod public List getparticipant(Id) | Retourne le participant correspondant à l'identifiant. |
| @WebMethod public List WSFparticipant (Id, name,type_problem, role) | Retourne le participant correspondant aux critères de sélection : Id, nom, type de problèmes, rôle. |
| @WebMethod public Liste WSRparticipant (Id,name,type_problem, role) | Consiste à ajouter les informations des participants dans la base de données |
| @WebMethod addParametreSubjectifs(poid,seuil_d'indifférence, seuil_ de _préférence, seuil_ de veto) | Consiste à ajouter à la base de données les paramètres subjectifs exprimés par chaque participant. |
| @WebMethod getParametreSubjectifs() | Retourne les paramètres subjectifs des participants. |
| @WebService @SOAPBinding(style = Style.RPC) public class AHPWebService | Consiste à invoquer la méthode multicritères AHP par les participants. |
| @WebService @SOAPBinding(style = Style.RPC) public class PROMETHEEWebService | Consiste à invoquer la méthode multicritères PROMETHEE II par les participants. |
| @WebService @SOAPBinding(style = Style.RPC) public class ELECTRETRIWebService | Consiste à invoquer la méthode multicritères ELECTRE TRI par l'initiateur. |
| @WebService @SOAPBinding(style = Style.RPC) public class BordaWebService | Consiste à invoquer la méthode de vote Borda par l'initiateur. |
| @WebService @SOAPBinding(style = Style.RPC) public class CondorcetWebService | Consiste à invoquer la méthode multicritères Condorcet par l'initiateur. |
| @WebService @SOAPBinding(style = Style.RPC) public class ProtocoleWebService | Consiste à déclencher le protocole de négociation par l'initiateur. |

Tableau 4.4 : Les services Web implémentés.

4.4.2 Les composants du système

Pour faire face à une décision de groupe où différents points de vue doivent être pris en compte, le SMA implique un agent coordinateur et des agents participant ainsi nous avons intégré simultanément les méthodes multicritères en vue d'obtenir des vecteurs de préférences, ces préférences du décideur sont classées de la meilleure action à la moins bonne.

Le système proposé présente l'avantage de simuler les effets de l'agrégation multicritères à l'aide des méthodes d'analyse multicritères AHP et PROMETHEE II, selon des critères quantitatifs et qualitatifs, et de concevoir un outil de négociation interactif permettant de respecter les compromis.

La méthode multicritères par agrégation partielle ELECTRE TRI est invoquée quand le nombre d'actions de la matrice de performances (modélisant le problème décisionnel) dépasse 50 actions, cette façon de procéder est la condition pour laquelle la méthode par agrégation partielle PROMETHEE II soit exécutée.

En effet, les deux méthodes appartiennent à la même famille d'agrégation, d'où notre proposition d'exécuter PROMETHEE II à la suite de ELECTRE TRI. Le résultat de la méthode ELECTRE TRI est de catégoriser les actions en des catégories selon une affectation « optimiste » ou « pessimiste » afin de réduire la matrice de performances.

PROMETHEE II, est ensuite exécutée pour permettre de résoudre la problématique de rangement afin de classer l'ensemble des solutions possibles résultantes par ELECTRE TRI, de la meilleure vers la moins bonne solution.

De plus, nous avons intégré deux méthodes de vote largement connues à savoir Borda et Condorcet [Gonzalez Suitt et al., 2014] dans le protocole de négociation, pour permettre à un agent initiateur de choisir parmi les propositions, la proposition la plus appropriée en fonction des préférences de ses interlocuteurs. Ces préférences sont générées par des vecteurs de préférence obtenus à partir des méthodes d'analyse multicritères.

La méthode Borda est utilisée par l'initiateur si la méthode AHP est appelée, par contre l'utilisation de la méthode Condorcet par l'initiateur est émise si la méthode d'agrégation PROMETHEE II est appelée.

En effet, pour procéder à cet enchaînement, nous nous sommes basés sur le fait que AHP et Broda, peuvent être complémentaires [Costa, 2017] et les deux méthodes PROMETHEE II et Condorcet résolvent toutes les deux la problématique de classement.

La méthode Borda est une procédure simple de vote par position, elle établit le scorage de la manière suivante :

N étant le nombre d'alternatives, dans chaque liste classée, l'alternative classée première remporte (N-1) points, celle classée deuxième remporte (N-2) points, la troisième (N-3) points jusqu'à la dernière qui remporte (0) points.

Ensuite, le nombre de points total de chaque alternative est calculé dans toutes les listes, et à la fin, l'alternative qui aura le plus grand nombre de points sera la solution finale.

Borda classe donc les alternatives par préférence. Le décideur doit mettre les alternatives en ordre de priorité pour chaque critère.

La méthode Condorcet est connue comme étant la méthode de la règle de majorité la plus simple et elle est considérée comme la plus équitable car elle évalue la relation entre les alternatives [Alencar et al., 2010].

Chaque électeur classe les candidats par ordre de préférence. Pour chaque paire de candidats, le nombre d'électeurs ayant voté pour l'un ou l'autre est déterminé. Ainsi pour chaque paire, il y a un candidat vainqueur. Dans la plupart des cas, il y a un unique candidat qui remporte tous ses duels : il s'agit du vainqueur du scrutin ou appelé vainqueur de Condorcet.

Le tableau 4.5 illustre les composants du système en mettant l'accent sur la condition de leur utilisation.

| Composant | Condition d'utilisation |
|--------------------------|---|
| PROMETHEE II | Si la matrice de performances est envoyée par l'initiateur et le nombre d'actions est < 50. |
| ELECTRE TRI | Si la matrice de performances est envoyée par l'initiateur et le nombre d'actions est >50. |
| AHP | Si la matrice binaire est envoyée par l'initiateur et le nombre d'actions <10. |
| Borda | Si la méthode AHP est utilisée. |
| Condorcet | Si la méthode ELECTRE TRI est utilisée. |
| Agent participant | Modélise un décideur. |
| Agent initiateur | Gère la négociation entre les agents participants. |
| Protocole de négociation | Assure la communication entre les décideurs. |
| Services Web | Sert à l'authentification des décideurs éloigné géographiquement et invoquent les MAMC, les méthodes de votes, le protocole de négociation par utilité ou sans utilité. |
| UDDI | Publie les différents services. |
| WSDL | Décrit les informations liées aux services Web. |

Tableau 4.5 : Les composants du système et leur utilisation.

4.4.3 Interaction des composants du système

Dans notre système, au cœur de l'architecture SOA, et pour la découverte de service Web émerge le concept de registre de services « annuaire (UDDI) » favorisant la publication, la découverte et l'utilisation des services.

Pour assurer le bon fonctionnement d'un système d'information, il est nécessaire d'appliquer des politiques adéquates pour la gestion des services Web qui commence à partir de la phase de publication. Dans la gestion des services, nous identifions deux rôles : celui de fournisseur de services et celui de client (consommateur). Ces deux rôles sont amenés à suivre les politiques suivantes :

- Le fournisseur de services, après avoir conçu ses services et implémenté leurs fonctionnalités en suivant le standard WSDL, peut les publier dans le registre UDDI.
- Le client (agent initiateur, agent participant) peut également rechercher des services après leur publication dans le registre UDDI et les utiliser.

- La mise en place d'une base de données permet de stocker les informations dédiées aux agents (nom, type, poids, rôle) et de stocker les matrices ainsi que les paramètres subjectifs.
- Etant donné que les trois standards les plus connus et piliers des services Web sont : les standards WSDL, UDDI, SOAP dès lors qu'ils sont implémentés sur le système, permettent aux clients et aux services de communiquer entre eux, par :
- La spécification SOAP pour capturer tous les messages interagissant entre les composants du système : la base de données, les services Web, les méthodes d'analyse multicritères, les méthodes de vote, le protocole de négociation et l'UDDI.
- Le fichier WSDL qui décrit le service Web, en fournissant tous les détails le concernant, et cela afin de permettre aux agents de notre système d'invoquer les services Web.

Le WSDL d'un service contient beaucoup d'informations dont les plus importantes sont :

- **Son url** : est une adresse qui permet aux agents de joindre un service Web.
- Les paramètres d'entrées de l'une des méthodes d'analyse multicritères, et méthodes de vote. Par exemple les paramètres d'entrée de la méthode ELECTRE TRI sont : la matrice des performances, le vecteur des poids des critères, le vecteur des actions, le vecteur des critères, le nombre d'actions, le nombre de critères, seuil d'indifférence, seuil de préférence, seuil de veto et les actions de référence.

Dans le chapitre suivant, nous détaillerons la structure des fichiers WSDL. La figure 4.6 illustre les différents échanges entre les composants de notre système Web-GDSS [Hamdani et Hamdadou, 2019].

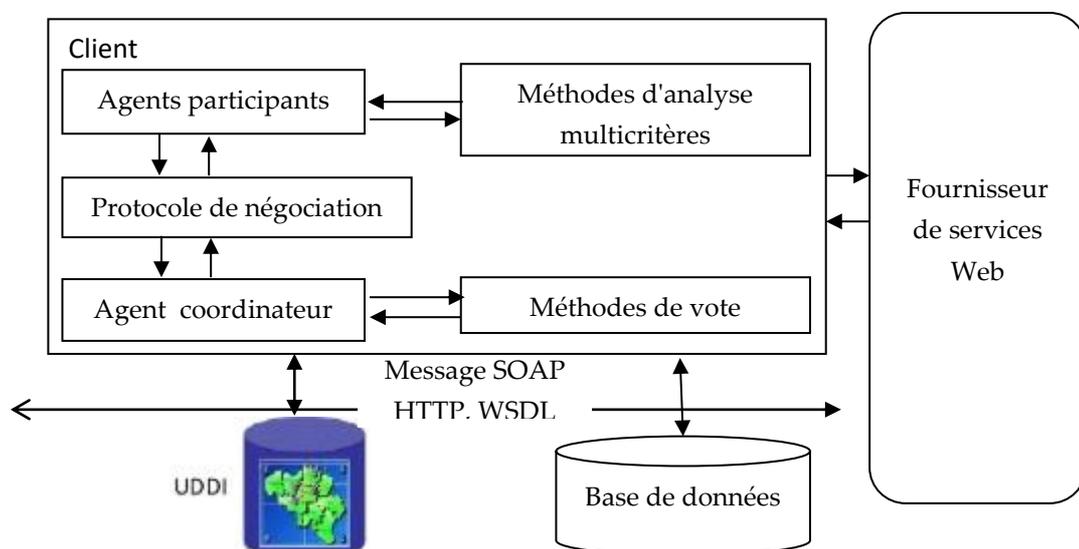


Figure 4.6 : Interaction des composants.

5. Les préférences des décideurs

L'aide multicritères à la décision, permet à un décideur de progresser vers la résolution d'une problématique décisionnelle, en lui fournissant des outils applicables sur plusieurs critères souvent contradictoires et pris en compte. En effet, pour représenter les préférences des agents

participants, nous optons pour l'utilisation des méthodes multicritères AHP [Saaty, 1980], ELECTRE TRI [Roy et Bouyssou, 1993] et PROMETHEE II [Brans et al., 1986].

Chaque méthode multicritères est invoquée par le biais d'un service Web qui lui correspond. La formulation multicritères du problème décisionnel de groupe abordé, dans la présente étude où les méthodes multicritères PROMETHEE II et ELECTRETRI sont invoquées, est définie par le modèle $(A, F, E, PS, d, P, \text{Seuil})$ où :

- A : désigne l'ensemble des actions potentielles envisageables.
- F : est l'ensemble fini des attributs ou critères, généralement conflictuels, à partir desquels les actions seront évaluées.
- E : est l'ensemble des performances (évaluations) des actions selon chacun des critères, c'est-à-dire l'ensemble des vecteurs de performances, un vecteur par action.
- PS : l'ensemble des paramètres subjectifs exprimés par chaque décideur.
- d : Le nombre de décideurs impliqués.
- P : Poids des décideurs.
- Seuil : Seuil de négociation.

La formulation multicritères du problème décisionnel de groupe où la méthode AHP est invoquée est définie par le modèle (A, F, P, E) où :

- A : désigne l'ensemble des actions potentielles envisageables.
- F : est l'ensemble fini des attributs ou critères, généralement conflictuels, à partir desquels Les actions seront évaluées.
- E : est l'ensemble des actions évaluées selon les autres actions par rapport à un critère, et une évaluation d'un critère selon les autres critères, l'évaluation se fait selon l'échelle de Saaty [Saaty, 1970].
- P : Poids des décideurs.

Dans ce qui suit, nous présentons les différentes méthodes multicritères invoquées par les services Web et utilisées dans notre système.

5.1 Présentation de la méthode PROMETHEE II

PROMETHEE II est une méthode multicritères, proposée par les auteurs dans [Brans et al., 1986], elle procède par agrégation partielle et permet de résoudre la problématique de rangement afin de classer l'ensemble des actions potentielles de la meilleure vers la moins bonne.

Pour ce faire, PROMETHEE II traite une matrice d'évaluation (tableau de performances) contenant des actions (en lignes) et des critères (en colonnes), les éléments de cette matrice constituent les jugements (ou les évaluations) des différentes actions par rapport aux différents critères.

5.1.1 Algorithme de la méthode PROMERHEE II

La méthode PROMETHEE II procède comme suit :

1. **Choix d'un critère concernant l'intensité de préférence** : Dans notre étude, nous avons choisi le critère mixte.

2. **Calcul de l'intensité de préférence**

$$(1) \quad p(d) = 0 \text{ si } d \leq q_j, p(d) = \frac{(d-q_j)}{p_j-q_j} \text{ Si } q_j < d \leq p_j \text{ et } p(d) = 1 \text{ sinon,}$$

- « a » et « b » étant deux actions potentielles,
- « d » est la différence entre la performance de « a » et la performance de « b » ($g_j(a) - g_j(b)$).
- q_j est le seuil d'indifférence, et p_j est le seuil de préférence.

3. **Calcul de l'Indicateur de préférence.**

$$(2) \quad (a, b) = \frac{\sum W_j * P_j(a, b)}{\sum W_j}, \quad W_j \text{ étant le poids du critère } j.$$

4. **Calcul des Flux sortant et entrant**

$$(3) \quad \Phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad \text{et} \quad \Phi^-(a) = \sum \pi(x, a)$$

5. **Calcul des flux globaux**

$$(4) \quad \Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a)$$

L'organigramme de la figure 4.7 illustre, en détails, la démarche d'utilisation de PROMETHEE II.

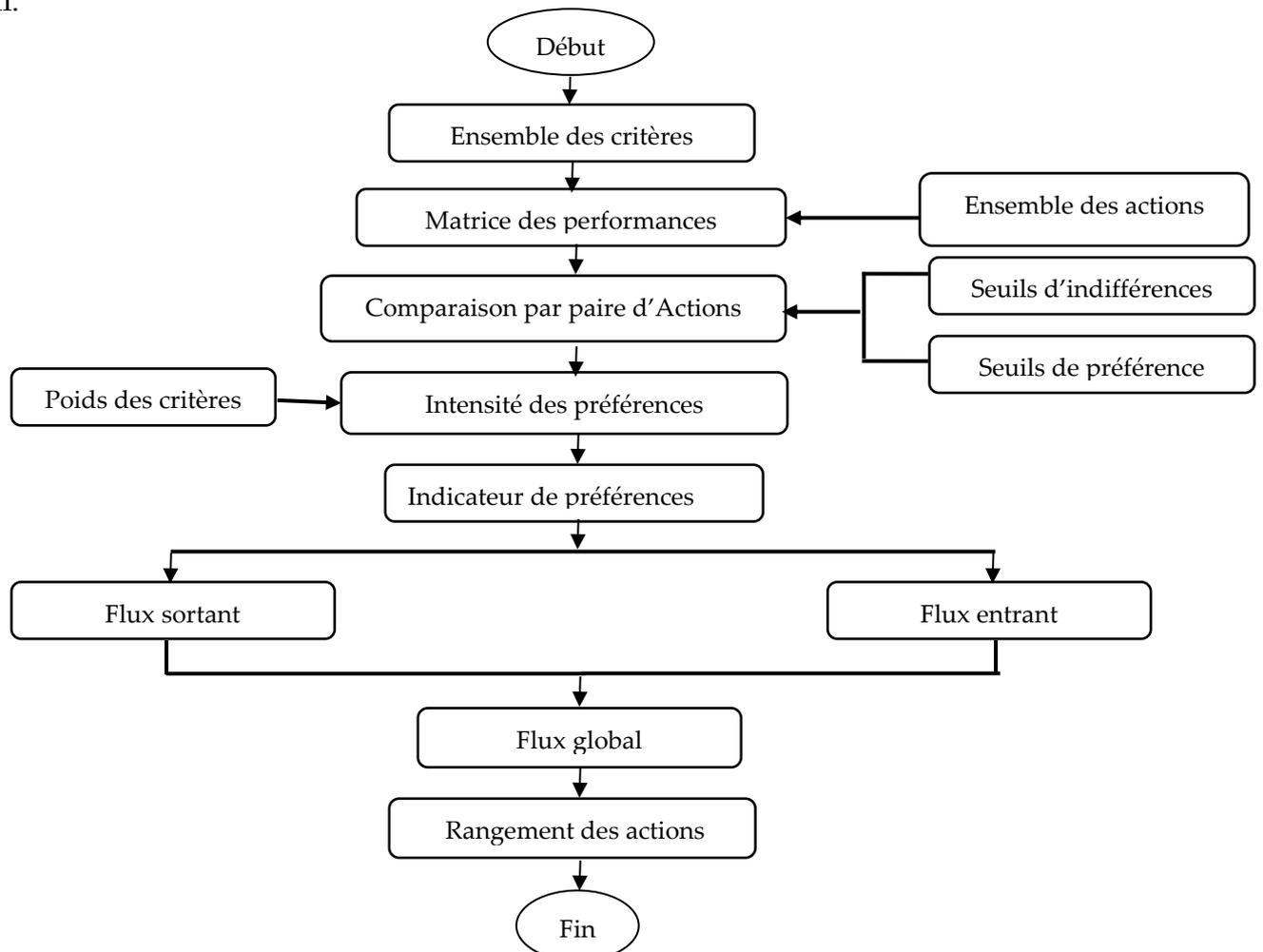


Figure 4.7 : Démarche d'utilisation de PROMETHEE

5.1.2 Pourquoi PROMETHEE II ?

Les méthodes d'analyse multicritères de la famille PROMETHEE sont parmi les méthodes les plus utilisées dans la catégorie des méthodes de surclassement. Ceci est dû à un certain nombre d'avantages offerts par ces dernières [Abdelhadi et al., 2018].

- La simplicité de l'étape d'exploitation de la méthode.
- La puissance de sa fonction de préférence.
- La simplicité de la méthode PROMETHEE la place sur une bonne position pour être utilisée si on cherche à ranger des actions potentielles et que le décideur ne trouve pas beaucoup de peine à déterminer les poids des critères. Bien souvent cette méthode est sujette à des modifications ou des extensions.

De plus, la méthode PROMETHEE II permet de générer un pré ordre total à la différence des autres méthodes appartenant à la même famille.

5.2 Présentation de la méthode AHP

La méthode AHP (Processus d'Analyse Hiérarchique) est une méthode multicritères, procédant par agrégation totale, qui permet de résoudre la problématique de rangement afin de classer l'ensemble des actions potentielles de la meilleure vers la moins bonne action. La résolution de problèmes décisionnels selon la méthode AHP repose sur trois principes fondamentaux : Décomposition, comparaison des jugements et composition hiérarchique ou la synthèse des propriétés [Saaty, 2008].

- Le principe de la décomposition est appliqué pour structurer un problème complexe en une hiérarchie de critères, sous-critères, sous-sous critères ainsi de suite.
- Le principe de la comparaison des jugements est utilisé pour construire des comparaisons par paire de toutes les combinaisons d'éléments du même niveau En respectant le père de chaque niveau.
- Le principe de la synthèse des propriétés est de multiplier les priorités locales de chaque niveau par les priorités globales du niveau père pour obtenir les priorités globales de toute la hiérarchie par la suite on ajoute les priorités globales du niveau le plus bas (généralement Ce sont les alternatives).

5.2.1 Algorithme de la méthode AHP

La méthode multicritères d'aide à la décision AHP intègre plusieurs critères et arrive à un choix justifié, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise. Elle repose sur la comparaison de paires d'options et de critères. Les étapes principales de la méthode AHP sont :

Étape 1 : Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique

- Définir l'objectif cible (niveau 0)
- Définir les critères de décision ou d'analyse (niveau 1)

- Définir les caractéristiques des critères, chacun à son tour, ou l'ensemble d'options sous étude (niveau 2).

Le dernier niveau de la hiérarchie comprendra les différentes solutions alternatives, choisies au préalable.

Étape 2 : Effectuer les combinaisons binaires

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau immédiatement supérieur. Pour ce faire, on doit se poser la question suivante : dans quelle mesure le premier élément contribue-t-il davantage au critère que le second élément auquel il est comparé ?
- L'intensité de la préférence peut alors être notée en utilisant une échelle soit numérique, verbale ou graphique :
- L'échelle numérique est celle qui est le plus souvent utilisée. À l'origine, suite à de nombreuses études, [Saaty, 1980] avait proposé une échelle de rapport avec des unités allant de 1 (indifférence) à 9 (préférence absolue) tout en y incluant les réciproques ($1/x$) qui permettent d'évaluer les comparaisons inverses. Les réciproques sont utiles s'il y a une préférence du second facteur par rapport au premier. Par exemple, si la préférence est absolue pour le deuxième facteur, on indiquera une valeur de $1/9$.
- Le nombre de comparaisons nécessaires pour permettre une analyse complète se calcule aisément selon la formule suivante :
 - Nombre de comparaisons = $n * (n - 1) / 2$ où n représente le nombre de facteurs à comparer pour un niveau donné.
 - Configurer une matrice carrée ($K \times K$), formée par les évaluations des rapports des poids, K étant le nombre d'éléments comparés. On obtient de cette façon :

$$(5) \quad \begin{cases} a = a_{ij} \text{ avec} \\ a_{ij} = 1 \text{ et } a_{ij} = 1/a_{ij} \text{ (valeur réciproque)} \end{cases}$$

| | | | |
|----|-----|-----|----|
| | A1 | A2 | A3 |
| A1 | 1 | 3 | 6 |
| A2 | 1/3 | 1 | 2 |
| A3 | 1/6 | 1/2 | 1 |

Tableau 4.6 : Exemple d'une matrice de comparaison par paire.

Étape 3 : Déterminer les priorités

La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteurs propres :

- Il faut calculer le vecteur propre droit (« right eigenvector ») de chacune des matrices afin d'obtenir une estimation globale des priorités relatives des éléments étudiés. Ce dernier étant normalisé, son total devrait s'additionner pour donner 100%, pour calculer le vecteur propre droit d'une matrice, on doit d'abord faire la somme de chacune des colonnes de la matrice afin de synthétiser les appréciations. Par la suite, on divise chacun des éléments de la matrice par la somme de sa colonne respective. On obtient alors une nouvelle matrice dite normalisée. Finalement, la moyenne de chacune des lignes de la matrice normalisée fournira les pourcentages des priorités globales relatives pour chacun des critères. Évidemment, le total des pourcentages devra s'additionner pour donner 100%.

La figure 4.8 illustre, plus précisément, les étapes à suivre pour dériver les vecteurs propres.

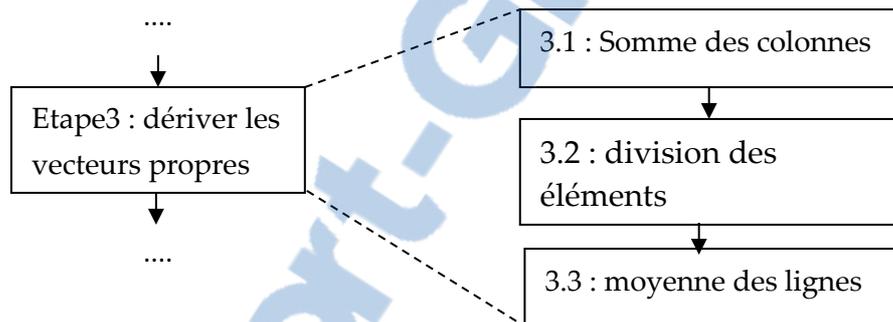


Figure 4.8 : Les différentes étapes pour dériver les vecteurs propres.

Étape 4 : Synthétiser les priorités

- Une fois que les priorités locales pour tous les critères figurant dans la hiérarchie ont été déterminées, AHP calcule un score d'évaluation global attaché à chacune des solutions alternatives identifiées.
- On obtient alors un vecteur $\{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}\}$ qui indique l'impact du critère i sur chacune des alternatives. Ce vecteur représente le vecteur propre principal de la matrice réciproque de dimension $n \times m$.

Étape 5 : Cohérence des jugements

Les réponses obtenues présentent souvent un certain degré d'incohérence. AHP n'exige pas que les jugements soient cohérents ni transitifs,

- À l'intérieur de la famille des méthodes d'analyse multicritère, AHP est la seule méthode qui permet une telle vérification pour s'assurer que les poids relatifs ou priorités ne sont pas dictés arbitrairement ou aléatoirement par le décideur.
- Si un individu préfère A deux fois plus que B et B, trois fois plus que C, nécessairement, dans un monde idéal, cette personne devrait favoriser A six fois plus que C. Dans la réalité, il est possible que la préférence varie quelque peu, surtout lorsque le nombre de choix est considérable. La méthode AHP mesure donc toute variance de cette équation avec **le ratio d'incohérence**

- On définit un indice de cohérence (IC) :

$$(6) \quad IC = (\lambda_{\max} - K) / (K-1)^2$$

K : nombre d'éléments comparés

- Plus l'indice de cohérence devient grand et plus les jugements de l'utilisateur sont incohérents et vice versa :
 1. La première étape du calcul de la cohérence globale consiste à prendre la matrice originale, c'est-à-dire celle de l'entrée de données, et de la multiplier par les priorités relatives finales issues de la dernière étape de l'extraction des vecteurs propres.
 2. Il faut, ensuite, faire le total des valeurs pour chacune des lignes de la nouvelle matrice.
 3. Troisièmement, le total de chacune des lignes sera divisé respectivement par la valeur du vecteur de priorité qui lui est associée.
 4. En quatrième lieu, il suffit de calculer la moyenne des valeurs obtenues à l'étape précédente. Le résultat de ce calcul est représenté par λ_{\max} . À ce stade, l'indice de cohérence (IC) peut se calculer selon la formule précédente.
- IC est ensuite comparé à des valeurs critiques obtenues par simulation.
- On doit déterminer l'indice de cohérence aléatoire (ICA) à partir du tableau 4.7 en fonction de n, c'est-à-dire en fonction de la taille de la matrice [Saaty, 1984].

| N=le nombre de critères | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IA | 0 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 |

Tableau 4.7 : Table des indices de cohérence aléatoire.

Le ratio de cohérence est donné par la formule suivante :

$$(7) \quad RC = IC / IA$$

- RC : est le ratio de cohérence
- IA : est un indice aléatoire
- IC : est l'indice de cohérence

Une fois calculé, le ratio de cohérence (RC) final doit être vérifié selon le niveau acceptable proposé par [Saaty, 1994] en fonction de la taille de la matrice. Lorsque le ratio de cohérence dépasse la valeur respective du tableau ci-dessous, on considère que les jugements sont trop

aléatoires. Il faut alors réviser l'analyse afin de parfaire les jugements et ainsi, obtenir un ratio de cohérence final qui soit acceptable.

Le tableau 4.8 illustre des ratios de cohérence acceptables [Saaty, 1984] :

| Taille de la matrice (n) | Ratio de cohérence acceptable |
|--------------------------|-------------------------------|
| 3 | |
| 4 | 0,08 |
| 5 et + | 0,10 |

Tableau 4.8 : Tableau des ratios de cohérence acceptables.

La figure 4.9 illustre les étapes à suivre dans l'application de cette méthode :

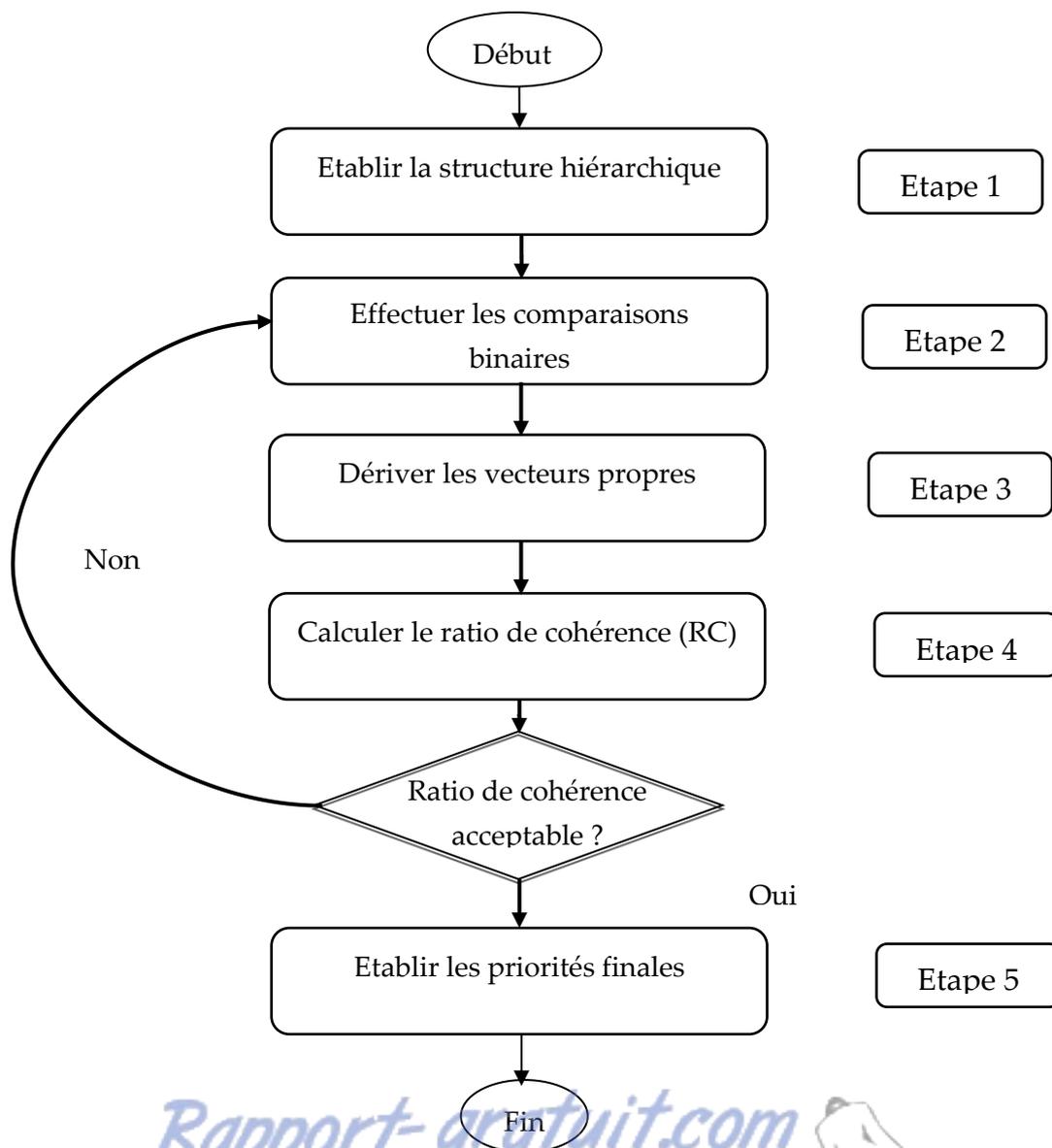


Figure 4.9 : Démarche d'utilisation de AHP.

5.2.2 Pourquoi AHP ?

D'après Guesdon [Guesdon, 2011], AHP offre les avantages suivants :

- Sa capacité de structurer un problème complexe, multicritères, multidécideurs et multi périodes de façon hiérarchique.
- La comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- Les critères peuvent avoir des importances variables.
- Le nombre de critères et sous-critères n'est pas limité.
- Le problème tel qu'il est posé par la méthode AHP, donne une certaine réponse, mais si le décideur le souhaite, il peut modifier la valeur d'un critère, ajouter ou éliminer des critères qu'il juge pertinents ou non pertinents. La méthode lui permet de le faire sans reprendre toute la hiérarchie déjà établie. Par exemple, le critère économique est sujet à des fréquentes fluctuations, cette méthode permet de réajuster l'évaluation préalablement effectuée.
- Générer un ensemble ordonné de critères.

5.3 Présentation de la méthode ELECTRE TRI

La méthode ELECTRE TRI décrite par l'auteur dans [Roy, 1985] vise à résoudre une problématique bêta (β). Le problème est posé en termes d'affectation de chaque action à une catégorie prédéfinie. Des actions de références sont utilisées pour segmenter l'espace des critères en catégorie : chaque catégorie est bornée inférieurement et supérieurement par deux actions de référence et chaque action de référence sert donc à deux catégories, l'une supérieure, et l'autre inférieure.

Cette méthode suit la procédure d'ELECTRE III jusqu'au calcul des degrés de crédibilité, l'affectation des actions à une catégorie est, spécifique. Pour déceler l'incomparabilité, deux procédures d'affectation distinctes, appelées optimiste et pessimiste, sont nécessaires : elles consistent à comparer chaque action potentielle avec les actions de référence en commençant par la plus contraignante, respectivement la moins contraignante [Hamdadou, 2017].

Si les deux procédures affectent l'action potentielle à la même catégorie, elle est alors parfaitement comparable avec les actions de références, sinon, en fonction de la différence entre les deux catégories auxquelles elle est attribuée, elle est plus ou moins incomparable.

Il existe deux manières de définir l'ensemble des actions de références :

- La première consiste à choisir des actions de références parfaitement comparables entre elles : chacune surclasse ou est surclassée par toutes les autres, il est alors question de segmentation multicritères simple.
- La seconde consiste à admettre des profils différenciés, partiellement ou complètement incomparables entre eux, on parle alors de segmentation multicritère généralisée.

5.3.1 Algorithme général d'ELECTRE TRI

Le principe de la méthode ELECTRE TRI est d'assigner un ensemble de m alternatives ou d'actions noté : $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\}$ sur lesquelles se base la décision à des catégories ou classes bien définies.

On note l'ensemble $F = \{1, 2, \dots, n\}$ l'ensemble des indices des critères. Chaque action de l'ensemble A sera évaluée par une fonction réelle, exprimant l'évaluation de l'action pour un critère donné, on note $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ l'évaluation de l'action pour les critères considérés.

L'importance des critères dans la prise de décision est évaluée par un ensemble de poids : $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$. Par opposition aux autres approches, les alternatives qui constituent l'objet de la décision ne sont pas comparées entre elles, mais à des seuils traduisant la frontière entre les h classes prédéfinies, noté $C = \{C_1, C_2, \dots, C_h\}$. Chaque alternative sera comparée aux frontières de chaque catégorie, formant un profil $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_h\}$.

Elle procède comme suit :

- 1. Evaluation des indices de concordance :** Les indices de concordances sont calculés comme suit :

$$(8) \quad C_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j \\ 1 & \text{si } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j \\ & \frac{(p_j + g_j(a) - g_j(b_h))}{(p_j - q_j)} \end{cases}$$

Où $g_j(b_h)$ est la performance de l'action de référence « h », $g_j(a)$ est la performance de l'action « a », p_j est le seuil de préférence, et q_j est le seuil d'indifférence.

- 2. Calcul de l'indice de concordance globale**

$$(9) \quad C(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1, n} k_j * C_j(a, b)}{K}$$

Tel que : K est la somme des poids.

- 3. Calcul de l'indice de discordance partiel**

$$(10) \quad d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b_h) + p_j \geq g_j(a) \\ 1 & \text{si } g_j(b_h) + v_j < g_j(a) \\ \text{sinon} & (g_j(b_h) - g_j(a) - p_j) / (v_j - p_j) \end{cases}$$

- 4. Calcul du degré de crédibilité**

$$(11) \quad (a, b_h) = C(a, b_h) \prod_{j=1, n} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - C(a, b_h)}$$

On définit l'indice de coupe λ comme étant le paramètre qui détermine la situation de préférence entre a et b_h . λ est toujours compris dans l'intervalle $[0.5, 1]$.

L'organigramme de la figure 4.10 illustre la démarche d'utilisation d'ELECTRE TRI.

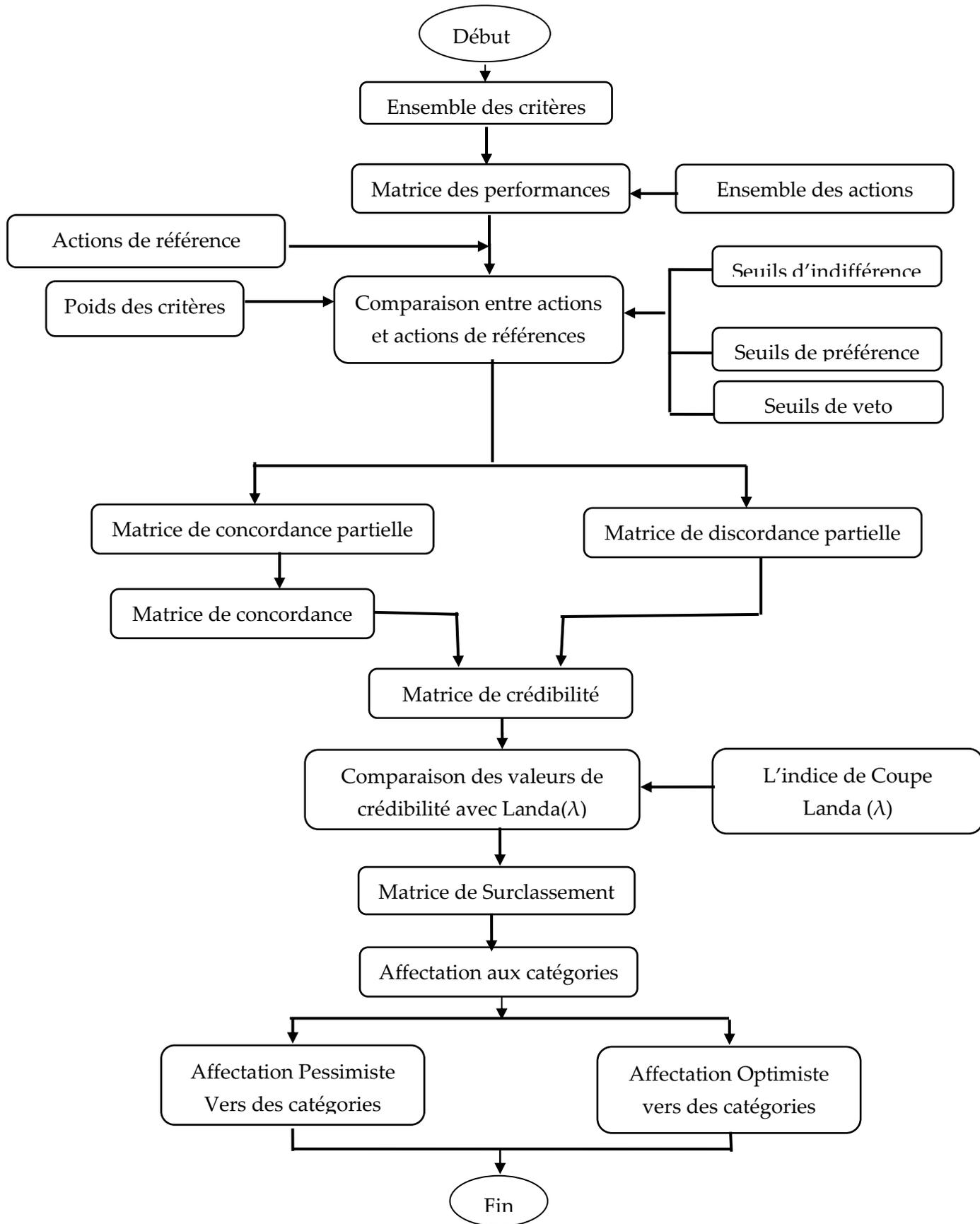


Figure 4.10 : Démarche d'utilisation d'ELECTRE TRI.

5.3.2 Pourquoi ELECTRE TRI ?

Les principaux avantages d'ELECTRE TRI sont [Hamdadou, 2017] :

- Permet de juger chaque action sur sa valeur relative vis-à-vis des variantes de références.
- Permet de fixer des valeurs de références pour l'acceptation ou le refus d'une variante.
- Permet de prendre en considération un nombre de variantes plus important que dans les méthodes ELECTRE.
- Permet de réduire le nombre de variantes à étudier par d'autres méthodes d'agrégation partielle, comme PROMETHEE II.

Dans [Hamdadou, 2017], l'auteure souligne la difficulté pour ELECTRE TRI de définir des actions de référence et la qualifie d'inconvénient.

6. Scoring par les méthodes de vote

Une procédure de choix social est une fonction qui introduit en entrée un ensemble de listes (sans égalités) d'un ensemble A (l'ensemble des alternatives) et qui produit soit un élément de A, soit un sous-ensemble de A (en cas d'égalité).

À partir de 1966, Bernard Roy [Roy, 1968] ouvre la voie à une autre approche, celle des méthodes basées sur les relations de surclassement. La méthode ELECTRE I, qui a été proposée par [Roy, 1968], est la première procédure d'agrégation multicritères basée sur le principe du surclassement. Ses ancêtres sont des procédures utiles pour obtenir une relation de préférence globale, représentant un ensemble de critères, comme la théorie du choix social, notamment les procédures de vote [Borda, 1781] et [Condorcet, 1785].

Nous avons intégré ces deux méthodes de vote, largement connues [Gonzalez Suitt et al., 2014], au niveau de notre protocole de négociation, afin de permettre à un agent coordinateur de choisir parmi les propositions, la plus appropriée en fonction des préférences de ses interlocuteurs. Ces préférences sont générées par des vecteurs dits vecteurs de préférences obtenus à partir des méthodes d'analyse multicritères. Dans ce qui suit, nous allons décrire en détail le principe des deux méthodes.

6.1 Méthode Borda

La méthode de vote Borda est une méthode très efficace et utilisée pour le Scoring, elle est parmi les meilleures méthodes de vote qui existent. Elle établit le scoring de la manière suivante :

N étant le nombre d'alternatives, dans chaque liste classée, l'alternative classée première remporte (N-1) points, celle classée deuxième remporte (N-2) points, la troisième (N-3) points jusqu'à la dernière qui remporte (0) points. Ensuite, le nombre de points total de chaque alternative est calculé dans toutes les listes, et à la fin, l'alternative qui aura le plus grand

nombre de points sera la solution finale. Pour comprendre son fonctionnement, appliquons sur un exemple, le tableau 4.9 illustre le scoring obtenu par Borda :

| | Numéro/Décideur | D1 | D2 | D3 | D4 | D5 | D6 | D7 |
|-------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 5 P → | 1 | A | A | A | C | C | B | E |
| 4 P → | 2 | B | D | D | B | D | C | C |
| 3 P → | 3 | C | B | B | D | B | F | D |
| 2 P → | 4 | D | E | F | E | A | A | B |
| 1 P → | 5 | E | F | C | A | E | E | A |
| 0 P → | 6 | F | C | E | F | F | D | F |

Tableau 4.9 : Tableau de scoring.

Dans l'exemple, il y a 6 ressources {A, B, C, D, E, F}, donc $N = 6$.

Les ressources de la 1^{ère} rangée se font attribuer $N-1$ points, donc 5 points, ce qui fait : $P(A) = 3 * 5 = 15$ points, $P(C) = 2 * 5 = 10$ points, $P(B) = 1 * 5 = 5$ points et $P(E) = 1 * 5 = 5$ points.

Maintenant la 2^{ème} rangée, le A est absent, donc la ressource A reste avec 15 points, par contre, la ressource B est présente et ça donne : $P(B) = 5 + (2 * 4) = 13$ points, pour D, $P(D) = 3 * 4 = 12$ points, $P(C) = 10 + (2 * 4) = 18$ points.

Et nous continuons comme ça jusqu'à la dernière rangée, et à la fin nous aurons le résultat final qui est : $P(A) = 21$, $P(B) = 24$, $P(C) = 22$, $P(D) = 20$, $P(E) = 12$, $P(F) = 3$.

A partir de ces résultats, il est clair que la ressource B est la mieux d'entre toutes [Belalem ,2014].

6.2 La méthode Condorcet

Cette procédure a été proposée par le marquis de Condorcet au XVIII^e siècle. Le principe est le suivant :

Pour chaque paire d'alternatives, un nombre de votants est déterminé, chacun sur une liste de préférences, une alternative est classée par rapport à une autre.

Si une alternative gagne toutes les comparaisons avec les autres, alors elle remporte le vote. Il arrive qu'aucune alternative ne soit élue suite au décompte des votes. Condorcet avait remarqué une contradiction interne dans cette méthode appelée le paradoxe de Condorcet : dans une élection *a peut-être préférée à b, elle-même préférée à c, elle-même préférée à a*. Il faut alors prévoir une méthode pour résoudre le conflit, par exemple en utilisant une autre méthode de vote [Verrons, 2004].

| Votants | Premier | Deuxième | Troisième | Quatrième |
|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| 42000 | A | B | C | D |
| 26000 | B | C | D | A |
| 17000 | C | D | B | A |
| 15000 | D | C | B | A |

Tableau 4.10 : Le résultat du scrutin Condorcet.

Exemple : Il y a un certain nombre de votants, chaque ensemble de votants liste ses préférences parmi les 4 propositions {A, B, C, D}, le tableau 4.10 [Net 6] illustre le résultat d'après le scrutin de Condorcet :

Résultats :

- 42000 votants préfèrent A > B contre 58k B > A (*B gagne contre A*)
- 42000 votants préfèrent A > C contre 58k C > A (*C gagne contre A*)
- 42000 votants préfèrent A > D contre 58k D > A (*D gagne contre A*)
- 68000 votants préfèrent B > C contre 32k C > B (*B gagne contre C*)
- 68000 votants préfèrent B > D contre 32k B > D (*B gagne contre D*)
- 83000 votants préfèrent C > D contre 17k D > C (*C gagne contre D*)

Le gagnant Condorcet est donc B en comparant avec chacune des autres alternatives.

6.3 Pourquoi les systèmes de vote (Borda et Condorcet) ?

Le problème de la plupart des systèmes de vote est la différence qui peut exister entre les préférences des électeurs et le résultat final. Plusieurs travaux de recherche s'intéressent à cette problématique soit en proposant de nouvelles règles de vote et des méthodes pour permettre aux agents de converger vers un équilibre, c'est-à-dire, un choix final stable que tous les agents ne dévieront pas. Cet état d'équilibre appelé "équilibre de Nash" a été introduit par John Nash en 1950 [Diago, 2018].

De nos jours, la théorie du vote prend une place importante dans les systèmes multi-agents et plusieurs travaux de recherche ont été proposés.

Le vote permet aux participants d'exprimer leurs choix face à un ensemble de solutions prédéfinies. Selon le système de vote, chaque participant peut faire un ou plusieurs choix. Il peut pondérer ses choix en leur assignant des scores différents. Le vote peut s'effectuer sans aucune communication entre les participants, dans ce cas, chacun ignore les préférences des autres.

Le vote s'adapte bien dans un contexte de choix collectif où l'ensemble des résultats possibles est prédéfini et connu par tous les agents. Il s'applique aussi dans les systèmes multi-agents où les agents sont autonomes et ne se coordonnent pas. Les techniques d'agrégation des

préférences des participants permettent de déterminer le résultat du vote. Il existe différents critères pour désigner le gagnant et chacun peut fournir un résultat différent pour le même vote.

Borda récompense le vote stratégique toutefois, il présente un inconvénient, même si tous les électeurs votent de manière honnête, le vainqueur de l'élection ne dépend pas de leurs préférences mais plutôt de la présence ou non de tel ou tel candidat.

Par exemple : un président ne serait alors plus choisi par la volonté des électeurs mais selon les calculs stratégiques des partis, auxquels peut conduire l'application de la règle de *pluralité* (qui retient le candidat majoritairement classé en tête par les électeurs) : le candidat ainsi choisi peut être battu majoritairement par chacun des autres candidats.

Condorcet montre que la méthode proposée par Borda "*somme des rangs*" (obtenus par ordres de préférence de chaque électeur) ne permet pas d'éviter ce paradoxe (cité dans l'exemple) [Monjardet, 2011].

7. La négociation dans Web-GDSS

Afin de faire face à une décision de groupe où différents points de vue doivent être pris en considération et gérer, en conséquence, le conflit, nous proposons un protocole de négociation multilatérale basé sur la concession monotone mettant en scène un agent initiateur et un ensemble d'agents participants négociateurs, qui tentent de trouver un compromis les satisfaisant au mieux. Le protocole de négociation est principalement basé sur le protocole CNP et inspiré des protocoles proposés dans [Oufella et al., 2009] et [Hamdadou et Bouamrane, 2016].

Selon les auteurs dans [Rosenschein et Zlotkin, 1994] le protocole de concession monotone permet de ré-allouer un ensemble de tâches. À chaque tour, chaque agent propose une allocation de tâches. Un accord est atteint si l'une des offres correspond ou dépasse (en termes d'utilité) ce que l'autre demande.

Si les deux offres correspondent ou dépassent la demande, l'accord peut être sélectionné de manière pseudo-aléatoire. En cas de désaccord, un autre tour se déroule où chaque agent n'est pas autorisé à offrir à l'autre agent moins (en termes d'utilité) qu'il ne l'a fait au tour précédent. Il peut soit proposer la même utilité à son interlocuteur, soit concéder, proposer une meilleure alternative (en termes d'utilité) pour l'interlocuteur. Si aucun des agents ne concède, alors la négociation se termine et l'allocation de tâche reste inchangée.

Selon l'auteur dans [Diago, 2018], le protocole de concession monotone est un processus de négociation bilatérale à plusieurs tours dans lequel les agents soumettent simultanément leurs propositions. Chaque agent évalue la proposition de son opposant et l'accepte lorsque la valeur d'utilité est supérieure à celle qu'il a soumise. La négociation se termine si l'un des agents accepte la proposition de l'autre sinon un autre tour de négociation commence et les agents concèdent ou maintiennent les mêmes offres.

Les auteurs dans [Guttman et al., 1998] proposent une généralisation de ce protocole pour le cas d'une négociation multilatérale. Les auteurs proposent sept types de concession qui permettent aux agents de faire des propositions susceptibles d'être acceptées par les autres.

1. Concession forte : elle consiste à faire une proposition qui augmente l'utilité de tous les agents.
2. Concession faible : elle consiste à faire une proposition qui augmente au moins l'utilité d'un seul agent.
3. Concession de Pareto : elle consiste à faire une proposition qui augmente l'utilité de tous mais au moins un agent a une meilleure utilité.
4. Concession utilitariste : elle consiste à faire une proposition qui augmente la somme des utilités de tous les agents.
5. Concession égalitariste : elle consiste à faire une proposition qui maximise la valeur d'utilité de l'agent qui a la plus faible valeur d'utilité.
6. Concession de Nash : elle consiste à faire une proposition qui augmente le produit des utilités de tous les agents.
7. Concession égocentrique : elle consiste à faire une proposition qui réduit sa propre utilité.

Ces types de concessions s'appliquent dans un contexte où les agents utilisent la même fonction d'utilité pour évaluer les propositions.

Dans le contexte de notre étude, les deux types d'agents impliqués dans notre système, calculent leurs utilités (U_i).

En assignant à chaque action un rang, les actions sont classées de la plus préférée à la moins préférée pour chaque agent participant, le nombre maximal est donc attribué à l'action la plus préférée des agents participants (cela est en fonction du classement effectuée par les méthodes d'agrégation PROMETHEE II, AHP) et cette valeur est décrementé de 1 pour les actions qui suivent.

Le calcul de l'utilité (U_i) de l'agent initiateur est en fonction du classement des actions, l'action classée première par le scorage des vecteurs de préférences selon Borda ou Condorcet, aura la valeur maximale qui est le nombre d'actions répertoriées dans le vecteur de Borda ou de Condorcet.

Nous supposons, dans notre protocole de négociation, que les agents ne partagent pas leur fonction d'utilité.

Ainsi, chaque agent peut faire sa propre proposition, qu'il juge satisfaisante à son niveau, les propositions sont alors scorées de telle sorte que c'est l'initiateur qui choisit la meilleure d'entre les propositions suggérées par les participants.

Définition d'une concession : consiste en un pas vers son interlocuteur [Morge, 2018]. En d'autres termes selon l'auteur dans [Diago, 2018] cela consiste à réduire ses aspirations et à proposer de nouvelles offres. Il s'agit de revoir à la baisse l'utilité espérée pour chaque attribut, autrement dit la valeur de score souhaitée.

Définition d'une utilité est une valeur numérique qui représente le bonheur ou le bien-être d'un individu ou de tous (bien-être social) pour une situation donnée [Diago, 2018].

Dans notre système, nous définissons $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ l'ensemble des agents participant à la négociation et chaque agent (a_i) a un poids W_{a_i} qui représente son importance dans la décision de groupe.

Chaque agent participant, possède un ensemble de propositions P_{a_i} qu'il peut soumettre et une fonction d'utilité $U(a_i)$ lui permettant d'évaluer ses propositions.

$$\sum_{i=1}^n U(a_i) = \sum W_{a_i} * \text{RANG}(R_i, \text{participant}[j])$$

W_{a_i} : A chaque participant i est associé un poids différent selon l'importance du décideur dans la décision de groupe.

$\text{RANG}(R_i, \text{participant}[j])$: le rang associé à la ressource (R_i) par le participant j .

L'initiateur possède, également, son utilité $U_i(I)$ qui correspond au classement des ressources (actions) par le biais de Borda et de Condorcet.

L'objectif de chaque agent est de maximiser son utilité mais à un certain moment de la négociation, il peut être appelé à faire des concessions pour établir un compromis avec les autres agents. Ainsi, l'acceptation ou le refus de cette proposition dépend des stratégies de concession de l'agent participant (a_i). Il s'agit de définir les stratégies de l'agent participant lui permettant de comparer son utilité avec celle de l'agent initiateur comme suit :

- Le participant accepte la proposition reçue par l'initiateur si elle est classée dans la première moitié de son vecteur de préférence et que sa valeur d'utilité soit supérieure à celle envoyée par l'initiateur ($U_i(a_i) \geq U_i(I)$).
- Les agents participants concèdent lorsque la proposition est classée dans la première moitié du vecteur de préférence et que la valeur d'utilité est inférieure à la valeur reçue par l'initiateur ($U_i(a_i) \leq U_i(I)$).
- Les participants refusent lorsque la proposition est dans la seconde moitié de leur vecteur de rangement (préférence).

7.1 Les phases de la négociation

Le protocole de négociation proposé est caractérisé par une séquence de messages échangés entre l'agent initiateur et les agents participants. Le protocole, que nous proposons, se déroule en sept phases, la figure 4.10 illustre les étapes du protocole de négociation.

1. Phase de test

Avant que la négociation ne commence, l'initiateur teste le nombre d'alternatives (actions considérées) dans la matrice de performances, afin de choisir la méthode d'analyse

multicritères à invoquer : la méthode AHP [Saaty, 1980], la méthode ELECTRE TRI [Roy et Bouyssou, 1993] ou la méthode PROMETHEE II [Brans, 1982].

- Si le nombre d'actions est supérieur à 50, les agents participants invoquent la méthode ELECTRE TRI, qui affecte ensuite les actions à différentes catégories prédéfinies au préalable afin de réduire le nombre d'alternatives.
- Si le nombre d'actions est inférieur à 50, la méthode PROMETHEE II est appelée.
- Si le nombre d'actions est <10 et l'initiateur envoie une matrice de comparaison binaire, l'agent coordinateur alors recommande aux décideurs d'invoquer la méthode AHP.

2. Phase d'initialisation : c'est le début du processus de négociation. Les participants sont invités à exprimer leurs préférences concernant la matrice de performances. Chaque agent établit un classement des ressources de la plus bénéfique à la moins bonne et l'envoie à l'initiateur. Une fois le classement des actions généré, s'en suit le calcul de l'utilité de chaque vecteur pour chaque participant, comme suit :

$$\sum_{i=1}^n U(a_i) = \sum W_{ai} * RANG(R_i, participant[j])$$

- 3. Phase de proposition :** au cours de cette phase, l'agent coordinateur propose un contrat (un deal) à tous les participants pour une action donnée. Les participants peuvent accepter ou refuser le contrat en référence à leur vecteur de préférences, précédemment défini lors de la phase d'initialisation. Les agents participants peuvent accepter la proposition, si la condition d'utilité $U_i(a_i) \geq U_i(I)$ est vérifiée tel que : $U_i(a_i)$: est l'utilité de l'agent a_i , $U_i(I)$: est l'utilité agent initiateur I, sinon ils la rejettent.
- 4. Phase d'évaluation :** lorsque le coordinateur reçoit toutes les réponses des participants concernant la proposition du contrat, il comptabilise le nombre d'agents participants ayant accepté sa proposition.
- Si ce nombre est supérieur ou égal à un seuil donné, la négociation a réussi.
 - Sinon, il doit procéder à une modification du contrat (phase de modification).
- 5. Phase de modification :** au cours de cette phase, le coordinateur est amené à procéder à la modification du contrat en s'inspirant des propositions des agents. Il doit établir une synthèse à partir de ce qu'il a reçu (la ressource rejetée) pendant la phase d'évaluation, ceci en reformulant une nouvelle proposition à partir du vecteur établi par les préférences de tous les participants puis revient à l'étape de proposition.
- 6. Phase de concession :** lorsque le participant reçoit la proposition et qu'il ne peut pas accepter ou refuser, il doit concéder. Deux situations se présentent :
- a) Avec valeur d'utilité,** lorsque la proposition est classée dans la première moitié du vecteur de rangement et que sa valeur d'utilité est inférieure à la valeur d'utilité présente dans le vecteur de préférences du participant, le participant concède, sinon un refus est envoyé.

- b) **Sans valeur d'utilité**, le vecteur de préférence, dans ce cas, est divisé en 3 parties :
1. Si la proposition reçue se trouve dans la première partie du vecteur de préférences, l'agent envoie un message d'acceptation.
 2. Si la proposition se trouve dans la deuxième partie du vecteur, l'agent envoie un message de concession.
 3. Sinon, si la proposition se trouve dans la troisième partie du vecteur, l'agent envoie un message de refus.
7. **Phase de décision** : Cela signifie la fin du processus de négociation. La décision est prise par le coordinateur en fonction des réponses des participants concernant la proposition qui a été faite. Le processus de négociation est décrit par l'algorithme 1.
- Algorithme 1. Algorithme du processus de négociation.

Algorithme du processus de négociation

Entrées :

MP [Actions] [critères] /* Matrice de performances */

{A₁, ..., A_n} /* Ensemble des actions */

{C₁, ..., C_n} /* Ensemble des critères */

W {W₁, W₂...W_n} /* Poids des décideurs */

PS {W, seuil d'indifférence, seuil de préférence, seuil de veto, actions de référence} /*Vecteur de paramètres subjectifs */

Nombre_actions /* le nombre d'actions dans la matrice de performances*/

Seuil_d'acceptation /* le seuil d'acceptation d'une proposition pendant un tour donné */

Sortie : A_n /* la décision finale ce qui correspond à l'action recommandée */

DEBUT

*/*Phase de test*/*

Si nombre_actions > 50 **alors**

Service ELECTRE TRI est invoqué par l'initiateur */* pour réduire la matrice de performances.*

Sinon si nombre_actions < 50

Les agents invoquent le service PROMETHEE II

Fin si

Si protocole de concession avec utilité alors

$$\sum_{i=1}^n U(a_i) = \sum W_{ai} * RANG(R_i, participant[j])$$

Sinon

$$\sum_{i=1}^n U(a_i) = RANG(R_i, participant[j])$$

Sinon si MP n'est pas envoyée et nombre-actions < 10

Les agents invoquent le service AHP

Calcul de l'utilité

$$\sum_{i=1}^n U(a_i) = \sum W_{ai} * RANG(R_i, participant[j])$$

Fin Si

*/*Phase d'initialisation*/*

REQUEST () */* l'initiateur démarre la négociation et demande le vecteur de préférences de chaque décideur (rangement des actions par PROMETHEE II ou par AHP) ;*

Si la méthode PROMETHEE II est invoquée **alors**

L'initiateur invoque la méthode Condorcet pour le scorage des ressources

Sinon

L'initiateur invoque la méthode Borda pour le scorage des ressources.

Fin Si

/ Phase de proposition */*

1 : PROPOSE () */*l'initiateur envoie une proposition ayant le score le plus élevé*/.*

*/*Phase d'évaluation*/*

Si (taux_d'acceptation ≥ seuil_d'acceptation) **alors**

CONFIRM () */*La négociation est réussie*/*

Sinon

*/*Phase de modification*/*

Retour à la phase initialisation à l'étape (1 :) */* réappliquer Borda ou Condorcet*/*

Fin Si

/ Phase de concession */*

*/*fonction avec utilité*/*

Si (fonction avec valeur d'utilité) et $(U_i(a_i) \geq U_i(I))$ et (la proposition est classée dans la première moitié du vecteur de préférence) **alors**

ACCEPT_PROPOSAL () */*Les agents envoient un message d'acceptation*/*

Sinon si (fonction avec valeur d'utilité) et $(U_i(a_i) < U_i(I))$ et (la proposition est classée dans la première moitié du vecteur de préférence) **alors**

CONCEED_PROPOSAL () */*Les agents envoient un message de concession*/*

Sinon REFUSE_PROPOSAL () */* l'agent participant envoient un message refus */*

Fin Si

*/*fonction sans utilité*/*

Sinon si (fonction sans valeur d'utilité et la proposition est dans la première partie du vecteur de préférence) **alors**

ACCEPT_PROPOSAL () */*l'agent participant envoie un message d'acceptation*/*

Sinon Si (fonction sans valeur d'utilité) et (la proposition est dans la deuxième partie du vecteur **alors**

CONCEED_PROPOSAL () */* L'agent participant envoie une concession*/*

```

Sinon REFUSE_PROPOSAL /* l'agent participant envoie un refus*/
Fin Si
/* Phase de décision */
Si (nombre_actions_identifiées=nombre_actions) /*l'initiateur identifie toutes les actions
initialement définies*/ alors CONFIRM () /*L'initiateur envoie le message de
confirmation et envoie l'action qui a obtenu le plus grand nombre de messages
d'acceptation*/
Sinon retour à la phase d'initialisation (1)
Fin Si
FIN

```

7.2 Caractéristiques du protocole de négociation proposé

Le protocole de négociation proposé est caractérisé par de nombreux aspects fondamentaux à prendre en compte décrits dans ce qui suit :

7.2.1 Objets de la négociation

Ce sont les ressources négociées. Elles sont personnelles ou communes. Dans le cas présenté, ce sont des ressources communes (actions).

7.2.2 Primitives de négociation

Pour mener le processus de négociation à son terme, il est nécessaire de définir des primitives (messages) spécifiques au coordinateur et d'autres primitives spécifiques aux agents participants. Les tableaux 4.11 et 4.12 illustrent respectivement, les primitives du coordinateur et les primitives des participants.

| Primitive | Description |
|------------|--|
| CFP () | Le coordinateur envoie un message aux agents participants afin d'indiquer le début du processus de négociation. |
| PROPOSE () | Le coordinateur propose un contrat aux agents participants pour une ressource donnée. |
| CONFIRM () | Le coordinateur envoie un message à tous les agents pour les informer que la négociation a abouti et que la ressource a été trouvée. |

Tableau 4.12 : Les primitives du coordinateur.

| Primitive | Description |
|-----------|---|
| INFORM () | Après avoir établi le classement des actions de la meilleure à la moins bonne, chaque participant indique au coordinateur qu'il peut lui faire sa première proposition. |
| ACCEPT () | Le participant indique à l'initiateur qu'il accepte le contrat. |

Tableau 4.11 : Les primitives du participant.

| | |
|------------|---|
| CONCEED () | Le participant indique qu'il renonce à son droit de vote. |
| REFUSE () | Le participant indique que la proposition n'est pas acceptée. |

7.2.3 Le seuil de négociation

Le seuil de négociation est le taux à partir duquel la négociation est jugée comme réussite et s'arrête par ce fait. La valeur comparée au seuil est un pourcentage calculé à partir du nombre de participants ayant accepté la proposition sur le nombre total des participants.

Par exemple, si nous avons 4 décideurs et que seulement 3 d'entre eux ont accepté la proposition, alors on aura la valeur « $3/4 = 75\%$ », puis ce résultat est comparé au seuil, si ce résultat est inférieur au seuil proposé par l'initiateur, donc on passe au prochain tour avec une nouvelle proposition.

Les tours se poursuivent selon un processus itératif jusqu'à ce que le seuil soit atteint ou dépassé.

7.2.4 Les stratégies des agents

La stratégie de négociation n'est pas la même pour l'agent coordinateur et pour l'agent participant. Ainsi, il existe deux types de stratégies : des stratégies spécifiques au coordinateur et des stratégies spécifiques aux participants.

a) Stratégies du participant : Quatre stratégies sont associées à chaque agent participant pour lui permettre d'établir ses préférences, d'accepter un contrat, de concéder, de refuser ou d'accepter.

1. **Stratégie d'établissement des préférences :** chaque participant doit établir un classement des ressources de la meilleure à la moins bonne en fonction d'un certain nombre de critères, pour cela les participants invoquent et exploitent les avantages qu'offrent les deux méthodes multicritères d'aide à la décision AHP, PROMETHEE II.
2. **Stratégie de réponse avec valeur d'utilité :** la négociation se déroule en plusieurs tours, le protocole s'exécute jusqu'à ce qu'un accord soit trouvé. À chaque tour, les participants reçoivent une nouvelle proposition. Selon le classement de la proposition dans son vecteur de rangement, l'agent participant envoie une acceptation, un refus ou une concession.
 - **Stratégie d'acceptation :** un participant accepte la proposition reçue par l'initiateur si elle est classée dans la première moitié de son vecteur de préférence et que sa valeur d'utilité soit supérieure à celle envoyée par l'initiateur.
 - **Stratégie de concession :** les agents participants concèdent lorsque la proposition est classée dans la première moitié du vecteur de préférence et que la valeur d'utilité est inférieure à la valeur reçue par l'initiateur.
 - **Stratégie de refus :** les participants envoient un refus, lorsque la proposition est dans la seconde moitié de leur vecteur de rangement (préférence).
3. **Stratégie de réponse sans valeur d'utilité :** Pour la deuxième version du protocole, les participants doivent suivre les mêmes étapes que la première version, à l'exception de

l'étape de concession qui doit s'exécuter comme suit, le vecteur de rangement est divisé en trois parties et il répond selon les stratégies suivantes :

- **Stratégie d'acceptation** : les participants envoient une acceptation lorsque la proposition reçue par l'initiateur est placée dans la première moitié de leur vecteur de rangement.
- **Stratégie de concession** : les participants envoient un refus lorsque la proposition reçue de l'initiateur se trouve dans la deuxième partie du vecteur de rangement.
- **Stratégie de refus** : les participants envoient un refus lorsque la proposition reçue de l'initiateur se trouve dans la troisième partie du vecteur de rangement.

4. Stratégie de fin de négociation : dans ce protocole, la négociation se termine toujours avec succès. La négociation s'arrête à la réception du message CONFIRM () de la part de l'initiateur. L'agent participant enregistre la proposition retenue et envoie un message AGREE pour accuser réception à l'initiateur qu'il a bien reçu la décision de groupe.

b) Stratégie du coordinateur : les stratégies associées au coordinateur sont :

- 1. Stratégie de début de négociation** : Pour commencer la négociation, l'initiateur envoie un message REQUEST à tous les participants.
- 2. Stratégie de scorage des ressources** Après avoir envoyé le message REQUEST, l'initiateur se met en attente de la réception des messages INFORM contenant les vecteurs de préférences des participants. Après la réception de ces derniers, l'initiateur effectue un scorage des ressources pour générer un seul vecteur de préférence synthétisant ceux de tous les participants. En affectant un rang pour chaque action d'après son classement dans le vecteur.
- 3. Stratégie de la 1ère proposition** : Après avoir scoré à l'aide de la méthode Borda, ou de la méthode de Condorcet, l'initiateur génère un seul vecteur de préférence en triant les meilleures actions (celles qui ont le plus grand nombre de points) aux plus mauvaises (celles qui possèdent le plus petit nombre de points). Ensuite, l'initiateur propose comme première action celle la mieux classée à l'aide du message PROPOSE.
- 4. Stratégie d'évaluation** : Après avoir envoyé la 1ère proposition, l'initiateur attend les réponses des participants qui se matérialisent par l'acceptation, la concession ou bien le rejet de la proposition en question, et agit selon les réponses reçues, il évalue les réponses et génère un taux d'acceptation qui correspond au nombre de participants ayant accepté la proposition. Si le taux d'acceptation est supérieur au seuil de négociation, l'initiateur applique la stratégie d'arrêt de négociation, sinon si le taux est inférieur au seuil de négociation, alors il applique la stratégie de modification.
- 5. Stratégie de modification** Lorsque les participants n'ont pas été assez nombreux à accepter la proposition de l'initiateur, le contrat doit être modifié par l'initiateur pour le tour suivant. Sur la base des modifications envoyées par les participants au tour t, afin de trouver de nouvelles possibilités pour le contrat, l'initiateur appelle les méthodes Borda ou Condorcet pour modifier le contrat.

6. Stratégie de fin de négociation : si l'initiateur a épuisé toutes les actions identifiées au départ, il envoie comme action la proposition qui a obtenu la plus grande valeur d'utilité. Par conséquent, ce protocole de négociation est toujours déterministe et ne se termine jamais par un échec.

7.3 Modélisation du processus de négociation

Afin de représenter les interactions entre l'agent coordinateur et les agents participants, les auteurs dans [Hamdani et Hamdadou, 2019] ont opté pour une modélisation UML. (Unified Modeling Language). Les figures (4.11), (4.12) illustrent respectivement le diagramme UML le diagramme de cas d'utilisation et de séquences, du protocole de négociation proposé.

7.3.1 Diagramme de cas d'utilisation

Nous distinguons cinq (05) cas d'utilisation correspondant aux cinq étapes du protocole de négociation proposé : cas d'initialisation, cas de proposition, cas d'évaluation, cas de modification et cas de décision finale. La figure 4.11 illustre le diagramme de cas d'utilisation du protocole de négociation.

Chaque étape correspond à un cas d'utilisation. En effet :

1. L'étape initialisation correspond à l'établissement des préférences.
2. L'étape proposition correspond à l'établissement de la proposition.
3. L'étape évaluation correspond à l'évaluation des réponses qui peuvent être une acceptation, une concession, ou un refus.
4. A la suite de l'étape d'évaluation, soit une décision est prise,
5. Sinon on passe à l'étape de modification et retour à l'étape de proposition.

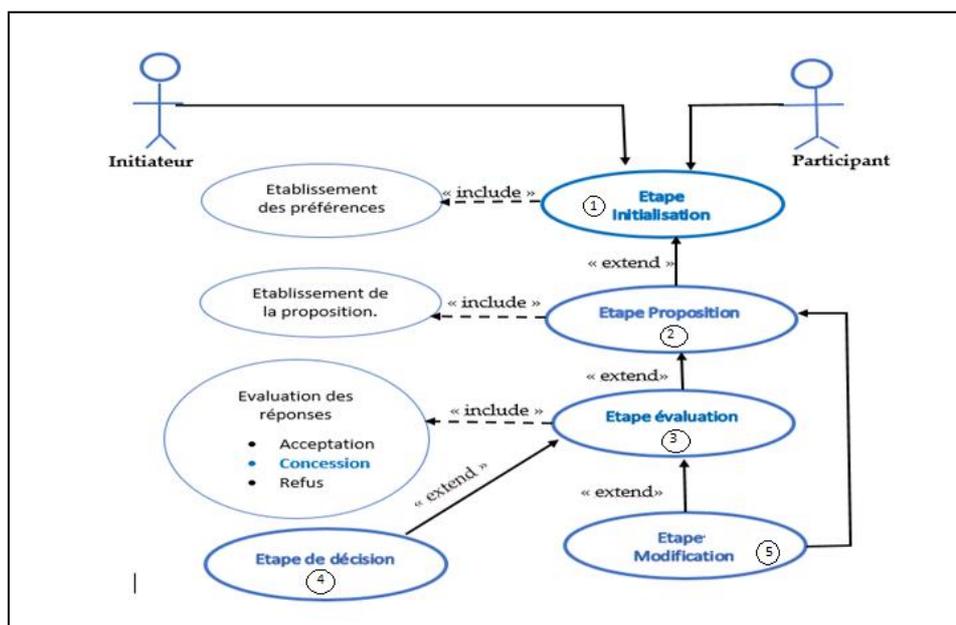


Figure 4.11 : Diagramme de cas d'utilisation du protocole de négociation proposé.

7.3.2 Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence documente les interactions à mettre en œuvre entre les classes pour réaliser un résultat, tel qu'un cas d'utilisation. UML étant conçu pour la programmation orientée objet, ces communications entre les classes sont reconnues comme des messages. Nous montrons dans la figure 4.12, les interactions ou les messages entre l'initiateur et le participant.

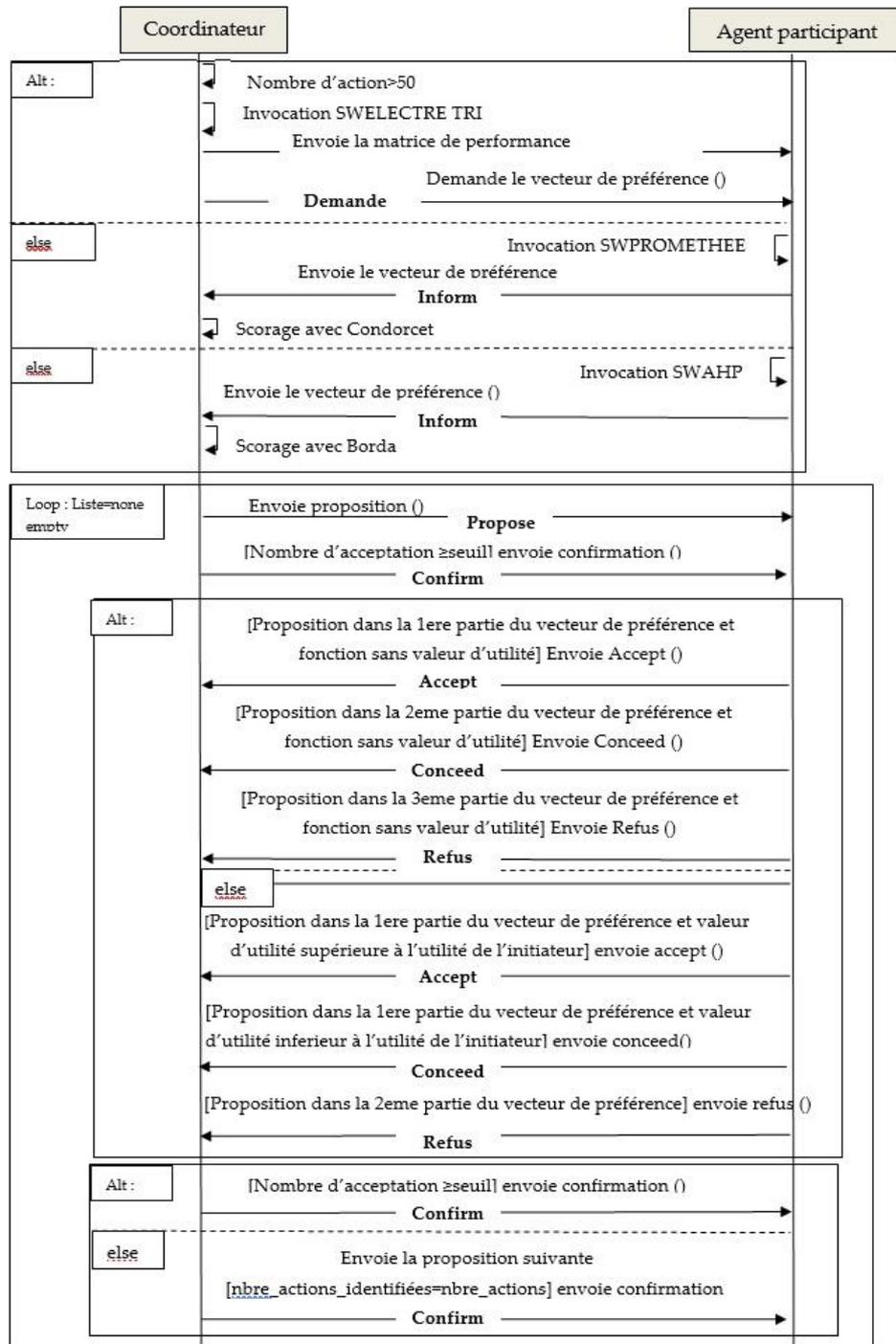


Figure 4.12 : Diagramme de séquence du protocole proposé.

8. Démarche décisionnelle adoptée par Web_GDSS

L'activité d'aide à la décision dans ce contexte concerne des problèmes multiformes combinant des services Web, des participants multiples, des méthodes de vote et des aspects multicritères qui sont au cœur du déroulement du processus de négociation.

En s'inspirant du modèle décisionnel proposé dans [Hamdadou, 2008], Web-GDSS peut être utilisé en deux étapes principales : la structuration du modèle décisionnel et l'exploitation (phase opérationnelle) du modèle décisionnel.

8.1 Structuration du modèle de décisionnel

Cette étape vise à identifier le problème et les choix fondamentaux sur la façon d'aborder et à formaliser trois éléments de base de la situation décisionnelle :

- **Identifier les actions (ressources)** : l'identification de toutes les actions potentielles est une étape très importante de toute approche d'aide à la décision, en particulier lorsque la méthode d'analyse multicritères est précédée d'une agrégation partielle.
- **Identifier les critères** : la liste des critères obtenus en agrégeant les facteurs correspondants (sous-critères) doit être aussi complète que possible. Ces critères doivent être liés aux contraintes et objectifs utilisés dans les activités de production.
- **Identifier les décideurs** : le décideur fait référence à une entité concrète localisée (dans un contexte). C'est une unité de décision individuelle ou collective qui peut allouer des ressources, des objectifs et des stratégies. La multiplicité des décideurs rend la négociation difficile.
- **Modéliser les décideurs** : chaque décideur est modélisé sous forme d'un agent auquel est associé un poids exprimant son importance dans le groupe de décision en lui associant les paramètres subjectifs.

8.2 Exploitation du modèle décisionnel

Cette étape opère en deux phases :

- **Phase de test** : A cette étape, le nombre d'actions que contient la matrice et la présence ou non d'une matrice de performances sont pris en compte afin de déterminer quelle est la méthode multicritère, les participants devront invoquer, afin d'établir leur propre vecteur de préférences.
- **Phase du protocole de négociation** : à cette étape l'initiateur effectue le scoring des vecteurs de préférences reçus par les participants. Après plusieurs tours de négociation, les agents participants parviennent à un consensus qui satisfait la majorité des parties et génère l'accord final.

La figure 4.13 illustre la démarche globale du système développé décrivant le processus d'aide à la décision proposé.

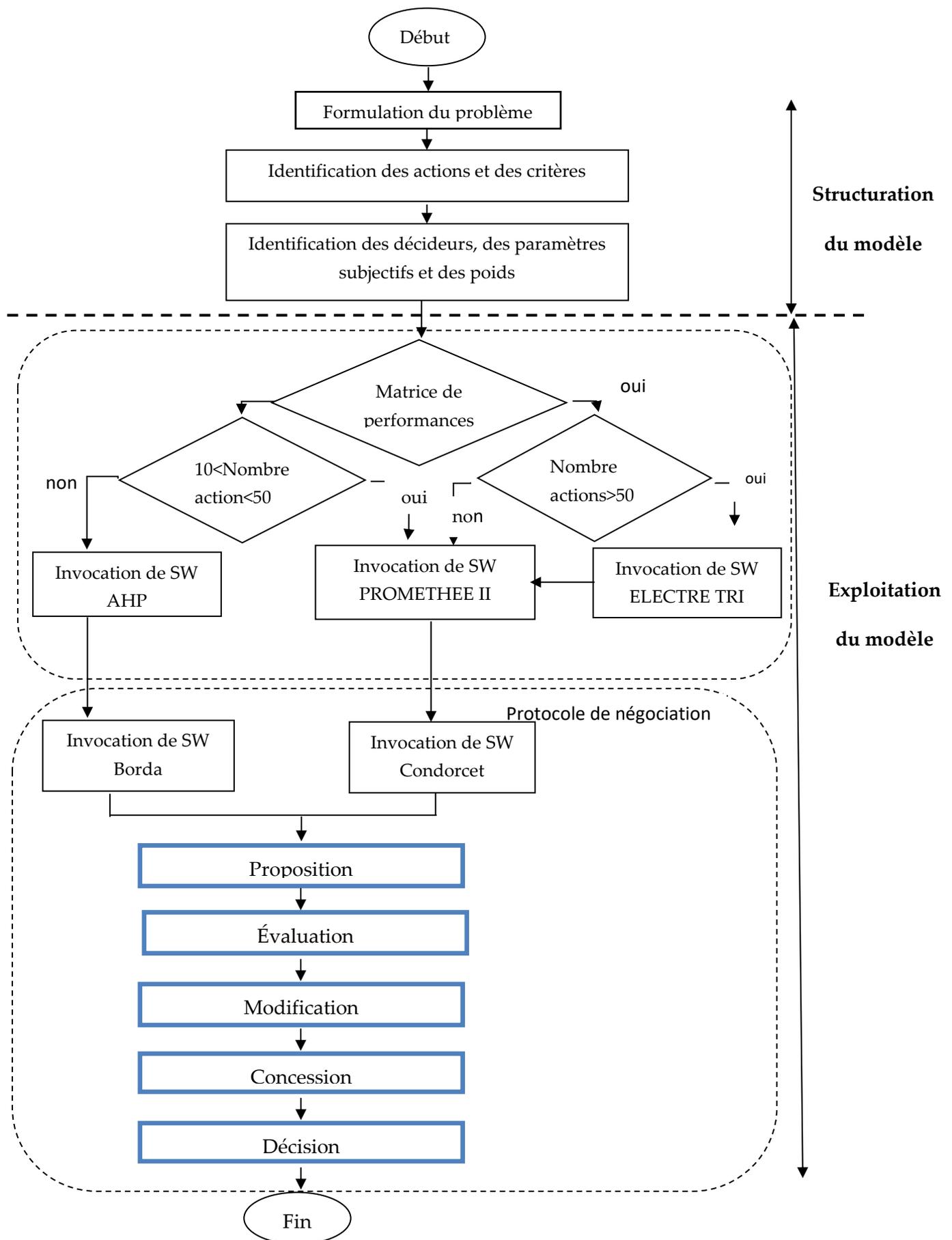


Figure 4.13 : Démarche décisionnelle adoptée par Web-GDSS.

9. Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté nos contributions qui portent sur la proposition d'un modèle de processus décisionnel multidécideurs et multicritères afin d'arriver à un consensus commun.

Les principaux concepts intégrés dans le processus décisionnel associé à notre Web-GDSS sont :

- Le système SMA vise à représenter la multiplicité des différents décideurs et leurs diversités.
- Les services web, permettent de retrouver les décideurs associés à la problématique et d'invoquer les méthodes multicritères adéquates.
- Les méthodes multicritères qui permettent de représenter les préférences des décideurs.
- Le protocole de négociation basé sur la concession permet de gérer la négociation et d'arriver après plusieurs tours à une décision acceptable par tout le groupe, le protocole est muni de deux approches l'une est fondée sur l'utilisation de la valeur d'utilité et l'autre sans valeurs d'utilité.
- Les méthodes de vote permettent, à la suite de l'utilisation des méthodes d'analyse multicritères, de sélectionner un choix et de le proposer au groupe de décideurs.

Le chapitre suivant est consacré à une étude d'un cas réel traduisant un problème décisionnel suivie d'une discussion des résultats obtenus.

Chapitre V

Mise en œuvre du Web-GDSS

Dans ce chapitre nous détaillons la démarche décisionnelle menée sur deux cas réels. Les résultats obtenus feront l'objet d'analyses et de discussions détaillées.

Chapitre V

Mise en œuvre du Web-GDSS

| | | |
|-------|--|-----|
| 1. | Introduction..... | 110 |
| 2. | Technologies utilisées | 111 |
| 2.1 | NetBeans IDE 8.1 | 111 |
| 2.2 | Tomcat..... | 111 |
| 2.3 | MySQL | 111 |
| 2.4 | JUDDI..... | 111 |
| 2.5 | La plateforme JADE | 112 |
| 2.5.1 | L'architecture de la plateforme JADE..... | 112 |
| 2.5.2 | Outils de contrôle et de débogage..... | 113 |
| 2.5.3 | Agent RMA..... | 113 |
| 2.5.4 | Agent Dummy | 113 |
| 2.5.5 | Agent Sniffer | 114 |
| 3. | Les services Web..... | 114 |
| 3.1 | Gestion des services Web | 114 |
| 3.2 | WSDL des méthodes multicritères..... | 115 |
| 4. | Etudes de cas : résultats expérimentaux | 117 |
| 4.1 | Phase de formulation du problème décisionnel 1 | 118 |
| 4.2 | Phase d'exploitation du modèle | 123 |
| 4.2.1 | Simulation du processus de négociation..... | 124 |
| 4.2.2 | Interprétation des échanges de messages par les agents | 128 |
| 4.3 | Phase de formulation du problème décisionnel 2 | 129 |
| 4.4 | Phase d'exploitation du modèle | 131 |
| 4.4.1 | Simulation du processus de négociation..... | 131 |
| 4.4.2 | Interprétation des échanges de messages par les agents | 133 |
| 5. | Conclusion..... | 136 |

1. Introduction

Les systèmes d'aide à la décision sont présents dans de nombreux domaines. Leur but est de résoudre des problèmes liés à des situations plus ou moins complexes à différents niveaux de la société : politique (Maire, Ministre, Député, etc.), économique (Directeur général, Manager, etc.), administratif (Directeur d'école, Chef de service, etc.).

Le but de cette étude est l'élaboration d'un système d'aide multicritères à décision de groupe générique (Web-GDSS). Selon le modèle décisionnel que nous proposons, le système Web-GDSS passe par deux principales phases, à savoir la phase de structuration du problème décisionnel et la phase d'exploitation du modèle décisionnel.

Dans ce chapitre, deux études de cas sont réalisées et discutées afin de valider notre système suivi de la présentation et de la discussion des résultats obtenus lors de l'expérimentation.

2. Technologies utilisées

Le développement de modules multi agents étant un problème complexe, il est plus judicieux d'utiliser une plateforme multi agents existante pouvant être adaptée à nos besoins. La plateforme JADE a été choisie pour servir de base au module multi agents. Les agents sont guidés par leurs rôles et leurs spécificités.

Pour implémenter et stocker les informations des services Web, nous avons utilisé le serveur apache et le registre UDDI version juddi-distro-3.3.4. La mise en œuvre du système proposé a donc nécessité l'utilisation d'un environnement de développement "un IDE NetBeans". Dans ce qui suit, nous détaillons les différents outils exploités dans le développement du système d'aide à la décision :

2.1 NetBeans IDE 8.1

C'est un environnement de développement et d'intégration de logiciels (IDE), le langage utilisé est Java. L'IDE nous permet d'intégrer principalement JUDDI et de programmer les services Web en Java et d'intégrer la plateforme JADE.

2.2 Tomcat

Tomcat est un serveur d'application pour l'utilisation de servlets, de fichiers jsp et de java. Le rôle du serveur web est de recevoir les requêtes du client et de les traiter pour ensuite lui envoyer une réponse.

2.3 MySQL

MySQL représente la base de données supportant l'annuaire jUDDI et la base de données où les informations relatives aux décideurs sont stockées.

2.4 JUDDI

JUDDI est une implémentation Java open source d'OASIS de l'annuaire UDDI (Universal Description, Discovery, and Integration). JUDDI gère le transport des données XML grâce à Axis et il est considéré, principalement, comme un moteur SOAP. Il tourne par ailleurs sur le serveur Tomcat. Les caractéristiques du JUDDI sont [Net 7] :

- Open source,
- Indépendante de la plateforme,
- Utilisée avec toute base de données relationnelle prenant en charge la norme ANSI SQL (MySQL, Oracle, DB2, Sybase, Derby, etc.),
- Déployable sur tout serveur d'applications Java prenant en charge la spécification Servlet 2.3....

La figure 5.1 [Net 7] illustre les différentes options de déploiement que JUDDI offre en termes de choix de conteneur et de base de données, de fournisseurs JPA et JAXWS et de protocoles de connexion.

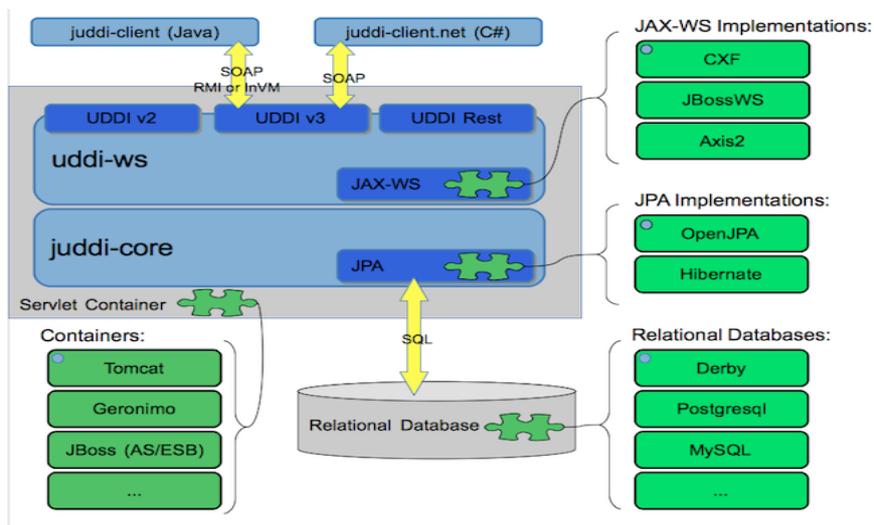


Figure 5.1 : Architecture JUDDI.

2.5 La plateforme JADE

Jade est une plateforme logicielle ou un framework implémenté en java et permettant le développement et la gestion de SMA en respectant des normes FIPA. Il est open source depuis 2000 et est distribué sous la licence LGPL (Library Gnu Public Licence). Sa conformité aux normes de la FIPA exige de lui de disposer principalement [Bellifemine et al., 2007] :

- d'un canal de communication entre agents (ACC, Agent Communication Channel) ;
- d'un système de gestion des agents (AMS, Agent Management System) ;
- d'un annuaire facilitateur ou page jaune (DF, Directory Facilitator) ;
- du support du langage de communication FIPA-ACL.

2.5.1 L'architecture de la plateforme JADE

JADE est composée d'un environnement d'exécution des agents (Runtime Environment) qui héberge les agents, d'une librairie de classes pour faciliter la mise en œuvre de SMA, et d'une suite d'outils graphiques pour une meilleure gestion et supervision de la plateforme des agents. JADE garantit une interopérabilité transparente et une compatibilité totale avec toutes plates-formes JADE et propose une bibliothèque de protocoles d'interaction facilitant au programmeur l'implémentation d'agents interactifs. La figure 5.2 illustre l'architecture d'une plateforme JADE. Elle est composée d'un ensemble de conteneurs qui sont des instances JADE. Ces conteneurs peuvent être sur la même machine, comme elles peuvent être réparties sur plusieurs machines d'un réseau. Chaque instance ou conteneur peut héberger/contenir plusieurs agents. Le Main Container (MC) a en charge la gestion de la table des conteneurs enregistrés (CT), la gestion de la table de description globale des agents (GADT),

l'hébergement de l'AMS et du DF. En effet, le MC, au-delà des autres agents qu'il peut héberger, contient toujours deux agents spéciaux AMS et DF qui sont lancés automatiquement à son démarrage. Chaque conteneur dispose localement d'une table locale de description de ces agents (LADT). L'AMS fournit un service de nommage unique et supervise la gestion du cycle de vie des agents (création, attente, destruction, etc.). Chaque agent, à sa création, doit s'enregistrer à son niveau pour obtenir un identifiant unique et valide qui lui servira d'authentifiant lors de ses accès et utilisations du système.

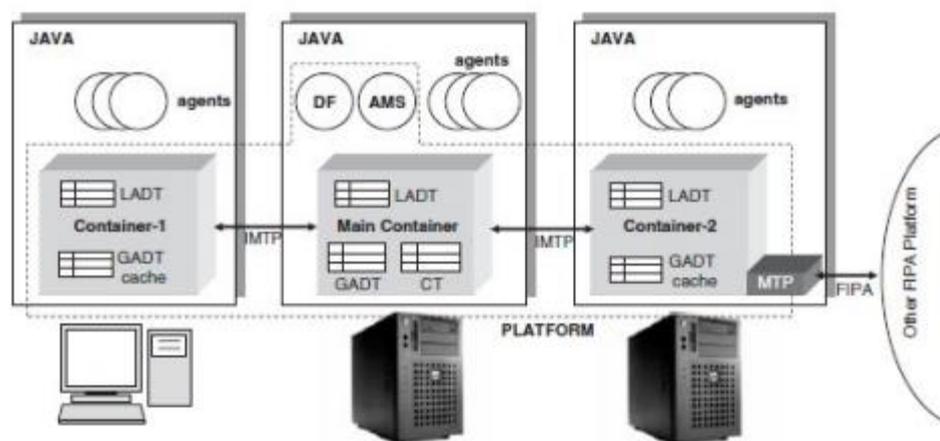


Figure 5.2 : Architecture d'une plateforme JADE.

2.5.2 Outils de contrôle et de débogage

Les applications multi agents sont, en général, très compliquées. Elles sont souvent distribuées sur plusieurs hôtes avec plusieurs conteneurs et agents, elles sont aussi dynamiques dans le sens où les agents apparaissent, disparaissent, et migrent d'un conteneur à un autre. Tout cela rend le contrôle et le débogage une tâche fastidieuse pour le programmeur. JADE offre plusieurs outils graphiques qui simplifient considérablement le travail du programmeur, on trouve entre autres :

2.5.3 Agent RMA

Le RMA (Remote Management Agent) permet de contrôler le cycle de vie de la plate-forme et tous les agents qui la composent. Plusieurs RMA peuvent être lancés sur la même plate-forme du moment qu'ils ont des noms distincts.

2.5.4 Agent Dummy

L'outil DummyAgent permet aux utilisateurs d'interagir avec les agents d'une façon particulière. L'interface permet la composition et l'envoi de messages ACL et maintient une liste de messages ACL envoyés et reçus. Cette liste peut être examinée par l'utilisateur et chaque message peut être vu en détail ou même édité. Plus encore, le message peut être sauvegardé sur le disque et renvoyé plus tard.

2.5.5 Agent Sniffer

Quand un utilisateur décide d'épier un agent ou un groupe d'agents, il utilise un agent Sniffer. Chaque message partant ou allant vers ce groupe est capté et affiché sur l'interface du sniffer. L'utilisateur peut voir et enregistrer tous les messages, pour éventuellement les analyser plus tard. L'interface de l'agent Sniffer est illustrée par la figure 5.3.

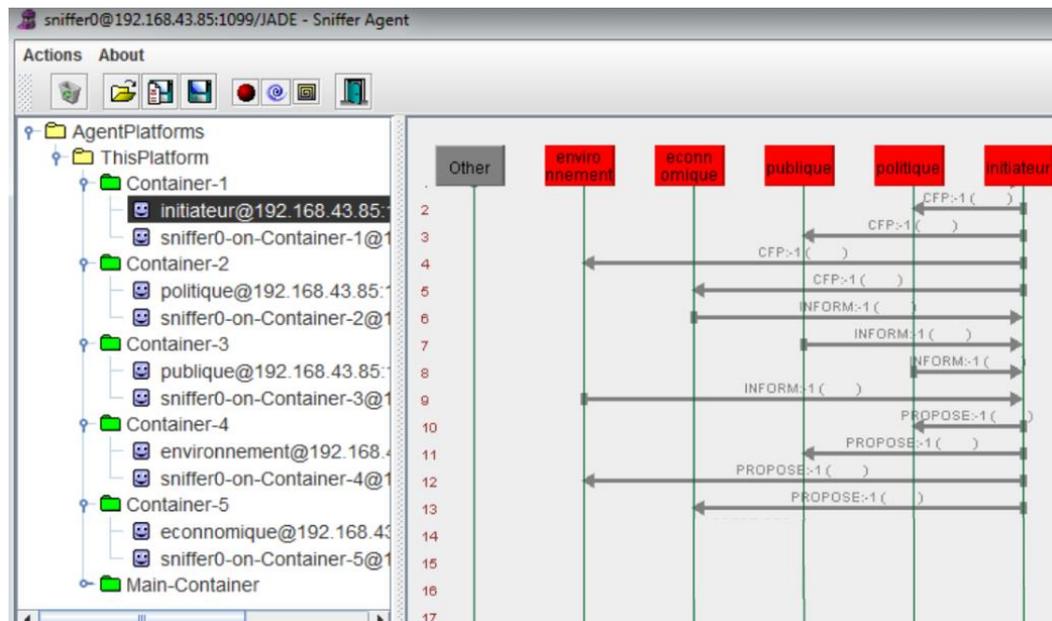


Figure 5.3 : L'interface de l'agent Sniffer.

3. Les services Web

Etant donné que les services Web sont un ensemble de méthodes, nous présentons dans ce qui suit les méthodes de gestion des services Web, tous les services présentés dans le chapitre précédent sont gérés par les mêmes méthodes. Dans la section 3.2, nous présentons un fichier WSDL généré par le service Web de la méthode ELECTRE TRI, AHP et PROMETHEE II.

3.1 Gestion des services Web

Les principales méthodes (opérations) permettant de gérer les services sont les suivantes [Zribi, 2014] et [Hamdani et Hamdadou, 2019] :

- PublishService () : le fournisseur publie un service Web dans le registre UDDI à partir de la description WSDL de services grâce à son URL.
- Liste <ServiceId> RechercherServices () : rechercher une liste d'identifiants (id) de services,
- Service findService (idService) : obtenir la description de services (WSDL) à partir de l'identifiant demandé.

Ces méthodes permettent de gérer l'ensemble des services Web cités dans le chapitre IV.

La figure 5.4 illustre les principales méthodes de gestion des services Web. Les agents représentent, l'agent initiateur ainsi que les agents participants.

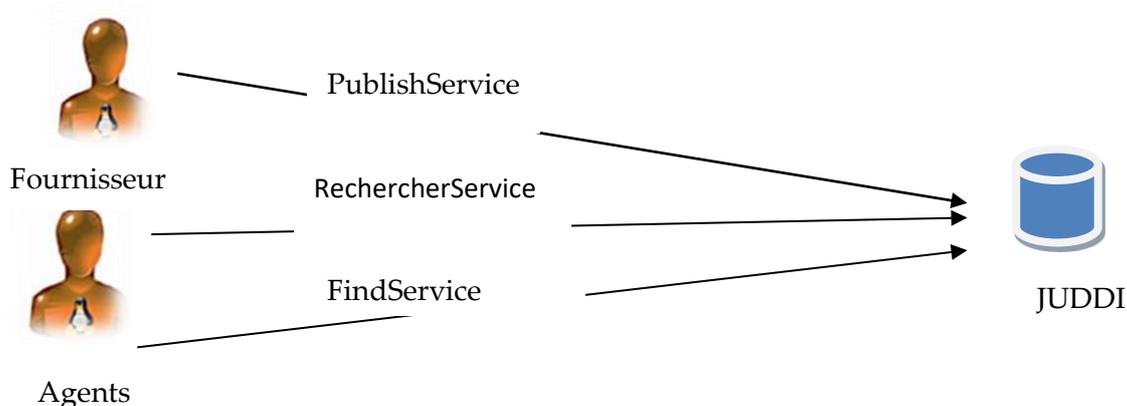


Figure 5.4 : Les principales méthodes de gestion des services Web.

3.2 WSDL des méthodes multicritères

Une fois le service Web de la méthode ELECTRE TRI créé, un fichier WSDL est généré automatiquement, cela nous permet d'avoir toutes les informations non fonctionnelles du service Web. La figure 5.5 illustre le WSDL de la méthode ELECTRE TRI.

```

http://localhost:8090/MethodsWebServiceServer/services/ElectreTriClass?wsdl
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<wsdl:definitions targetNamespace="http://ahp.ilyes.com" xmlns:soap12="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap12/"
xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/" xmlns:mime="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/mime/"
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:http="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/http/"
xmlns:wsaw="http://www.w3.org/2006/05/addressing/wsdl" xmlns:ns="http://ahp.ilyes.com" xmlns:ns1="http://org.apache.axis2/xsd"
xmlns:wSDL="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/">
<wsdl:documentation> Please Type your service description here </wsdl:documentation>
<wsdl:types>
<xs:schema targetNamespace="http://ahp.ilyes.com" elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="qualified">
<xs:element name="ElectreTriMethod">
<xs:complexType>
<xs:sequence>
<xs:element name="performancesS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="poidsS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="prefs" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="indifs" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="vetoS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="actionsS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="criteresS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="profilsS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="na" type="xs:int" minOccurs="0"/>
<xs:element name="nc" type="xs:int" minOccurs="0"/>
<xs:element name="np" type="xs:int" minOccurs="0"/>
<xs:element name="landa" type="xs:float" minOccurs="0"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="ElectreTriMethodResponse">
<xs:complexType>
<xs:sequence>
<xs:element name="return" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>
</wsdl:types>

```

Figure 5.5 : WSDL de la méthode ELECTRE TRI.

Le WSDL d'un service Web contient des informations dont les plus importantes sont :

- Son URL, c'est-à-dire comment le joindre, comme illustré dans la figure 5.6, l'URL est

<http://localhoste:8090/MethodeWebServer/ElectreTriClass?WSDL>. Le WSDL indique que l'URL est celle du fichier WSDL.

- Les paramètres d'entrées de la méthode, dans la figure 4.5, sont listés entre les balises `<wsdl:types>`, parmi les paramètres d'entrées les plus pertinents, on retrouve :
 - **PerformancesS** : la matrice des performances.
 - **PoidsS** : le vecteur des poids des critères.
 - **ActionsS** : le vecteur des actions.
 - **CritèresS** : le vecteur des critères.
 - **Na** : le nombre d'actions.
 - **Nc** : le nombre de critères.
 - **VetoS** : Le seuil de veto.
 - **Indifs** : le seuil d'indifférence
 - **PrefS** : le seuil de préférence
 - Les actions de référence.

Et en dernier, le type de retour du résultat, se trouve sous la balise « ElectreTriMethodResponse ». Les mêmes entrées sont attribuées à la méthode PROMETHEE II.

La figure 5.6 illustre le WSDL de la méthode PROMETHEE II. Son URL est <http://localhoste:8090/MethodeWebServer/PROMETHEEClass?WSDL>. Le type de retour du résultat, se trouve sous la balise PrometheeMethodResponse

```

xmlns:wsdl = http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/ >
<wsdl:documentation> Please Type your service description here </wsdl:documentation>
- <wsdl:types>
  - <xs:schema targetNamespace="http://ahp.ilyes.com" elementFormDefault="qualified"
    attributeFormDefault="qualified">
    - <xs:element name="PrometheeMethod">
      - <xs:complexType>
        - <xs:sequence>
          <xs:element name="performancesS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="poidsS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="prefS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="indifs" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="vetoS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="actionsS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="criteresS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="profilsS" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="na" type="xs:int" minOccurs="0"/>
          <xs:element name="nc" type="xs:int" minOccurs="0"/>
        </xs:sequence>
      </xs:complexType>
    </xs:element>
    - <xs:element name="PrometheeMethodResponse">
      - <xs:complexType>
        - <xs:sequence>

```

Figure 5.6 : WSDL de la méthode PROMETHEE II.

Le WSDL du service Web AHP contient :

- Son URL :

<http://localhoste:8090/MethodeWebServer/AHPClass?WSDL>. Le WSDL indique que l'url est celle du fichier WSDL.

- Les paramètres d’entrées de la méthode AHP, sont listés entre les balises `<wsdl:types>`, parmi les paramètres d’entrées, on retrouve :
 - `na_local` : nombre d’actions.
 - `Nc_local` : nombre de critères.

Et en dernier, le type de retour du résultat, se trouve sous la balise `AHPMethodResponse`. La figure 5.7 illustre le WSDL de la méthode AHP.

```

xmlns:wsdl="http://www.w3.org/2003/05/soap/wsdl/" xmlns:ahp="http://ahp.ilyes.com"
xmlns:wsdl="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
<wsdl:documentation> Please Type your service description here </wsdl:documentation>
- <wsdl:types>
- <xs:schema targetNamespace="http://ahp.ilyes.com" elementFormDefault="qualified"
  attributeFormDefault="qualified">
- <xs:element name="AHPMethod">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
<xs:element name="actions" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
<xs:element name="criterians_values_local" type="xs:string" nillable="true"
  minOccurs="0"/>
<xs:element name="actions_values_local" type="xs:string" nillable="true"
  minOccurs="0"/>
<xs:element name="na_local" type="xs:int" minOccurs="0"/>
<xs:element name="nc_local" type="xs:int" minOccurs="0"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
- <xs:element name="AHPMethodResponse">
- <xs:complexType>
- <xs:sequence>
<xs:element name="return" type="xs:string" nillable="true" minOccurs="0"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>

```

Figure 5.7 : WSDL de la méthode AHP.

4. Etudes de cas : résultats expérimentaux

Afin de mettre en œuvre le système de décision de groupe, plusieurs expérimentations ont été réalisées.

Nous présentons, dans ce qui suit, deux études de cas de simulation afin de soutenir la méthodologie proposée en utilisant les outils et les données disponibles. Les problèmes décisionnels abordés ont été largement traités au sein de l’équipe de recherche « modélisation spatio temporelle et vision artificielle : du capteur à la décision » du laboratoire LIO dirigée par HAMDADOU.

Nous souhaitons valider notre proposition en testant notre Web-GDSS sur une région existante à l’aide de données réelles. Deux problèmes décisionnels sont traités pour valider notre proposition, à savoir :

1. **Problème décisionnel 1** : La sélection de la zone la plus appropriée pour la construction d’une habitation.
2. **Problème décisionnel 2** : La sélection d’un site parmi plusieurs pour l’implantation d’un secteur sanitaire.

4.1 Phase de formulation du problème décisionnel 1

1. Identification des actions : La première zone d'étude est située dans le canton de Vaud, à environ 15 km au nord de Lausanne, couvrant une superficie de 52 500 km². Les limites géographiques dans le système de coordonnées suisse sont 532 750-532 500 m et 158 000-164 000 m. Pour le choix de cette région, on s'est inspiré des travaux de [Joerin, 1998], [Hamdadou et Bouamrane, 2016]. Pour cette étude de cas, 650 actions sont proposées, résultantes essentiellement du grand nombre de données spatiales mis à disposition.

2. Identification des critères : Dans la première étude, une famille de critères est prise en compte pour sélectionner l'ilot le plus approprié. La première étape consiste à identifier les facteurs qui influencent l'aptitude des terrains à l'habitation afin d'élaborer une liste de critères. Cette identification s'appuie principalement sur d'autres études liées au territoire et s'appuie sur l'approche proposée par [Hamdadou et Bouamrane, 2016]. Pour notre application, sept critères sont identifiés, à savoir : nuisances, bruit, impacts, géotechnique et risques naturels, climat, accessibilité et équipements pour l'adéquation du territoire pour l'habitat. Le tableau 5.1 illustre les différents critères pris en compte dans cette étude.

| Critères | Type | Echelle | Facteurs associés | Méthode d'évaluation |
|----------------------------------|------------|-----------|---|--------------------------|
| Nuisances | Naturel | [0,1] | Pollutions atmosphériques, odeurs. | Attribution d'une note |
| Bruit | Social | [0,1] | Autoroutes, routes, chemins de fer. | Attribution d'une note |
| Impacts | Social | {0,...,6} | Eaux souterraines, plan sectoriel: sites et contraintes naturelles, paysages à protéger, Forêts | Attribution d'une note |
| Géotechnique et risques naturels | Naturel | {0,...,6} | Glissements de terrain | Analyse spatial |
| Équipements | Economique | [0.2244] | Distance aux équipements : gaz, électricité, eaux, routes | Consultation des experts |
| Accessibilité | Social | [0.15] | Durée moyenne des trajets entre le domicile et le lieu de travail | Consultation des experts |
| Climat | Naturel | [0,1] | Ensoleillement, brouillard, température | Attribution d'une note |

Tableau 5.1 : Identification des critères.

3. **Identification des différents décideurs** : Quatre décideurs sont principalement impliqués dans le problème décisionnel [Hamdadou et Bouamrane, 2016], tel que :

- **Décideur 1** : représentant de l’environnement.
- **Décideur 2** : politicien.
- **Décideur 3** : économiste.
- **Décideur 4** : publique.

Les préférences exprimées par les décideurs à travers des paramètres subjectifs (poids des critères, seuils de préférence, seuils d’indifférence, seuils de veto, poids des décideurs), par chacun des décideurs, respectivement sont résumés dans les tableaux (5.2, 5.3, 5.4, 5.5), ceci afin de résoudre la première problématique construction d’un habitat.

| Paramètres Décideur 1 | Nuisances | Bruit | Impacts | Géotechnique | Equipement | Accessibilité | Climat |
|--------------------------|-----------|-------|---------|--------------|------------|---------------|--------|
| Poids | 7.51 | 13.63 | 13.63 | 13.63 | 17.2 | 17.2 | 17.2 |
| Indifférence | 0.3 | 0.3 | 0 | 55 | 5 | 0.3 | 0.3 |
| Préférence | 0.6 | 0.6 | 0 | 110 | 10 | 0.6 | 0.6 |
| Veto | 1 | 0.8 | 0 | 220 | 20 | 1.2 | 1.5 |

Tableau 5.2 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 1.

| Paramètres Décideur 2 | Nuisances | Bruit | Impacts | Géotechnique | Equipement | Accessibilité | Climat |
|--------------------------|-----------|-------|---------|--------------|------------|---------------|--------|
| Poids | 17.38 | 29.4 | 6.16 | 6.16 | 6.16 | 17.38 | 17.38 |
| Indifférence | 0.25 | 0.3 | 0.15 | 45 | 3 | 0.25 | 0.25 |
| Préférence | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 90 | 6 | 0.5 | 0.5 |
| Veto | 1 | 1.2 | 0.6 | 180 | 12 | 1 | 1 |

Tableau 5.3 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 2.

| Paramètres Décideur 3 | Nuisances | Bruit | Impacts | Géotechnique | Equipement | Accessibilité | Climat |
|--------------------------|-----------|-------|---------|--------------|------------|---------------|--------|
| Poids | 4.96 | 7.08 | 17.31 | 18.93 | 18.93 | 17.52 | 15.27 |
| Indifférence | 0.35 | 0.35 | 0.3 | 5 | 4 | 0.5 | 0.35 |
| Préférence | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 100 | 8 | 1 | 0.7 |
| Veto | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 200 | 16 | 2 | 1.4 |

Tableau 5.4 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 3.

| Paramètres Décideur 4 | Nuisances | Bruit | Impacts | Géotechnique | Equipement | Accessibilité | Climat |
|-----------------------|-----------|-------|---------|--------------|------------|---------------|--------|
| Poids | 6.15 | 19.57 | 13.79 | 13.79 | 13.79 | 16.45 | 16.45 |
| Indifférence | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 30 | 2 | 0.15 | 0.2 |
| Préférence | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 60 | 4 | 0.6 | 0.4 |
| Veto | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 120 | 8 | 0.6 | 0.8 |

Tableau 5.5 : Paramètres subjectifs exprimés par le décideur 4.

- **Poids** : est le nombre j , $\{j = 1, 2, \dots, m\}$, (m pour le nombre de critères) désigne pour chaque critère, en fonction de son importance par rapport aux autres critères.
- **Seuils** : les seuils de préférence et d'indifférence p_j et q_j sur le critère j .
- **Le seuil de veto** v_j .

4. Création des agents : Le développement d'un SMA est une tâche assez complexe qui requiert un environnement très important. A cet effet, nous optons pour l'utilisation d'une plateforme multiagents existante que nous adaptons à nos besoins. Notre choix s'est porté sur la plateforme SMA JADE (Jade Agent DEvelopment framework). Deux types d'agents sont alors créés :

- L'agent initiateur responsable du bon déroulement de la négociation,
- Les agents participants concernées ou non par la décision.

5. Authentification du décideur : Les décideurs sont identifiés et enregistrés dans une base de données via un service Web. Les agents sont créés simultanément lorsque les décideurs sont enregistrés, la figure 5.8 illustre l'interface d'authentification des décideurs. Par la suite, chaque décideur connecté est recherché par l'initiateur sur le Web à l'aide de service Web vu dans le chapitre précédant. Dans la présente étude, les différents décideurs impliqués dans la décision du groupe sont :

- **Décideur 1** : représentant de l'environnement.
- **Décideur 2** : politicien.
- **Décideur 3** : économiste.
- **Décideur 4** : représentant du public.

Chaque décideur est modélisé par un agent, la génération d'agents est réalisée à l'aide de la plateforme JADE. Nous attribuons à chaque agent participant, un identifiant, un mot de passe, une adresse mail, un rôle, le domaine sur lequel les intervenants peuvent agir, le poids exprimant son importance dans le processus de négociation et sa fonction telle que : représentant de l'environnement, homme politicien, économiste et publique.

Outre ces informations, le système attribue à chaque agent une adresse à rechercher. Les agents participants invoquent le service Web WSRparticipant pour enregistrer leurs informations dans la base de données et invoquent un service Web pour enregistrer les paramètres subjectifs. La figure 5.9 illustre les paramètres subjectifs de chaque agent.

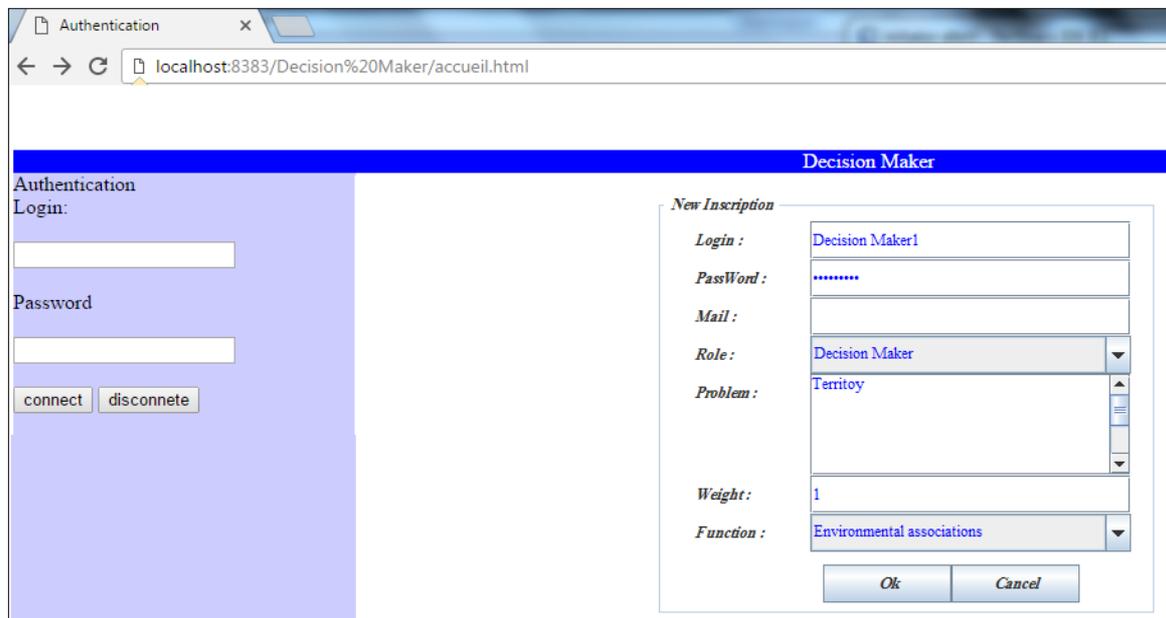


Figure 5.8 : Authentification des décideurs.

| Subjective parameters Decision makers 1 | | | | | | | |
|---|------|-------|---------|---------|------------|------------|---------|
| Subjective | Harm | Noise | Impacts | Geotech | Equipments | accebility | Climate |
| weights | 6.15 | 19.57 | 13.79 | 13.79 | 13.79 | 16.45 | 16.45 |
| Indifference Threshold | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 30 | 2 | 0.15 | 0.2 |
| Preference Threshold | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 60 | 4 | 0.6 | 0.4 |
| Veto Threshold | 0.80 | 0.8 | 0.4 | 120 | 8 | 0.6 | 0.8 |

The political agent

| Subjective parameters Decision makers 2 | | | | | | | |
|---|------|-------|---------|---------|------------|------------|---------|
| Subjective | Harm | Noise | Impacts | Geotech | Equipments | accebility | Climate |
| weights | 7.51 | 13.63 | 13.63 | 13.63 | 17.2 | 17.2 | 17.2 |
| Indifference Threshold | 0.3 | 0.3 | 0.0 | 55.0 | 5.0 | 0.3 | 0.3 |
| Preference Threshold | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 110 | 10.0 | 0.6 | 0.6 |
| Veto Threshold | 1.0 | 0.8 | 0.0 | 220.0 | 20.0 | 1.2 | 1.5 |

The public agent

| Subjective parameters Decision makers 3 | | | | | | | |
|---|-------|-------|---------|---------|------------|------------|---------|
| Subjective | Harm | Noise | Impacts | Geotech | Equipments | accebility | Climate |
| weights | 17.38 | 29.4 | 6.16 | 6.16 | 6.16 | 17.38 | 17.38 |
| Indifference Threshold | 0.25 | 0.3 | 0.15 | 45.0 | 0.25 | 3.0 | 0.25 |
| Preference Threshold | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 90.0 | 6.0 | 0.5 | 0.5 |
| Veto Threshold | 1.0 | 1.2 | 0.6 | 180.0 | 12.0 | 1.0 | 1.0 |

The economic agent

| Subjective parameters Decision makers 4 | | | | | | | |
|---|------|-------|---------|---------|------------|------------|---------|
| Subjective | Harm | Noise | Impacts | Geotech | Equipments | accebility | Climate |
| weights | 4.96 | 7.08 | 17.31 | 18.93 | 18.93 | 17.52 | 15.27 |
| Indifference Threshold | 0.35 | 0.35 | 0.3 | 5.0 | 0.5 | 4.0 | 0.35 |
| Preference Threshold | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 100.0 | 8.0 | 1.0 | 0.7 |
| Veto Threshold | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 200.0 | 16.0 | 2.0 | 1.4 |

The protection environment agent

Figure 5.9 : Les paramètres subjectifs de chaque agent.

6. Recherche des agents participants : Lors de la phase de recherche des agents participants, l'initiateur appelle le service Web WSFparticipant à partir du registre UDDI. Le service Web WSFparticipant retrouve les agents participants à partir de la base de données. Cette recherche est basée sur plusieurs critères tels que le poids, le problème, le rôle et la fonction. La figure 5.10 illustre les critères de recherche émis par l'initiateur. Une liste d'agents participants est, ensuite, affichée à l'initiateur correspondant à sa recherche. Une fois les agents sélectionnés,

ceux qui répondent aux critères sont contactés par l'agent coordinateur en envoyant un message CFP.

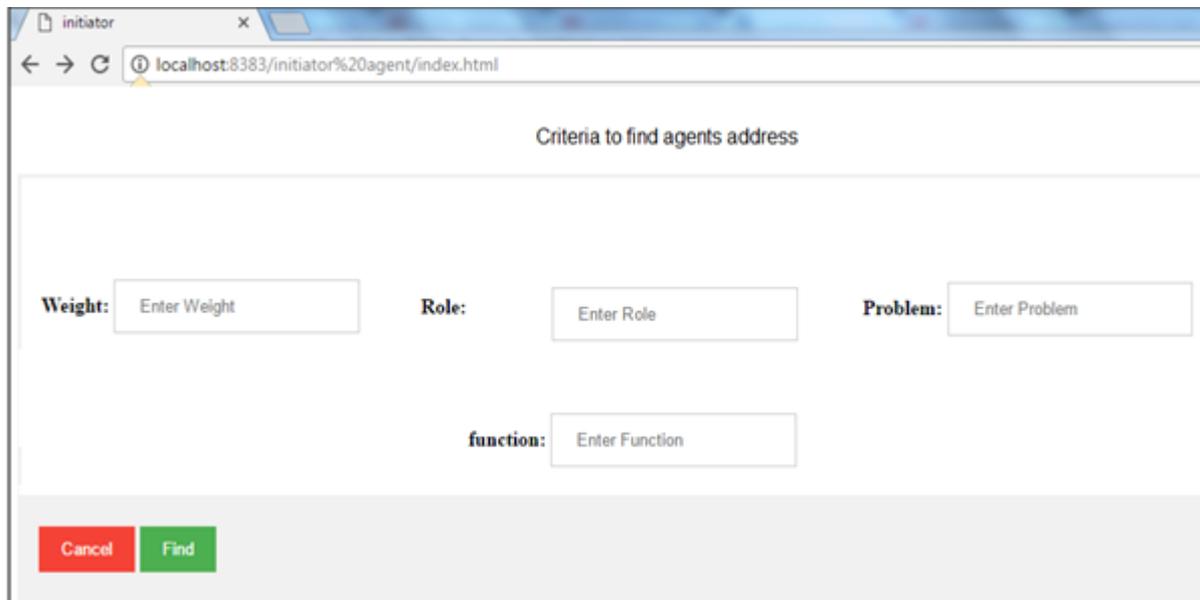


Figure 5.10 : Interface de l'initiateur.

7.Évaluation des performances : L'évaluation de la performance est en fonction de chaque action par rapport à chaque critère, une matrice dite matrice de performances est alors créée. Elle est constituée d'actions en lignes et des critères en colonnes, les valeurs de ce tableau sont l'évaluation de l'action i (site) selon critère j :

- Les évaluations de performance pourraient être effectuées à l'aide de plusieurs méthodes telles que des formules analytiques, des instruments de mesure et des experts humains.
- Un score peut être attribué si les critères d'évaluation ne peuvent pas être mesurés par une formule analytique.
- La définition et l'évaluation des critères identifiés en fonction de différentes actions génèrent la matrice de performances. Le tableau 5.6 illustre une partie de la matrice de performances.

| Id_Zone | Nuisances | Bruit | Impacts | Géotechnique | Equipment | Accessibilité | Climat |
|---------|-----------|-------|---------|--------------|-----------|---------------|--------|
| 202 | 1.00 | 0.68 | 0 | 1 | 816 | 8 | 0.92 |
| 209 | 1.00 | 0.45 | 0 | 1 | 1249 | 9 | 0.91 |
| 210 | 1.00 | 0.69 | 0 | 1 | 1165 | 9 | 0.89 |
| | .. | | | ... | ... | | ... |
| 338 | 1.00 | 0.08 | 0 | 3 | 2026 | 11 | 0.54 |
| 340 | 1.00 | 0.93 | 0 | 3 | 2137 | 11 | 0.64 |
| 348 | 1.00 | 0.67 | 0 | 3 | 2156 | 12 | 0.68 |
| 433 | 1.00 | 0.54 | 0 | 6 | 1901 | 11 | 0.70 |

| | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|-----|------|------|------|
| 435 | 0.98 | 0.59 | 0 | 6 | 2056 | 10 | 0.74 |
| 436 | 1.00 | 0.97 | 0 | 6 | 2081 | 8 | 0.69 |
| 437 | 0.96 | 0.89 | 0 | 6 | 2031 | 10 | 0.75 |
| 440 | 1.00 | 0.98 | 0 | 6 | 2174 | 10 | 0.66 |
| | | | ... | ... | ... | | |
| 510 | 1,00 | 1,00 | 1.00 | 2 | 1147 | 9 | 0,76 |
| 511 | 1,00 | 1,00 | 0.58 | 2 | 1548 | 10 | 0,70 |
| 515 | 1,00 | 0,98 | 1.00 | 2 | 1425 | 8 | 0,70 |
| 516 | 1,00 | 0,98 | 0.99 | 2 | 1481 | 10 | 0,76 |
| 519 | 1,00 | 0,98 | 1.00 | 2 | 1622 | 11 | 0,67 |

Tableau 5.6 : Résumé de la matrice de performances.

4.2 Phase d'exploitation du modèle

La phase de structuration du modèle décisionnel étant établie, la phase d'exploitation du modèle peut commencer par la phase de test ensuite nous effectuons une simulation du protocole de négociation afin de générer la décision finale.

1. Phase de test

Le coordinateur invoque la matrice de performances où la matrice binaire via le service Web approprié. L'initiateur comptabilise le nombre d'actions associé dans le cas d'une matrice de performances et effectue le test : si le nombre d'actions est supérieur à 50 alors l'initiateur invoque le service Web de méthode multicritères ELECTRE TRI pour diminuer le nombre d'actions et les catégoriser sinon il demande aux participants d'invoquer directement la méthode PROMETHEE II pour générer leur vecteur de préférences.

2. Modélisation des préférences

Chaque agent participant établit son vecteur de préférence ou les différentes alternatives (sites) sont classées de la meilleure à la moins bonne selon un ensemble de critères. Dans la littérature, il existe une multitude de méthodes multicritères pouvant faire face à cette problématique de rangement [Oufella et Hamdadou, 2018].

Dans notre étude, les agents participants invoquent une méthode multicritères selon le nombre d'actions introduites, par l'initiateur. Une fois la matrice de performance réduite, les participants invoquent PROMETHEE II. La figure 5.11 illustre, respectivement, les rangements (des différents décideurs) fournis par la méthode PROMETHEE II. Une fois le rangement réalisé, l'utilité de chaque action est calculée, selon :

$$\sum_{i=1}^n U(a_i) = \sum W_{ai} * RANG(R_i, participant[j])$$

Poids participant1 = $W_{a1} = 10$; Poids participant2 = $W_{a2} = 7$; Poids participant3 = $W_{a3} = 2$;
Poids participant4 = $W_{a4} = 4$.

| Participant 1 | | | Participant2 | | | Participant3 | | | Participant4 | | |
|---------------|------|---------|--------------|------|---------|--------------|------|---------|--------------|------|---------|
| Action | Rang | Utilité | Action | Rang | Utilité | Action | Rang | Utilité | Action | Rang | Utilité |
| 448 | 26 | 260 | 519 | 26 | 182 | 209 | 26 | 104 | 335 | 26 | 52 |
| 348 | 25 | 250 | 216 | 25 | 175 | 218 | 25 | 100 | 348 | 25 | 50 |
| 335 | 24 | 240 | 335 | 24 | 168 | 329 | 24 | 96 | 211 | 24 | 48 |
| 340 | 23 | 230 | 337 | 23 | 161 | 516 | 23 | 92 | 448 | 23 | 46 |
| 337 | 22 | 220 | 340 | 22 | 154 | 335 | 22 | 88 | 337 | 22 | 44 |
| 332 | 21 | 210 | 448 | 21 | 147 | 337 | 21 | 84 | 440 | 21 | 42 |
| 519 | 20 | 200 | 440 | 20 | 140 | 340 | 20 | 80 | 338 | 20 | 40 |
| 440 | 19 | 190 | 511 | 19 | 133 | 332 | 19 | 76 | 332 | 19 | 38 |
| 511 | 18 | 180 | 333 | 18 | 126 | 519 | 18 | 72 | 519 | 18 | 36 |
| 435 | 17 | 170 | 435 | 17 | 119 | 440 | 17 | 68 | 437 | 17 | 34 |
| 333 | 16 | 160 | 437 | 16 | 112 | 333 | 16 | 64 | 511 | 16 | 32 |
| 437 | 15 | 150 | 516 | 15 | 105 | 435 | 15 | 60 | 330 | 15 | 30 |
| 516 | 14 | 140 | 433 | 14 | 98 | 437 | 14 | 56 | 333 | 13 | 26 |
| 433 | 13 | 130 | 329 | 13 | 91 | 348 | 13 | 52 | 433 | 13 | 26 |
| 329 | 12 | 120 | 348 | 12 | 84 | 511 | 12 | 48 | 329 | 12 | 24 |
| 216 | 11 | 110 | 211 | 11 | 77 | 433 | 11 | 44 | 436 | 11 | 22 |
| 338 | 10 | 100 | 213 | 10 | 70 | 216 | 10 | 40 | 516 | 10 | 20 |
| 330 | 9 | 90 | 436 | 9 | 63 | 213 | 9 | 36 | 218 | 9 | 18 |
| 211 | 8 | 80 | 338 | 8 | 56 | 436 | 8 | 32 | 340 | 8 | 16 |
| 436 | 7 | 70 | 209 | 7 | 49 | 338 | 7 | 28 | 216 | 7 | 14 |
| 213 | 6 | 60 | 218 | 6 | 42 | 211 | 6 | 24 | 515 | 6 | 12 |
| 218 | 5 | 50 | 225 | 5 | 35 | 448 | 5 | 20 | 215 | 5 | 10 |
| 515 | 4 | 40 | 215 | 4 | 28 | 215 | 4 | 16 | 213 | 4 | 8 |
| 209 | 3 | 30 | 510 | 3 | 21 | 510 | 3 | 12 | 209 | 3 | 6 |
| 215 | 2 | 20 | 332 | 2 | 14 | 515 | 2 | 8 | 210 | 2 | 4 |
| 225 | 1 | 10 | 330 | 1 | 7 | 330 | 1 | 4 | 510 | 1 | 2 |

Figure 5.11 : Rangement des alternatives (sites) par participant.

4.2.1 Simulation du processus de négociation

Le processus de négociation étant un échange de messages entre les participants et l'initiateur, il se déroule comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent selon plusieurs phases et en plusieurs tours pour arriver à un compromis acceptable par tous. Dans ce qui suit, nous détaillons les différents échanges :

1. Début de la négociation : l'initiateur consulte le fichier contenant le nombre de critères, le nombre d'actions et le seuil de négociation. Ensuite, l'initiateur envoie le message REQUEST contenant toutes les données chargées à partir de la base de données. L'initiateur invoque le type de protocole de concession monotone avec valeur d'utilité ou sans valeur d'utilité à l'aide de service Web ProtocoleWebService.

Dans notre exemple, le protocole de négociation avec valeur d'utilité est invoqué afin de montrer la communication entre les agents.

2. Envoie du message INFORM : après établissement du vecteur de préférence, chaque participant envoie un message INFORM à l'initiateur contenant le vecteur de préférences.

3. Envoie du message PROPOSE : dès que l'initiateur reçoit le message INFORM de la part de chaque participant, il invoque par le biais d'un service Web, la méthode de vote Condorcet qui génère un gagnant, dans notre cas d'étude l'action proposée est 335. La figure 5.12 illustre l'envoi du message PROPOSE. Le tableau 5.7 illustre le scorage résultant de la méthode Condorcet.

| Actions | |
|-----------------|----|
| 335 | 1 |
| 448 / 348 / 337 | 2 |
| 340 | 3 |
| 332 | 4 |
| 519 | 5 |
| 440 | 6 |
| 511 | 7 |
| 333 | 8 |
| 435 | 9 |
| 437 | 10 |
| 516 | 11 |
| 433 | 12 |
| 329 | 13 |
| 216 | 14 |
| 338 /211 | 15 |
| 330 /436 /213 | 16 |
| 218 / 209 | 17 |
| 515 | 18 |
| 215 | 19 |
| 510 | 20 |

Tableau 5.7 : Scorage avec la méthode Condorcet.

```

-----Proposition-----
Round N°1
the action sent to all agents is : 335
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent

```

Figure 5.12 : Envoi du message PROPOSE par l'initiateur.

4. **Envoi des messages ACCEPT ou CONCESSION ou REFUSE** : chaque participant, après avoir reçu le message PROPOSE de la part de l'initiateur contenant l'action proposée (335), partage son vecteur de préférences en deux parties (négociation avec valeur d'utilité). A ce niveau, il effectue un test comparatif entre la valeur d'utilité qu'il reçoit de la part de l'initiateur et la valeur d'utilité que la proposition (335) a dans le vecteur de préférences de l'initiateur. A ce niveau, le participant peut soit accepter, soit concéder ou rejeter la proposition en appliquant le test.

Les participants comparent la valeur d'utilité de l'action proposée avec la valeur d'utilité envoyée par l'initiateur, Si l'action se trouve dans la première catégorie du vecteur de préférences avec une valeur d'utilité supérieure, il envoie un message ACCEPT, sinon si l'action se trouve dans la première catégorie avec une valeur d'utilité inférieure, il envoie un message CONCESSION, et si l'action se trouve dans la deuxième catégorie du vecteur, il envoie un message REFUSE. La figure 5.13 illustre les réponses envoyées à l'initiateur.

```
----- Propositions -----  
Round N°1  
the action sent to all agents is : 335  
Sending message PROPOSE...  
Message PROPOSE sent  
  
Response received from Agent 1 : ACCEPT  
Response received from Agent 2 : ACCEPT  
Response received from Agent 3 : ACCEPT  
Response received from Agent 4 : CONCEED
```

Figure 5.13 : Envoie les réponses à l'initiateur.

5. Envoi du message CONFIRM ou PROPOSE de la part de l'initiateur

A la réception de chaque réponse de la part du participant, l'initiateur fait un test par rapport au seuil de négociation. Si le taux d'acceptation est supérieur au taux de refus, alors l'initiateur envoie le message CONFIRM contenant l'action choisie. Sinon, il envoie un autre message PROPOSE contenant l'action classée deuxième. Dans notre cas, le taux d'acceptation est de 75%, il est inférieur au seuil fixé au début de la négociation (80%). L'initiateur propose donc la deuxième action (448). La figure 5.14 illustre l'envoi du message propose aux participants et les réponses.

```
Round N°1
the action sent to all agents is : 335
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : CONCEED
the action sent to all agents is : 335
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 75%
sent next action
Round N°2
the action sent to all agents is : 448
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : REFUSE
Response received from Agent 4 : CONCEED
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
```

Figure 5.14 : L'envoi du message PROPOSE aux participants et les réponses.

6. Réception du message CONFIRM

Après quatre tours, l'action acceptée est (337) par tous les participants et le taux d'acceptation est de 100% (supérieur à 80%), ce qui indique la fin de la négociation. Chaque participant reçoit un message CONFIRM pour confirmer l'action choisie (accord final) et mettre fin au processus de négociation. La figure 5.15 illustre le quatrième tour ainsi que la réception du message AGREE envoyé par chaque participant.

```
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 100%
Round succesful, sending message CONFIRM to agents..
Message CONFIRM sent to all agents
Waiting for message Agree..
Message Agree received from Agent 1
Message Agree received from Agent 2
Message Agree received from Agent 3
Message Agree received from Agent 4
```

Figure 5.15 : Réception du message AGREE envoyé par les participants.

4.2.2 Interprétation des échanges de messages par les agents

Afin de visualiser tous les échanges effectués, JADE offre une fonctionnalité nommée Sniffer, celui-ci permet de visualiser tous les messages échangés entre l'initiateur et les différents participants au cours du processus de négociation. La figure 5.16 illustre le journal des échanges de messages de négociation. Dès que les agents participants reçoivent le message CONFIRM, cela indique la fin de la négociation résolvant le problème de construction d'habitat. D'après le vecteur de préférences engendré par PROMETHEE II et scoré via Condorcet, l'action 337 est acceptée au quatrième tour. La figure 5.17 illustre les échanges de messages via sniffer.

```

-----Propositions|-----
Round N°1
the action sent to all agents is : 335
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : CONCEED
the action sent to all agents is : 335
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 75%
sent next action
Round N°2
the action sent to all agents is : 448
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : REFUSE
|
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
Round N°3
the action sent to all agents is : 348
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : REFUSE
Response received from Agent 3 : REFUSE

All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 25%
sent next action
Round N°4
the action sent to all agents is : 337
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : ACCEPT

All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 100%
Round succesful, sending message CONFIRM to agents..
Message CONFIRM sent to all agents
Waiting for message Agree..
Message Agree received from Agent 1
Message Agree received from Agent 2
Message Agree received from Agent 3
Message Agree received from Agent 4

```



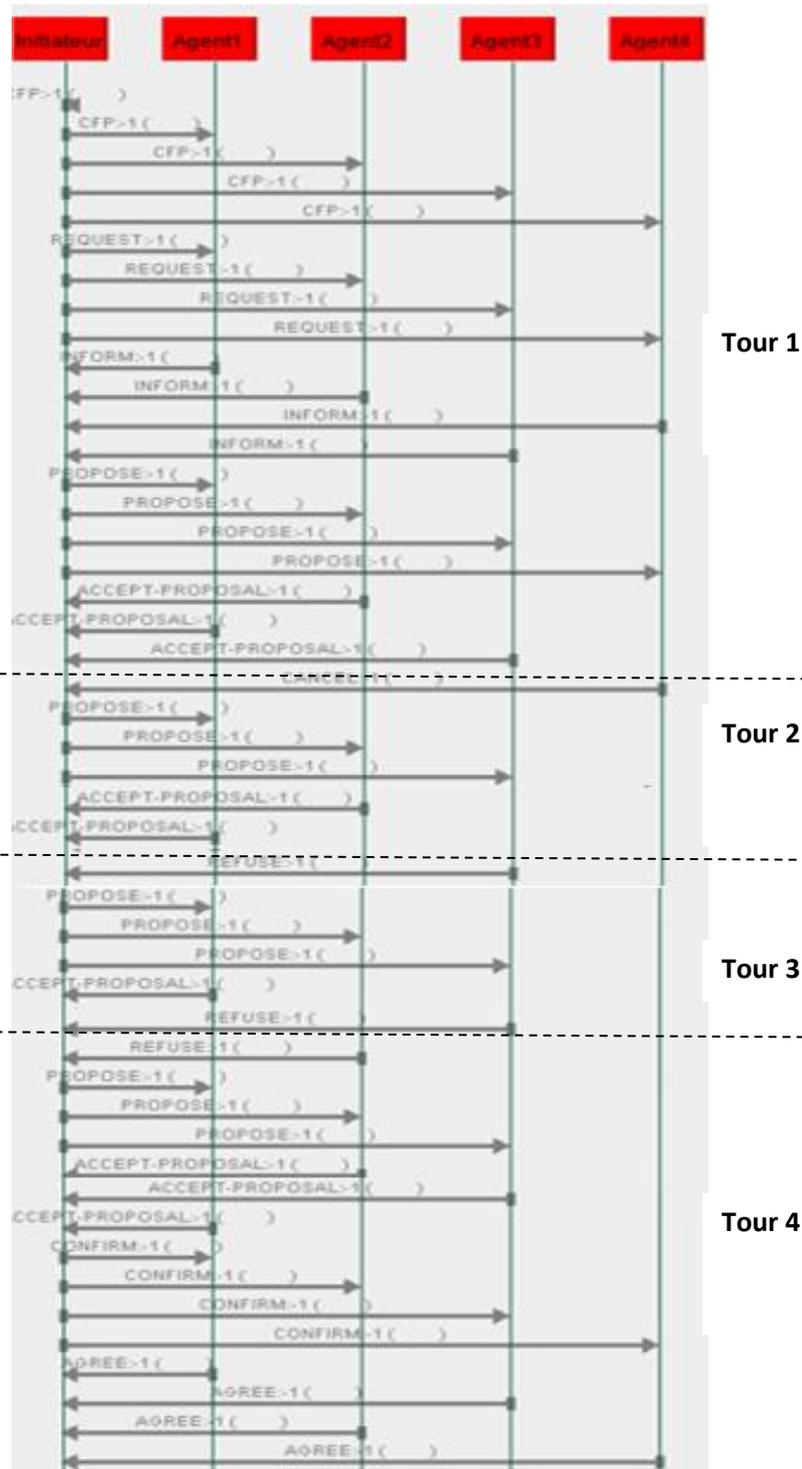


Figure 5.17 : Echanges de messages de négociation via sniffer.

4.3 Phase de formulation du problème décisionnel 2

1. **Identification des actions (ressources) :** La deuxième zone étudiée porte sur un ensemble de sites situés à l'est de la ville d'Oran. Il s'agit du quartier d'El Hammar qui se trouve dans la commune de Gdyl, wilaya d'Oran [Allal, 2002]. Il s'avère qu'il y avait absence d'un secteur sanitaire, activité essentielle pour répondre aux besoins des habitants en matière

d'urgence et de premiers soins. Nous disposons de six (06) îlots vierges pouvant convenir pour la construction voulue.

2. Identification des critères : Dans la deuxième étude, l'identification des critères pour le choix du meilleur site pour l'implantation du futur secteur sanitaire, s'appuie principalement sur l'étude liée au territoire proposée par [Oufella et Hamdadou, 2018] :

- **Critère1 (C1) :** Nombre de population avoisinante aux actions ;
- **Critère2 (C2) :** Eloignement par rapport au site industriel.
- **Critère3 (C3) :** Nuisance sonore.
- **Critère4 (C4) :** Proximité au réseau d'assainissement.
- **Critère5 (C5) :** Proximité au réseau de la moyenne tension.

1. Identification et l'authentification du décideur : Les mêmes profils de décideurs, que l'étude précédente, sont identifiés et enregistrés dans une base de données via un service Web, les décideurs sont :

- **Décideur 1 :** Représentant de l'environnement.
- **Décideur 2 :** Politicien.
- **Décideur 3 :** Economiste.
- **Décideur 4 :** Représentant du public.

Nous attribuons à chaque agent participant : un identifiant, un mot de passe, une adresse mail, un rôle, le domaine des intervenants, le poids exprimant son importance dans le processus de négociation, et leur fonctionnalité, telle que : un décideur représentant l'environnement, un décideur politicien, un décideur économiste et un décideur qui représente le publique.

Outre ces informations, le système attribue à chaque agent une adresse à rechercher. Les agents participants invoquent le service Web WSRparticipant pour enregistrer leurs informations dans la base de données.

2. La recherche des agents participants : Cette étape se déroule de la même façon que dans la première problématique citée dans la section 5.1.

3. Construction de la matrice binaire : Pour la réalisation d'une matrice de comparaison binaire, une méthodologie simple en quatre étapes peut être déployée [Wind et Saaty, 1980], [Zahedi, 1986] :

1. Diviser les critères en cours d'examen en un nombre gérable (5 à 8) de sous-critères, puis les structurer sous forme hiérarchique.
2. Effectuer une comparaison par paires entre les sous-critères (sous attributs) selon l'objectif global. Cette étape permet de construire des matrices de comparaisons. Les valeurs de ces matrices sont obtenues par la transformation des jugements en valeurs numériques selon l'échelle de Saaty (Echelle de comparaison binaire).
3. Evaluer les pondérations relatives des critères, des sous-critères et des attributs en se basant sur la performance de l'entreprise.
4. Déterminer les scores et les rangs de chaque concurrent et ce, pour chaque critère.

5. Regrouper les scores prioritaires et les synthétiser pour mesurer la performance globale. La figure 5.18 illustre une partie de la matrice de comparaison binaire.

| Critères | population_avoisinant | r_rapport_au | uisance_sonou | reseau_assainissement | Des alternatives sur le critère Eloignement_par_rapport_au_site_industriel : | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------|---------------|-----------------------|--|------------|---|------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| Nombre_de | 1 | 5 | 2 | 1 | Alternatives | ilot1 | ilot2 | ilot3 | ilot4 | ilot5 | ilot6 | | |
| Eloignement | 0,2 | 1 | 0,3 | 2 | ilot1 | 1 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1 | | |
| Nuisance_so | 0,5 | 3,33333333 | 1 | 0,5 | ilot2 | 3,33333333 | 1 | 5 | 0,3 | 0,2 | 1 | | |
| Proximité_a | 1 | 0,5 | 2 | 1 | ilot3 | 2,5 | 0,2 | 1 | 1 | 0,16 | 2 | | |
| Des alternatives sur le critère Nombre_de_population_avoisinante_aux_action : | | | | | ilot4 | 1,66666667 | 3,33333333 | 1 | 1 | 1 | 0,16 | | |
| Alternatives | ilot1 | ilot2 | ilot3 | ilot4 | ilot5 | ilot6 | Des alternatives sur le critère Nuisance_sonore : | | | | | | |
| ilot1 | 1 | 0,3 | 6 | 0,3 | 0,16 | 0,3 | Alternatives | ilot1 | ilot2 | ilot3 | ilot4 | ilot5 | ilot6 |
| ilot2 | 3,33333333 | 1 | 3 | 0,16 | 0,2 | 4 | ilot1 | 1 | 0,5 | 3 | 0,3 | 0,1 | 2 |
| ilot3 | 0,16666667 | 0,33333333 | 1 | 1 | 2 | 1 | ilot2 | 2 | 1 | 5 | 6 | 2 | 0,2 |
| ilot4 | 3,33333333 | 6,25 | 1 | 1 | 4 | 3 | ilot3 | 0,33333333 | 0,2 | 1 | 6 | 2 | 0,2 |
| ilot5 | 6,25 | 5 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0,5 | ilot4 | 3,33333333 | 0,16666667 | 0,16666667 | 1 | 3 | 0,2 |
| ilot6 | 3,33333333 | 0,25 | 1 | 0,33333333 | 2 | 1 | ilot5 | 10 | 0,5 | 0,5 | 0,33333333 | 1 | 0,5 |
| | | | | | | | ilot6 | 0,5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 1 |

Figure 5.18 : Exemple d'une matrice binaire.

4.4 Phase d'exploitation du modèle

La phase de structuration du modèle décisionnel étant établie, la phase d'exploitation du modèle peut commencer par la phase de test ensuite nous menons une simulation du protocole de négociation pour générer une décision finale.

- Phase de test :** dans le cas où il y a matrice de comparaison binaire, le coordinateur demande aux participants d'invoquer la méthode multicritères AHP afin de classer les actions.
- Modélisation des préférences :** dans cette deuxième étude, les agents participants invoquent la méthode AHP par le Service Web AHP. La figure 5.19 illustre le rangement fourni par la méthode AHP.

| Participant1 | rang | utilité | Participant2 | rang | utilité | participant 3 | rang | utilité | Participants4 | rang | utilité |
|--------------|------|---------|--------------|------|---------|---------------|------|---------|---------------|------|---------|
| ilot 71 | 6 | 60 | ilot71 | 6 | 42 | ilot1 | 6 | 24 | ilot37 | 6 | 12 |
| ilot1 | 5 | 50 | ilot120 | 5 | 35 | ilot103 | 5 | 20 | ilot103 | 5 | 10 |
| ilot120 | 4 | 40 | ilot102 | 4 | 28 | ilot102 | 4 | 16 | ilot102 | 4 | 8 |
| ilot37 | 3 | 30 | ilot37 | 3 | 21 | ilot37 | 3 | 12 | ilot1 | 3 | 6 |
| ilot103 | 2 | 20 | ilot103 | 2 | 14 | ilot120 | 2 | 8 | ilot120 | 2 | 4 |
| ilot102 | 1 | 10 | ilot1 | 1 | 7 | ilot71 | 1 | 4 | ilot71 | 1 | 2 |

Figure 5.19 : Affichage du rangement obtenu par AHP.

4.4.1 Simulation du processus de négociation

Notre deuxième étude porte sur la problématique de l'implémentation du secteur sanitaire. Cette problématique a comme entrée la matrice de comparaison binaire. Avant toute négociation, il est essentiel de définir le seuil de négociation (le nombre d'accords nécessaires à l'acceptation d'un contrat). Dans cette seconde étude, il est fixé à 80%. Ainsi, l'initiateur charge un fichier décrivant le problème décisionnel.

1. **Début de la négociation** : l'initiateur consulte le fichier contenant le nombre de critères, le nombre d'actions et le seuil de négociation. Ensuite, l'initiateur envoie le message REQUEST contenant toutes les données chargées à partir de la base de données. L'initiateur invoque le type de protocole par concession monotone avec valeur d'utilité ou sans valeur d'utilité à l'aide de service Web ProtocoleWebService. Dans notre exemple, le protocole de négociation avec valeur d'utilité est invoqué afin d'illustrer la communication entre les agents.
2. **Réception du message REQUEST** : chaque participant reçoit le message REQUEST contenant le nombre d'actions et le nombre de critères de la part de l'initiateur. Ensuite les participants invoquent la matrice de comparaison binaire Critère \ Critère et Alternative \ Alternative, puis invoquent le service Web de la méthode AHP afin de ranger les actions. Le choix de cette méthode réside dans le fait que le nombre d'actions est inférieur à 10 et que la formulation de la problématique est sous forme de matrice binaire correspondant à l'entrée de la méthode AHP.
3. **Envoi du message INFORM** : après établissement du vecteur de préférences, chaque participant envoie un message INFORM à l'initiateur contenant le vecteur de préférences.
4. **Réception des messages INFORM de chaque participant et envoi du message PROPOSE**: dès que l'initiateur reçoit le message INFORM de la part de chaque participant, il invoque par le biais d'un service Web, la méthode de vote Borda qui génère un seul vecteur de préférence en triant les actions de la meilleure (celle avec le plus grand nombre de points) vers la moins bonne (celle avec le plus petit nombre de points) et envoie comme première proposition l'action la mieux classée en utilisant le message PROPOSE. Dans notre cas d'étude l'action proposée est l'ilot1.

Chaque participant après avoir reçu le message PROPOSE de l'initiateur, contenant l'action proposée (ilot1), divise son vecteur de préférences en deux parties (le fait que c'est une négociation avec valeur d'utilité). A ce niveau, il effectue un test comparatif entre la valeur d'utilité qu'il reçoit de l'initiateur et la valeur d'utilité que la proposition (ilot1) possède dans son vecteur de préférences. A cet effet, le participant peut soit accepter, soit concéder ou rejeter la proposition en appliquant le test décrit dans le chapitre IV. La figure 5.20 illustre l'envoi de message PROPOSE contenant l'action ainsi que les réponses reçus par l'initiateur de chaque agent participant.

```
the action sent to all agents is : ILOT1
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : REFUSE
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : REFUSE
the action sent to all agents is : ILOT1
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
```

Figure 5.20 : Proposition d'une action par l'initiateur et les réponses reçues.

5. Envoi du message CONFIRM ou PROPOSE de la part de l'initiateur

A la réception de la réponse de la part de chaque participant, l'initiateur effectue un test par rapport au seuil de négociation. Si le taux d'acceptation est supérieur au taux de refus, alors l'initiateur envoie le message CONFIRM contenant l'action choisie. Sinon, il envoie un autre message PROPOSE contenant l'action classée deuxième. La figure 5.21 illustre l'envoi du message CONFIRM pour confirmer l'action choisie (accord final) aux participants et la réception du message AGREE envoyé par chaque participant qui indique la fin de la négociation, et la clôture du processus de négociation.

```
-----Round N°6-----
the action sent to all agents is : ILOT102
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : REFUSE
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : ACCEPT
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 75%
Round succesful, sending message CONFIRM to agents.
Message CONFIRM sent to all agents
Waiting for message Agree..
Message Agree received from Agent 1
Message Agree received from Agent 2
Message Agree received from Agent 3
Message Agree received from Agent 4
```

Figure 5.21 : Envoi du message CONFIRM aux participants.

4.4.2 Interprétation des échanges de messages par les agents

Dans cette deuxième étude, nous visualisons l'ensemble des échanges en utilisant les fonctionnalités offertes par le Snifer. La figure 5.22 illustre les échanges de messages. Dès que les agents participants reçoivent le message CONFIRM, cela indique la fin de la négociation.

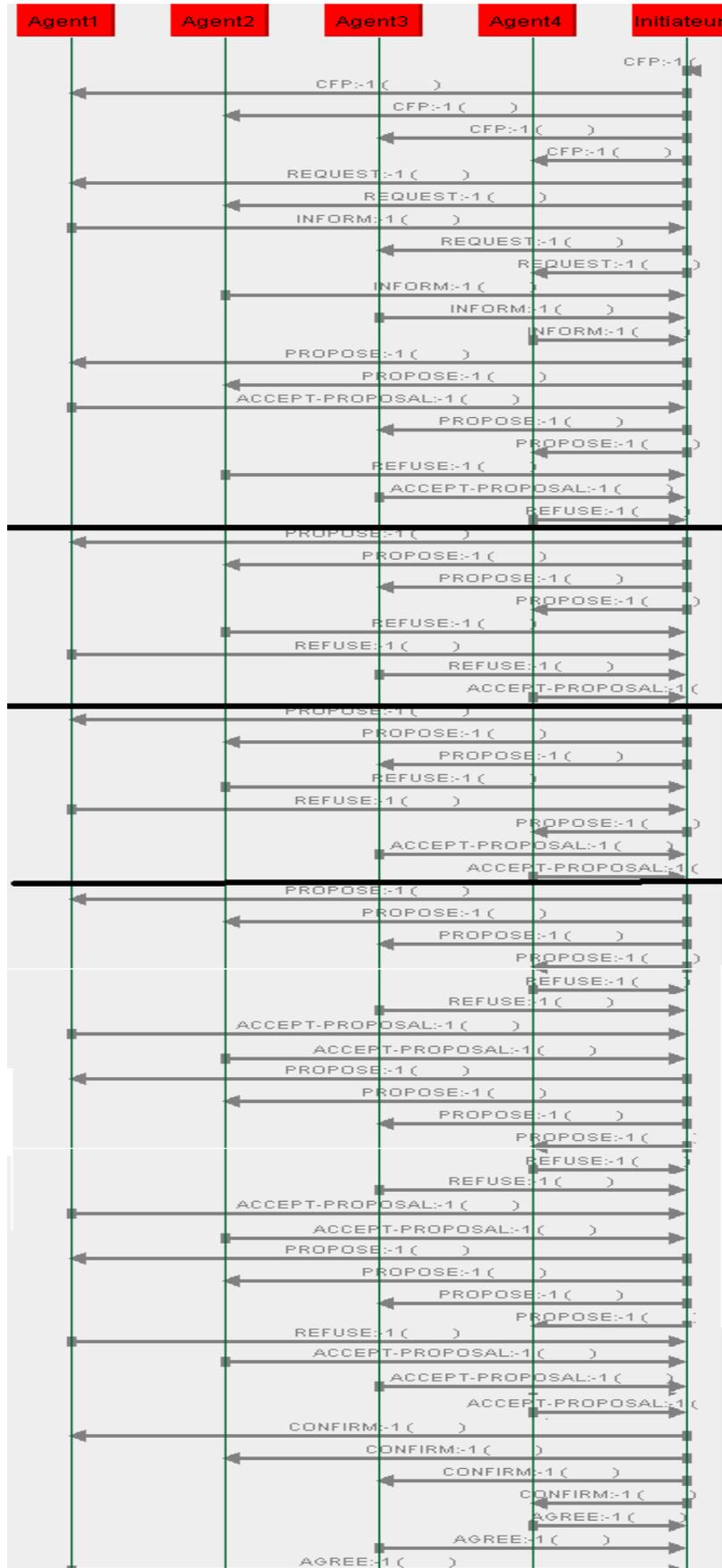


Figure 5.22 : Echanges de messages de négociation via sniffer.

Après plusieurs modifications du contrat et à la fin du sixième tour, les participants parviennent à un consensus. L'action choisie est l'ilot102. La figure 5.23 illustre tous les événements produits au cours de la négociation via le journal des événements associé.

```

-----Propositions-----
-----Round N°1-----
the action sent to all agents is : ILOT1
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : REFUSE
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : REFUSE
the action sent to all agents is : ILOT1
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
-----Round N°2-----
the action sent to all agents is : ILOT37
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : REFUSE
Response received from Agent 2 : REFUSE
Response received from Agent 3 : REFUSE
Response received from Agent 4 : ACCEPT
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 25%
sent next action
-----Round N°3-----
the action sent to all agents is : ILOT103
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : REFUSE
Response received from Agent 2 : REFUSE
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : ACCEPT
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
-----Round N°4-----
the action sent to all agents is : ILOT71
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : REFUSE
Response received from Agent 4 : REFUSE
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
-----Round N°5-----
the action sent to all agents is : ILOT120
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : ACCEPT
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : REFUSE
Response received from Agent 4 : REFUSE
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 50%
sent next action
-----Round N°6-----
the action sent to all agents is : ILOT102
Sending message PROPOSE...
Message PROPOSE sent
Response received from Agent 1 : REFUSE
Response received from Agent 2 : ACCEPT
Response received from Agent 3 : ACCEPT
Response received from Agent 4 : ACCEPT
All responses are received
Counting rate of success..
Rate obtained : 75%
Round succesful, sending message CONFIRM to agents.
Message CONFIRM sent to all agents
Waiting for message Agree..
Message Agree received from Agent 1
Message Agree received from Agent 2
Message Agree received from Agent 3
Message Agree received from Agent 4

```

Figure 5.23 : Le journal des événements.

5. Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté un système d'aide multicritères à la décision de groupe basé sur les services Web (Web-GDSS) permettant d'apporter une aide importante aux décideurs faisant face aux conflits qui résultent de la diversité des critères complexes et de la multiplicité des participants émergeant dans différents endroits.

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques résultats expérimentaux fournis par l'outil, proposé permettant de traiter des problématiques décisionnelles diverses. Nous avons pu localiser les décideurs grâce aux services Web et générer, en conséquence, la décision de groupe en intégrant les méthodes multicritères et la négociation.

Les avantages qu'offrent les SMA se caractérisent par la possibilité de représenter le plus fidèlement possible les différents décideurs sous forme d'agents.

Quant aux méthodes multicritères ELECTRE TRI, AHP, PROMETHEE II, elles sont utilisées par tous les agents. La méthode PROMETHEE II fournit un classement de toutes les actions. Tandis que la méthode ELECTRE TRI permet de résoudre des problèmes de classification en affectant les alternatives dans des catégories, cela nous permet de réduire la matrice de performances.

Dans le cas où la matrice de performances est émise, l'initiateur teste le nombre d'actions afin de pouvoir la réduire et par la suite pouvoir appliquer la méthode PROMETHEE II. Dans le cas où la matrice de performances n'est pas émise par l'initiateur, la méthode AHP est invoquée. Son intérêt ou son but est de permettre aux dirigeants d'émettre des jugements selon leur expérience, en comparant deux à deux les critères, une matrice de comparaison binaire est donc créée.

Notre système est muni d'un protocole de négociation basé sur la concession monotone entre les différents agents participants, la concession oblige les participants à concéder pour arriver toujours, à un accord final quel que soit le conflit à résoudre.

**Conclusion générale
et
perspectives**

Conclusion générale et Perspectives

De tout temps, les organisations sont amenées à prendre une décision rapide qui intervient dans des environnements dynamiques caractérisés par la dispersion des données parmi un ensemble de décideurs repartis géographiquement. Une entreprise quel que soit son activité, est amenée à exercer ses tâches (gérer, stocker, prévoir, décider ..etc) dans un environnement dynamique évolutif, qui poussent les managers à faire en permanence des choix. Ceci représente la problématique sous la dénomination de l'aide à la décision.

Contrairement aux outils classiques d'aide à la décision, les GDSS distribués tentent de répondre au besoin de mise en relation de ces données et individus décentralisés. En effet, le processus de décision dans les organisations a évolué et les décisions importantes et urgentes sont prises de plus en plus en mode synchrone et distribué.

Sous la cape de l'aide à la décision, se regroupent les travaux qui se basent sur des modèles plus ou moins formalisés. Ces travaux ont pour objectif d'améliorer, de faciliter ou d'accompagner le déroulement d'un processus de décision [Hamdadou, 2008].

Un des apports principaux de la présente thèse outre la conception d'un modèle d'aide à décision multicritères est l'orientation sur un processus itératif de négociation par concession qui intègre les avis divergents des décideurs, impliqués dans une problématique donnée. Cette orientation permet de structurer la procédure de décision et de rendre plus transparent le processus de négociation ce qui favorise inévitablement une convergence vers une recommandation finale acceptable.

Un autre principal apport concerne l'aspect fonctionnel du service Web. Les services Web étant basés sur le standard XML, ils sont caractérisés par leur indépendance aux plateformes et aux systèmes d'exploitation, ce qui implique leur adoption par différentes organisations commerciales et industrielles offrant leurs services à travers le Web.

Le volume croissant ainsi que la diversité d'informations générées par les domaines d'applications qu'elles soient environnementales ou organisationnelles et la capacité limitée qu'un seul décideur a à traiter cette information, souligne le besoin d'appliquer les méthodes d'agrégation des données. Le domaine d'AMCD offre des méthodes qui peuvent participer dans le cadre de développement de système décisionnel utile pour la gestion de diverses problématiques.

En effet, le but d'une MMCAD n'est pas de résoudre un problème de décision, mais d'aider à prendre une décision impliquant des critères multiples et des préférences qui s'avèrent divergents. Ce processus aide les parties prenantes, à examiner et appliquer la solution la plus favorable. A ce titre, le GDSS mis en place, dans ce travail de recherche, intègre principalement trois méthodes multicritères à savoir AHP, ELECTRE TRI et PROMETHEE II.

Afin de concevoir notre système, nous l'avons structuré comme suit :

1. Le premier sous système est le système SMA qui implique deux types d'agents : un agent initiateur est le coordinateur de la négociation et un ensemble d'agents

- participants. Chacun des décideurs est muni d'un ensemble de préférences utilisées lors de la négociation. Ces derniers communiquent par envoi de messages.
2. Le deuxième sous système est celui des services Web permettant d'invoquer des méthodes d'analyse multicritères et les méthodes de vote.
 3. Un registre UDDI est mis en place permettant d'enregistrer l'ensemble des services Web utilisés.
 4. Le troisième sous système est celui d'authentification permettant d'enregistrer et de créer des décideurs impactés par la décision de groupe.
 5. Le quatrième sous système est celui du processus de négociation par concession, à travers lequel les participants négocient afin d'aboutir à une décision collective acceptée par la majorité des décideurs.

La première partie de cette thèse a été réservée aux travaux de l'état de l'art. Nous avons présenté les principaux standards liés à l'aide à la décision multicritères de groupe. Nous avons, également, analysé, les différentes techniques de négociation décrites dans la littérature associée. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux technologies des services Web qui constituent un axe majeur pour résoudre au mieux la problématique des décideurs répartis géographiquement, et mettre en évidence la phase de sélection des agents.

Le premier chapitre a décrit les concepts de base structurant à la fois l'aide à la décision et l'aide à la décision multicritères. Par la suite, nous avons introduit le concept de l'aide à la décision de groupe. Nous avons étudié les systèmes et les travaux réalisés dans le contexte de l'aide à la décision collective.

Lors du second chapitre, nous nous sommes intéressés aux agents et aux systèmes multi agents, nous avons défini leurs formalismes de base, s'en suit un descriptif de la négociation, des protocoles de négociation dans les SMA et nous avons aussi présenté et classé les travaux utilisant les protocoles de négociation, qui sont connus pour leur performance dans la résolution des conflits entre un ensemble de décideurs.

Le troisième chapitre, quant à lui, a été consacré aux services web et leurs concepts de base, un éventail de travaux est présenté par la suite, mettant en évidence l'intérêt du Web dans les GDSS, en particulier l'intégration de la technologie des services web dans ces systèmes.

A la suite de la première partie, et une fois que les concepts sont déterminés, nous avons présenté notre système d'aide à la décision multicritères, ainsi dans cette deuxième partie, nous avons mis l'accent sur nos contributions.

Dans cette optique, et dans le but d'illustrer au mieux le fonctionnement et démontrer l'architecture du système décisionnel proposé, le chapitre 4 présente les différentes phases de conception et de modélisation.

Dans le cinquième chapitre, il est question de valider au mieux notre approche décrite dans le chapitre quatre, pour cela, nous avons déroulé un scénario illustratif d'un cas réel, reposant sur le choix d'un terrain pour une habitation parmi plusieurs terrains se situant dans une région en Suisse.

Conclusion générale et perspectives

Dans ces deux chapitres sont présentées en détails les principales contributions, à savoir :

- La proposition d'un système générique d'aide à la décision basé sur le Web, les méthodes multicritères et l'aide à la décision de groupe.
- L'élaboration d'un protocole de négociation basé sur la concession.
- La mise en place d'un système d'authentification de décideurs.

Les différents résultats obtenus montrent que le protocole de négociation par concession proposé se termine toujours avec succès, dans les deux cas, soit par invocation des méthodes multicritères PROMETHEE ou AHP, ou des méthodes de votes Condorcet ou BORDA.

De plus, l'exploitation d'un SMA, a permis de modéliser les décideurs et d'automatiser la négociation, et avec l'utilisation des services Web et d'un processus d'authentification, nous avons pu entre autres répondre à la problématique de sélection des agents adéquats et leur identification.

Toutefois, le Web-GDSS proposé dans le cadre de cette thèse présente certaines limites. En effet :

- Le problème des études de cas est formalisé sous forme de matrice et non sous forme de langages naturels des décideurs.
- Les services Web conçus invoquent uniquement la méthode par agrégation totale AHP ainsi que les deux méthodes par agrégation partielle PROMETHEE et ELECTRE TRI.

Perspectives

Tout au long de cette étude, nous avons conclu que plusieurs améliorations et extensions peuvent être envisagées pour enrichir le système proposé.

- La prise en considération du temps de réponse des décideurs ainsi que la prise en compte d'autres caractéristiques qui leur sont attribuées, tels que l'expérience, le coût, etc.
- La prise en considération des aspects de Qos (Quality of Service), pour choisir les meilleurs décideurs, qui peuvent répondre au mieux à la problématique (en temps de réponse, en expérience, etc.)
- Expérimenter notre prototype dans plusieurs domaines : cette perspective permet d'enrichir notre annuaire sémantique par d'autres services web et par d'autres spécifications sémantiques qui décrivent les services Web. Cet enrichissement permet, d'une part, d'avoir une ontologie de qualité des services Web englobant la plupart des concepts de qualité, d'autre part de faciliter la découverte sémantique des services Web.

Ces différentes perspectives de recherche indiquent que, même si la recherche autour des protocoles de négociation dans les SMA s'est un peu essoufflée ces dernières années, et que chaque système est adopté à un domaine qui lui est associé, il reste encore quelques défis intéressants et importants à relever dans ce domaine.

Bibliographie

- [**Abdelhadi et al., 2018**] Abdelhadi, M., Hamdadou, D., et Menni, N. (2018). A Communication Platform for Group Decision Support System: Based Web Services and Multicriteria Method. *International Journal of E-Services and Mobile Applications (IJESMA)*, Volume 10(3), pp 19-41.
- [**Abouzaid, 2010**] Abouzaid, M. F. (2010). Analyse formelle d'orchestrations de services Web. Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal.
- [**Adla, 2010**] Adla, A. (2010). Aide à la Facilitation pour une prise de Décision Collective : Proposition d'un Modèle et d'un Outil. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier-Toulouse III, France.
- [**Alencar et al., 2010**] Alencar, L. H., Almeida, A. T. d., et Morais, D. C. (2010). A multicriteria group decision model aggregating the preferences of decision-makers based on ELECTRE methods. *Pesquisa Operacional*, Volume 30(3), pp687-702.
- [**Allal, 2002**] Allal, N. (2002). Méthodologie de mise en œuvre d'un système d'information géographique pour le suivi d'un plan d'occupation de sol (Application au POS d'El-Hammar, Gdyel). Mémoire de magistère, Centre national des techniques spatiales (CNTS), Oran, Algérie.
- [**Amgoud et Prade, 2004**] Amgoud, L., et Prade, H. (2004). Un modèle de négociation basé sur la logique possibiliste. Quatorzième édition du congrès francophone de Reconnaissance des formes et d'Intelligence artificielle (RFIA) organisé par le LAAS-CNRS et l'IRIT, Centre de Congrès Pierre BAUDIS de Toulouse, pp 28-30.
- [**Ammari, 2014**] Ammari, H. M. (2014). *The art of wireless sensor networks*. Edition Springer, Volume 1.
- [**Atohoun, 2013**] Atohoun, Béthel Christian A.R.K. (2013). Architecture logique d'un système multi agents de suivi multi-caméra distribué : exploitation du Modèle de Croyance Transférable. Thèse de doctorat, Université du Littoral côte d'Opale. France.
- [**Ayadi, 2010**] Ayadi, D. (2010). Optimisation multicritère de la fiabilité : application du modèle de goal programming avec les fonctions de satisfactions dans l'industrie de traitement de gaz. Thèse de doctorat, Université d'Angers, France.
- [**Badica et al., 2007**] Badica, C., Ganzha, M., et Paprzycki, M. (2007). Implementing rule-based automated price negotiation in an agent system. *Journal of Universal Computer Science*, volume 13(2), pp 244-266.
- [**Bali, 2017**] Bali, A. (2017). Une approche basée agents pour l'adaptation des services web. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, Algérie.

Bibliographie

- [Banaszewski et al., 2013]** Banaszewski, R. F., Arruda, L. V., Simão, J. M., Tacla, C. A., Barbosa-Póvoa, A. P., et Relvas, S. (2013). An application of a multi-agent auction-based protocol to the tactical planning of oil product transport in the Brazilian multimodal network. *Computers et Chemical Engineering*, volume (59), pp 17-32.
- [Beam et Segev, 1997]** Beam, C., et Segev, A. (1997). Automated negotiations: A survey of the state of the art. *Wirtschafts informatik*, volume 39(3), pp 263-268.
- [Beccali et al., 2003]** Beccali, M., Cellura, M., et Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable energy*, volume 28(13), pp 2063-2087.
- [Belalem, 2014]** Belalem, G. (2014). Cours « Modèles Economiques », Master 2, spécialité Théorie des Systèmes Informatiques (TSI), Université Oran 1 Ahmed Ben Bella, Algérie.
- [Bellifemine et al., 2007]** Bellifemine, F. L., Caire, G., et Greenwood, D. (2007). Developing multi-agent systems with JADE, John Wiley et Sons, Australia Lt, Volume 7.
- [Bello-Dambatta, 2010]** Bello-Dambatta, A. (2010). The Development of a Web-based Decision Support System for the Sustainable Management of Contaminated Land. These de doctorat, Université de Exeter, Angleterre.
- [Belton et Stewart, 2002]** Belton, V., et Stewart, T. J. (2002). Outranking Methods. In: *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer, Boston, MA, pp 22-256. Doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4_8.
- [Ben Halima, 2009]** Ben Halima, R. (2009). Conception, implantation et expérimentation d'une architecture en bus pour l'auto-réparation des applications distribuées à base de services Web. Thèse de doctorat, Université de Toulouse III-Paul Sabatier, France.
- [Benseghier, 2017]** Benseghier, N. (2017). Un Framework à base d'agent mobile, méta-donnée et profil utilisateur pour service Web. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, Algérie.
- [Berhane et Hamdadou, 2014]** Berhane, I. A. et Hamdadou, D. (2014). Elaboration d'une plateforme de communication dans un GDSS multicritères par utilisation des web services. Mémoire master, Université Oran 1, Ahmed Ben Bella. Algérie.
- [Black et Stockton, 2009]** Black P., Stockton T. (2009) Basic Steps for the Development of Decision Support Systems, *Decision Support Systems for Risk-Based Management of Contaminated Sites*. Marcomini A., Suter II G., Critto A. Springer, Boston, MA.
- [Borda, 1781]** Borda, J. C. (1781). Mémoire sur les élections au scrutin. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, traduit par Alfred de Grazia comme *Mathematical Derivation of a election system*, *Isis*, volume 44, pp 42-51.

Bibliographie

- [Boumahdi et Chalal, 2012]** Boumahdi, F., et Chalal, R. (2012). A New Decision Support System Based on Agents Dedicated to Service-Oriented Architectures. *American Academic et Scholarly Research Journal*, volume 4(5), pp 1.
- [Brahimi et al., 2009]** Brahimi, M., Seinturier, L., & Boufaïda, M. (2010). Multi-Agent Architecture for Developing Cooperative E-Business Applications, *Business Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools and Applications*, I. Management Association, Hershey, PA: IGI Global. pp. 377-396. doi:10.4018/978-1-61520-969-9.ch025.
- [Brans et al., 1986]** Brans, J.-P., Vincke, P., et Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, volume 24(2), pp 228-238.
- [Brans, 1982]** Brans, J.-P. (1982). L'ingénierie de la décision : l'élaboration d'instruments d'aide à la décision : Université Laval, Faculté des sciences de l'administration.
- [Cao et al., 2009]** Cao, M.-k., Chi, R., et Liu, Y. (2009). Developing a multi-agent automated negotiation service based on service-oriented architecture. *Service Science*, volume 1(1), pp 31-42.
- [Cao, 2010]** CAO, D. (2010). Test and Validation of Web services. Thèse de doctorat, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, École Doctorale de Mathématique.
- [Carbogim et Robertson, 1999]** Carbogim, D., et Robertson, D. (1999). Contract-based negotiation via argumentation (a preliminary report). In proceedings of the Workshop on Multi-Agent Systems in Logic Programming (MAS99) at the International Conference on Logic Programming (ICLP99).
- [Carlon et al, 2007]** Carlon, C., Critto, A., Ramieri, E., et Marcomini, A. (2007). DESYRE: Decision support system for the rehabilitation of contaminated megasites. *Integrated environmental assessment and management*, volume 3(2), pp 211-222.
- [Ceccaroni et al., 2004]** Ceccaroni, L., Cortés, U., et Sanchez-Marre, M. (2004). OntoWEDSS : augmenting environmental decision-support systems with ontologies. *Environmental Modelling et Software*, volume 19(9), pp 785-797.
- [Cerami, 2002]** Cerami, E. (2002). *Web services essentials: distributed applications with XML-RPC, SOAP, UDDI et WSDL*. O'Reilly Media, Inc. pp 304.
- [Chaib-Draa et al., 2001]** Chaib-Draa, B., Jarras, I., et Moulin, B. (2001). Systèmes multi-agents : principes généraux et applications. *Edition Hermès*, volume 242, pp 1030-1044.
- [Chavez et Maes, 1996]** Chavez, a., et Maes, p. (1996). kasbah: an agent marketplace for buying and selling goods: practical application. In proceedings of the first international conference on the practical application of intelligent agents and multi-agent technology. London, UK, pp 75-90.

Bibliographie

- [**Chen et al., 2007**] Chen, M., Liou, Y., Wang, C.-W., Fan, Y.-W., et Chi, Y.-P. J. (2007). TeamSpirit: Design, implementation, and evaluation of a Web-based group decision support system. *Decision Support Systems*, volume 43(4), pp 1186-1202.
- [**Chiu, 2002**] Chiu, M. L. (2002). An organizational view of design communication in design collaboration. *Design studies*, volume 23(2), pp 187-210.
- [**Collinot et al., 1996**] Collinot, A., Ploix, L., et Drogoul, A. (1996). Application de la méthode Cassiopée à l'organisation d'une équipe de robots. Joël Quinqueton, éditeurs, Actes des 4èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes multi-agents.
- [**Condorcet, 1785**] Condorcet, J.A.M. Caritat, Marquis De, (1785), Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix, Imprimerie Royale, Paris. pp 304.
- [**Costa, 2017**] Costa, H. G. (2017). AHP-De Borda: a hybrid multicriteria ranking method. *Brazilian Journal of Operations et Production Management*, volume 14(3), pp 281-287.
- [**Courbon, 1982**] Courbon, J. (1982). Processus de décision et aide à la décision. *Economies et sociétés*, volume 16(12).
- [**Cramton et al., 2006**] Cramton, P., et Shoham, Y. Richard Steinberg, eds. (2006). *Combinatorial Auctions*. In: MIT Press. Cambridge. Volume 475.
- [**Crary, 1992**] Crary, D. R. (1992). *International negotiation: Analysis, approaches, issues*: Victor A. Kremenyuk, Editeur. San Francisco : Jossey-Bass Publishers, Pergamon.
- [**Davis et Smith, 1983**] Davis, R., et Smith, R. G. (1983). Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. *Artificial intelligence*, volume 20(1), pp 63-109.
- [**Denguir, 2007**] Denguir-Rekik, A. (2007). Un cadre possibiliste pour l'aide à la décision multicritère et multi-acteurs : application au marketing et au benchmarking de sites e-commerce. Thèse de doctorat, Université Savoie Mont Blanc.
- [**Diago, 2018**] Diago, N. A. (2018). Mécanismes de négociation multilatérale pour la prise de décision collective. Thèse de doctorat, en cotutelle, Université Claude Bernard Lyon 1 ; et Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [**Drogoul, 1993**] Drogoul, A. (1993). De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes. Thèse de doctorat, Université de Paris IV.
- [**El Falou et Bourdon, 2006**] El Falou, S., et Bourdon, F. (2006). Agent mobile et recherche d'information sur le Web : une solution basée sur le MDP. In proceedings of the 15ème Congrès francophone Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle.

Bibliographie

- [Endriss, 2006]** Endriss, U. (2006). Monotonic concession protocols for multilateral negotiation. In proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems.
- [Ferber, 1995]** Ferber, J. (1995). Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective. éditions intereditions, paris.
- [Ferber, 1997]** Ferber, J. (1997). Les systèmes multi-agents : un aperçu général. Techniques et sciences informatiques, volume 16(8), pp 979-1012.
- [Florea et Panghe, 2000]** Florea, A., et Panghe, B. (2000). Achieving cooperation of self-interested agents based on cost. In proceeding of the 15th European Meeting on Cybernetics and System Research, Session: From Agent Theory to Agent Implementation, Vienna, pp 591-596.
- [Ganzha et Paprzycki, 2007]** Ganzha, M., et Paprzycki, M. (2007). Implementing rule-based automated price negotiation in an agent system. Journal of Universal Computer Science, volume 13(2), pp 244-266.
- [Glueck, 1972]** Glueck, W. F. (1972). Business policy: Strategy formation and management action: McGraw-Hill, New York.
- [Gonzalez Suitt et al., 2014]** [Gonzalez Suitt et al., 2014] gonzalez suitt, j., guyon, a., hennion, t., laraki, r., starkloff, x., thibault, s., et favreau, b. (2014). Vers un système de vote plus juste ? Cahier n° 2014-20, école polytechnique centre national de la recherche scientifique département d'économie retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01061100>.
- [Goor et al., 2003]** Goor, F., Davydchuk, V., et Vandenhove, H. (2003). GIS-based methodology for Chernobyl contaminated land management through biomass conversion into energy – a case study for Polesie, Ukraine. Biomass and Bioenergy, volume 25(4), pp 409-421.
- [Griffith et al., 1998]** Griffith, T. L., Fuller, M. A., et Northcraft, G. B. (1998). Facilitator Influence in Group Support Systems: Intended and Unintended Effects. Information Systems Research, volume 9(1), pp 20-36. Doi :10.1287/isre.9.1.20.
- [Guesdon, 2011]** Guesdon, G. (2011). Cours : " Evaluation des impacts environnementaux (EIE) : Présentation : 5e. Méthodes et outils. Aide multicritère à la décision comparaison de Saaty. Faculté des sciences et de génie. Université Laval. pp 24 . Disponible sur « <https://www.gci.ulaval.ca/> ». « Consulté en 2019 ».
- [Guo et al., 2001]** Guo, C., Dong, W., et Wu, J. (2001). Research on multi-agent for general group decision support system. In proceeding of the Sixth International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (IEEE Cat. No. 01EX472). London, Ontario, Canada, Canada.

Bibliographie

- [Guttman et al., 1998] Guttman, R. H., Moukas, A. G., et Maes, P. (1998). Agent-mediated electronic commerce: A survey. *The Knowledge Engineering Review*, volume 13(2), pp 147-159.
- [Hafid et al., 1998] Hafid, A., von Bochmann, G., et Dssouli, R. (1998). A quality of service negotiation approach with future reservations (nafur): A detailed study. *Computer Networks and ISDN Systems*, volume 30(8), pp 777-794.
- [Hamdadou et Bouamrane, 2016] Hamdadou, D., et Bouamrane, K. (2016). A spatial group decision support system: Coupling negotiation and multicriteria approaches. *Intelligent Decision Technologies*, volume 10(2), pp 129-147.
- [Hamdadou et Libourel, 2011] Hamdadou, D., et Libourel, T. (2011). A MultiCriteria Group Decision Support System for Industrial Diagnosis. *INFOCOMP*, volume 10(3), pp 12-24.
- [Hamdadou, 2008] Hamdadou, D. (2008). Un Modèle pour la prise de décision en Aménagement du Territoire : Une Approche Multicritère et une Approche de Négociation. Thèse de doctorat, Université Oran 1, Ahmed Ben Bella, Algérie
- [Hamdadou, 2017] Hamdadou, D. (2017). Méthodologie multicritères d'aide à la décision, cours et exercices. In : Office National des Publications (OPU), ISBN 978-9947-0-4724-8.
- [Hamdan, 2014] Hamdan. (2014). Conception et élaboration d'un système d'aide à la décision de groupe distribué. Mémoire pour l'obtention de diplôme de Post graduation, option management de système d'information, Université Oran1 Ahmed Ben Bella, Algérie.
- [Hamdani et Hamdadou, 2019] Hamdani, N., et Hamdadou, D. (2019). A Multicriteria Group Decision Support System: An Approach Based Agents and Web Services. *International Journal of Information Technology and Web Engineering (IJITWE)*, volume 14(2), pp 1-26.
- [Hemaissia et al., 2007] Hemaissia, M., El Fallah Seghrouchni, A., Labreuche, C., et Mattioli, J. (2007). A multilateral multi-issue negotiation protocol. In proceeding of the 6th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, ACM press, New York, pp 1-8.
- [Hofer et Schendel, 1987] Hofer, C. W., et Schendel, D. (1978). *Strategy formulation: Analytical concepts*: Saint Paul: West publishing co.
- [Holtzman, 1989] Holtzman, S. (1989). *Intelligent Decision Systems*. Addison Wesley, Addison-Wesley, pp 304.
- [Howard et al., 2005] Howard, B., Beresford, N., Nisbet, A., Cox, G., Oughton, D., Hunt, J., Alvarez, B., Andersson, K.G., Liland, A., Voigt, G. (2005). The STRATEGY project: decision tools to aid sustainable restoration and long-term management of contaminated agricultural ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*, volume 83(3), pp 275-295.

Bibliographie

- [**Igoulalene et al., 2015**] Igoulalene, I., Benyoucef, L., et Tiwari, M. K. (2015). Novel fuzzy hybrid multi-criteria group decision making approaches for the strategic supplier selection problem. *Expert Systems with Applications*, volume 42(7), pp 3342-3356.
- [**Jarupathirun et Zahedi, 2007**] Jarupathirun, S., et Zahedi, (2007). Exploring the influence of perceptual factors in the success of web-based spatial DSS. *Decision Support Systems*, volume 43(3), pp 933-951.
- [**Jelokhani-Niaraki et al., 2018**] Jelokhani-Niaraki, M., Sadeghi-Niaraki, A., et Choi, S.-M. (2018). Semantic interoperability of GIS and MCDA tools for environmental assessment and decision making. *Environmental Modelling et Software*, volume 100, pp 104-122.
- [**Jennings et al., 2001**] Jennings, N. R., Faratin, P., Lomuscio, A. R., Parsons, S., Wooldridge, M. J., et Sierra, C. (2001). Automated negotiation: prospects, methods and challenges. *Group Decision and Negotiation*, volume 10(2), pp 199-215.
- [**Joerin, 1998**] Joerin, F. (1998). Décider sur le territoire : proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. Thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne.
- [**Khezrian et al., 2014**] Khezrian, M., Jahan, A., Kadir, W. M. N. W., et Ibrahim, S. (2014). An approach for web service selection based on confidence level of decision maker. *Public Library of Science : PloS one*, volume 9(6), pp. 262-266.
- [**Kraus et al., 1998**] Kraus, S., Sycara, K., et Evenchik, A. (1998). Reaching agreements through argumentation: a logical model and implementation. *Artificial intelligence*, volume 104(1-2), pp 1-69.
- [**Krishnaiyer et Chan, 2017**] Krishnaiyer, K., et Chen, F. F. (2017). Web-based Visual Decision Support System (WVDSS) for letter shop. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, volume 43, pp 148-154.
- [**Kvan, 2000**] Kvan, T. (2000). Collaborative design: what is it? *Automation in construction*, volume 9(4), pp 409-415.
- [**Laborie, 2006**] Laborie, F. (2006). Le concept de salle de décision collective et son application aux processus complexes EADS. Thèse de doctorat, université de Toulouse 3.
- [**Lago et al., 2007**] Lago, P. P., Beruvides, M. G., Jian, J.-Y., Canto, A. M., Sandoval, A., et Taraban, R. (2007). Structuring group decision making in a web-based environment by using the nominal group technique. *Computers et Industrial Engineering*, volume 52(2), pp 277-295.
- [**Lang et Fink, 2015**] Lang, F., et Fink, A. (2015). Learning from the metaheuristics: Protocols for automated negotiations. *Group Decision and Negotiation*, volume 24(2), pp299-332.
- [**Lawson et Shen, 1998**] Lawson, R. B., et Shen, Z. (1998). *Organizational psychology: Foundations and applications*, Oxford University Press, New York.
- [**Levi, 1989**] Levi, G. (1989). Les usages de la biographie. Paper presented at the Annales. Histoire,

Bibliographie

- Sciences Sociales. pp 1325-1336.
- [Lin et Kraus, 2010]** Lin, R., et Kraus, S. (2010). Can automated agents proficiently negotiate with humans? *Communications of the ACM*, volume 53(1), pp 78-88.
- [Lolli et al., 2015]** Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B., et Messori, M. (2015). FlowSort-GDSS—A novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to FMEA. *Expert Systems with Applications*, volume 42(17-18), pp 6342-6349.
- [Lu et al., 2008]** Lu, J., Deng, X., Vroman, P., Zeng, X., Ma, J., et Zhang, G. (2008). A fuzzy multi-criteria group decision support system for nonwoven based cosmetic product development evaluation. In proceeding at the 2008 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (IEEE World Congress on Computational Intelligence).
- [Madouri et Hamdadou, 2019]** Madouri, S., et Hamdadou, D. (2019). Vers un système d'aide à la décision spatiale de groupe : négociation par argumentation. Thèse de doctorat, Université Oran 1 Ahmed BenBella, Algérie.
- [Marakas, 1999]** Marakas, G. M. (2003). *Decision support systems in the 21st century*, deuxième édition. Upper Saddle River, N.J. , Prentice Hall, London.
- [Mareschal et al., 1984]** Mareschal, B., Brans, J. P., et Vincke, P. (1984). PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. (No. 2013/9305). ULB--Université Libre de Bruxelles.
- [Matsatsinis et Tzoannopoulos, 2008]** Matsatsinis, N. F., et Tzoannopoulos, K.-D. (2008). Multiple criteria group decision support through the usage of argumentation-based multi-agent systems: an overview. *Operational Research*, volume 8(2), pp 185-199.
- [Maystre et al., 1994]** Maystre, L. Y., Pictet, J., et Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*, Volume 8 : PPUR presses polytechniques.
- [Mazzolini, 1981]** Mazzolini, R. (1981). How strategic decisions are made. *Long Range Planning*, volume 14(3), pp 85-96.
- [Menazelli et Fodil, 2013]** Menazelli, S., et Fodil, L. (2013). Elaboration d'un système d'aide à la décision de groupe basé sur les techniques d'enchères. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Département Informatique, Université Oran 1 Ahmed BenBella, Algérie.
- [Mintzberg, 1973]** Mintzberg, H. (1973). Strategy-making in three modes. *California management review*, volume 16(2), pp 44-53.
- [Molenaar et Songer, 2001]** Molenaar, K. R., et Songer, A. D. (2001). Web-Based Decision Support Systems: Case Study in Project Delivery. *Journal of Computing in Civil Engineering*, volume 15(4), pp 259-267.
- [Monjardet, 2011]** G. Th. Guilbaud et la théorie du choix social. Documents de travail du Centre



Bibliographie

- d'Economie de la Sorbonne, Université Panthéon-Sorbonne (Paris 1).
- [Monte et al., 2009]** Monte, L., Brittain, J. E., Gallego, E., Håkanson, L., Hofman, D., et Jiménez, A. (2009). MOIRA-PLUS: A decision support system for the management of complex fresh water ecosystems contaminated by radionuclides and heavy metals. *Computers et Geosciences*, volume 35(5), pp 880-896.
- [Moreno-Garcia, 2013]** Moreno-Garcia, D. (2013). Modèles, outils et plate-forme d'exécution pour les applications à service dynamiques. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.
- [Morge et Mancarella, 2014]** Morge, M., et Mancarella, P. (2014). Arguing over goals for negotiation: Adopting an assumption-based argumentation decision support system. *Group Decision and Negotiation*, volume 23(5), pp 979-1012.
- [Morge, 2018]** Morge, M. (2018). Négociation bilatérale par concession : un état de l'art. In proceedings at the Vingt-sixièmes journées francophones sur les systèmes multi-agents.
- [Moura, 2008]** Moura, P. (2008). Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 363.
- [Munier, 2004]** Munier, N. (2004). Multicriteria environmental assessment: a practical guide: Springer Science et Business Media. eBook ISBN: 978-1-4020-2090-2.
- [Nafi et Werey, 2009]** Nafi, A., & Werey, C. (2009). Cours : Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type ELECTRE. Module d'ingénierie financière, ENGEES.
- [Noriega, 1999]** Noriega, P. (1999). Agent mediated auctions: the fishmarket metaphor: Citeseer. Thèse de doctorat, Université Autònoma de Barcelone.
- [Nunamaker et al., 1996]** Nunamaker Jr, J. F., Briggs, R. O., Mittleman, D. D., Vogel, D. R., et Pierre, B. A. (1996). Lessons from a dozen years of group support systems research: A discussion of lab and field findings. *Journal of management information systems*, volume 13(3), pp 163-207.
- [Okumura et al., 2013]** Okumura, M., Fujita, K., et Ito, T. (2013). An implementation of collective collaboration support system based on automated multi-agent negotiation. In *Complex Automated Negotiations: Theories, Models, and Software Competitions*, Springer. pp 125-141.
- [Oufella et al., 2009]** Oufella, S., Hamdadou, D., et Bouamrane, K. (2009). Conception d'un Système Interactif d'Aide à la Décision Collective en Localisation Spatiale. In *Proceedings of the 2nd Conférence Internationale sur l'Informatique et ses Applications (CIIA'09)*, Saida, Algeria.
- [Oufella et Hamdadou, 2018]** Oufella, S., et Hamdadou, D. (2018). A collaborative spatial decision support system applied to site selection problems. *International Journal of Applied*

Bibliographie

- Management Science, volume 10(2), pp 127-156.
- [Ozer, 2007]** Ozer, I. (2007). Multi-criteria group decision making methods using AHP and integrated web-based decision support systems. In proceedings to the Group Decisions and Negotiations Conference held in Mont Tremblant, Québec, University of Ottawa (Canada).
- [Power, 2000]** Power, D. J. (2000). Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. In proceedings to Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2000), paper 387.
- [Pruitt, 1981]** Pruitt, D. (1981). Negotiation Behavior Academic Press. New York.
- [Rahwan et al., 2002b]** Rahwan, I., Kowalczyk, R., et Pham, H. H. (2002). Intelligent agents for automated one-to-many e-commerce negotiation. In proceedings at the Australian Computer Science Communications.
- [Ramanathan et al., 2004]** Ramanathan, R., Rasmussen, M. R., Gerstmann, D. R., Finer, N., Sekar, K., et Group, n. T. N. A. S. (2004). A randomized, multicenter masked comparison trial of poractant alfa (Curosurf) versus beractant (Survanta) in the treatment of respiratory distress syndrome in preterm infants. American journal of perinatology, volume 21(03), pp 109-119.
- [Rasmusson et Janson, 1999]** Rasmusson, L., et Janson, S. (1999). Agents, self-interest and electronic markets. The Knowledge Engineering Review, volume 14(2), pp 143-150.
- [Ricci et al., 2007]** Ricci, A., Buda, C., et Zaghini, N. (2007). An agent-oriented programming model for SOA et web services. In proceedings for the 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics.
- [Ricordel, 2001]** Ricordel, P.-M. (2001). Programmation orientée multi-agents : développement et déploiement de systèmes multi-agents voyelles. Thèse de Doctorat de l'INPG, Grenoble.
- [Rosenschein et Zlotkin, 1994]** Rosenschein, J. S., et Zlotkin, G. (1994). Rules of encounter: designing conventions for automated negotiation among computers: MIT press.
- [Roy et Bouyssou, 1993]** Roy, B., et Bouyssou, D. (1993). Aide multicritère à la décision : méthodes et cas : Economica Paris.
- [Roy et Hugonnard, 1982]** Roy, B., et Hugonnard, J. (1982). Classement des prolongements de lignes de métro en banlieue parisienne (présentation d'une méthode multicritère originale). Cahiers du CERO, volume 24 (2-4), pp 153-171.
- [Roy, 1968]** Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle, volume 2(8), pp 57-75.
- [Roy, 1971]** Roy, B. (1971). Problems and methods with multiple objective functions. Mathematical programming, volume 1(1), pp 239-266.

Bibliographie

- [Roy, 1985] Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision* : Economica.
- [Roy, 2000] Roy, B. (2000). Réflexions sur le thème quête de l'optimum et aide à la décision. *Décision Prospective Auto-organisation– Mélanges en l'honneur de Jacques Lesourne*, Textes réunis par J. Thépot, M. Godet, F. Roubelat, A.E. Saad, Paris, Dunod, pp 61-83.
- [Saaty, 1970] Saaty, T. L. (1970). *Optimization in integers and related extremal problems*. McGraw-Hill. New York.
- [Saaty, 1980] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York.
- [Saaty, 1984] Saaty, T. L. (1984). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*, Volume 6. RWS publications.
- [Saaty, 1994] Saaty, T. L. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, volume 24(6), pp 19-43.
- [Saaty, 2008] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, volume 1(1), pp 83-98.
- [Schärlig, 1985] Schärlig, A. (1985). *Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne.
- [Schneider, 1996] Schneider, D. K. (1996). *Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle*. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, volume 440.
- [Seghrouchni et al., 2004] El Fallah-Seghrouchni, A., Haddad, S., Melitti, T., et Suna, A. (2004). Interopérabilité des systèmes multi-agents à l'aide des services web. *JFSMA*, In O. Boissier & Z. Guessoum (eds.) pp 91-104. ISBN: 2-7462-1021-5 .
- [Shaheen et al., 2004] Shaheen, F. S., Wooldridge, M., et Jennings, N. R. (2004). An agenda-based framework for multi-issue negotiation. *Artificial intelligence*, volume 152(1), pp 1-45.
- [Shen et al., 2002] Shen, W., Li, Y., Ghenniwa, H., et Wang, C. (2002). Adaptive negotiation for agent-based grid computing. *Journal of the American Statistical Association*, volume 97(457), pp 210-214.
- [Siddiqui et al., 2018] Siddiqui, A. W., Raza, S. A., et Tariq, Z. M. (2018). A web-based group decision support system for academic term preparation. *Decision Support Systems*, volume 114, pp 1-17.
- [Simon, 1954] Simon, H. A. (1954). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, volume 69(1), pp 99-118.
- [Simon, 1956] Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological review*, volume 63(2), pp 129.
- [Simon, 1957] Simon, H. A. (1957). A behavioural model of rational choice., *Models of man: social and rational, mathematical essays on rational human behavior in a social setting*, J.Wiley,

Bibliographie

- New York, H.A. SIMON, pp 241–260.
- [Simon, 1977]** Simon, H. A. (1977). *Science of Management Decision*. New Jersey, Prentice.
- [Smoliar et Sprague, 2002]** Smoliar, S., et Sprague, R. (2002). Communication and understanding for decision support. In proceeding of the International Conference IFIP TC8/WG8. Cork, Irlande, pp 107-119.
- [Stephan, 2014]** Stephan, E. (2014). *Méthode d'aide à la décision multicritère des stratégies de réhabilitation des bâtiments anciens en pierre calcaire : application au patrimoine en tuffeau*. Thèse de doctorat, École Nationale des Travaux Publics de l'État [ENTPE], Université de Lyon.
- [Stoner, 1994]** Stoner, A. W. (1994). Significance of Habitat and Stock Re-Testing for Enhancement of Natural Fisheries: Experimental Analyses with Queen Conch *Strombus gigas*. *Journal of the World Aquaculture Society*, volume 25(1), pp 155-165.
- [Sugumaran et Sugumaran, 2005]** Sugumaran, V., et Sugumaran, R. (2005). Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): evolution, architecture, examples and challenges. *Communications of the Association for Information Systems*, volume 19(1), pp 40.
- [Sycara, 1990]** Sycara, K. P. (1990). Persuasive argumentation in negotiation. *Theory and decision*, volume 28(3), pp 203-242.
- [Tsvetovatyy et al., 1997]** Tsvetovatyy, M., Gini, M., Mobasher, B., Ski, Z. W., et Ski, W. (1997). Magma an agent based virtual market for electronic commerce. *Applied Artificial Intelligence*, volume 11(6), pp 501-523.
- [Vadivelou et al., 2011]** Vadivelou, G., Ilavarasan, E., et Prasanna, S. (2011). Algorithm for web service composition using multi-agents. *International Journal of Computer Applications*, volume 13(8), pp 40-45.
- [Vaga et al., 2008]** Vega, A., Argus, R., Stockton, T., Black, P., Black, K., et Stiber, N. (2008). SMARTe: An MCDA Approach to Revitalize Communities and Restore the Environment, *Decision Support Systems for Risk-Based Management of Contaminated Sites*, Springer, New York, Marcomini, A., Suter, G.W. II and Critto, A., pp 1-26. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09722-0_9.
- [Verrons, 2004]** Verrons, M.-H. (2004). *GeNCA: un modèle général de négociation de contrats entre agents*. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologie de Lille I.
- [Vescoukis et al., 2012]** Vescoukis, V., Doulamis, N., et Karagiorgou, S. (2012). A service oriented architecture for decision support systems in environmental crisis management. *Future generation computer systems*, volume 28(3), pp 593-604.
- [Vincke, 1989]** Vincke, P. (1989). *L'aide multicritère à la décision* : Editions de l'ULB et Editions Ellipses.

Bibliographie

- [Voss et Procter, 2009]** Voss, A., et Procter, R. (2009). Virtual research environments in scholarly work and communications. *Library Hi Tech*, volume 27(2), pp 174-190.
- [Wind et Saaty, 1980]** Wind, Y., et Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, volume 26(7), pp 641-658.
- [Wong et Fang, 2010]** Wong, T., et Fang, F. (2010). A multi-agent protocol for multilateral negotiations in supply chain management. *International Journal of Production Research*, volume 48(1), pp 271-299.
- [Wood et DeLoach, 2000]** Wood, M. F., et DeLoach, S. A. (2000). An overview of the multiagent systems engineering methodology. In *proceeding of the first International Workshop on Agent-Oriented Software Engineering*, pp 207-221.
- [Wooldridge et al., 2000]** Wooldridge, M., Jennings, N. R., et Kinny, D. (2000). The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. *Autonomous Agents and multi-agent systems*, volume 3(3), pp 285-312.
- [Wooldridge, 2009]** Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*: John Wiley et Sons Ltd. I 2nd Edition, ISBN: 978-0-470-51946-2.
- [Xu et al., 2010]** Xu, L., Chen, L., Chen, T., et Gao, Y. (2011). SOA-based precision irrigation decision support system. *Mathematical and computer modelling*, volume 54(3-4), pp 944-949.
- [Yu et Wong, 2015]** Yu, C., et Wong, T. (2015). An agent-based negotiation model for supplier selection of multiple products with synergy effect. *Expert Systems with Applications*, volume 42(1), pp 223-237.
- [Zahedi, 1986]** Zahedi, F. (1986). The analytic hierarchy process—a survey of the method and its applications. *Interfaces*, volume 16(4), pp 96-108.
- [Zarató et al., 2016]** Zarató, P., Kilgour, D. M., et Hipel, K. (2016). Private or common criteria in a multi-criteria group decision support system: an experiment. In *proceedings of the CYTED-RITOS International Workshop on Groupware*, Springer, Cham. Volume 9848, pp 1-12.
- [Zribi, 2014]** Zribi, S. (2014). *La gouvernance SOA pour une approche de conception de Système d'Information de Médiation : réconciliation non-fonctionnelle de services pour mettre en œuvre les processus métier*. Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.
- [Zuo, 2016]** Zuo, W. (2016). *Managing and modeling web service evolution in SOA architecture*. Thèse de doctorat, Université de Lyon.

Webographie

- [Net1] Le site de Jean Paul FIGER, "Rest". <http://http://www.figer.com/publications/REST>. Consulté en 2019.
- [Net2] Mitra, N. (2003) SOAP Version 1.2 Part 0 : Primer, <http://www.w3.org/TR/soap12-part0>. Consulté en 2019.
- [Net3] Site de Samir SELLAMI Publié le 06/10/2016.
<https://www.supinfo.com/articles/single/2441-comprendre-soap-rest-leurs-differences>. Consulté en 2019.
- [Net4] W3C publié le 15 Mars 2001 Web Services Description Language (WSDL) 1.1. <https://www.w3.org/TR/2001/NOTE-wsdl-20010315>. Consulté en 2019.
- [Net5] OASIS. UDDI Version 3.0. UDDI Spec Technical Committee Specification, <http://www.oasis-open.org/committees/uddi-spec/>, 2002. Consulté en 2019.
- [Net6] Site de Mathias Aubin, « La méthode de vote Condorcet » Publié le 24 mai 2017, <https://blog.open-agera.com/fr/methode-condorcet/>. Consulté en 2019.
- [Net7] Kurt T Stam RedHat, Enterprise Integration Magician (EIM), written by domain experts., Copyright © 2003-2014 The Apache Software Foundation.
http://juddi.apache.org/docs/3.3/juddi-guide/html_single/. Consulté en 2019.

Résumé

L'aide à la décision est omniprésente dans différents domaines : territorial, spatial, organisationnel, etc. L'aide à la décision est de nature complexe, caractérisée par la nécessité de définir plusieurs critères et faire intervenir plusieurs décideurs éloignés géographiquement, ayant des préférences et des intérêts qui divergent. Dans cette perspective, nous proposons un modèle d'un système d'aide à la décision de groupe basé sur les services Web, les systèmes multi agents et l'analyse multicritères. Afin d'aider les différents décideurs à parvenir à un accord les satisfaisant, le système d'aide à la décision que nous proposons, est doté d'un protocole de négociation basé sur la concession monotone qui met en scène deux types d'agents, un ensemble d'agents participants capables de proposer leurs alternatives préférées et de concéder en cas d'un conflit et d'un agent initiateur permettant la coordination du protocole. Afin d'aider les décideurs à classer les alternatives proposées par l'initiateur, nous exploitons 3 méthodes d'analyse multicritères dans notre protocole de négociation, à savoir PROMETHEE II, ELECTRE TRI et AHP. A ce titre, un modèle décisionnel est proposé, il définit les étapes à suivre afin d'arriver à une décision consensuelle dans un contexte multi décideurs et multicritères.

Mots clés :

Système d'aide à la décision de groupe; Système Multi agents (SMA); Protocole de négociation; Concession monotone; Méthodes d'analyse multicritères (MAMC); Multi décideurs; Services Web; ELECTRE TRI; AHP; PROMETHEE II.