

THÈSE

En vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences

Spécialité : Informatique

Présentée par : Souad MADOURI

**VERS UN SYSTEME D'AIDE A LA DECISION SPATIALE
DE GROUPE : NEGOCIATION PAR ARGUMENTATION**

Soutenue publiquement devant le jury composé de : 20/02/2019

M. BELALEM Ghalem	Pr. Université Oran 1 Ahmed BENBELLA	Président
M. BOUAMRANE Karim	Pr. Université Oran 1 Ahmed BENBELLA	Examinateur
M. BOUCHIHA Djelloul	Pr. Université de Nâama	Examinateur
Mme. FIZZAZI Hedria	Pr. Université Mohamed Boudiaf-USTO	Examinatrice
M. BENYETTOU AbdelKader	Pr. Université Mohamed Boudiaf-USTO	Examinateur
Mme. HAMDADOU Djamila	Pr. Université Oran 1 Ahmed BENBELLA	Directrice de Thèse

Résumé.

Dans cette thèse, l'objectif principal est de mettre en place un système interactif d'aide multicritères à la décision de groupe. Ce système est modélisé par un ensemble d'agents en interaction. Ces derniers communiquent par envoi de messages pour résoudre une problématique décisionnelle spatiale qui consiste en la recherche d'une surface satisfaisant au mieux certains critères parmi un ensemble de variantes (exemple : la localisation d'une infrastructure, centre commercial, centre hospitalier, etc.).

Nous concevons un système d'aide à la décision de groupe qui s'appuie principalement 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). Nous dotons le module SMA d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation. A cet effet, les participants justifient leurs choix par des arguments afin d'aboutir à une décision collective.

Nous proposons, également, un modèle de communication entre les différents agents nommé ARG_GDSS (Argumentative Group Decision Support System). Ce dernier sert de base à un système d'aide à la décision de groupe exploitant, principalement, deux méthodes d'analyse multicritères :

- La méthode par agrégation totale AHP afin d'attribuer des poids aux critères ;
- La méthode par agrégation partielle ELECTRE III afin de classer (ranger) les variantes (les solutions possibles) de la meilleure à la pire pour sélectionner ensuite la (ou les) action(s) qui semble(nt) la (ou les) plus adéquate(s).

Le protocole proposé met en scène un agent coordinateur responsable du bon déroulement de la négociation et un ensemble d'agents participants représentant les différentes entités concernées par la décision en AT.

Mots clé.

Système d'aide à la décision spatiale, Aménagement du Territoire, Aide à la décision de groupe, Analyse multicritères, Système d'Information Géographique (SIG), Système Multi Agents, Protocole de négociation, Méthode multicritères ELECTRE III, Méthode multicritères AHP, Négociation par argumentation.

Abstract.

The main objective of this thesis is to set up an interactive multi-criteria decision support system. This system is modeled by a set of interacting agents. The latter communicate by sending messages to solve a decision-making problem that consists in finding a surface area which best fits some criterion from a set of variants (example: the location of an infrastructure, shopping center, hospital center, etc.). .

We design a group decision support system that relies mainly on the representation of the territory, with the functionalities of the geographical information system (GIS), and on the representation of the multiplicity and the diversity of the decision-makers with the functionalities of the multi agent system (SMA). We provide the MAS with a negotiation protocol based on the argumentation. In fact, the participants justify their choices with arguments in order to reach a collective decision.

We also propose a communication model between the different agents named ARG_GDSS (Multi Agents System Argumentative). This is used as a basis for a group decision support system using two multi-criteria methods:

- The total aggregation method AHP to assign weights to the criteria;
- The partial aggregation method ELECTRE III in order to rank the variants (the possible solutions) from the best to the worst to then select the action which seems to be the most adequate.

The proposed protocol shows a coordinator agent responsible for the smooth running of the negotiation and a set of participating agents representing the different entities involved in the TP decision.

Keywords: Spatial Decision Support System (SDSS), Territory Planning (TP), Group Decision Support , MultCriteria Analysis, Geographic Information System (GIS), Multi Agents System (MAS), Negotiation Protocol, MultCriteria Method Electre III, MultCriteria Method AHP, Negotiation by Argumentation..

الملخص :

تهدف هذه الأطروحة الى انشاء نظام تفاعلي متعدد المعايير لدعم القرار الجماعي ، يتكون هذا النظام من مجموعة عملاء متفاعلين، يكون التواصل بينهم من خلال ارسال رسائل لحل مشكلة مشروع معين يتمثل في البحث عن أنسب منطقة التي تتوافق مع معايير معينة، ضمن مجموعة من المتغيرات (مثال : موقع البنية التحتية ، مركز تجاري ، مستشفى الخ)

نصمم نظام دعم قرار جماعي و الذي يقوم أساسا على عرض منطقة (اقليم)، من خلال وظائف النظم المعلوماتي الجغرافي (SIG)، و على عرض التنوع و التعدد صناع القرار من خلال نظم متعدد العملاء (SMA)، نزود النظام متعدد العملاء بنظام المفاوضة يقوم على الاقتناع.

ندعم بحثنا باعتبار الحوار عملية إقناعيه ، يقوم المشاركون من خلالها بتبرير خياراتهم بحجج مقنعة بغية الوصول الى قرار جماعي.

نقوم في هذا البحث باقتراح نموذج حوار بين العملاء ، "المسمى بالنظام الإقناعي متعدد العملاء" (ARG_GDSS) ، الذي يستخدم كأساس لنظام دعم القرار الجماعي ، باستغلال المناهج متعددة المعايير: AHP و ذلك لمنح وزن للمعايير و استعمال ELECTR III لتصنيف المناطق من الأحسن الى الأسوأ ليتم بعد ذلك تحديد المنطقة أو المناطق الأكثر ملائمة مع تكليف عميل منسق مسؤول على السير الحسن لعملية التفاوض و مجموعة عملاء مشاركون يمثلون مختلف كيانات المعنية بالقرار الخاص بالتخطيط الاقليمي.

الكلمات المفتاحية :

نظام دعم القرار المكاني ، التخطيط الاقليمي، دعم القرار الجماعي ، تحليل متعدد المعايير ، النظام المعلوماتي الجغرافي ، النظم متعدد العملاء ، نظام التفاوض منهج AHP ، ELECTR III

REMERCIEMENTS

Toi mon Dieu Tout Puissant,

Au seuil de ce travail, nous avons l'obligation morale d'exprimer nos sentiments de gratitude et de profonds remerciements à tous ceux qui nous ont apporté leur aide tout au long de nos études et pendant la réalisation de ce travail, notamment :

Je remercie mon encadreur M^{me} Djamila HAMDADOU, professeur à l'université Oran 1 Ahmed Ben Bella, pour sa présence scientifique et humaine ainsi que pour tout le soin qu'elle apporte à me diriger vers des sujets d'actualités.

Je remercie très sincèrement, le professeur Ghalem BELALEM pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury d'évaluation de la présente thèse.

Je tien également à remercier Madame et Monsieur les examinateurs de cette thèse notamment professeur Karim BOUAMRANE de Université Oran 1 Ahmed BENBELLA ; professeur Djelloul BOUCHIHA de l'Université de Nâama ; professeur Hedria FIZAZI de l'Université Mohamed Boudiaf-USTO ; professeur AbdelKader BENYETTOU de l'Université Mohamed Boudiaf-USTO , qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Un grand merci aux membres du laboratoire LIO dirigé par M^r Karim BOUAMRANE; une équipe chaleureuse, qui a su créer un environnement de travail convivial et agréable.

J'aimerais également remercier toutes les personnes qui m'ont accompagné durant ce long chemin en m'aidant, en m'encourageant et en m'offrant leur soutien. Je pense spécialement à mes parents, mon mari, mes enfants, mes très chères frères et sœurs, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire. Merci à tous et à toutes.

Merci à toutes et à tous.

Souad Madouri

Liste des abréviations

AD	Aide à la Décision.
AMCD	Aide MultiCritères à la Décision.
ARG_GDSS	Argumentation_Group Decision Support System.
AHP	Analytic Hierarchy Process.
AT	Aménagement du Territoire.
DSS	Decision Support System.
GDSS	Group Decision Support System.
LIO	Laboratoire d'Informatique Oran.
MMAD	Méthode Multicritères d'Aide à la Décision.
SAD	Système d'Aide à la Décision.
SIAD	Système Interactif d'Aide à la Décision.
SIG	Système d'Information Géographique.
SMA	Système Multi-Agents.
UML	Unified Modeling Language.

Table des figures

1.1	Processus décisionnel selon Simon	15
1.2	Structure générique d'un SIAD	19
1.3	Architecture centralisée	25
1.4	Architecture décentralisée	26
1.5	Architecture hybride	27
2.1	Démarche bottom-up de Roy	35
2.2	Démarche top-down de Kenney	36
2.3	L'arborescence hiérarchique de critère et sous-critère	46
3.1	Représentation d'un SMA	55
4.1	Le système ARG_GDSS proposé : vue d'ensemble	75
4.2	Démarche d'utilisation de la méthode ELECTRE III	84
4.3	Les étapes de la méthode AHP	88
4.4	Les différentes étapes pour dériver les vecteurs propres	90
4.5	Diagramme de séquence UML du protocole de négociation proposé	97
4.6	Phases et étapes d'utilisation d'ARG_GDSS	99
4.7	Synthèse des phases de structuration et d'exploitation du modèle	102
5.1	Zone d'étude	106
5.2	La page de coordinateur	110
5.3	Chargement de la matrice des performances	110
5.4	Le classement des critères	111

5.5	Rangement de performances	112
5.6	La matrice générée $M_1 K * 2$.	112
5.7	Attribution des poids aux différents critères	113
5.8	Génération du critère max	113
5.9	La création des agents (décideurs)	114
5.10	La page associée à chaque agent participant	114
5.11	Page d'inscription	115
5.12	Page de connexion	115
5.13	La matrice de performance reçue par chaque décideur	115
5.14	Paramètres subjectifs exprimés par les décideurs 1 et 2	116
5.15	Vecteur de préférences utilisant ELECTRE III de chaque décideur	116
5.16	Les messages échangés pendant le processus de négociation	117
5.17	Le journal de négociation	118

Liste des tableaux

2.1	Structure d'une matrice des performances	33
2.2	Les quatre problématiques décisionnelles de référence.	34
2.3	Modélisation des quatre situations fondamentales de préférence	39
2.4	Conversion de l'échelle verbale en une échelle numérique dans AHP	47
4.1	Echelle de comparaisons binaires	89
4.2	Exemple d'une matrice de comparaison par paire	90
4.3	Table des indices de cohérence aléatoire	92
4.4	Table des ratios de cohérence acceptables	92
4.5	les primitives de négociation du coordinateur	94
4.6	les primitives de négociation des agents participants	95
4.7	Description des termes utilisés	98
5.1	Identification des critères	107
5.2	Matrice des performances	108
5.3	Paramètres subjectifs exprimés par le décideur politique	108
5.4	Paramètres subjectifs exprimés par le décideur public	109
5.5	Paramètres subjectifs exprimés par le décideur économique	109
5.6	Paramètres subjectifs exprimés par le décideur protection de l'environnement	109

Table des matières

Liste des abréviations	v
Table des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Introduction générale	1
Contexte de l'étude	2
Problématique	4
Contribution	6
Organisation de la thèse	7
Première Partie : Synthèse de l'état de l'art	9
Chapitre 1 : L'Aide à la Décision de Groupe.	10
1. Introduction	11
2. L'aide à la décision : concepts fondamentaux	11
2.1. La décision	11
2.2. Les types de décision	12
2.3. Les étapes de la décision	12
2.4. La typologie des décisions	13
3. L'aide à la décision	13
3.1 Définitions	13
3.2. Les acteurs de l'aide à la décision	13
3.3. Le processus de décision	15
4. Les systèmes d'aide à la décision (SAD)	15
4.1. Définitions	16
4.2. Les modèles des systèmes d'aide à la décision	16
5. Les systèmes Interactifs d'aide à la décision (SIAD)	17
5.1. Définitions	17

Table des matières

5.2. La typologie des SIAD	18
5.3. L'architecture d'un SIAD	18
5.4. Les caractéristiques d'un SIAD	19
6. les systèmes d'aide multicritères à la décision	20
7. Le système d'aide à la décision spatiale (SDSS)	20
8. Les systèmes interactifs d'aide à la décision de groupe	21
8.1. Définition	21
8.2. Le groupe	21
8.3. Typologies des groupes	22
8.4. les membres du groupe	23
8.5. Structure d'un GDSS	23
8.6. Principaux avantages des GDSS	24
9. les systèmes d'aide à la décision de groupe distribués	24
9.1. Architectures des GDSS distribués	25
9.1.1. Architecture centralisée	25
9.1.2. Architecture décentralisée	26
9.1.3. Architecture hybride	26
10. Travaux connexes	27
11. Conclusion	28
Chapitre 2 : L'Analyse Multicritères d'aide à la décision (AMCD)	29
1. Introduction	30
2. L'aide multicritères à la décision	31
3. L'analyse multicritères : concepts fondamentaux	31
3.1 L'action	31
3.2. Le critère	31
3.3. Tableau des performances	32
3.4. Les préférences	33

Table des matières

4. La typologie des problématiques décisionnelles	33
5. L'analyse multicritères	34
5.1. Objectifs de l'analyse multicritères	34
5.2. Démarche de l'analyse multicritères	35
6. Les bases méthodologiques de l'AMCD	36
6.1 Énumération des actions potentielles	37
6.2 Modélisation des préférences	37
6.3 L'agrégation multicritères	40
7. Les méthodes d'analyse multicritères	42
7.1. La famille des méthodes multicritères ELECTRE	42
7.1.1. La méthode ELECTRE I	42
7.1.2. La méthode ELECTRE II	43
7.1.3. La méthode ELECTRE III	44
7.1.4. La méthode ELECTRE IV	44
7.1.5. La méthode ELECTRE TRI	45
7.1.6. La méthode ELECTRE IS	45
8. La famille des méthodes multicritères PROMETHEE	46
9. la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process)	46
10. Travaux connexes	47
11. Conclusion	48
Chapitre 3 : Négociation par Argumentation	50
1. Introduction	51
2. Définitions d'un agent	51
3. Caractéristiques d'agents	52
4. Typologie des agents	52
4.1. Les agents réactifs	52
4.2. Les agents intentionnels/cognitifs	53
4.3. Architecture hybride	53

Table des matières

4.4. Architecture BDI (Beliefs Desires and Intentions)	53
5. Les systèmes multi agents (SMA)	54
6. Les techniques d'interaction dans les SMA	55
6.1. La coordination	55
6.2. La coopération	56
6.3. La négociation	57
6.3.1. Définitions	57
6.3.2. Les composants du modèle de négociation	58
6.3.3. Les protocoles de négociation dans les SMA	59
6.4. Les enchères	61
6.5. Les systèmes de vote	61
6.6. L'argumentation	63
6.6.1. L'argument	63
6.6.2. Argumentation basée sur la logique	64
6.6.3. Argumentation abstraite	66
7. Travaux connexes	67
8. Conclusion	69
La deuxième partie : Conception et Mise en Œuvre du Système d'aide à la décision de groupe SIGMA	70
Chapitre 4 : Le Système Proposé (ARG_GDSS)	71
1. Introduction	72
2. Objectifs visés par ARG_GDSS	73
3. Description d'ARG_GDSS	73
3.1. Le module SIG (modèle du territoire)	74
3.2. Le module SMA (modèle de la négociation)	74
4. Le protocole de négociation proposé	75

Table des matières

4.1. La phase de calcul	75
4.2. La phase d'établissement des préférences des agents (rangement des actions)	79
4.3. La phase de proposition	79
4.4. La phase d'analyse	81
4.5. La phase de décision	81
5. Détermination des préférences des agents participants	81
5.1. La méthode ELECTRE III	82
5.1.1. Avantages d'ELECTRE III	82
5.1.2. Limites d'ELECTRE III	82
5.1.3. Algorithme général d'ELECTRE III	83
5.2. La méthode AHP	87
6. Caractéristiques du protocole proposé	92
6.1. Les objets de la négociation	93
6.2. La cardinalité de la négociation	93
6.3. Le langage de la négociation : les primitives	93
6.3.1. Les primitives spécifiques à l'agent coordinateur	93
6.3.2. Les primitives spécifiques aux agents participants	94
6.4. Les stratégies des agents lors de la négociation	95
6.4.1. Les stratégies du participant	95
6.4.2. Les Stratégie de l'initiateur	96
6.5. Modélisation du processus de négociation ARG_GDSS	96
7. Modèle décisionnel adopté par ARG_GDSS	98
7.1. La phase de structuration du modèle	100
7.1.1. Identifier les critères	100
7.1.2. Identifier les actions	100
7.1.3. Identifier les décideurs	100

Table des matières

7.2. La phase d'exploitation du modèle	100
7.3 La phase de concrétisation	101
8. Conclusion	102
Chapitre 5 : Expérimentations et Résultats Obtenus	104
1. Introduction	105
2. Description du problème décisionnel	105
2.1. Délimitation de la région d'étude	106
2.2. Identification des critères d'adéquation du territoire pour l'habitat	106
2.3. Identification des différents décideurs	108
3. Simulation du processus de négociation	109
3.1. L'agent coordinateur	110
3.2. Les agents Participants	114
4. Conclusion	118
Conclusion générale et perspectives	120
Références	125

Introduction générale

Introduction générale

Dans la présente introduction, nous commencerons par présenter le contexte de notre étude puis nous abordons, essentiellement, la problématique spatiale traitée concernant la localisation d'une surface qui satisfait au mieux certains critères pour un projet de construction donné. Nous présenterons, par la suite, une description de quelques SIADs qui ont été développés comme prototypes. Nous explicitons ensuite, en détails, notre contribution dans le domaine de l'aide à la décision spatiale.

Contexte de l'étude

Dans notre vie introduisent (impliquent) plusieurs points de vue qui sont à la fois contradictoires, quantitatifs et qualitatifs, et par conséquent, la résolution de ces problèmes passe par la prise en considération de tous les points de vue jugés pertinents d'où l'aspect multicritères, ce dernier est apparu pour pallier aux limites du paradigme monocritère. Cela se faisait, généralement, en utilisant des outils d'analyse permettant de prendre en considération plusieurs problématiques multicritères.

Pour aménager le territoire, nous avons besoin d'un volume important d'information spatiale défendu par plusieurs décideurs qui ont des objectifs et des préférences multiples et souvent contradictoires, d'où l'aspect subjectif des décisions en aménagement de territoires, nous sommes généralement en face d'un problème de prise de décision complexe, multicritères et multi décideurs.

L'aménagement du territoire est un savoir-faire qui implique des choix de société et nécessite des méthodes. Ce savoir-faire s'appuie sur une vision prospective et stratégique qui tient compte des potentialités et des contraintes physiques, sociales, économiques et environnementales du territoire concerné.

A cet effet, les problèmes décisionnels territoriaux sont à caractère spatial complexe, de nature multidimensionnelle, interdisciplinaires et mal définis, nécessitant la définition de plusieurs critères souvent conflictuels dont l'importance n'est pas la même. Ce type de problématique implique plusieurs décideurs (personnes et institutions), aux intérêts conflictuels, ayant généralement des préférences et des

objectifs souvent divergents et dont les différents points de vue doivent être pris en compte pour la décision publique (Hamdadou, 2008).

L'objectif principal des recherches effectuées dans le cadre de l'aide multicritères à la décision, est de développer des modèles qui peuvent faciliter la prise de décision pour les décideurs. Pour cela, les solutions possibles au problème (alternatives) doivent être identifiées et il est nécessaire de modéliser les préférences de chaque décideur.

En outre, vu que la résolution des problèmes multicritères impose la prise en considération de tous les points de vue jugés pertinents, alors trouver un accord (consensus) entre ces différents points de vue représente un des objectifs suprême de toute méthode d'aide multicritères à la décision.

L'aide à la décision relative au problème d'aménagement de territoire est largement connue sous le nom de l'aide à la décision spatiale ou territoriale. Dans ce contexte, l'aide à la décision prend principalement, deux formes : *l'aide à la décision multicritères mono acteur* et *l'aide à la décision multicritères multi acteurs* qui prend, généralement, une forme de négociation.

La présente étude aborde le problème de la localisation d'une surface qui satisfait au mieux certains critères pour un projet de construction donné. Les contributions de ce travail se situent dans les domaines de recherche suivants: *planification territoriale, aide à la décision multicritères, systèmes d'information géographique et systèmes multi-agents*.

Plusieurs auteurs au sein de l'équipe « Modélisation spatio temporelle et vision Artificielle : du capteur à la décision » du laboratoire LIO ont développé des systèmes dans ce domaine (AT) qui ont retenu notre attention dont nous citons :

Dans (Hamdadou, 2008) Hamdadou propose un modèle de prise de décision en Aménagement du territoire basé sur une approche multicritères et une approche de négociation.

Dans (Oufella, 2009), MODSMAG est proposé pour la localisation spatiale, c'est un GDSS dédié aux problématiques d'AT fondé sur le contrat net protocole et la méthode multicritères ELECTRE III.

Dans (Benabbou, 2010), l'auteur a proposé un GDSS en AT fondé sur un protocole de négociation basé sur la concession monotone et l'analyse multicritères.

L'objectif visé par (Berhane, 2014), est la mise en place d'une plateforme de négociation pour les GDSS en utilisant les web services et les méthodes multicritères.

Plus récemment, Hamdadou dans (Hamdadou et Bouamrane, 2016) élabore un système d'aide multicritères à la décision de groupe SIGMAS pour une problématique d'aménagement du territoire. Le système proposé exploite les méthodes multicritères ELECTRE III et ELECTRE TRI.

Problématique

La problématique abordée, dans la présente étude, est **comment traiter le problème de la localisation d'une surface satisfaisant au mieux certains critères pour une construction donnée ?**

Afin de pallier à ce problème nous devons répondre à un ensemble de questions qui sont :

- *Comment faire face à la complexité des problèmes décisionnels territoriaux ?*
- *Quelle démarche d'aide à la décision faut-il adapter au domaine de l'environnement ?*
- *Comment analyser pour pouvoir choisir la meilleure solution ?*
- *Comment assurer la participation des différents acteurs ?*

Le problème abordé relève des processus décisionnels d'attribution de ressources. Pour les décideurs, il s'agit de faciliter leurs engagements et pour les gestionnaires d'améliorer l'utilisation des ressources attribuées (Hamdadou, 2008).

En effet, le territoire est un système complexe dont la gestion est régulièrement source de conflits. Cela est du, principalement à la corrélation d'acteurs provenant de domaines différents souvent opposés. Dans ce contexte, les intervenants du système sont les différents décideurs ou experts qui disposent de leurs propres informations, contraintes, stratégies de décision, préférences et objectifs généralement non partagés ou communiqués. Cela implique que le processus de décision est distribué entre les différentes entités impliquées et impactées par cette décision de groupe. La résolution de ce problème consiste alors à trouver une décision commune à tous les décideurs. D'où la nécessité d'un processus de négociation intégré dans un système d'aide à la décision de groupe qui permet de trouver un accord commun pour un groupe d'agents, face à un conflit (sur la décision à prendre).

Dans cette perspective, l'objectif de ce travail est de concevoir un Système Interactif d'Aide à la Décision de groupe. Ce dernier est modélisé par un système multi agents où chaque décideur est représenté par un agent. Les différents agents exploitent un protocole de négociation par argumentation prenant en compte les préférences des différents décideurs. Il tente ensuite de trouver un compromis qui satisfait certains des participants ou (idéalement) tous.

Un SIAD de groupe comprend des fonctions qui facilitent le travail de groupe en formulant des décisions alternatives, puis en organisant des sessions pour évaluer, classer et sélectionner une alternative (c'est-à-dire prendre des décisions de groupe). Ces SIAD sont conçus pour soutenir le processus de prise de décision à travers l'analyse des alternatives, la négociation et le vote.

Dans ce qui suit, nous présentons une description de quelques **SIADs** qui ont été développés comme prototypes dans divers laboratoires de recherche :

Dans (Kerstern, 1985) l'auteur a développé un prototype de SIAD de groupe. Il s'agit d'un système expert qui met en évidence les combinaisons de stratégies ainsi que leurs conséquences pour les parties impliquées dans la négociation. Le logiciel est développé à partir d'un progiciel de système expert à base de règles.

Un autre exemple de SIAD de groupe est le concept MEDIATOR (Jarke, 1986) qui s'appuie sur un système de bases de données distribué offrant au médiateur la possibilité de manipuler le processus d'échange d'informations pendant la décision de groupe.

Dans (Bui et Schenker, 1988), les auteurs ont présenté un concept intégré de SIAD de groupe dans un environnement distribué dans le temps et dans l'espace. Dans le même contexte, nous pouvons citer le travail de Morge (Morge, 2005) où l'auteur a développé un GDSS pour la gestion d'eau, justifiée à l'aide d'un système multi agents.

Dans (Ruffez, 2003) l'auteur vise à améliorer SYLVOPASTJEU (élaborer une version distribuée du jeu de rôle SYLVOPASTJEU, pour pouvoir augmenter le nombre de parties jouées), qui permet aux acteurs réels de communiquer avec des agents virtuels. Il fait partie du projet SYLVOPAST, axé sur le Sylvopastoralisme et la prévention des incendies en région méditerranéenne.

Le travail présenté dans (Hemaissia, 2008) a été mené afin de fournir une solution aux problèmes de décision de groupe rencontrés dans les applications de gestion de crise, en particulier les problèmes d'allocation distribuée. Dans cette optique, les

auteurs ont défini un protocole de négociation multidimensionnelle et multilatérale basé sur la négociation.

Contributions

Nous positionnons notre contribution par rapport aux domaines de recherche suivants : l'ingénierie urbaine, l'aide multicritères à la décision, les systèmes d'information géographiques et les systèmes multi agents.

Dans cette perspective, notre objectif est la mise en place d'un système d'aide à la décision de groupe **ARG_GDSS** (Argumentative Group Decision Support System). Ce dernier répond à une problématique d'aménagement de territoire à savoir la localisation spatiale, il aborde l'aspect multicritères par l'utilisation des deux méthodes AHP et ELECTRE III :

La première méthode multicritères AHP est utilisée afin d'attribuer des poids aux critères et la deuxième méthode ELECTRE III sert à classer (ranger) les différentes alternatives.

Le système proposé traite la multiplicité des acteurs (multi décideurs) impliqués dans la prise de décision en Aménagement du Territoire grâce au module SMA en exploitant un protocole de négociation par argumentation. La démarche décisionnelle proposée prend en considération les préférences des différentes parties concernées et permet d'aboutir à un compromis satisfaisant la totalité ou une partie des participants afin d'apporter une aide aux décideurs du territoire dans la réalisation du projet de localisation en AT.

Notre contribution porte principalement sur:

La proposition d'un modèle décisionnel basé sur un couplage SMA-SIG susceptible d'apporter une aide aux décideurs du territoire dans la réalisation des différents projets d'aménagement. La littérature offre peu d'exemples d'association de ces deux types de représentations de la réalité. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG), des outils puissants, permettant de saisir, stocker, gérer, visualiser et manipuler des informations sur des objets géo référencés et offrent également de nombreux outils d'analyse et les Systèmes Multi Agents (SMA) très adaptés pour modéliser les phénomènes où les interactions entre diverses entités sont assez complexes pour être appréhendées par les outils de modélisation classiques, nous dotons le module SMA d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation.

Afin de faire face à une décision de groupe où différents points de vue doivent être pris en considération, nous proposons un protocole de négociation multilatérale basé

sur l'argumentation mettant en scène un agent initiateur ainsi qu'un ensemble d'agents participants négociateurs, qui tente de trouver un compromis satisfaisant au mieux les participants.

L'objectif de cette étude est de concevoir un Système d'Aide à la Décision Spatiale nommé ARG_GDSS, intégrant des méthodes multicritères d'aide à la décision.

Organisation de la thèse

Cette thèse présente un travail qui recouvre plusieurs domaines de recherche à savoir : la planification territoriale, l'aide multicritères à la décision, les systèmes d'information géographique et les systèmes multi-agents. Le présent manuscrit est organisé en trois principales parties dont les structures sont décrites dans ce qui suit :

La première partie (Synthèse de l'état de l'art) étale les concepts fondamentaux se rapportant à la problématique abordée dans cette étude, elle comprend trois chapitres :

- Dans **le premier chapitre (L'aide à la décision de groupe)**, nous présentons les concepts de base structurant l'aide à la décision, d'une manière générale en mettant l'accent, particulièrement, sur les systèmes interactifs d'aide à la décision de groupe. Les principaux travaux de recherche dans le domaine de l'aide à la décision proposés dans la littérature sont présentés.
- Dans **le deuxième chapitre (L'analyse multicritères)**, nous abordons les concepts de base de la méthodologie multicritères d'aide à la décision, une attention particulière est réservée à la description de la famille des méthodes d'analyse multicritères de surclassement ELECTRE. Les principales contributions proposées dans ce domaine sont discutées.
- Dans **le troisième chapitre 3 (La négociation dans les systèmes multi agents et protocole d'argumentation)**, 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 particulièrement la négociation par argumentation et ensuite nous présentons les principaux travaux réalisés dans ce contexte.

La deuxième partie (Contribution) décrit notre contribution portant sur la modélisation et la mise en place d'un système d'aide à la décision spatiale capable d'aider les décideurs du territoire dans la localisation d'une surface satisfaisant au mieux les besoins des décideurs. Cette partie comporte deux chapitres :

- Dans **le quatrième chapitre: (Le système Proposé (ARG_GDSS))**, nous décrivons notre contribution. Nous présentons d'une manière détaillée notre système d'aide à la décision de groupe **ARG_GDSS** proposé, qui intègre un SIG et un SMA doté d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation et les méthodes d'analyse multicritères. Nous passons, par la suite, à sa modélisation UML à travers des diagrammes afin de modéliser les aspects statiques et dynamiques du processus décisionnel.
- Dans **le cinquième chapitre (Expérimentations et résultats obtenus)**, nous détaillons la démarche décisionnelle menée sur un cas réel. Les résultats obtenus feront l'objet d'analyses et de discussions détaillées.

Le présent manuscrit s'achève par une conclusion où nous rappelons l'objectif de notre travail tout en résumant les aspects les plus importants de cette thèse et ouvrons des perspectives à la présente étude.

Première partie
Synthèse de l'état de l'art

Chapitre 1

L'aide à la décision de groupe

Dans ce chapitre, nous présentons les concepts de base structurant l'aide à la décision, d'une manière générale en mettant l'accent, particulièrement, sur les systèmes interactifs d'aide à la décision de groupe. Les principaux travaux de recherche dans le domaine de l'aide à la décision proposés dans la littérature sont présentés.

Chapitre 1

L'aide à la décision de groupe

1. Introduction

Lorsqu'il s'agit d'un problème simple à résoudre, la décision est prise par réflexion basée sur l'expérience du décideur, bien qu'il existe toute une démarche ou un processus décisionnel à suivre, par conséquent la présence d'un modèle est nécessaire.

Dans de nombreuses organisations une décision n'apparaît pas comme un résultat fourni par un seul décideur, mais un compromis entre plusieurs intérêts et divers points de vue contradictoires. Les décisions qui se prennent aujourd'hui impliquent plusieurs personnes en particulier celles concernées par la décision.

Cette démarche collective multiplie les solutions envisagées. En effet, Un système d'aide à la décision est un système d'information qui supporte la prise de décision. Cet outil est utile pour les décideurs qui sont confrontés à des circonstances complexes, exigeant des décisions fondées sur de nombreux objectifs, qui se chevauchent sur de grandes superficies et sur un long horizon de temps.

2. L'aide à la décision : concepts fondamentaux

Nous considérons souvent la décision comme étant un individu isolé appliquant son choix parmi plusieurs alternatives sans donner une importance au modèle, procédure, méthode et suivi pour aboutir à un tel ou tel résultat.

Nous allons décrire, dans les sections suivantes, les principales notions relatives à l'aide à la décision.

2.1. La décision

Selon Roy (Roy, 1993) : « la décision est le fait qu'un individu isolé (le décideur) exerce librement un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné »

dans le temps. Sans nier toute pertinence à cette conception de la décision, il faut admettre qu'elle ne rend que très imparfaitement compte de la façon dont sont prises les décisions dans la plupart des organisations ».

Dans la vue de plusieurs chercheurs, la décision est définie comme « *un choix entre plusieurs alternatives* » (Hamdadou, 2008). Pour d'autres, la décision concerne aussi le processus de sélection de buts et d'alternatives (Levine et Pomerol, 1989).

2.2. Les types de décision

Selon Trentesaux (Trentesaux, 1996), les décisions peuvent être classées en 3 types selon le niveau de structuration des décisions :

1. **Décision structurée** : le problème est clairement posé, les données sont fiables et numériques. Les modèles sont clairement définis, ce qui permet une résolution fiable et algorithmique du processus décisionnel. une décision est bien structurée quand un processus connu et explicitable existe permettant de traiter les informations dans le système.
2. **Décision semi structurée** : le problème n'est pas clairement posé, les données sont souvent qualitatives et pas fiables, donc difficilement formalisable et le processus décisionnel ne peut pas être modélisé tel qu'il est, il faut le décomposer en sous-problèmes pour réussir à modéliser au moins une partie du processus, la décision est difficilement exprimable sous forme algorithmique.
3. **Décision non structurée** : le problème n'est pas clairement posé, la décision est difficilement justifiable de manière rationnelle.

2.3. Les étapes de la décision

La décision est un processus de résolution de problème qui met en œuvre des connaissances de natures très variées, la décision simple correspond à la classe de « problème relativement bien défini ». Un problème existe si: (Chakhar et al., 2005) :

- Le décideur perçoit un état interne ou externe non désiré **A** ;
- L'état de départ **A** non désiré doit être transformé en un état de but **B** ;
- Le décideur ne sait pas au départ comment parcourir le chemin qui va du point de départ **A** vers le point de solution **B** ;

Etant donné, que même les décisions simples ne possèdent ni problème ni but bien défini, il convient d'élargir cette définition de « problème » en une recette d'action (décision complexe).

2.4. La typologie des décisions

Il existe deux types de décisions, les décisions programmées et les décisions non programmées selon la classification de Simon (Simon, 1977), (Hamdadou, 2016):

1. **Décision programmée** : elle applique la procédure correspondante.
2. **Décision non programmée** : elle répond à un événement nouveau. Les acteurs de la conduite doivent alors se rabattre sur toute la capacité générale dont ils disposent pour mener des actions intelligentes, adaptables et orientées vers la résolution de problème. Il est évident que ce genre de décision est le plus coûteux en temps et en financement.

3. L'aide à la décision

Bernard Roy propose plusieurs définitions concernant l'aide à la décision, à cet effet, nous allons présenter les plus significatives :

3.1. Définitions

Selon Roy (Roy et Bouyssou, 1993) « *L'aide à la décision est 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, élément 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 valeur au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part* ».

Roy (Roy, 2000) la définit ainsi : « *Aider à décider, c'est tout d'abord aider à clarifier la formulation, la transformation et l'argumentation des préférences. A ce niveau, le concept clé est celui du critère* ».

3.2. Les acteurs de l'aide à la décision

Au cours d'un processus de décision, divers acteurs peuvent être amenés à intervenir à des titres variés. L'étude des différents acteurs (typologie, objectifs, systèmes de valeurs, interactions, etc.) constitue un aspect important à étudier pour analyser un processus de décision. En effet, dans le domaine d'AD, le terme acteur est souvent utilisé :

Selon (Roy, 1985), « *Un individu ou un groupe d'individus est acteur d'un processus de décision si, par son système de valeurs, que se soit au premier degré du fait des intentions de cet individu ou groupe d'individus ou au second degré par la manière dont il fait intervenir ceux d'autres individus, il influence directement ou indirectement la décision* ».

Autrement dit : un acteur est un individu ou un groupe d'individus intervenant dans le processus d'aide à la décision.

Pour qu'un groupe d'individus soit identifié comme un acteur unique, il faut que : « *relativement à ce processus, les systèmes de valeurs des membres de ce groupe soient identiques* » (Roy, 1985). Dans un processus de décision, il est possible de définir les acteurs suivants (Hamdadou, 2008) (Hamdadou, 2016) :

- **Le décideur** : la personne (ou les personnes) assistée(s) par l'aide à la décision et qui est aidée pour mieux exprimer ses préférences vis-à-vis une situation donnée.
- **Les intervenants** : ceux qui, de par leur intervention, conditionnent directement la décision en fonction du système de valeurs dont ils sont porteurs.
- **Les agis** : ils sont concernés par les conséquences de la décision. Ils interviennent indirectement dans le processus par l'image que d'autres acteurs se font de leurs valeurs et plus concrètement de leurs systèmes de préférences.
- **Les demandeurs** : ils demandent l'étude et allouent les moyens.
- **L'homme d'étude (l'analyste)** : est un individu ou un groupe d'individus, qui a pour rôle d'établir un système de préférences, de définir le modèle d'aide à la décision, de l'exploiter afin d'obtenir des réponses et d'établir des recommandations pour conseiller le décideur sur les solutions envisageables. L'homme d'étude est à distinguer du **négociateur** et du **médiateur**.
- **Le négociateur** : mandaté par un décideur en vue de faire valoir la position de celui-ci dans une négociation et de rechercher une action compromise.
- **Le médiateur** : intervient en vue d'aider les décideurs (ou les négociateurs) à rechercher une action compromise.

- **L'arbitre (juge)** : intervient en se substituant aux acteurs dans la recherche d'une action compromis.

3.3. Le processus de décision

La prise de décision peut difficilement être définie indépendamment de l'environnement dans lequel elle est développée et la décision est elle-même indissociable du contexte global du processus de prise de décision.

De manière générale, un processus de décision consiste à restreindre un ensemble de possibilités à un sous-ensemble strict et à évaluer cette restriction. Plusieurs modèles sont disponibles dans la littérature, le modèle le plus diffusé est vraisemblablement celui de Simon (Simon, 1977). Ce dernier distingue quatre phases dans le processus de décision illustrées par la figure (1.1).

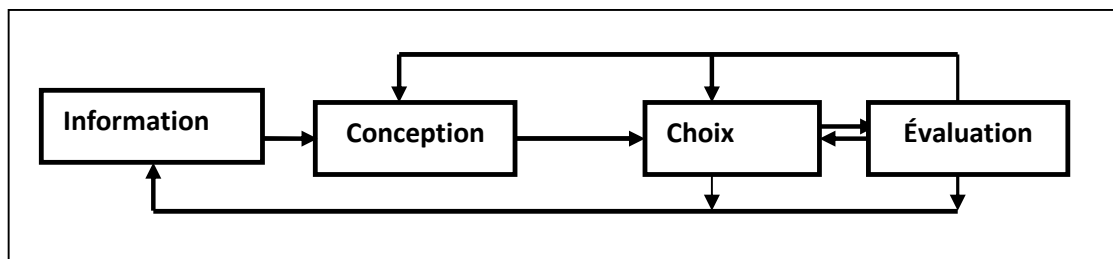


Figure 1.1 – Le processus décisionnel selon Simon.

1. **Information** : cette étape consiste à déterminer l'ensemble des données nécessaires (mais pas forcément suffisantes) utilisées lors des étapes suivantes ;
2. **Conception** : dans cette étape, les différentes alternatives qui forment l'ensemble des possibilités sont générées, les différentes solutions sont alors élaborées ;
3. **Choix** : cette étape permet de restreindre l'ensemble des possibilités au sous ensemble de possibilités sélectionnées ;
4. **Evaluation** : en regard de la solution retenue comme satisfaisante, cette étape peut amener à la réactivation de l'une des 3 phases précédentes ou à la validation de la solution.

4. Les systèmes d'aide à la décision (SAD)

Le concept de **système d'aide à la décision** (DSS, Decision Support System) est extrêmement vaste et ses définitions dépendent du point de vue de l'auteur. Un DSS peut prendre de nombreuses formes et peut s'utiliser de diverses manières.

4.1. Définitions

Certains auteurs définissent un DSS, d'une façon générale, comme étant :

« *Un système informatique qui facilite le processus de prise de décision* » (Trentesaux, 1996).

D'une manière plus précise, d'autres définissent un DSS comme étant "*un système informatisé qui utilise ses connaissances sur un sujet particulier dans le but d'aider le responsable durant la prise de décision dans une catégorie de problèmes peu ou pas structurés*" (Bonczek et al., 1984).

4.2. Les modèles des systèmes d'aide à la décision

Les modèles pour l'aide à la décision reposent généralement sur des hypothèses de rationalité des décideurs et de solutions possibles. Nous distinguons deux types de modèles (Hamdadou, 2016):

1. **Des modèles fondés sur la rationalité complète** et la recherche de solutions optimales telle que la programmation linéaire.
2. **Des modèles non fondés sur cette rationalité complète** et ayant des solutions considérées comme appropriées, tels que les systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) et les systèmes multi agents (SMA).

Aussi, nous pouvons diviser les modèles en deux grandes classes, les modèles normatifs et les modèles descriptifs.

1. Les premiers fournissent la meilleure solution et explorent l'ensemble des solutions.
2. Les seconds donnent une solution assez bonne ou satisfaisante, mais n'explorent qu'une partie des solutions ou espace de recherche.

Parmi les modèles normatifs, nous pouvons citer les trois sous-catégories suivantes (Roy, 1993):

1. **Enumération complète** : les modèles trouvent la meilleure solution parmi un ensemble relativement petit d'alternatives. Les principales méthodes sont les tables et les arbres de décision pour un but unique, la théorie de l'utilité (**MEU** : Maximum Expected Utility, spécifiquement conçue pour des décisions avec incertitude et l'analyse multicritères) (Roy, 1993).
2. **Optimisation à travers des algorithmes** : ils trouvent la meilleure solution parmi un ensemble important voire même infini d'alternatives,

en utilisant un processus d'amélioration pas à pas. Les principales méthodes sont : la programmation linéaire et autres modèles de programmation mathématique, programmation linéaire en nombre entier, programmation convexe, programmation multi objectifs qui est une variante de la programmation linéaire pour plusieurs fonctions (critères) à optimiser simultanément.

3. **Optimisation à travers des formules analytiques** : les modèles trouvent la meilleure solution en une seule étape en utilisant une formule.

Parmi les modèles descriptifs, nous pouvons présenter les catégories suivantes (Roy, 1993):

1. **Simulation** : les modèles trouvent une assez bonne solution ou la meilleure solution parmi les alternatives évaluées durant la simulation. Il y a normalement moins de simplifications par rapport à la réalité que dans les autres modèles. La simulation est une technique pour mener des expériences, elle a pour objet de décrire et/ou de prédire les caractéristiques d'un système donné sous différentes configurations. Dès que ces caractéristiques sont connues, la meilleure solution parmi les alternatives évaluées est choisie.
2. **Prédiction** : les modèles permettent de prédire le futur, c'est-à-dire de prévoir les conséquences des différentes alternatives dans un mois ou plusieurs afin de mieux évaluer celles-ci et de faire un choix. On peut citer parmi les méthodes les plus connues les modèles de Prédiction et les modèles Markoviens. Ils fournissent une assez bonne solution ou une solution satisfaisante.
3. **Heuristiques** : nous retrouvons deux principales méthodes qui trouvent une assez bonne solution au problème : **la programmation heuristique et les systèmes à base de connaissances**.

5. Les systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD)

Un SIAD est un outil d'aide à la décision. Cet outil assiste le décideur dans sa prise de décision. Diverses définitions ont été proposées pour le qualifier.

5.1. Définitions

Pour Lévine et Pomerol (Lévine et Pomerol, 1989) , un Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD) est " *un système informatique de traitement de l'information. Il se compose de plusieurs modules qui sont dédiés à des tâches*

différentes qui se complètent pour produire une valeur inaccessible à un module particulier. Ce système informatique comporte, comme tous les systèmes de traitement de l'information connus, des mémoires, de processeurs et des modules d'entrée-sortie; récepteurs et émetteurs qui permettent les échanges avec l'environnement".

Keen et Scott-Morton (Keen et Scott-Morton, 1978) proposent une définition de référence pour le concept de SIAD en le décrivant comme étant *"un système ouvert qui augmente la qualité des processus de décisions plutôt que leur productivité"*.

Dans un SIAD, certains branchements sont contrôlés par l'utilisateur, en particulier ceux qui gouvernent la direction du processus de la recherche d'une solution à un problème donné. Ce contrôle repose sur le fait que le SIAD étant un système de résolution de problèmes, l'utilisateur « **se promène** » d'état en état. Chaque état est caractérisé par un ensemble d'objets évalués. Le passage d'un état à un autre se caractérise par une modification de ces objets évalués. Ce passage d'un état à un autre se traduit donc à l'écran par différentes tentatives du genre : « qu'est-ce qui se passerait si? » (Lévine et Pomerol, 1989).

5.2. La typologie des SIAD

Keen (Keen, 1987) propose un regroupement par niveau d'aide interactive en fonction des désirs de l'utilisateur, ie : qu'il soit lui-même l'acteur principal en face d'un système d'aide ou le contraire.

- **SIAD passif**: donne un avis mais reste moins puissant que celui de l'utilisateur.
- **SIAD traditionnel**: ce système est un assistant dont la principale utilisation concerne les interactions de type « «what if ? » ».
- **SIAD étendu**: assure les fonctions de consultant et se place au même niveau que l'utilisateur.
- **SIAD nominatif**: domine le processus de décision, l'utilisateur ne fait que le rôle d'aide à la décision. Cette typologie spécifie la manière et le niveau de coopération Homme machine.

5.3. L'architecture d'un SIAD

Selon Vahidov et ses collègues (Hamdadou, 2008), le noyau du SIAD est composé des entités habituelles : *base de données, base de modèles et base de connaissances* correspondant à un domaine de problème, mais aussi d'un

composant appelé manager. Ce manager permet au SIAD d'être actif et autonome pour la réalisation de certaines tâches. Les autres entités montrées telles que "Sensors" (traduit par détecteur) et l'Effectors (traduit par effecteur) sont plus spécifiques au type de système que traite l'auteur.

Le détecteur capture les données pertinentes au domaine du problème à partir de sources variées. Tandis que les effecteurs sont les outils utilisés par le système de décision pour envoyer les signaux à l'environnement du problème. Le modèle générique d'un SIAD comporte trois principaux modules:

1. **Le module de dialogue** : c'est le responsable de l'interaction avec l'utilisateur ie: le contrôle des différentes interfaces, certaines permettent au décideur d'accéder aux données et aux fonctions, d'autres sont destinées pour communiquer les résultats des manipulations de l'utilisateur.
2. **Le module «base de données»** : ce module assure la fonction mémoire, par l'intermédiaire des interfaces dédiées, il contient soit les paramètres de façon permanente ou les résultats temporaires.
3. **Le module «modèle»** : c'est l'ensemble des procédures de computation mises à la disposition du décideur, ces procédures sont soit des modèles de calculs soit des procédures de représentation.

La figure (1.2) illustre un modèle générique d'un SIAD selon Sprague (Sprague, 1987).

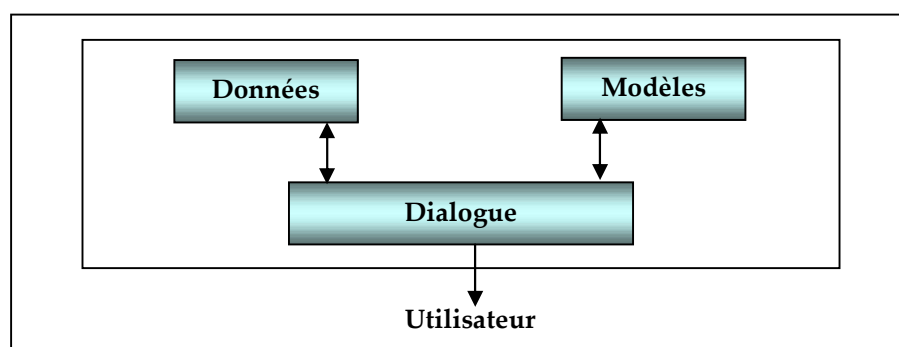


Figure. 1.2 - Structure générique d'un SIAD.

5.4. Les caractéristiques d'un SIAD

Un SIAD est un système d'information interactif, flexible, adaptable et spécifiquement développé pour aider à la résolution d'un problème décisionnel en améliorant la prise de décision. Le décideur peut ajouter, détruire, combiner,

changer et réarranger les variables du processus décisionnel (Alter, 1980). Un SIAD peut (Hamdadou, 2008) :

- Apporter une aide pour les problèmes peu ou mal structurés en connectant l'ensemble des jugements humains et des informations calculées ;
- Fournir une aide pour différentes catégories d'utilisateurs, ou des groupes d'utilisateur ;
- Fournir une interface utilisateur simple et autorise l'utilisateur à développer ces propres idées ou points de vue.

6. Les systèmes d'aide multicritères à la décision

Comme le montre son acronyme un **SIAMD** (Système Interactif d'Aide Multicritères à la Décision) est un SIAD dont l'outil d'analyse adopté est une méthode multicritères.

L'aide multicritères à la décision vise, comme son nom l'indique, à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution du problème de décision où plusieurs critères souvent contradictoires, doivent être pris en compte, elle permet de modéliser de la manière la plus fidèle possible les préférences d'un expert, une telle modélisation permet ensuite la construction d'outils adaptés et capables d'assister ou de remplacer un décideur sur des problèmes complexes (Hamdadou, 2016).

7. Le système d'aide à la décision spatiale (SDSS)

C'est un système interactif et informatisé conçu pour soutenir un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs en réalisant une efficacité plus élevée de prise de décision tout en résolvant un problème spatial de décision semi-structuré. Le SDSS présente les caractéristiques suivantes :

- Une conception explicite pour résoudre des problèmes mal structurés ;
- Une interface utilisateur puissante et facile à utiliser ;
- Une grande capacité de combiner les modèles analytiques avec les données ;
- La possibilité de soutenir une variété de modèles de prise de décision.

Le SDSS ne doit pas remplacer le jugement de l'utilisateur, mais doit l'aider à prendre de « meilleures » décisions. Il doit (Hamdadou, 2008) :

- Fournir des mécanismes pour l'introduction des données spatiales;
- Permettre la représentation des relations spatiales et des structures de données;
- Inclure les techniques analytiques de l'analyse spatiale;
- Fournir le rendement dans une variété de formes spatiales, sous forme de cartes.

8. Les systèmes interactifs d'aide à la décision de groupe

Parallèlement au courant des SIAD, se sont développées des approches visant à aider des groupes, soit pour faire émerger une solution commune (*Group Decision Support System*), soit dans le cadre de négociation (*Negotiation Decision Support System*). Comme les DSS pour l'aide à la décision individuelle, les GDSS (*Group Decision Support System*) sont conçus pour fournir des outils d'aide à la décision orientés systèmes d'informations, base de modèles et interface homme machine. Ces GDSS doivent modéliser :

- Des interactions entre les acteurs du groupe pouvant être aussi bien directes qu'indirectes ;
- Avec participation synchrone ou asynchrone des décideurs ;
- Un dispositif de réunion proche du mode de coordination courant.

En particulier, si les acteurs sont situés dans même lieu, une salle de réunion est privilégiée. A l'inverse, si les acteurs sont situés en des lieux éloignés, des approches de type Internet sont utilisées (Adla, 2007).

8.1. Définition

Un GDSS est connu sous l'appellation de Groupware, il est communément défini comme étant « *une collection de logiciels, du matériel, et de procédures conçus pour supporter automatiquement le travail du groupe* » (Krasner et Pope, 1988).

Il est souvent basé sur le réseau local de la salle de réunion (bien que le système peut également être réparti dans plusieurs salles ou endroits). En utilisant un GDSS, les membres du groupe peuvent s'échanger des commentaires, ranger les solutions alternatives, éditer les documents du groupe, ou effectuer un autre travail collaboratif de groupe.

8.2. Le groupe

Le travail en groupe est fondé sur le groupware et s'accorde à nommer les 3C: **Communication**, **Collaboration** et **Coordination**. C'est un ensemble (package) d'applications qui supportent plus qu'une personne, ces personnes

travaillent dans une tâche distribuée. C'est, aussi, un software Multi-Utilisateurs permettant à un ensemble d'utilisateurs d'accéder aux mêmes données (Krasner et Pope, 1988).

– **La communication** réside dans la transmission du savoir. Celle-ci peut se faire par des échanges formels, c'est-à-dire prévus, organisés et dont la forme est codifiée par l'organisation, comme les réunions, notes de service etc. Mais elle peut aussi se faire par des échanges informels, sur lesquels l'organisation n'a pas de contrôle, comme les conversations téléphoniques ou les discussions de la pause.

– **La Collaboration** constitue en un "espace" partagé. Espace où l'on communique, où l'on stocke sa connaissance, permettant ainsi à chacun d'exploiter des connaissances qui l'aideront en cas de besoin à remplir les tâches qui lui sont attribuées. Cette connaissance est à l'heure de l'information la matière première de toute entreprise.

En définissant la collaboration comme un espace partagé, il est facile de comprendre qu'elle peut être asynchrone, chacun allant écrire ou lire une information sur un "tableau noir" au moment opportun pour lui.

– **La coordination** est indispensable afin que le groupe puisse atteindre son objectif. Ce n'est, en effet, pas le groupe qui va remplir les tâches à faire, mais les individus formant ce groupe. Ce dernier ne recevant que l'exécution d'un processus qui sera découpé en tâches structurées, aboutissant à l'objectif défini, il est alors indispensable de reformer un tout avec ces différentes tâches, c'est-à-dire de les ordonner et d'y accorder des délais. La coordination apporte une structure de processus de travail aux aspects communication et collaboration (Bouamrane, 2006).

8.3. Typologies des groupes

Le travail de groupe peut être organisé en trois manières (Gallupe et al., 1992):

1. **Groupe interactif** : les membres de ce groupe communiquent entre eux et s'efforcent de poursuivre leur tâche. Dans une réunion face-à-face, seule une personne du groupe peut proposer son idée à un instant donné, car les membres du groupe ne peuvent prêter attention qu'à une seule personne à la fois.
2. **Groupe nominal** : dans un groupe nominal, les membres du groupe travaillent séparément sur la même tâche et un des résultats est choisi comme le produit du groupe.

3. **Equipe** : un travail d'équipe combine des aspects à la fois du travail de groupe interactif et nominal. Le groupe de travail est divisé en équipes (typiquement 2-5 personnes), qui travaillent séparément. Les équipes sont de taille assez réduite pour ne pas subir les déperditions de processus des groupes larges, mais assez large pour tirer profit des synergies sociales. Cependant, les équipes peuvent subir les tractations entre membres comme dans les groupes de travail interactifs.

8.4. Les membres du groupe

Durant un processus d'aide à la décision, différents acteurs peuvent être amenés à participer à différents niveaux et/ou à titre varié. L'étude des différents acteurs (typologie des acteurs, leurs objectifs et systèmes de valeurs, leurs interactions, ...) constitue un aspect important à étudier pour la modélisation et la conception d'un processus d'aide à la décision

- **Le facilitateur** : c'est un membre du groupe. C'est l'acteur qui a pour rôle de superviser le processus de prise de décision collective. D'abord, il lance et prépare les différentes phases du processus. Il définit ensuite la problématique de la décision et organise le groupe des décideurs. Il a la responsabilité de faire converger le processus de prise de décision. Il se charge aussi de diffuser les résultats aux participants à la fin de la session de prise de décision. Il est donc responsable du processus complet et de son achèvement, à savoir la décision.
- **Les participants** : ce sont les autres acteurs du groupe autre que le facilitateur. Ils représentent les experts dans la prise de décision. Les participants sont d'abord invités à la réunion. Lors de la réunion, ils reçoivent la problématique de la part du facilitateur. Leur rôle est de participer à la session de prise de décision collective. Pour cela, ils produisent des idées et des commentaires qu'ils partagent avec les autres participants. L'activité des participants est coordonnée par le facilitateur.

8.5. Structure d'un GDSS

Un GDSS peut être vu comme un SAD évolué par le fait qu'il y a plus d'un décideur impliqué dans le processus décisionnel, à même de fournir une certaine aide informatique pour la communication et l'intégration d'idées multiples. Il peut être caractérisé comme comprenant trois composants :

- **Une structure physique** : elle peut aller des plus spécialisées

(salle équipée de stations spécialisées, affichage de groupe, surface de travail configurée, éclairage modifiable, etc.) aux salles de réunion ordinaires.

- **Des outils :** incluant certains supports pour les différentes phases de l'activité collective telles que la génération d'idées, l'évaluation et le classement des solutions alternatives, le vote et la sélection d'actions et divers modèles de décision.
- **Un médiateur :** agissant comme un « facilitateur » pour le groupe et aidant ce dernier dans l'élaboration de l'ordre du jour de la réunion et dans l'utilisation des outils appropriés pour les activités collectives.

8.6. Principaux avantages des GDSS

Les avantages spécifiques d'un GDSS sont nombreux, en effet, il (Kalle, 2002):

- Permet la communication parallèle entre les membres du groupe ;
- Offre des opportunités égales et anonymes pour contribuer des idées et des opinions ;
- Élimine la domination trop grande de certains membres du groupe à la réunion ;
- Permet de connaître les opinions communes rapidement parmi les membres du groupe ;
- Aide à gérer l'ordonnancement de la réunion ;
- Fournit des capacités de documentation automatique efficaces.

9. Les systèmes d'aide à la décision de groupe distribués

La tendance actuelle à la globalisation a transformé la manière de prendre les décisions, les organisations sont maintenant bien souvent présentes sur plusieurs sites répartis à différents endroits de la planète. En conséquence, les données, les interfaces et les utilisateurs se situent bien souvent dans des lieux géographiquement distincts.

De nouveaux systèmes sont alors définis : les systèmes d'aide à la décision de groupe distribués. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication offrent aujourd'hui d'autres orientations dans la prise de décision concertée. Les informations nécessaires à une prise de décision cohérente peuvent se transmettre en temps réel à travers le monde. Ces environnements sont caractérisés par la dispersion des données parmi un

ensemble d'intervenants repartis géographiquement. Contrairement aux GDSS classiques, les GDSS distribués tentent de répondre au besoin de mise en relation de ces données décentralisées.

9.1. Architectures des GDSS distribués

Les différents composants d'un GDSS peuvent être dispersés géographiquement et doivent permettre aux décideurs de travailler avec le système n'importe où. Les auteurs dans (Turoff, et al., 2002) présentent une architecture générique qui permet de décrire un GDSS distribué ayant les caractéristiques suivantes:

- Les ordinateurs sont dispersés au travers d'une ou plusieurs organisations.
- Les ordinateurs sont connectés à l'aide d'un système de communication de données.
- Une BDD commune est partagée par toutes les BDD corporatives.
- Tous les ordinateurs sont coordonnés centralement à l'aide d'un plan de gestion de ressources d'information.
- Les opérations d'entrées/sorties sont effectuées au sein des postes utilisateurs.

Les trois principales topologies utilisées pour la communication sont la topologie centralisée, la topologie décentralisée et la topologie hybride. La topologie hybride représente une étape intermédiaire entre les deux autres topologies. Les différentes architectures sont détaillées dans les sections suivantes (Hamdan, 2014):

9.1.1 Architecture centralisée

Les prises de décision sont, dans ce cas, centralisées dans un centre coordinateur qui est hiérarchiquement supérieur et qui possède l'ensemble des informations nécessaires transmises par les centres qu'il supervise, figure (1.3).

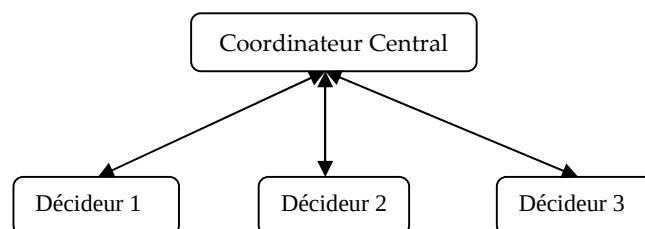


Figure 1.3 - Architecture centralisée.

Le principal avantage des systèmes centralisés est leur simplicité, qui est un facteur important pour le développement de DSS (temps de développement court et meilleure maniabilité). En outre, la topologie centralisée permet un contrôle aisé sur les données et les utilisateurs du DSS.

L'architecture centralisée présente aussi des limites et des inconvénients qui sont visibles par l'absence de tolérance aux pannes (si le noeud coordinateur tombe en panne, alors le système n'est plus en marche), l'absence de l'indépendance du lieu et la faible extensibilité. Il y a aussi l'aspect évolutivité, en effet, pour augmenter la capacité, il faut remplacer le composant central par un autre plus puissant.

9.1.2. Architecture décentralisée

Cette approche prend en charge le caractère distribué des décisions. Les systèmes décentralisés (figure 1.4) possèdent des caractéristiques opposées à celles des systèmes centralisés. Ils sont tolérants aux fautes (dans une certaine mesure), indépendants du lieu et extensibles. En effet, l'extension du système peut être réalisée par l'ajout de nouveaux composants sans devoir suspendre le fonctionnement de l'ensemble. De même, la réplication des composants importants entre les différents noeuds permet d'assurer une certaine capacité de tolérance aux fautes. En revanche, elle demande la mise au point de méthodes spécifiques de gestion pour assurer une cohérence globale des différents choix. Le principal désavantage de cette topologie réside dans la difficulté à connaître et à maîtriser l'état du système.

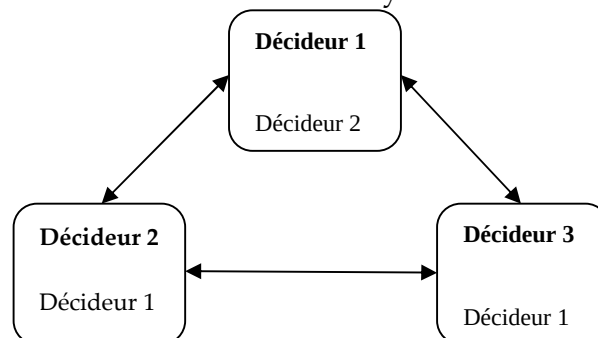


Figure1.4 - Architecture décentralisée.

9.1.3. Architecture hybride

Cette architecture combine les deux premières centralisée et décentralisée. Pour éviter et remédier au problème de composant central, et par conséquent l'arrêt du système en cas de défaillance de ce dernier, l'architecture hybride procède par une certaine redondance des fonctionnalités et des connexions.

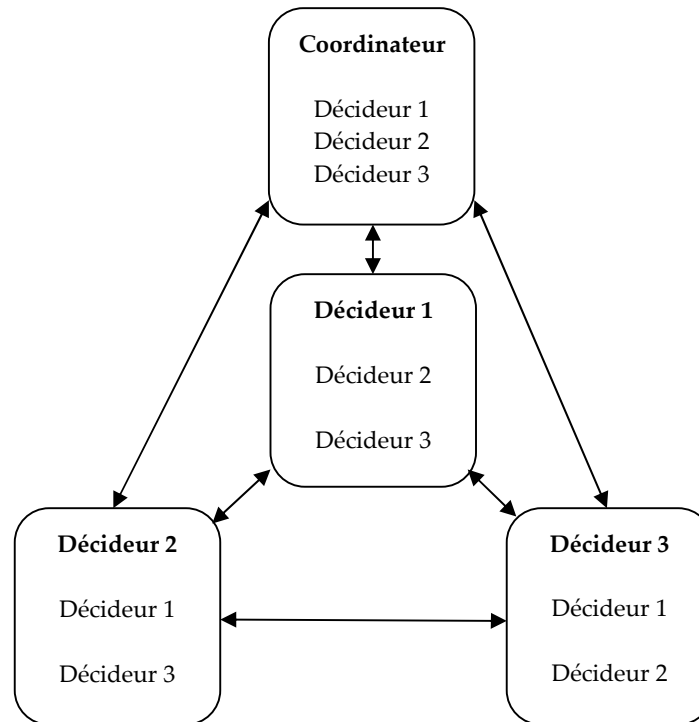


Figure 1.5 - Architecture hybride.

10. Travaux connexes

Dans la littérature, nous retrouvons plusieurs travaux de recherche dans le domaine d'aide à la décision. Dans ce qui suit, nous citons quelques systèmes pertinents qui ont retenu notre attention.

Dans (Joerin, 1997), MEDUSAT est proposé pour la localisation de l'emplacement d'une usine de traitement des déchets en Tunisie. Dans (Mottier, 1999), l'auteur propose un processus décisionnel pour la gestion des eaux en milieu urbain et dans (Boulemlia et al., 2000), les auteurs présentent quelques outils d'aide à la décision dans des collectivités locales à partir de système d'information géographique pour répondre aux problèmes de la gestion des eaux.

Dans la même optique, l'objectif principal de Laouar (Laouar, 2005), est d'apporter aux décideurs du territoire une aide adaptée à la prise en compte des nouveaux enjeux en matière de déplacement.

Au sein du Laboratoire d'Informatique d'Oran (LIO), les travaux effectués sur les systèmes d'aide à la décision spatial et qui traitent les problèmes de l'AT sont nombreux, citons quelques systèmes :

Dans (Hamdadou, 2008), HAMDADOU proposa un modèle d'aide à la décision spatiale fondé sur l'hybridation d'une approche multicritères et une approche de négociation.

Nous retrouvons, également, le système MODSMAG développé dans (Oufella, 2009). C'est un GDSS en AT élaboré pour la localisation spatiale, fondé sur le protocole contrat net et la méthode multicritères ELECTRE III. Une autre architecture de GDSS en AT est proposée dans (Bennabou, 2010), fondé sur une négociation par concession monotone et la méthode multicritères ELECTRE III.

D'autres expérimentations, dans la même perspective, ont été menées, nous citons :

- Dans (Benhadji, 2011), l'objectif de l'auteur est d'élaborer un GDSS en AT fondé sur le contrat net protocole et les méthodes multicritères ELECTRE III et ELECTRE TRI.
- Dans (Bensaada, 2012), l'auteur développe une plateforme de négociation pour les GDSS par les web services.
- Dans (Benhassane, 2014), un système d'aide à la décision de groupe distribué fondé sur la concession monotone et la méthode AHP est élaboré.

11. Conclusion

Sous le terme « Aide à la décision » (AD), nous désignons, essentiellement, les travaux qui prennent appui sur les modèles plus en moins formalisés et qui ont pour objet d'améliorer, de faciliter ou d'accompagner le déroulement, la conduite d'un processus de décision ou encore la maîtrise ou la compréhension que peut en avoir une instance de décision.

L'AD, ainsi conçue, reprend et actualise le projet initial de la recherche opérationnelle : chercher à prendre appui sur la science pour éclairer les décisions afin de conduire les processus de décision dans les systèmes organisés.

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'aide à la décision de groupe et tous les concepts relatifs à cette discipline.

Dans le second chapitre, nous abordons le paradigme *Aide multicritères à la décision* en présentant la méthodologie multicritères d'aide à la décision tout en décrivant les différentes méthodes multicritères en particulier la famille ELECTRE.

Chapitre 2

L'analyse multicritères d'aide à la décision (AMCD)

Dans chapitre nous abordons les concepts de base de la méthodologie multicritères d'aide à la décision, une attention particulière est réservée à la description de la famille des méthodes d'analyse multicritères de surclassement ELECTRE. Les principales contributions proposées dans ce domaine sont discutées.

Chapitre 2

L'analyse multicritères d'aide à la décision (AMCD)

1. Introduction

Choisir d'optimiser, c'est implicitement se situer dans une approche à critère unique. Cela se démontre aisément par l'absurde :

Dés que l'on prend "**plusieurs points de vue**" pour juger des conséquences de plusieurs actions, on risque de désigner comme optimale une action différente pour chaque point de vue et qu'en fin de compte, aucun optimum ne se dégage des calculs.

Or, toute la réalité humaine est à points de « **vues multiples** ». Utiliser un tel argument conduit à voir dans le "**monocritère**" un cas limite et dégénéré du "**multicritères**".

L'approche classique des problèmes de décision: l'optimisation d'une unique fonction économique, montre certaines faiblesses.

- La comparaison de plusieurs solutions possibles se fait rarement selon un seul critère;
- Les préférences sur un critère sont, dans bien des cas, difficilement modélisables par une fonction.

En matière d'aide à la décision, la littérature "**multicritères**" a connu un extraordinaire accroissement depuis 1970. Par leur manière d'intégrer tout type de critères, les méthodes d'analyse multicritères ou, plus exactement, les méthodes d'aide multicritères à la décision (AMCD), permettent de mieux se diriger vers un judicieux compromis plutôt qu'un optimum souvent désuet (Hamdadou, 2016).

2. L'aide multicritères à la décision

L'AMCD vise la résolution des problèmes incluant plusieurs alternatives et en considérant plusieurs critères de décision simultanément. Ces derniers sont souvent conflictuels et d'importance inégale (Hamdadou, 2008).

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 où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte»*.

3. L'analyse multicritères : concepts fondamentaux

Cette section définit la terminologie associée à l'analyse multicritères à savoir: action, critère, tableau de performances, préférences, paramètres subjectifs agrégation, relation de surclassement, etc. .

3.1. L'action

Compte tenue de la définition proposée par Roy (Roy et Hugonnard, 1985), une action correspond à une solution possible envisagée dans un processus de décision. C'est l'élément qui va faire l'objet de la comparaison. Le concept d'action n'inclue aucune idée de faisabilité ou de réalisme, d'où l'utilité d'introduire certaines distinctions, à savoir une typologie d'une action (réelle, fictive, réaliste, potentielle, action de référence) (Roy et Bouyssou, 1993).

3.2. Le critère

La définition proposée dans (Schärlig, 1985) est la suivante *« un critère est une référence par rapport à laquelle on mesure la conséquence d'une action, en d'autres termes un critère exprime plus ou moins les préférences du décideur relativement à un attribut donné »*.

Un **critère** peut être défini comme étant *« une expression qualitative ou quantitative qui permet d'examiner les actions et les évaluer »* (Ex : Nuisances sonores, Puissance moteur, Note d'examen, etc.).

Le choix de la famille des critères n'est pas une opération évidente, il doit respecter les conditions suivantes (Maystre et al., 1994) :

- **Exhaustivité** : Il s'agit de ne pas oublier aucun critère. Afin de vérifier cela, il faut procéder à un test d'exhaustivité qui consiste à s'assurer qu'entre deux actions a et b, si les performances des deux actions sont identiques pour tous les critères, il faut qu'il y ait une relation

d'indifférence entre a et b. Dans le cas échéant, il existe au moins un critère qui n'a pas été pris en compte et qui permet de trancher en faveur de l'une des deux actions.

– **Cohérence** : Il doit y avoir une cohérence entre les préférences locales de chaque critère et les préférences globales (Hamdadou, 2008). C'est-à-dire que si une action a_1 est égale à une action a_2 pour tous les critères sauf pour un (où elle lui est supérieure), ceci signifie que l'action a_1 est globalement supérieure à l'action a_2 .

– **Indépendance** : Il ne doit pas y avoir de redondance entre les critères. Leur nombre doit être tel que la suppression d'un des critères ne permet plus de satisfaire les deux conditions précédentes (Maystre et al., 1994).

3.3. Tableau de performances

Appelé également "**matrice d'évaluation**" ou de **jugements** ou "**matrice de performances**". C'est un tableau à deux dimensions ($n \times m$), en considérant deux ensembles, le premier (**A, comportant n actions**) est celui des actions, le second (**C, comportant m critères**) est celui des critères, chaque ligne représente une action et chaque colonne un critère qui, pour chaque action a_i de l'ensemble des actions A fait correspondre un vecteur $g = (g_1(a_i), g_2(a_i), \dots, g_n(a_i))$. Ces valeurs numériques sont souvent appelées performances. C'est la base de la collection et de l'organisation de l'information, (Ben-Mena, 2000) :

$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$; $C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\}$, avec n le nombre des actions et m le nombre des critères. S_{ij} désigne la performance ou l'évaluation de l'action a_i par rapport au critère c_j .

Actions (Alternatives)	Critères						
	C ₁	C ₂	C ₃		C _j		C _m
a_1	S_{11}						S_{1n}
a_2	S_{21}						S_{2n}
.....							
a_i					S_{ij}		
.....							
a_n	S_{m1}	S_{m2}	S_{m3}				S_{nm}

Table 2.1 - Structure d'une matrice des performances.

3.4. Les préférences

Vincke (Vincke, 1989) rappelle que la modélisation des préférences constitue une étape indispensable en aide à la décision. Lorsqu'un décideur est confronté à la comparaison de deux actions a_1 et a_2 il aura alors l'une des trois réactions (Alexandre et Remy, 1993) :

- **Préférence** pour l'une des deux actions notée $a_1 \mathbf{P} a_2$: si a_1 est préférée à a_2 cela signifie que l'une des deux actions est meilleure que l'autre.
- **Indifférence** entre les deux actions notée $a_1 \mathbf{I} a_2$: signifie que les deux actions sont tellement proches qu'il est difficile de dire que l'une est meilleure que l'autre.
- **Incomparabilité** entre les deux actions notée $a_1 \mathbf{R} a_2$: signifie que les deux actions sont tellement différentes l'une de l'autre qu'il est difficile de pouvoir les comparer.

4. La typologie des problématiques décisionnelles

La table (2.2) illustre les problématiques multicritères fondamentales (Roy et Bouyssou, 1993) :

Problématique	Objectif
P α Un choix ou une procédure de sélection.	Eclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix finale d'une seul action, ce sous-ensemble contenant des « meilleures » actions (optimaux)ou,à défaut ,des actions « satisfaisantes ».
P β Un tri ou une procédure d'affectation.	Eclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie étant définies a priorie en fonction de normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.
P γ Un rangement ou une procédure de classement.	Eclairer la décision par un rangement obtenu en re-groupant tous ou partie (les « plus satisfaisntes »)des actions en classes d'équivalence,cet classes étant ordonnées,de façon complète ou partielle,conformément aux préférnces.
P Δ Une description ou une procédure cognitive.	Eclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences.

Table 2.2 - Les quatre problématiques décisionnelles de référence.

5. L'analyse multicritères

C'est une analyse qui vise à expliciter une famille cohérente de critères pour permettre de concevoir, justifier et transformer les préférences au sein d'un processus de décision.

L'analyse multicritères est une démarche permettant d'orienter un choix en se basant sur plusieurs critères communs. Cette démarche est essentiellement dédiée à la compréhension et à la résolution de problèmes de décision. L'analyse multicritères a été développée dans le cadre des sciences économiques et du génie industriel. Elle peut être désormais considérée comme un outil scientifique à part entière (Net 1).

5.1 Objectifs de l'analyse multicritères

L'analyse multicritères est utilisée pour porter un jugement comparatif entre des éléments ou des mesures (alternatives) hétérogènes. Elle permet de :

- Fournir aux décideurs des outils afin de progresser dans la résolution de problèmes décisionnels.
- Aider à prendre une décision ou à évaluer plusieurs options dans des situations où aucune possibilité n'est parfaite.
- Aboutir à une solution par la simplification du problème, tout en respectant les préférences des acteurs.
- Concilier les aspects économiques, de design, technologiques, environnementaux, sociaux, ...

5.2 Démarche de l'analyse multicritères

Dans la littérature, la démarche de l'analyse multicritères est proposée de différentes manières. L'approche à partir des conséquences de Bernard Roy (Roy, 1985) et l'approche à partir des objectifs de Keeney (Keeney, 1992) représentent deux exemples relativement extrêmes.

Keeney (Keeney, 1992) se base sur l'approche du "**haut vers le bas**" (**top-down**) qui consiste à construire une structure hiérarchique ayant à son premier niveau l'objectif global qui se divise en sous-objectifs qui sont à leur tour subdivisés en sous-sous-objectifs jusqu'à ce que l'on atteigne un niveau mesurable que l'on qualifie d'attributs figure (2.1).

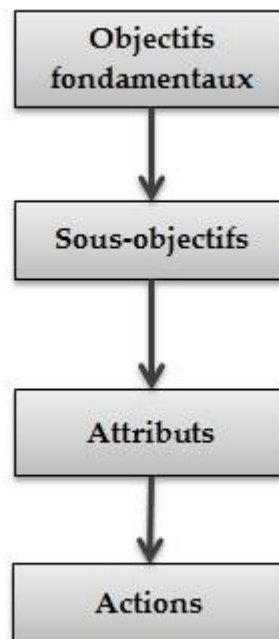


Figure 2.1 - Démarche bottom-up de Roy.

Roy (Roy, 1985) se base sur une approche de "**bas vers le haut**" (**bottom-up**) qui consiste à identifier toutes les conséquences pouvant résulter de la mise en oeuvre des actions. Ces conséquences sont structurées en dimensions puis en axes de signification autour desquels sont construits les critères, figure (2.2).

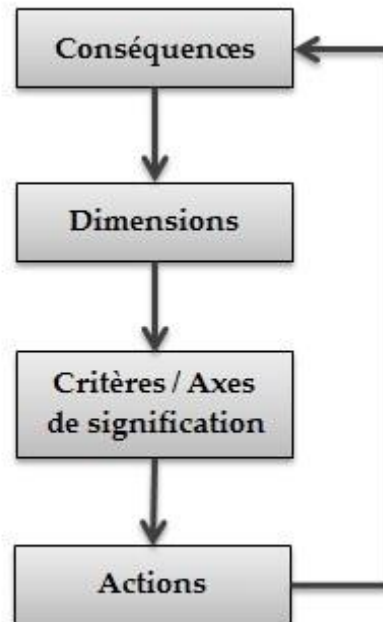


Figure 2.2 - Démarche top-down de Kenney.

6. Les bases méthodologiques de l'AMCD

Les méthodes d'analyse multicritères sont des outils d'aide à la décision développés depuis les années 1960. De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de trouver la "solution la plus adéquate" de façon à prendre en compte un ensemble de critères. Sachant que cette solution peut être de formes différentes (choix, affectation, classement, etc.), Pour la majorité des méthodes multicritères, on distingue, principalement, les trois étapes suivantes (Hamdadou, 2008) (Ben-Mena, 2000) :

1. Énumérer les actions potentielles ;
2. Modéliser les préférences du décideur ;
 - Dresser la liste des critères ;
 - générer la matrice de performance.
3. Procéder à l'agrégation des performances.

6.1 Énumération des actions potentielles

L'adjectif "potentielle" est également d'une importance capitale. En effet, une action potentielle a la particularité d'être réelle ou fictive mais jugée, ne serait-ce que provisoirement, réaliste par au moins un acteur en vue de l'aide à la décision. L'ensemble des actions potentielles est généralement noté "A" (Roy, 1985) et doit être le plus complet possible, chose qui n'est pas tout le temps tout à fait évidente.

6.2 Modélisation des Préférences

Les Méthodes MultiCritères d'Aide à la Décision (MMCAD) se basent sur la comparaison des actions potentielles, soit entre elles ou avec des actions de références. Cette comparaison prend appui sur les valeurs et les préférences d'un ou plusieurs acteurs dans un processus de décision.

Par conséquent, un système relationnel de préférences (**s.r.p.**) est défini par un ensemble de relations¹ binaires. Rappelons en quelques structures remarquables de ces relations ayant un intérêt particulier en modélisation des préférences (Roy et Bouyssou, 1993).

Soit R une relation binaire sur un ensemble A . La relation binaire (A, R) est dite :

- **Réflexive** si $\forall a_1 \in A, a_1 R a_1$;
- **Irréflexive** si $\forall a_1 \in A, a_1 \neg R a_1$;
- **Symétrique** si $\forall a_1, a_2 \in A, a_1 R a_2 \Rightarrow a_2 R a_1$;
- **Asymétrique** si $\forall a_1, a_2 \in A, a_1 R a_2 \Rightarrow a_2 \neg R a_1$;
- **Antisymétrique** si $\forall a_1, a_2 \in A, a_1 R a_2 \text{ et } a_2 R a_1 \Rightarrow a_1 = a_2$;
- **Transitive** si $\forall a_1, a_2, a_3 \in A, a_1 R a_2 \text{ et } a_2 R a_3 \Rightarrow a_1 R a_3$;
- **Négativement transitive** si
 $\forall a_1, a_2, a_3 \in A, a_1 \neg R a_2 \text{ et } a_2 \neg R a_3 \Rightarrow a_1 \neg R a_3$;
- **Ferrers** si $\forall a_1, a_2, a_3, a_4 \in A, a_1 R a_2 \text{ et } a_3 R a_4 \Rightarrow a_1 R a_4 \text{ ou } a_3 R a_2$;
- **Quasi-transitive** si
 $\forall a_1, a_2, a_3, a_4 \in A, a_1 R a_2 \text{ et } a_2 R a_3 \Rightarrow a_1 R a_4 \text{ ou } a_2 R a_3$;

¹ Une relation binaire R sur un ensemble A est un sous ensemble du produit cartésien $A \times A$, nous noterons fréquemment $a_1 R a_2$ au lieu de $(a_1, a_2) \in R$ et $a_1 \neg R a_2$ au lieu de $(a_1, a_2) \notin R$

- **Complète** si $\forall a_1, a_2 \in A, a_1 R a_2 \text{ et / ou } a_2 R a_1$;
- **Relation d'équivalence** si R est réflexive, symétrique et transitive ;
- **Ordre faible** si R est asymétrique et négativement transitive ;
- **Ordre strict** si R est asymétrique et transitive.

Les relations $R_1, R_2, \dots, R_i$ constituent un système relationnel de préférences (**s. r. p.**) sur A si :

- Elles sont exhaustives : pour une paire d'actions quelconques, une au moins est vérifiée.
- Elles sont mutuellement exclusives : pour une paire d'actions quelconques, deux relations distinctes ne sont jamais vérifiées en même temps.

Dans la modélisation des préférences, les auteurs (Roy et Bouyssou, 1993) proposent quatre situations fondamentales incompatibles de préférence : **l'indifférence, la préférence stricte, la préférence faible et l'incomparabilité**. Ces situations sont représentées par les relations binaires illustrées par la table (2.3). Les relations {I, P, Q, R} ne sont pas nécessairement transitives.

Situation	Définition	Relation
Indifférence	Les deux actions sont indifférentes : il existe des raisons claires et positives d'équivalence. Exemple : $g(a_1) = g(a_2)$, l'égalité ne pouvant être qu'approximative pour certaines composantes.	I : relation symétrique et réflexive.
Préférence stricte	L'une des deux actions (nous savons laquelle) est strictement préférée à l'autre. Exemple : $g_j(a_1) = g_j(a_2) \quad \forall j \neq k, \quad g_k(a_1) - g_k(a_2)$ révélateur d'une différence significative.	P : relation asymétrique et irréflexive.
Préférence faible	L'une des deux actions (nous savons laquelle) est non strictement préférée à l'autre sans que nous pouvons dire si l'autre est strictement préférée ou indifférente car aucune des deux situations précédentes ne s'impose. Exemple : $g_j(a_1) = g_j(a_2) \quad \forall j \neq k, \quad g_k(a_1) - g_k(a_2)$ ni suffisamment faible pour justifier l'indifférence, ni suffisamment fort pour justifier la préférence stricte.	Q : relation asymétrique et irréflexive.
Incomparabilité	Les deux actions sont non comparables : aucune des trois situations précédentes ne s'impose. Exemple : $g_j(a_1) > g_j(a_2)$ pour $j = 1, \dots, p$, $g_j(a_2) > g_j(a_1)$ pour $j = p+1, \dots, n$ la plupart des écarts étant significatifs.	R : relation symétrique et irréflexive.

Table 2.3 - Modélisation des quatre situations fondamentales de préférence : comparaison de deux actions a_1, a_2 sur la base des vecteurs $g(a_1)$ et $g(a_2)$.

- 1. Dresser la liste des critères** Les critères ne sont autres que les conséquences des actions, autrement dit, les effets ou attributs des actions interférant éventuellement avec les objectifs d'un acteur du processus de décision ou avec son système de valeurs. Considérés

comme éléments primaires, ces effets ou attributs permettent à l'acteur d'élaborer, justifier ou transformer ses préférences (Roy, 1985).

2. 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_1 relativement à une majorité de critères, sans être trop nettement plus mauvaise que a_2 relativement aux autres critères (Schärlig, 1985).

3. 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, 2016) :
- **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_j) : 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 des décideurs. Il s'exprime par l'écart maximum acceptable autour de la valeur de l'évaluation.

6.3 L'agrégation multicritères

Il s'agit d'établir un modèle des préférences globales, c'est-à-dire une représentation formalisant de telles préférences relativement à un ensemble A d'actions potentielles, que l'homme d'étude juge approprié au problème d'aide à la décision (Ben-Mena, 2000).

Dans (Roy, 1985), trois stratégies d'agrégation des jugements sont à distinguer dans le contexte des méthodes d'aide multicritères à la décision : **Agrégation complète, Agrégation partielle et Agrégation locale itérative.**

1. **Agrégation complète** : Dans cette approche d'inspiration américaine, les différents critères sont synthétisés dans une seule fonction mathématique monotone (à sens d'évaluation unique). A partir des évaluations des différents critères, la fonction d'optimisation résultante dite d'utilité ou d'agrégation, produit donc une valeur unique évaluant globalement la solution (Ben-Mena, 2000) . L'approche suppose que tous les jugements soient commensurables et transitifs et exclut toute incomparabilité entre deux actions. Les méthodes relevant de cette approche conviennent bien aux problèmes dont les critères sont indépendants, autrement dit, lorsque tous les critères interagissent sur la décision finale. Comme exemple de cette approche on peut citer plusieurs méthodes : MAUT (Multiple Attribute Utility Theory), UTA (Utilité Additives), AHP (Analytic Hierarchy Process),etc. (Caillet, 2003).
2. **Agrégation partielle** : Cette approche repose sur la comparaison des actions deux à deux puis une synthèse des résultats de ces comparaisons (c'est d'ailleurs la façon de synthétiser qui diffère entre les méthodes de cette approche). Elle permet de respecter l'incomparabilité, mais au prix de la clarté des résultats. Parmi les méthodes les plus connues d'agrégation partielle, nous citons les familles ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) et PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations). Les inconvénients de cette approche se résument dans la forme des résultats (Les réponses sont généralement complexes) et le nombre important de comparaisons entre les actions (Pour n actions, il faut effectuer n fois $(n-1)$ comparaisons) (Mousseau, 2003).
3. **Agrégation locale** : Contrairement aux deux approches précédentes où l'on suppose que l'ensemble des actions est fini et de dimension raisonnable, cette approche s'applique à des ensembles d'actions d'une très grande dimension voire infinis lorsque les actions varient en continu. Partant d'une solution de départ, la technique permet de chercher au voisinage de cette solution s'il n'y en a pas de meilleure et ce de manière répétitive. Développées dans le cadre de la programmation mathématique aux objectifs multiples, ce type de méthode alterne les

étapes de recherches des solutions et les étapes d'interaction avec les décideurs (Ben-Mena, 2000). Les principales méthodes d'agrégation locale itérative existantes sont : Plm (programmation linéaire multicritères), Stem (Pop), etc. (Schärlig, 1985), (Maystre et al., 1994).

7. Les méthodes d'analyse multicritères

Les méthodes multicritères sont des outils d'aide à la décision, leur développement a débuté dans le contexte militaire depuis les années 1960 pour deux essentielles raisons (Joerin, 1997) : L'amélioration de la gestion et la fourniture des moyens nécessaires pour les soldats. Les méthodes utilisées à l'époque sont issues du domaine de recherche opérationnelle. Ces méthodes permettaient d'optimiser une fonction tout en considérant un ensemble de contraintes prédéfinies.

Par la suite, ces méthodes ont investi d'autres problématiques décisionnelles où le facteur humain a pris une dimension importante. Malheureusement, lorsque la décision concernait un système ouvert, qui intègre des dimensions de natures différentes telles qu'économique (optimisation de coût, de production) et sociale (acceptation d'un groupe, impact sur la santé, etc.), les méthodes de recherche opérationnelle ont montré certaines faiblesses auxquelles les méthodes multicritères peuvent pallier.

7.1. La famille des méthodes multicritères ELECTRE

ELECTRE est une famille de méthodes conçues par Bernard Roy (Roy et Bouyssou, 1993). Il proposa, à travers ces méthodes, une nouvelle philosophie d'aide à la décision permettant de pallier aux insuffisances des méthodes existantes. Les méthodes ELECTRE suivent l'approche d'agrégation partielle. Elles se basent sur les mêmes concepts fondamentaux de l'analyse multicritères mais diffèrent dans leurs fonctionnements ainsi que dans le type de la problématique traitée.

Dans ce qui suit, nous survolons les différentes méthodes de la famille ELECTRE à savoir : ELECTRE I, ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE Tri.

7.1.1. La méthode ELECTRE I

Traite les problématiques d'aide à la décision de type alpha (choix ou sélection). Elle utilise les vrais critères ($p=q=0$) (Hamdadou, 2016).

En utilisant la relation de surclassement S préalablement définie, ELECTRE I divise l'ensemble des actions en deux sous ensembles N et $A \setminus N$ complémentaires tel que :

- Toute action appartenant à $A \setminus N$ est surclassée par au moins une action appartenant à N ; les actions-éléments de $A \setminus N$ sont éliminées.
- Les actions appartenant à N sont incomparables entre elles ; ce sont les actions sélectionnées.

La relation de surclassement S est construite en prenant appui sur la notion de concordance² et la notion de discordance³. Pour tout couple d'actions (a_i, a_k) , l'hypothèse de surclassement « a_i surclasse a_k » sera acceptée si un test de concordance et un test de non-discordance sont satisfaits.

Une fois toutes les relations créées, on les visualise en utilisant le graphe de surclassement :

- Si l'action a_i surclasse l'action a_k , une flèche partant du sommet a_i et aboutissant au sommet a_k unit les deux sommets.
- Si aucune relation de surclassement n'existe entre les deux actions a_i et a_k , alors aucune flèche ne peut être dessinée entre les deux sommets.
- Le sous-ensemble N est assimilé au noyau du graphe.

Le noyau du graphe est l'ensemble des sommets tels que :

- Tous les sommets du graphe n'appartenant pas au noyau sont surclassés par, au moins, un sommet du noyau.
- Les sommets du noyau ne sont surclassés par aucun sommet de celui-ci.

7.1.2. La méthode ELECTRE II

La méthode ELECTRE II relève de la problématique γ (procédure de rangement). Elle vise, en utilisant les relations d'ordre sur chacun des critères, à munir l'ensemble A des actions potentielles d'une structure de préordre total afin de faciliter le choix. En résumé, cette méthode a pour but de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes", en tolérant les ex æquo.

² Le principe de concordance $C(a_1, a_2)$ assure qu'une majorité suffisamment importante des critères soit favorable avec la proposition $(a_1 S a_2)$.

³ La condition de discordance $d(a_1, a_2)$ assure que parmi la minorité des critères qui s'opposent à la proposition $(a_1 S a_2)$, aucun d'eux ne mette son veto.

Dans un **préordre** (relation réflexive et transitive), des ex æquo sont possibles.

Dans un **ordre** (relation réflexive, transitive et antisymétrique), il n'y pas d'ex æquo.

Un **préordre total** est un préordre dans lequel les éléments sont toujours comparables (incomparabilité exclue).

Un **préordre partiel** est un préordre dans lequel l'incomparabilité est permise.

Il faut remarquer que dans problématique γ , il n'est pas tenu compte de la valeur intrinsèque de chaque action mais seulement de sa valeur relative par rapport aux autres actions.

7.1.3. La méthode ELECTRE III

La méthode ELECTRE III (Roy, 1977) relève de la problématique γ (procédure de classement), c'est une méthode multicritères fondée sur les principes de la logique floue, permettant de prendre en compte les incertitudes liées aux calculs et à l'évaluation des performances à travers l'utilisation de pseudo-critères. C'est l'une des principales caractéristiques de la méthode de pouvoir traiter, du fait de l'existence des seuils, d'évaluations dont la définition est difficile.

7.1.4. La méthode ELECTRE IV

La méthode ELECTRE IV (1982), relève aussi de la problématique de rangement ou de classement γ . Sa démarche d'utilisation consiste en une simplification de la méthode ELECTRE III par l'abandon de la pondération des critères (Tille, 2000).

ELECTRE IV utilise, comme ELECTRE III des pseudo-critères. A partir de la matrice des évaluations, on calcule la différence de notes deux à deux entre toutes les actions, relativement à tous les critères. Ici, les auteurs ont introduit une nouvelle relation « Meilleure que », notée M.

On définit ensuite deux règles permettant de distinguer les dominances fortes et faibles. Ainsi, il s'agit d'une préférence forte (Caillet, 2003) :

- S'il n'existe aucun critère donnant a_2 strictement préférée à a_1 .
- Et si le nombre des critères donnant a_2 faiblement préférée à a_1 est au plus égal au nombre des critères donnant a_1 préférée (strictement ou faiblement) à a_2 .

Il s'agit d'une préférence faible :

- S'il n'existe aucun critère donnant a_2 strictement préféré à a_1 et la seconde condition ci-dessus n'étant pas vérifiée.
- Ou s'il existe un unique critère donnant a_2 strictement préféré à a_1 , l'écart étant au plus égal au double seuil de préférence, et si trois critères au moins donnent a_1 strictement préféré à a_2 .

7.1.5. La méthode ELECTRE TRI

La méthode **ELECTRE TRI**, qui relève de la problématique β (procédure d'affectation), pose le problème en termes d'attribution de chaque action à une catégorie pré définie. Des actions de référence sont utilisées pour segmenter l'espace des critères en catégories.

Chaque catégorie est bornée inférieurement et supérieurement par deux actions de référence et chaque action de référence sert donc de borne à deux catégories, l'une supérieure et l'autre inférieure. Cette méthode présente trois intérêts principaux qui permettent de :

- Juger une action potentielle pour elle-même, indépendamment des autres actions potentielles. En ce sens, cette méthode juge chaque action potentielle sur sa valeur absolue (bien que relativement aux actions de référence pré définies).
- Fixer une ou plusieurs valeurs de référence, par exemple des normes légales ou des résultats minimaux pour l'acceptation de candidats.
- Considérer un nombre d'actions potentielles plus important que les autres méthodes **ELECTRE**. **ELECTRE TRI** est une méthode intéressante dans la mesure où elle permet une comparaison différente des actions potentielles, non plus entre elles, mais par rapport à une action de référence.

7.1.6. La méthode ELECTRE IS

La méthode **ELECTRE IS** (Roy et Hugonnard, 1993) relève aussi de la problématique α . C'est une adaptation de **ELECTRE I** à la logique floue, permettant d'utiliser des pseudo-critères. Pour choisir la "meilleure" action potentielle, une partition des actions potentielles A en deux sous-ensembles doit être réalisée, comme dans **ELECTRE I**, c'est dans le noyau (sous-ensemble des actions non-surclassés) que se trouve la "meilleure" action. La construction de ces partitions nécessite l'utilisation de la relation de surclassement.

En effet, il est nécessaire de comparer toutes les actions, l'une par rapport à l'autre. Le résultat du calcul des degrés de crédibilité peut prendre la forme d'un graphe où chaque action est représentée par un disque et les flèches reliant l'ensemble des actions expriment le surclassement de l'action origine vers l'action cible. Les degrés de crédibilité de ce surclassement sont associés à chaque flèche (Joerin, 1997).

8. La famille des méthodes multicritères PROMETHEE

Les méthodes PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) sont des méthodes de surclassement, basées sur les théories de Roy (développeur des méthodes ELECTRE). Elles sont développées par Jean-Pierre et Philippe Vincke (Hamdadou et Bouamrane, 2016) à partir du milieu des années 80. Promethee se distingue d' ELECTRE par le fait qu'elle construit une relation de surclassement évaluée traduisant une intensité de préférence : on peut considérer que les méthodes prométhée sont a mi chemin de l'approche de surclassement.

Il existe d'autres méthodes multicritères telles que : ORESTE, QUALIFLEX, AHP, PAMSSEM, etc (Hamdadou, 2016).

9. La méthode AHP (Analytical Hierarchy Process)

La méthode AHP (Saaty, 1980) a été développée par Thomas saaty dans les années 1980. Elle consiste à structurer le problème d'aide à la décision de manière hiérarchique (chaque critère peut être décomposé en sous critères).

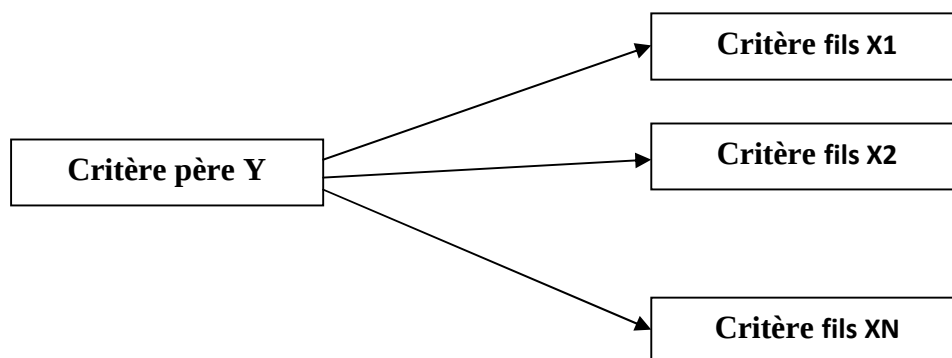


Figure 2.3 - L'arborescence hiérarchique de critère et sous-critère.

Un modèle additif est ensuite utilisé en chaque noeud pour l'agrégation des critères. Pour cela, en chaque noeud, on commence par comparer des alternatives, par paires sur chaque critère de la manière suivante : on demande au décideur combien de fois l'alternative a est meilleure que b sur le critère i.

Les réponses peuvent être formulées sur une échelle verbale ou bien numérique, voir table (2.4). (Saaty, 1980)

Échelle verbale	Egal	modéré	fort	très fort	extrême
Échelle numérique	1	3	5	7	9

Table 2.4 - Conversion de l'échelle verbale en une échelle numérique dans AHP.

Il y a cinq niveaux principaux sur l'échelle plus quatre niveaux intermédiaires 2, 4, 6, 8. Par exemple le niveau « modéré » correspond à une alternative qui est trois fois meilleure qu'une autre sur un critère. On obtient ainsi pour chaque critère une matrice carrée (α_i) d'ordre $m = |A|$ où $\alpha_i(a, b)$ représente l'importance relative de l'alternative a sur l'alternative b par rapport au critère i. Afin que les préférences soient cohérentes, les conditions suivantes doivent être vérifiées a, b, c A : (Mammeri, 2013)

$$\alpha_i(a, b) \times \alpha_i(b, c) \approx \alpha_i(a, c)$$

Et plus particulièrement :

$$\alpha_i(a, b) \approx \alpha_i(b, a)$$

Saaty propose de calculer, pour chaque matrice (α_i), le vecteur propre qui correspond à la plus grande valeur propre et dont la somme des éléments est égale à 1. Les éléments de ce vecteur représentent les utilités v_i associées aux performances des alternatives $g_i(a)$. Ensuite, le même principe est appliqué afin de calculer les poids k_i , représentant l'importance des critères, en déterminant la matrice (α) où $\alpha_{i,j}$ représente l'importance relative du critère i sur le critère j (Mammeri, 2013).

10. Travaux connexes

Plusieurs travaux de recherche ont vu le jour avec comme objectif, l'exploitation des méthodes multicritères dans les processus décisionnels. Parmi ces travaux, nous citons :

Dans (Duckstein et al., 1992), les auteurs présentent une application de quatre méthodes d'aide multicritères à la décision à un problème caractéristique de la gestion des eaux souterraines. Dans (Grabisch et Roubens, 2000), les auteurs proposent une approche pour l'application des intégrales de Choquet dans une prise de décision multicritères. Les auteurs dans (Bana et al., 2002) proposent

une approche multicritères pour l'urbanisme stratégique en prenant comme exemple la municipalité de "Barcelos" dans la région de Braga au Portugal. Le concept de services des écosystèmes pour définir une analyse de décision multicritères est utilisé dans (Fontana et al., 2013).

Au sein du Laboratoire d'Informatique d'Oran (LIO), les travaux basés sur les méthodes multicritères ont été largement abordés.

En effet, dans (Hamdadou, 2008), l'auteur propose un modèle de prise de décision en Aménagement du territoire basé sur une approche multicritères et une approche de négociation. L'auteur dans (Bennabou, 2010), élabore un système d'aide à la décision dédié aux problématiques d'AT fondé sur le protocole de négociation et la méthode multicritères ELECTRE III. L'intégration des méthodes d'analyse multicritères dans un système d'information décisionnel spatio-temporel a été abordée dans (Zemri et Hamdadou, 2014).

Dans l'étude présentée dans (Alnafie et al., 2013), les auteurs ont proposé une optimisation de la méthode multicritères ELECTRE III par les Colonies de Fourmis.

Dans (Hamdadou et Libourel, 2011), les auteurs ont proposé une démarche décisionnelle pour le diagnostic industriel par utilisation des méthodes multicritères.

Plus récemment :

- Dans (Hamdadou et Bouamrane, 2016), l'objectif est la mise en place d'un système d'aide à la décision spatiale par couplage des méthodes ELECTRE III et ELECTRE TRI;
- Dans (Charef Bensalloua et Hamdadou, 2018), l'objectif est la mise en place d'un système d'aide à la décision par couplage de SOLAP (Spatial On Line Analysis Process) et les méthodes ELECTRE I et ELECTRE III pour la gestion agro forestière.

11. Conclusion

L'analyse multicritères fournit au décideur des outils pour l'aider dans la résolution des problèmes décisionnels en faisant intervenir plusieurs points de vue contradictoires, multiples et conflictuels.

La divergence des objectifs et les préférences de tous les participants dans un processus d'aide à la décision ont qualifié le problème de la décision en AT

comme étant un problème "multicritères". Ainsi, l'élaboration des choix peut être largement facilitée par le recours à des méthodes permettant de comparer, par analyse multicritères de décision (AMCD), les conséquences des interventions et d'anticiper l'emprise territoriale des potentiels, des contraintes du milieu (SIG) autant que l'effet des affectations, des préférences, et des aspirations propres à diverses parties prenantes ayant des intérêts distincts.

Notre objectif principal, à travers la présente étude, est de mettre en place un système d'aide multicritères à la décision de groupe. Ce dernier est modélisé en utilisant un système multi agents exploitant un protocole de négociation. A cet effet, nous abordons, dans le chapitre suivant, les principales formes de négociation dans les SMA, une attention particulière est réservée à la négociation par argumentation utilisée dans notre protocole.

Chapitre 3

Négociation par argumentation.

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 particulièrement la négociation par argumentation et ensuite nous présentons les principaux travaux réalisés dans ce contexte.

Chapitre 3

Négociation par argumentation

1. Introduction

Avec les progrès des technologies de l'information et des systèmes multi agents, le besoin d'agents automatiques capables de négocier avec les autres pour le compte d'un utilisateur devient de plus en plus fort. 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, disposés et programmés par des individus différents interagissent dans un but collaboratif.

Un des problèmes majeurs que rencontrent les systèmes multi agents est celui de parvenir à un accord, dans un tel problème, chaque agent est supposé avoir une préférence sur les alternatives ou les choix possibles. L'agent envoie alors des messages en vue de trouver un accord qui peut arranger tout le monde.

Le choix qui est fait dans ce chapitre est de se focaliser sur les techniques de la négociation qui sont des techniques de recherche d'accord entre agents.

2. Définitions d'un agent

Dans la littérature, nous retrouvons une multitude de définitions du concept **agent**, qui varient selon le domaine ou le système utilisé. Dans le contexte de notre travail, nous porterons notre attention sur les définitions qui suivent :

Définition 1 : Selon Wooldridge et Jennings (Wooldridge et Jennings, 1995), « *Un agent est un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome pour atteindre les objectifs (buts) pour lesquels il a été conçu* ».

Définition 2 : Selon Demazeau et Costa (Demazeau et Costa, 1996), « *Un agent est une entité réelle ou virtuelle, dont le comportement est autonome, évoluant dans un*

environnement, qu'il est capable de percevoir, sur lequel il est capable d'agir et d'interagir avec les autres agents ».

3. Caractéristiques d'un agent

D'après Florez (Florez, 1999), les propriétés suivantes peuvent être attribuées aux agents :

- **Adaptabilité** : capacité à apprendre et à s'améliorer avec l'expérience.
- **Autonomie** : actions proactives et dirigées par des buts.
- **Comportement collaboratif** : capacité à travailler avec d'autres agents pour un objectif commun.
- **Capacité inférentielle** : capacité d'agir avec des spécifications abstraites des tâches.
- **Capacité de communication au niveau des connaissances** : capacité de communiquer avec les autres agents avec un langage comme celui des êtres humains.
- **Personnalité** : capacité à manifester des attributs d'un caractère humain crédible.
- **Réactivité** : capacité de détecter et réagir.
- **Continuité temporelle** : persistance d'une identité et d'un état sur une longue période.

4. Typologie des agents

Les agents peuvent être de deux types: Des agents cognitifs dits « **intelligents** » et des agents réactifs dits « **moins intelligents** ». A ces deux types d'agents, s'ajoute l'architecture hybride et l'architecture BDI conçues pour résoudre les inconvénients des agents réactifs et cognitifs.

4.1. Les agents réactifs

Les agents réactifs sont les plus faciles à concevoir et peuvent être capables d'actions de groupe complexes et coordonnées. Ce type d'agent n'a pas de représentation de son environnement ou des autres agents, son comportement est décrit par des règles simples du type **stimulus/réponse**¹. Il ne tient pas compte du passé et ne planifie pas le futur, ce qui présente un grand avantage et rend les systèmes réactifs plus rapides (Drogoul, 1993).

Action/réaction¹

4.2. Les agents intentionnels/cognitifs

C'est un type d'agents plus complexe (Erceau, 1993) doté de capacités de raisonnement importantes et disposant d'une représentation de son environnement. Chaque agent est muni d'une base de connaissances 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.

4.3. Architecture hybride

L'architecture hybride est, en quelque sorte, un compromis entre un agent purement réactif et un agent purement cognitif. Cette vision permet de concilier les capacités intéressantes des deux types d'agents précédents. La structure d'un agent hybride peut être divisée en trois couches (Chaib-draa, 1996) :

1. **Une couche réactive** qui va s'intéresser au traitement des données provenant de capteurs sensoriels ;
2. **Une couche intermédiaire** raisonnant sur les connaissances de l'agent à propos de son environnement et enfin,
3. **Une couche supérieure** prenant en considération les autres agents du système dans la phase de raisonnement.

4.4. Architecture BDI (Beliefs Desires and Intentions)

Les agents BDI (Urbani, 2006) 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 ses objectifs. C'est une architecture très répandue, elle est basée sur un raisonnement prenant en compte les états mentaux, pour les agents ayant un état mental reposant sur (Cohen et Levesque, 1988):

- Les croyances** : ce que l'agent connaît de son environnement;
- Les désirs** : les états possibles vers lesquels l'agent peut vouloir s'engager;
- Les intentions** : les états vers lesquels l'agent s'est engagé ou a engagé ses ressources.

5. Les systèmes multi agents (SMA)

Après avoir précisé la notion d'agent, nous allons, à présent, expliciter le concept de système multi-agents.

Un SMA est généralement défini comme étant : « *un ensemble d'agents, en interaction les uns avec les autres, pouvant coopérer négocier ou collaborer dans un environnement qu'ils perçoivent* ».

Parmi les différentes définitions des systèmes multi-agents, nous retiendrons celle de Ferber (Ferber, 1995) qui le définit comme un système composé des éléments suivants:

- 1) **Un environnement (E)** : c'est-à-dire un espace disposant d'une métrique.
- 2) **Un ensemble d'objets (O)** : ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E. Ces objets sont passifs, c'est à dire qu'ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
- 3) **Un ensemble (A) d'agents** : ce sont des objets particuliers, qui représentent les entités actives du système.
- 4) **Un ensemble de relations (R)** : qui unissent des objets (et donc des agents) entre eux.
- 5) **Un ensemble d'opérations (Op)** : qui permettent aux agents (A) de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de (O).
- 6) **Des opérateurs** : chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction du monde à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers.

La figure (3.1) représente les interactions qui existent entre un agent, son environnement et les autres agents (Ferber, 1995). L'agent représenté qui dispose de compétences et de représentations tente d'atteindre ses objectifs.

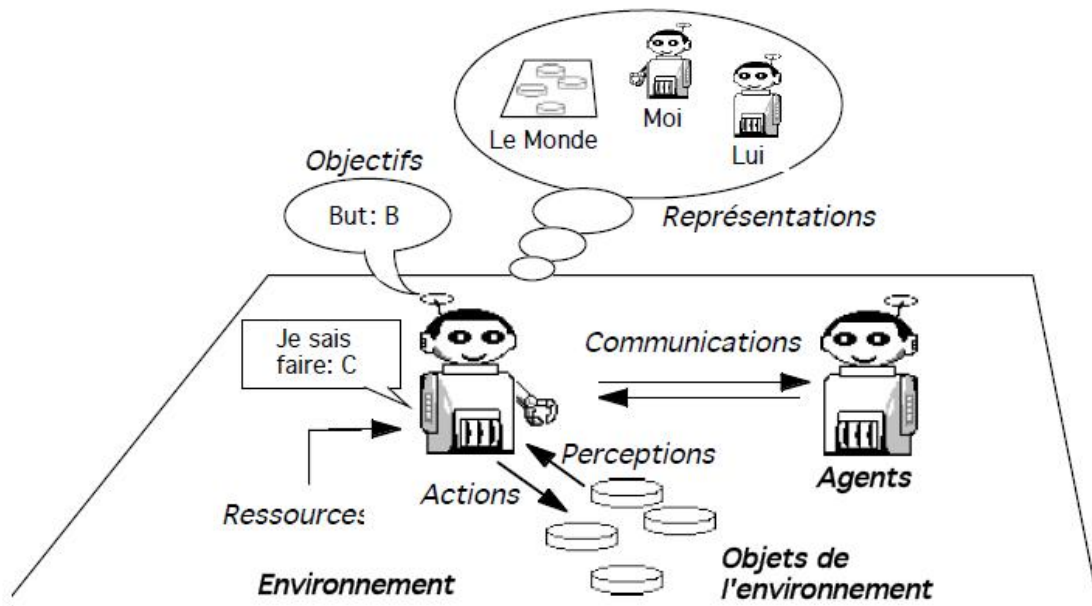


Figure 3.1 - Représentation d'un SMA.

6. Les techniques d'interaction dans les SMA

La force du paradigme agent provient de la flexibilité et de la variété des interactions entre les agents. Ces derniers communiquent entre eux (coopèrent, négocient, se coordonnent) pour pouvoir travailler ensemble et agir dans un environnement commun et atteindre un objectif commun.

Jacques Ferber (Ferber, 1997) propose la définition suivante de l'interaction :

« Une interaction est la mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Les interactions sont non seulement la conséquence d'actions effectuées par plusieurs agents en même temps, mais aussi l'élément nécessaire à la constitution d'organisation sociales ».

6.1 La coordination

Weiss (Weiss, 2000) définit la coordination comme étant '« la propriété d'un système composé d'au moins deux agents, exécutant des actions dans un environnement partagé »'. Cette notion de ressources partagées dans l'environnement implique la nécessité de la coordination. Les agents devraient coordonner leurs actions individuelles avec les autres pour aboutir à l'objectif global du groupe. Cette coordination permet alors :

- d'éviter les situations de conflits par la négociation pour les agents antagonistes (ayant des buts et des objectifs contradictoires).

- d'améliorer l'efficacité et l'utilité de chaque agent par la coopération pour les agents non antagonistes.

Il existe deux types de coordinations (Boissier et Bemazeau, 1994) :

1. **Coordination centralisée** : dans ce type de coordination, il existe deux types d'entités, un coordinateur responsable de la bonne exécution d'un plan donné et un ensemble d'agents esclaves qui exécute les ordres du coordinateur. Cette approche suppose une hiérarchie de l'organisation. Cependant, la centralisation des messages vers le coordinateur peut provoquer le ralentissement des performances du système.
2. **Coordination distribuée** : Plusieurs agents ont décidé de coopérer, ils vont donc être responsables chacun d'une partie du plan, chacun d'eux va choisir un protocole d'interaction adapté à la coopération qu'il souhaite mettre en œuvre. Ces protocoles représentent des enchainements d'interactions possibles sous forme d'un automate à état finis ou d'un réseau de Petri. Cette approche vise à augmenter l'autonomie des agents, ce qui va améliorer la flexibilité du système (Engelmore et Morgan, 1988).

6.2. La coopération

La coopération est nécessaire quand un agent ne peut pas atteindre ses buts sans l'aide des autres agents. La coopération entre les différents agents est un problème difficile car les agents ont une connaissance plus au moins précise des autres agents du système, mais ils doivent aussi être informés sur les compétences des autres agents, et les tâches que ces derniers sont entrain de réaliser. Dans la littérature, il existe trois types de coopération (Hoc et Lemoine, 1996) :

1. **Coopération confortative** : une tâche est exécutée par plusieurs agents exploitant simultanément un même ensemble de données et poursuivant un but en commun, selon des compétences différentes. Une étape de fusion conditionne ensuite la production du résultat.
2. **Coopération augmentative** : elle correspond à une décomposition de la tâche à traiter en sous tâches qui s'exécutent d'une manière concurrente. Ce type de coopération est émergent : les agents remplissent des objectifs locaux, leurs activités modifient localement l'environnement qui va influencer les agents voisins. La solution est l'union des sous résultats locaux.

3. **Coopération intégrative** : cette coopération est intentionnelle : elle nécessite la définition d'un plan d'actions concernant la réalisation de la tâche. les agents concernés vont alors travailler selon un plan séquentiel ou chaque agent intègre les résultats des agents précédents.

6.3. La négociation

Depuis plusieurs années, de nombreux systèmes de négociations ont été réalisés, citons notamment ceux de : Magnet (Collins et al., 1998), Zeus (Nwana et al., 1999), le projet SilkRoad (Ströbel, 2000), la plateforme GNP (Benyoucef et al., 2000) ainsi que les différents travaux réalisés dans les laboratoires HP (Bartolini et Preist, 2001), (Mathieu et Verrons, 2005).

La négociation joue un rôle central dans les dialogues entre des agents qui essayent d'arriver à un accord commun quant au partage d'informations ou de ressources. Le processus de négociation est fondé sur le compromis qui survient en raison des préférences des agents et de leurs buts (Amgoud et Prade, 2003).

6.3.1. Définitions

Il existe plusieurs définitions de la négociation dans ce domaine. L'une des plus basiques et succinctes est formulée par Bussman et Muller (Bussmann et Muller, 1992) : *"La négociation est un processus de communication d'un groupe d'agents permettant d'atteindre un accord mutuellement accepté"*.

Selon Kraus (Kraus, 1997), la négociation se définit comme étant : *« le processus par lequel au moins deux parties avec des motivations, des préférences et des contraintes, qui peuvent être de similaires ou conflictuelles, arrivent conjointement à un accord après des échanges plus ou moins structurés et dans des temps plus ou moins longs »*. Cette thématique constitue l'une des problématiques clefs des SMA.

Selon Rosenschein (Rosenchein et Zlotkin, 1994), la négociation représente un processus permettant de redistribuer les tâches parmi les agents avec le meilleur bénéfice mutuel possible.

Habituellement, la négociation se déroule en une suite de tours, où chaque agent fait une proposition à chaque tour. Ces propositions sont définies selon les stratégies des agents, elles doivent être à la fois légales (par rapport au protocole), et prises de l'ensemble des propositions. Si les agents parviennent à un accord, alors la négociation se termine.

Les agents peuvent interagir dans une négociation de trois manières :

1. **Un à un** : un agent négocie avec uniquement un autre agent.

2. **Plusieurs à un** : un seul agent négocie avec plusieurs d'autres agents, les enchères sont un exemple de ce genre de négociations.
3. **Plusieurs à plusieurs** : Plusieurs agents négocient avec plusieurs d'autres agents simultanément.

6.3.2. Les composants du modèle de négociation

Pour modéliser la négociation dans un logiciel multi-agents, il faut prendre en compte les aspects suivants (Hamdan, 2014):

1. **Le langage de négociation**: le langage utilisé par les agents pour échanger des informations pendant la négociation; le langage de négociation est composé d'un ensemble de primitives de communication.
2. **Le protocole de négociation**: l'ensemble des règles qui régit la négociation et les types de participants autorisés :
 - *Participants possibles* : Acheteurs, Vendeurs, Offreurs, tierce parties, etc.
 - *Etat de négociation* : offrir, accepter proposition, négociation terminée, etc.
 - *Événements qui déterminent les transitions d'états* : plus d'offres, temps de réponse expiré, etc.
 - *Actions valides des participants* : accepter, rejeter, contre-proposition, etc.

Le protocole définit aussi la manière dont les agents doivent communiquer pour négocier, et c'est ce qui s'appelle « 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 :

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

3. Propriétés du protocole

Le protocole employé dans la négociation doit respecter quelques propriétés :

- **Efficacité** : Un accord globalement optimal doit être atteint.
- **Stabilité** : Aucun agent ne peut modifier le protocole de négociation.

- **Simplicité** : par défaut d'efficacité, le protocole doit être léger en nombre de messages échangés et en temps de calcul.
 - **Distributivité** : le protocole n'est pas centralisé.
 - **Symétrie** : le protocole ne doit pas avantager un agent en particulier.
4. **L'objet de négociation** : un objet abstrait qui comprend les attributs qu'on veut négocier; dans certains cas il s'agit de négocier uniquement le prix, mais dans d'autres cas il faut aussi négocier plusieurs attributs comme le temps nécessaire pour satisfaire une commande, la qualité des produits, etc.
5. **Le processus de négociation** : le modèle que l'agent utilise pour prendre des décisions pendant la négociation. La partie la plus importante de la prise des décisions, dans ce cas c'est la stratégie de négociation qui permet de déterminer quelle primitive de négociation l'agent doit choisir à un certain moment.

6.3.3. Les protocoles de négociation dans les SMA

La littérature présente de nombreux protocoles de négociation entre les agents. Nous ne considérons, dans ce qui suit, que ceux qui nous paraissent être les plus importants.

6.3.3.1. Le protocole à concession (Concession Protocol)

Dans le cas d'une négociation entre deux agents seulement, nous supposons ce qui suit (Wooldridge, 2002) :

$A = \{1, 2\}$ ensemble de deux agents,

I : ensemble des actions, chaque agent est doté d'une fonction d'utilité : $U_i : I \rightarrow \mathbb{R}_0^+$, qui à chaque action affecte une valeur réelle positive, plus cette valeur est grande, plus l'action correspondante est préférée. I_i est la proposition la plus récente faite par l'agent i .

Ce protocole procède en tours, dans chaque tour, les agents font des propositions simultanément.

Dans le premier tour, chaque agent est libre de faire n'importe quelle proposition, et dans les tours ultérieurs, l'agent i dispose de deux options :

1. **Accepter la proposition**, à condition qu'elle soit préférable à l'autre c-à-d : $U_i(I_i) \leq U_j(I'_j)$.

2. **Refuser la proposition** et rester sur la dernière proposition faite dans les tours précédents.

Un accord est trouvé si ou bien $U_1(I_1) \leq U_1(I_2)$, ou $U_2(I_2) \leq U_2(I_1)$, ou les deux en même temps.

Dans chaque tour, la stratégie de *Zeuthen* (Wooldridge, 2002) identifie les agents qui doivent faire une concession en calculant une certaine mesure Z_i au niveau de chaque agent. L'agent qui possède la valeur la plus basse doit effectuer une concession. En cas d'égalité, les deux agents concèdent simultanément. Z se calcule pour un agent i comme suit :

$$Z_i = \frac{U_i(I_i) - U_i(I_j)}{U_i(I_i)}$$

6.3.3.2. Le protocole contract net

D'après (Mathieu et Verrons, 2005) la négociation est définie comme un processus qui se caractérise par trois éléments :

1. Les échanges d'informations se font de façon bilatérale ;
2. Chaque partie évalue la négociation en tenant compte de sa propre perspective ;
3. L'accord final est obtenu par sélection mutuelle.

Dans (Smith, 1980), l'auteur propose un protocole de négociation basé sur les contrats qu'on appelle réseau contractuel (contract net). Ce réseau est basé sur le principe des appels d'offres.

Le Contrat Net Protocol (Davis et Smith, 1983) est organisé en tours et est réparti entre un ensemble d'agents participants, et un agent coordinateur qui se charge d'orchestrer la négociation dans son ensemble. Chaque agent participant détient un vecteur trié, selon ses préférences quant aux actions potentielles, en plus, chaque agent dispose d'un compteur, qui pointe sur son choix dans une itération donnée. La valeur de ce compteur s'incrémente à chaque itération.

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 et ceci en se référant à leur vecteur de préférence construit précédemment.

Un agent accepte le contrat proposé par l'initiateur s'il correspond à son choix dans l'itération en cours, ou si ce contrat a été précédemment fait par l'agent.

Lorsque l'initiateur reçoit toutes les réponses des participants, il comptabilise le nombre d'agents participants ayant accepté sa proposition. Si ce nombre est supérieur ou égal à un certain seuil alors la négociation est un succès sinon, il doit procéder à une modification du contrat.

Dans le cas où la majorité des agents refuse le contrat proposé, l'initiateur le modifie en s'inspirant des propositions des participants. Il doit établir une synthèse à partir de ce qu'il a reçu lors de la phase d'évaluation puis un nouveau cycle commence.

6.3.3.3. Le protocole one step

Comme son nom l'indique, ce protocole essaie de trouver un accord entre deux agents en effectuant un seul tour uniquement. Dans le cas de deux agents seulement, chacun émet sa proposition, et ainsi chacun d'eux dispose de deux propositions (celle qu'il a envoyé et celle qu'il vient de recevoir de l'autre agent). Les agents doivent accepter la proposition qui maximise le produit de leurs utilités, s'il y a une égalité, ils coordonnent pour choisir une aléatoirement.

La meilleure stratégie que peut utiliser un agent est de trouver les actions qui maximisent le produit des utilités, et à partir de ces actions, choisir celui qui maximise son propre utilité (Benabbou, 2010).

6.4. Les enchères

Les systèmes d'enchères constituent un autre système de négociation, ils permettent à des agents de vendre leurs bien à meilleur prix possible. Ils appliquent un vendeur et une assemblée d'acheteurs mais le déroulement de l'enchère diffère selon le type utile (Menazelli et Fodil, 2013).

- Enchère anglaise (premier-prix offre-publique) ;
- Enchère hollandaise (descendante) ;
- Enchère premier-prix offre-cachée ;
- Enchère de Vickery (deuxième-prix offre-cachée) ;

6.5. Les systèmes de vote

Le problème de vote s'énonce comme suit : On demande à tous les agents de proclamer leurs préférences sur un ensemble de candidatas, on compte ensuite leurs votes pour trouver le candidat le plus préféré.

Plusieurs méthodes ont été proposées pour déterminer le candidat préféré, certaines sont simples mais ne reflètent pas les préférences réelles des votants.

Quelques exemples de ces méthodes sont décrits dans les sections suivantes (José, 2009) :

6.5.1. La méthode condorcet

La **méthode condorcet** (ou **vote condorcet**) est un système de vote dans lequel l'unique vainqueur est celui, qui comparé tour à tour à tous les autres candidats, s'avèrerait à chaque fois être le candidat préféré (Benabbou, 2010).

Chaque électeur classe les candidats par ordre de préférence. Pour chaque paire de candidats, on détermine le nombre d'électeurs ayant voté pour l'un ou l'autre. Ainsi pour chaque pair, 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.

Dés que le nombre de candidats dépasse deux, on peut se trouver dans ce qu'on appelle le paradoxe de Condorcet, qui résulte d'une préférence circulaire entre les candidats, cette situation est résolue en utilisant plusieurs méthodes.

6.5.2. La méthode de hare

Cette procédure a été proposée par Thomas Hare en 1861 (Oufella, 2009), le principe général est de déterminer le choix social en éliminant successivement les alternatives les moins désirées :

- Si une alternative est classée première sur au moins la moitié des listes de préférences, alors c'est le choix social et la procédure se termine.
- Si aucune alternative n'est classée première sur au moins la moitié des listes, alors on sélectionne l'alternative classée première sur le moins de listes et on l'enlève de toutes les listes.
- Si plusieurs alternatives sont à égalité, on les enlève toutes des listes. Les alternatives qui suivaient celle qui a été enlevée sur les listes gagnent alors une place.
- On recommence la procédure jusqu'à ce qu'une alternative apparaisse en premier sur au moins la moitié des listes ou si toutes les alternatives restantes apparaissent en premier sur exactement le même nombre de listes.

6.5.3. La méthode de borda

Dans cette méthode, nous procédons comme suit (Benabbou, 2010):

1. Avec x choix, on affecte x points au candidat préféré, $x-1$ au deuxième candidat préféré, et ainsi de suite.
2. Le candidat qui obtient le plus grand nombre de points remporte le vote.

6.5.4. Vote à la pluralité

Chaque électeur vote pour le compte de son candidat préféré, les voix sont comptées par candidat, et celui qui obtient le plus grand nombre de voix gagne le vote (Benabbou, 2010).

6.6. L'argumentation

Chacun de nous s'est déjà retrouvé dans la situation de devoir convaincre un auditoire de la validité de son opinion, de son point de vue, nous avançons alors des raisons motivant notre point de vue que ce soit lors d'un entretien d'embauche ou lors de la présentation d'un projet par exemple.

L'important n'est pas tant la véracité des motivations que le fait qu'on justifie notre opinion pour lui accorder plus de poids. Ces justifications vont constituer des arguments auxquels l'auditoire, étant rarement acquis à notre cause, opposeront des contre-arguments (Abdou, 2007).

L'argumentation est une activité verbale et sociale de raison visant à augmenter (ou diminuer) l'acceptabilité d'un point de vue controversé pour un auditeur ou lecteur, en proposant des arguments prévus pour justifier (ou réfuter) le point de vue avant un jugement raisonnable. Elle est aussi considérée comme un modèle de raisonnement basé sur la construction et l'évaluation d'arguments qui interagissent (Amgoud, 2014).

6.6.1. L'argument

Un argument est utilisé pour convaincre l'autre d'accepter la proposition faite. Il existe plusieurs types d'arguments, chaque type définit des préconditions pour son utilisation, si elles sont remplies, alors l'agent peut utiliser l'argument. En même temps, l'agent a besoin d'une stratégie pour décider quel argument utiliser (Florea et Panghe, 2000). Le choix du bon argument dépend généralement :

- Des buts et croyances propres à l'agent.
- Des croyances de l'agent sur l'autre agent.

Il existe quatre principaux arguments utilisés dans une négociation (Florea et Panghe, 2000):

1) *Appel à une promesse passée* : Le négociateur A rappelle B d'une promesse passée concernant l'objet de la négociation (NO), l'agent B a promis dans une négociation passée à l'agent A d'offrir un certain objet ou effectuer une certaine tâche.

La précondition pour utiliser cet argument : A doit vérifier si une promesse d'un NO a été reçue dans le passé dans une négociation conclue avec succès.

2) *Promesse d'une récompense future*: le négociateur A promet de faire une tâche ou accorder un objet à un autre agent B à un moment dans le futur.

Précondition : l'agent A doit trouver un désir de l'agent B, de préférence un désir qui peut être satisfait par une action (service) que A peut effectuer mais B non.

3) *Appel aux propres intérêts* : l'agent A croit que arriver à un accord sur un certain objet est dans l'intérêt de B et essaye de convaincre B de ça.

Précondition : l'agent A doit trouver un des désirs de B qui sera satisfait si B a l'objet voulu, ou bien A a trouvé un autre objet de négociation Objet 2 qui a été offert auparavant dans le marché et il croit que le premier objet est mieux que le second.

4) *Menace* : l'agent A menace de refuser de faire ou d'offrir quelque chose à B ou il menace qu'il fera quelque chose qui contredit les désirs de B.

Précondition : A doit trouver un des désirs de B directement satisfait par un objet que A peut offrir, ou A doit trouver une action qui est contradictoire avec ce qu'il croit être un des désirs de B.

Dans ce qui suit, nous présentons deux exemples d'argumentations, le premier est basé sur la logique, et le second correspond à l'argumentation abstraite (Wooldridge, 2002).

6.6.2. Argumentation basée sur la logique

Ce système fonctionne en construisant des séries d'arguments pour et contre les propositions d'intérêt. Il étend la logique classique en enregistrant explicitement les propositions qui ont été utilisées pour la dérivation, ceci rend possible l'évaluation de la puissance d'un argument donné en examinant les propositions sur lesquelles il est basé (Wooldridge, 2002).

La forme de base d'un argument est la suivante : *Database (Sentence, Grounds)*

avec :

- J *Database* : un ensemble de formules logiques,
- J *Sentence* : une formule logique connue sous le nom de conclusion, ,
- J *Grounds* : un ensemble de formules logiques telles que : *Grounds* est inclut dans *Database*, et *Sentence* peut être prouvée à partir de *Grounds*.

Database fournit un territoire commun entre les agents. Un agent construit l'argument (*Sentence*, *Grounds*) pour dire que sentence est vraie, et la justification est donnée par *Grounds*.

Formellement, Δ est une base de données, un argument sur Δ est un pair (ϕ, τ) , où ϕ est une conclusion, et τ appartient à Δ .

L'ensemble de tous les arguments qui peuvent être construits sur Δ est $A(\Delta)$, $Arg_1, Arg_2, Arg_3 \dots$ sont des membres de $A(\Delta)$.

Un agent peut construire plusieurs arguments pour une proposition données, certains sont pour et d'autres sont contre cette proposition. Afin de pouvoir dire ou on que l'ensemble d'arguments dans son ensemble est en faveur d'une proposition, il est nécessaire d'avoir un certain moyen pour aplatir l'ensemble de ces arguments en une certaine mesure qui nous indique combien la proposition est favorisée. Woodbridge (Woodbridge, 2002) propose de le faire comme suit :

On identifie deux classes importantes d'arguments :

1. **Argument non trivial** : (ϕ, τ) est non trivial si τ est consistant.
2. **Argument tautologique** : (ϕ, τ) est tautologique si τ est vide.

L'idée importante derrière la défaite entre les arguments est la suivante : (ϕ_1, τ_1) et (ϕ_2, τ_2) sont deux arguments de la BDD Δ , (ϕ_2, τ_2) peut être battu de deux manières :

1. (ϕ_1, τ_1) réfute (ϕ_2, τ_2) si ϕ_1 **attaque** ϕ_2 .
2. (ϕ_1, τ_1) réduit la valeur de (ϕ_2, τ_2) si ϕ_1 **attaque** ψ avec ψ appartenant à ϕ_2 .

La fonction **attaque** est définie comme suit : Pour deux propositions α, β , on dit que α attaque β si $\alpha \neq \beta$.

L'étape suivante est de définir un ordre sur les types d'arguments, l'idée est que certains arguments sont plus puissants que d'autres. Pour cela on identifie cinq classes d'arguments :

- A1 : Classe de tous les arguments qui peuvent être fait à partir de Δ .
- A2 : Classe de tous les arguments non triviaux qui peuvent être fait à partir de Δ .
- A3 : Classe de tous les arguments non réfutés, qui peuvent être fait à partir de Δ .
- A4 : Classe de tous les arguments dont la valeur ne peut être réduite, qui peuvent être construit à partir de Δ .
- A5 : Classe de tous les arguments tautologiques qui peuvent être construit à partir de Δ .

Il y a un ordre $\leq$ sur l'acceptabilité des classes : $A1 \leq A2 \leq A3 \leq A4 \leq A5$, avec les classes d'arguments les plus à droite sont plus puissantes que celles qui se trouvent à gauche.

Il est ensuite possible de construire un dialogue entre deux agents qui est une série d'arguments, avec le premier est fait par l'agent 1, le deuxième par l'agent 2, le troisième par l'agent 1 etc. L'agent 1 s'engage dans le dialogue pour convaincre l'agent 2 de la conclusion du premier argument, ensuite l'agent 2 essaie de défaire cet argument, l'agent 1 doit répondre en proposant un argument du défait celui proposé par l'agent 2 et ainsi de suite.

Chaque étape du dialogue est un mouvement, ce dernier est une paire (*Joueur*, *Arg*) où *Joueur* $\in \{1,2\}$, *Arg* $\in A(\Delta)$, et $(m_0, m_1, \dots, m_k)$ est l'ensemble des mouvements, cet ensemble est un historique de dialogue s'il satisfait les conditions suivantes :

- $Joueur_u = 1$ (le premier mouvement est fait par le joueur 1).
- $Joueur_u = 1$ si et seulement si u est pair, et $joueur_u = 2$ si et seulement si u est
 - impair.
- Si $Joueur_u = joueur_v$ et $u < v$ alors $Arg_u < Arg_v$.
- Arg_u défait Arg_{u-1} .

6.6.3. Argumentation abstraite

Dans ce type d'argumentation, on ne s'intéresse pas à la structure interne de l'argument, mais à la structure globale de l'argumentation. Formellement un système d'argumentation abstraite A est un pair $A(X, \rightarrow)$ où :

- X : est l'ensemble des arguments.
- $\rightarrow : X \times X$ est une relation binaire sur l'ensemble des arguments représentant la notion d'attaque, où $x \rightarrow y$ signifie que l'argument x attaque l'argument y , ou que x est un contre exemple de y .

Etant donné un système d'argumentation abstraite, on doit chercher les arguments sains ou acceptables, ainsi que les arguments admissibles. On peut formuler ces notions de plusieurs manières:

- Un argument $x \in X$ est attaqué par un ensemble d'arguments $Y \subseteq X$ si au moins un membre de Y attaque x (c.à.d. $y \rightarrow x$ pour un certain $y \in Y$).
- Un argument $x \in X$ est acceptable par rapport à un ensemble d'arguments Y de X si chaque attaquateur de x dans Y est lui-même attaqué.
- Un ensemble d'arguments Y est libre de conflits (*conflict free*) si tout argument dans Y n'est pas attaqué par un autre argument dans Y (Y est dans un sens consistant).
- Un ensemble d'arguments Y libre de conflits est dit admissible si chaque argument dans Y est acceptable par rapport à Y .

La négociation basée sur l'argumentation est très proche de la négociation humaine, mais elle n'a pas encore atteint un stade de maturité. Même en exploitant les capacités d'inférence des langages de programmation basés sur la logique, le problème d'implémenter une négociation à base d'augmentation reste très difficile. Peu sont les programmes qui ont fait avec succès ce genre de négociation (José, 2009).

7. Travaux connexes

Dans la littérature il existe plusieurs travaux de recherche concernant la négociation. Nous pouvons citer l'étude qui a visé l'élaboration d'un système d'aide à la décision de groupe effectué par l'auteur dans (Oufella, 2009) exploitant la négociation à travers le Contract Net Protocol et destiné à la résolution du problème de localisation en AT.

Dans (Benabbou, 2010), l'auteur a proposé un GDSS en AT fondé sur un protocole de négociation basé sur la concession monotone et l'analyse multicritères.

Une autre étude est celle présentée dans (Hamdadou et Bouamrane, 2016) dont l'objectif principal est la mise en place d'un système d'aide à la décision spatiale exploitant l'analyse multicritères et les techniques de la négociation.

L'argumentation a pris une place importante en intelligence artificielle au cours des dernières années, particulièrement dans des sous-domaines tels que le raisonnement non-monotone comme dans (Chesnevar et al., 2000); (Prakken et Vreeswijk, 2002), le raisonnement à partir d'informations provenant de différentes sources (Amgoud et Kaci, 2007) et la prise de décision (Amgoud et Prade, 2009); (Bonet et Geffner, 1996); (Fox et Parsons, 1997). Une autre application naturelle de l'argumentation est le dialogue.

De nombreux travaux portant sur la négociation argumentée ont été effectués citons notamment ceux de :

- (Parsons et Jennings, 1996) où les auteurs présentent un rapport préliminaire sur cette forme de négociation, dans lequel il utilise des agents BDI (Belief, Desire, Intention) ainsi que des arguments et des règles d'inférence utilisant la notation Prolog et une extension des arguments pour indiquer le soutien ou le doute dans les propositions et pour les prouver.
- (Amgoud et Prade, 2004), où Amgoud et Prade proposent une approche possibiliste de la négociation par argumentation et un framework logique qui comprend de nouveaux types d'arguments,
- (Amgoud et Prade, 2009) où Amgoud et Prade élaborent un modèle formel de décision sous incertitude, basé sur les arguments pouvant être construits en faveur ou contre un choix possible,
- Bonet et Geffner (Bonet et Geffner, 1996) ainsi que Fox et Parsons (Fox et Parsons, 1997) ont travaillé sur le raisonnement à partir d'informations provenant de différentes sources et la prise de décision.

La négociation par argumentation a stimulé d'autres travaux, tels que :

- Amgoud et Ben-Naim (Amgoud et Ben-Naim, 2015) qui proposent une nouvelle famille de logiques basées sur l'argumentation pour gérer les incohérences. La nouveauté de l'approche réside dans le fait que les arguments sont évalués en utilisant une sémantique de classement qui classe les arguments des plus acceptables aux moins acceptables.

- Amgoud et Ben-Naim (Amgoud et Ben-Naim, 2016) ont travaillé, également, sur l'évaluation des arguments dans des graphes, dont les nœuds sont des arguments et les arcs représentent des supports.
- Les auteurs dans (Amgoud et al, 2017) ont étudié la sémantique qui évalue les arguments dans les graphes d'argumentation, où chaque argument a une force de base, et peut être attaqué par autres arguments. Il commence par définir un ensemble de principes, dont chacun est une propriété. Il fournit la première analyse formelle de la sémantique existante.

8. Conclusion

Ce chapitre s'est efforcé de définir le plus précisément possible, ce qu'est un agent, ce qu'est un système multi agents et comment parvenir à un accord sur une décision à prendre (par exemple, une allocation de tâches ou de ressources) et qui soit "satisfaisante" d'un point de vue global.

L'idée de base des SMA est de faire cohabiter des entités autonomes, capables de percevoir et d'agir sur l'environnement en les faisant interagir et collaborer pour résoudre des problèmes complexes.

La communication, dans les Systèmes multi-agents est souvent l'un des moyens utilisés pour échanger des informations entre agents (exemple. plans, résultats partiels, buts, etc.).

L'interaction constitue un niveau supérieur à la notion de communication et d'action. Le problème est alors de savoir combiner ces éléments (communications et actions) afin de coordonner et de contrôler les échanges entre plusieurs agents pour avoir un comportement collectif cohérent du système (Mazouz, 2001).

Les protocoles de négociation sont utilisés dans les systèmes multi agents afin de permettre aux différents agents d'arriver à un résultat collectif globalement acceptable.

Le chapitre suivant décrit, le système d'aide à la décision de groupe proposé **ARG-GDSS**, qui intègre un SIG, un SMA doté d'un protocole de négociation par argumentation et des outils d'analyse multicritères.

Deuxième Partie

Modélisation et mise en œuvre du système d'aide à la décision de groupe ARG_GDSS

Chapitre 4

Le système proposé (ARG_GDSS)

Dans ce chapitre nous décrivons notre contribution. Nous présentons d'une manière détaillée notre système d'aide à la décision de groupe ARG_GDSS proposé, qui intègre un SIG et un SMA doté d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation et les méthodes d'analyse multicritères. Nous passons, par la suite, à sa modélisation UML à travers des diagrammes afin de modéliser les aspects statiques et dynamiques du processus décisionnel.

Chapitre 4

Le système proposé (ARG_GDSS)

1. Introduction

Le but de cette étude porte sur la modélisation et la mise en place d'un outil interactif d'aide à la décision multi décideurs et multicritères capable d'aider les décideurs du territoire dans la problématique de la localisation en AT.

Afin d'effectuer un projet de construction de nature multicritères d'un côté, et que la nature géographique de ce problème nécessite la saisie, l'analyse et l'affichage d'un volume considérable d'informations d'un autre côté.

En effet, trois outils coopèrent dans ARG_GDSS pour aider à la recherche d'une surface satisfaisant au mieux un certain critère pour une construction donnée.

Ces outils sont les systèmes Multi Agents (SMA), les systèmes d'information géographique (SIG) et les méthodes multicritères d'aide à la décision (MMCAD). Sachant que ces outils jouent un rôle très important dans la résolution du problème de la localisation, mais chacun d'eux a ces propres limitations et ne peut pas être utilisé seul pour trouver la solution. A cet effet, on est amené à effectuer un couplage entre ces outils de l'aide à la décision.

L'argumentation est l'une des modalités essentielles de la communication, qui permet de convaincre les autres agents pour changer leurs préférences afin d'aboutir à une décision collective.

Un système d'argumentation montre que le dialogue peut être considéré comme un processus argumentatif. L'argumentation constitue un modèle de raisonnement adapté au processus cognitif d'un agent pour gérer les interactions.

Dans le système proposé, l'argumentation permet de :

- Gérer les interactions entre les agents afin d'arriver à un accord acceptable pour toutes les parties concernées.

- Formuler des contre-propositions pour converger vers une solution plus rapidement.
- Aboutir à une conclusion (décision finale) en utilisant des arguments afin de changer les préférences des agents.

2. Objectifs visés par ARG_GDSS

L'objectif principal de la présente étude est la mise en place d'un système d'aide à la décision de groupe ARG_GDSS. Ce dernier répond à une problématique d'aménagement de territoire à savoir la localisation spatiale. Les principaux objectifs visés sont :

- La mise en place d'une démarche formelle pour la résolution d'une problématique décisionnelle multi décideurs et multicritères.
- La représentation du territoire grâce aux fonctionnalités du SIG, ces dernières sont des outils puissants pour la manipulation, la gestion et l'analyse des données spatialement référencées.
- La représentation de la multiplicité et la diversité des décideurs impliqués dans l'aide à la décision spatiale à travers un modèle basé sur des agents, en adoptant un langage de dialogue argumentatif.
- La prise en considération des préférences de chaque décideur concerné par la décision du groupe à travers une modélisation multicritères.
- L'aboutissement à un consensus qui satisfait les différents décideurs à travers un processus de négociation déterministe basé sur l'argumentation.
- La prise une décision collective en se basant sur une stratégie de négociation par argumentation.

3. Description d'ARG-GDSS

Les SMA dotés de protocoles de négociation constituent une approche pour l'aide à la décision de groupe. Le système proposé a été développé pour procurer une aide à la décision dans des situations impliquant :

- un ensemble de décideurs ayant des objectifs et des préférences multiples et très diverses (voire contradictoires).
- un ensemble de critères souvent contradictoires.

Les SIG sont largement utilisés pour l'Aide à la Décision Spatiale. Dans cette optique, le système proposé s'appuie sur la représentation du territoire (grâce aux fonctionnalités du SIG) et sur la représentation de la multiplicité et de la diversité des acteurs grâce aux fonctionnalités du SMA.

3.1. Le module SIG (modèle du territoire)

Etant intrinsèquement un outil de gestion des informations géographiques, le SIG aura pour fonction essentielle de permettre la gestion des connaissances du domaine.

Dans le contexte de notre étude, nous exploitons aussi les fonctionnalités du SIG pour préparer les entrées (inputs) nécessaires pour l'analyse multicritères. Lorsque les décideurs parviennent à identifier les actions¹ et les critères², grâce aux capacités analytiques du SIG, une valeur (note) est affectée à chaque critère. L'ensemble des jugements des actions relativement aux différents critères constitue la matrice d'évaluation (Tableau de performances³).

3.2. Le module SMA (modèle de la négociation)

Nous délégons au SMA le choix final de l'action élue après négociation, l'action choisie sera visualisée grâce aux fonctionnalités du SIG. Le module SMA implique deux types d'agents :

1. **L'agent initiateur (coordinateur ou gestionnaire):** c'est l'agent responsable de la gestion de la négociation, de la modification du contrat et du choix final concernant l'action élue (la ressource choisie).
2. **Les agents participants (contractants):** ce sont les agents concernés par la décision en AT, l'objectif de chacun de ces agents est que son action préférée soit choisie.

Il est indispensable que les agents participants passent par une phase de négociation, selon un protocole bien structuré que nous proposons et détaillons dans les sections suivantes. La négociation se déroule entre l'agent coordinateur et l'ensemble des agents participants. La figure (4.1) illustre une vue d'ensemble du système proposé.

¹ Une action est une solution possible au problème décisionnel considéré, une alternative ou encore appelée une ressource.

² Une expression quantitative ou qualitative permettant d'examiner les actions.

³ L'évaluation de l'action (R_k) par le critère (C_j)

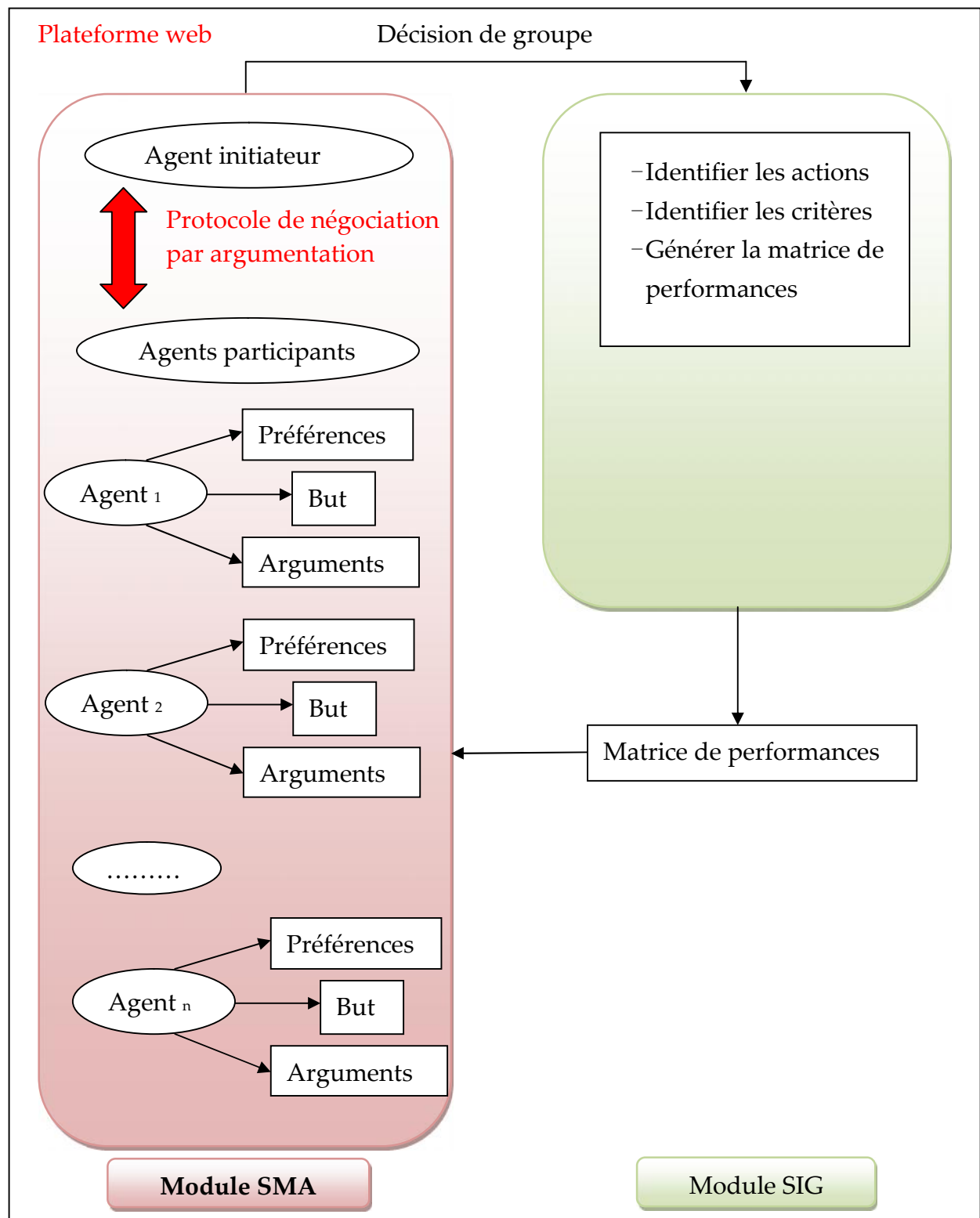


Figure 4.1 – Le système ARG_GDSS proposé : vue d'ensemble.

4. Le protocole de négociation proposé

Afin de faire face à une décision de groupe où différents points de vue doivent être pris en considération, nous proposons un protocole de négociation multilatérale basé sur l'argumentation mettant en scène un agent initiateur ainsi qu'un ensemble

d'agents participants négociateurs, qui tente de trouver un compromis satisfaisant au mieux les participants.

Pour chaque critère, un classement est créé (critères à maximiser, critères à minimiser), et pour chaque performance, un classement est créé en utilisant des tris croissants pour les critères à minimiser, et des tris décroissants pour les critères à maximiser. Après, il associe à chaque performance un rang, la performance classée première aura le rang le plus petit = 1. Ce rang est, à chaque fois, incrémenté de 1 pour les performances suivantes.

La matrice M_1 $k * j$ ⁴ ($k=1, K$ désigne le nombre d'actions. $j=1, 2$) est alors créé, elle fait correspondre à chaque action R_k un critère C_j ayant un rang de performance minimum.

POID (critères[j]) : A chaque critère est associé un poids différent grâce à la méthode AHP.

« Un critère est une référence par rapport à laquelle, on mesure la conséquence d'une action, en d'autres termes un critère exprime plus ou moins les préférences du décideur relativement à un attribut donné » (Roy, 1985).

Nous avons opté pour l'utilisation de deux méthodes d'aide multicritères à la décision :

- AHP : une méthode qui permet d'affecter les poids aux critères.
- ELECTRE III : une méthode de rangement qui permet de représenter les préférences de chaque décideur.

L'acceptabilité d'un argument dépend des arguments (respectivement des contre-arguments) qui le défendent. Ainsi, un argument est une entité abstraite dont la sémantique n'est définie que par les relations qui le lient avec les autres arguments. C'est la raison pour laquelle on parle de système d'argumentation abstrait (Morge, 2005). Par souci de concision, nous emploierons ici le terme de système d'argumentation que nous allons définir dans ce qui suit.

Définition 1 : [Système d'argumentation]

Selon Morge (Morge, 2005), un système d'argumentation est un couple $AS = (R, propose)$ où:

⁴ C'est un tableau contenant K lignes et deux colonnes, la première colonne (R_k , **comportant K actions**) contient les actions, la seconde est celle des critères. Pour chaque action R_k de l'ensemble des actions R correspond un critère C_j (*qui a un rang de performance minimum*).

- R : est un ensemble d'actions, $R_k = R_1, R_2, \dots, R_K$, $K = \text{nombre maximal d'actions}$.
- propose : une relation binaire ($\text{propose} \subseteq R \times A$).
- A : ensemble d'agents $A_i = A_1, A_2, \dots, A_n$, $n = \text{nombre maximal d'agents}$.

propose (R_1, A_2) se lit (R_1 est proposée à A_2), cela signifie que l'action R_1 est proposée à l'agent A_2 .

Définition 2 : [Système d'argumentation basé sur les préférences] (Morge, 2005).

Pour une action acceptée:

Un système d'argumentation à base de préférences est un triplet $PAS = (R, \text{propose}, \text{accepte})$ ou:

$AS = (R, \text{propose})$ = est un système d'argumentation tel que nous l'avons défini précédemment (définition 1).

Accepter (R_1, R_2) se lit (R_1 est acceptée à R_2), si le poids du critère de R_1 (PC_1) est supérieur au poids du critère de R_2 (PC_2), ($\text{accept} \subseteq R \times R$).

Soient $C_1, C_2 \in C$, deux critères, $C_j = C_1, C_2, \dots, C_m$, $m = \text{nombre maximal de critères}$;

$R_1, R_2 \in R$, R_1 est acceptée à R_2 , notée Accepter (R_1, R_2), ssi $\exists R_1 \in R$ tel que $PC_1 = P, PC_2 = P'$, $P \geq P'$.

Dans ce dialogue, l'agent A_2 (celui qui a reçue la proposition) a reçu un **argument** fort de l'alternative R_1 , qui l'a amené à modifier sa préférence entre R_1 et R_2 . **L'argument correspond aux poids des critères.**

Pour une action rejetée:

Refuser (R_1, R_2) = non Accepter (R_1, R_2), si le poids du critère de R_1 (PC_1) est inférieur au poids du critère de R_2 (PC_2), ($\text{Refuse} \subseteq R \times R$).

Soient $C_1, C_2 \in C$, deux critères, $C_j = C_1, C_2, \dots, C_m$, $m = \text{nombre maximal de critères}$;

$R_1, R_2 \in R$, R_1 est non acceptée à R_2 , notée Refuser (R_1, R_2), ssi $\exists R_1 \in R$ tel que $PC_1 = P, PC_2 = P'$, $P < P'$.

Le protocole de négociation que nous proposons se caractérise par une suite de messages échangés entre un agent initiateur et des agents participants. Il procède en cinq principales phases :

1. Une phase de calcul ;
2. Une phase d'établissement de préférence ;
3. Une phase de proposition ;

4. Une phase d'analyse ;
5. Une phase de décision ;

En toute généralité, le protocole de négociation proposé opère comme suit (Madouri and Hamdadou, 2017) :

- Classement des critères (critères à maximiser, critères à minimiser) ;
- Rangement des performances, le tri croissant des performances pour les critères à minimiser, et le tri décroissant des performances pour les critères à maximiser ;
- Génération de la matrice M_1 $K * 2$, correspondant à chaque action R_k un critère C_j ayant un rang de performance minimum, puisque il associe à chaque performance un rang. La performance classée première aura le rang le plus petit = 1. Ce rang est, à chaque fois, incrémenté de 1 pour les performances suivantes ;
- Pondération des critères grâce à la méthode multicritères AHP ;
- La phase de calcul : calculer le nombre d'apparition de chaque critère dans la matrice M_1 $K * 2$. Générer le **C_jmax** (le critère maximum est le critère qui a la valeur la plus élevée dans la matrice M_1 $K * 2$). Générer la liste des actions qui seront proposées (toutes les actions qui correspondent au critère $_{max}(C_jmax)$) ;
- Etablissement des préférences : classer les actions en utilisant la méthode multicritères ELECTRE III ;
- La phase de proposition : proposer une action aux différents participants.
- La phase d'analyse : calculer le taux d'acceptation de chaque action choisie.
- La phase de décision : une décision est prise par l'initiateur selon les réponses des participants.

4.1. La phase de calcul

L'objectif de cette phase est de répondre à la question : *quelle est l'action qui sera proposée dans les prochains tours ?*

Afin de répondre à cette question, on calcule le nombre d'apparition de chaque critère exprimé comme suit:

$$Nbr(C_j) = Nbr(C_j) + 1$$

Avec :

C : L'ensemble de critères = $C_1, C_2, \dots, C_m$, m =nombre maximal de critères identifiés

Critère $_{max}$ est le critère qui possède le plus grand nombre d'apparition dans la matrice M_1 $K \times 2$.

La phase de calcul opère comme suit :

Début

- Calculer le nombre d'apparition de chaque critère :

$$Nbr(C_j) = Nbr(C_j) + 1$$
- Générer le Critère max (**C_{jmax}** possède le nombre d'apparition le plus grand dans la matrice M_1 $K \times 2$).
- Générer la liste contenant les actions qui seront proposées (toutes les actions qui correspondent aux Critère $_{max}$ **C_{jmax}**).

Fin.

4.2. La phase d'établissement des préférences des agents (rangement des actions)

Cette phase est synonyme du début de la négociation, les participants sont appelés à exprimer leurs préférences concernant les actions, chaque participant effectue un classement⁵ des actions de la meilleure à la moins bonne.

La phase d'établissement des préférences opère comme suit :

Début

- Introduire la matrice des performances.
- Introduire les paramètres subjectifs du décideur (W, P, Q, V).
- Classer les actions en utilisant ELECTRE III (phase d'agrégation, phase d'exploitation).

Fin.

4.3. La phase de proposition

L'agent initiateur propose aux agents participants le premier contrat (proposition concernant une action). Cette proposition est la première action qui correspond au Critère $_{max}$ (**C_{jmax}**).

Les autres agents participants vont soit accepter, soit refuser la proposition :

- Accepter la proposition, à condition qu'elle vérifie la condition suivante :

⁵ Classement des actions de la meilleure à la moins bonne en se référant à un certain nombre de critères.

Si le poids critère max est supérieur ou égal au poids critère de l'action choisie par l'agent qui a reçu la proposition : $P[C_j \text{max}] \geq P[C_{j'}(R_k)]$

Avec

P : poids.

$C_j \text{max}$: le critère max .

A : L'ensemble des agents participants $A_1, A_i, \dots, A_n$, $n = \text{nombre des agents participants}$.

A_i : L'agent participant ayant reçu la proposition.

$C_{j'}$: Critère justifié par un autre agent (A_i) : Le critère de l'action choisie par l'agent (A_i) ayant reçu la proposition.

R : est un ensemble d'actions, $R_k = R_1, R_2, \dots, R_K$, $K = \text{nombre maximal d'actions}$.

R_k : est l'action choisie par l'agent A_i .

- Sinon rester sur la dernière proposition faite dans les tours précédents.

La phase de proposition opère comme suit :

Début

Proposer la première action.

Pour $e=1$ à E Faire // E : nombre maximal d'action correspondant à Critère max

Pour $i=1$ à n Faire // n : nombre maximal des agents participants

Propose (r_e, A_i) // Proposer la 1^{ère} action correspondant à Critère max

Finpour

Finpour

Pour $j=1$ à m Faire // m : nombre maximal des critères

Pour $k=1$ à K Faire // K : nombre maximal d'actions

Pour $e=1$ à E Faire

Si $P[C_j \text{max}] \geq P[C_{j'}(R_k)]$ Alors

Accept r_e, R_k

Sinon Refuse r_e, R_k

Fin si

Fin Pour

Fin Pour

Finpour

Fin.

4.4. La phase d'analyse

Lorsque l'agent initiateur reçoit toutes les réponses des agents participants, il comptabilise le nombre (taux d'acceptation) des agents participants qui ont choisi la même action (il calcule le pourcentage d'acceptation de chaque action choisie), et il enregistre le résultat dans le journal du protocole.

Si ce nombre (taux d'acceptation) est supérieur ou égal à un certain seuil⁶, alors la négociation est un succès sinon il retourne à la phase de calcul et il propose l'action suivante jusqu'à ce qu'il parcoure toutes les actions qui ont le poids max.

La phase d'analyse opère comme suit :

Début

- Calculer le taux d'acceptation de chaque action choisie.
- Si $\text{taux d'acceptation} \geq \text{Seuil}$ Alors la négociation est un succès
Sinon la négociation est un échec

FinSi

Fin.

4.5. La phase de décision

C'est la dernière phase du protocole suggéré. Elle est synonyme de la fin de la négociation, une décision de groupe est prise par l'initiateur selon les réponses des participants.

5. Détermination des préférences des agents participants

Afin de représenter les préférences des agents participants, nous optons pour l'utilisation de la méthode multicritères de surclassement ELECTRE III qui relève de la problématique γ (procédure de classement) (Roy et Bouyssou, 1993) : son but est de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes".

Pour se faire, ELECTRE III 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. Elle opère en deux principales phases : une phase d'agrégation et une phase d'exploitation.

Grâce à la méthode ELECTRE III, chacun des agents participant va pouvoir exprimer ses préférences concernant les actions et construire son vecteur de préférence où il classe les actions de la meilleure à la moins bonne.

⁶ Seuil indispensable pour que la négociation soit un succès.

Notre choix s'est porté sur la méthode ELECTRE III et qui est justifié par les principales raisons suivantes :

- ELECTRE III est basée sur une approche constructive qui favorise le dialogue entre les différents acteurs intervenant dans le processus de décision.
- Les différents critères peuvent être pondérés par les acteurs qui exprimeront ainsi leurs préférences et leurs opinions.
- ELECTRE III est basée sur une logique de flou qui permet de tenir compte de l'incertitude dans l'évaluation des actions par les pseudo-critères.

5.1. La méthode ELECTRE III

Permet de classer les actions de la meilleure à la pire pour sélectionner ensuite la (ou les) action(s) qui semble(nt) la (ou les) plus adéquate(s).

Pour se faire, ELECTRE III traite une matrice d'évaluation contenant des actions et des pseudo critères. Les traitements de surclassement muni sur cette matrice permettront d'établir un préordre final partiel.

5.1.1. Avantages d'ELECTRE III

Les principaux avantages d'ELECTRE III sont (Hamdadou, 2017)

- Permet de considérer aussi bien des critères qualitatifs que quantitatifs.
- Prend en considération l'imprécision de l'évaluation des critères grâce aux notions de seuils d'indifférence et de préférence.
- Permet de mettre en évidence des différences inacceptables entre deux actions sur un critère par la notion du seuil de veto.
- Permet de mettre en évidence des actions incomparables.
- Permet de fixer une pondération par acteur entrant dans le processus décisionnel.
- Propose un classement des actions de la meilleure à la moins bonne en tenant compte de l'effet de chacun des critères;
- Basée sur une exploration complète des alternatives donc elle donne un résultat optimal ;

5.1.2. Limites d'ELECTRE III

Les principaux inconvénients d'ELECTRE III sont (Alnafie, 2015) :

- Mise en œuvre délicate de la méthode due à sa complexité et au grand nombre de paramètres techniques

- Interprétation physique absente pour certains paramètres (seuils de discordance, de veto, etc.)
- Difficulté pour interpréter éventuellement les résultats.

5.1.3. Algorithme général d'ELECTRE III

Le principe général du fonctionnement de la méthode ELECTRE III est donné par l'organigramme illustré par la figure (4.2)

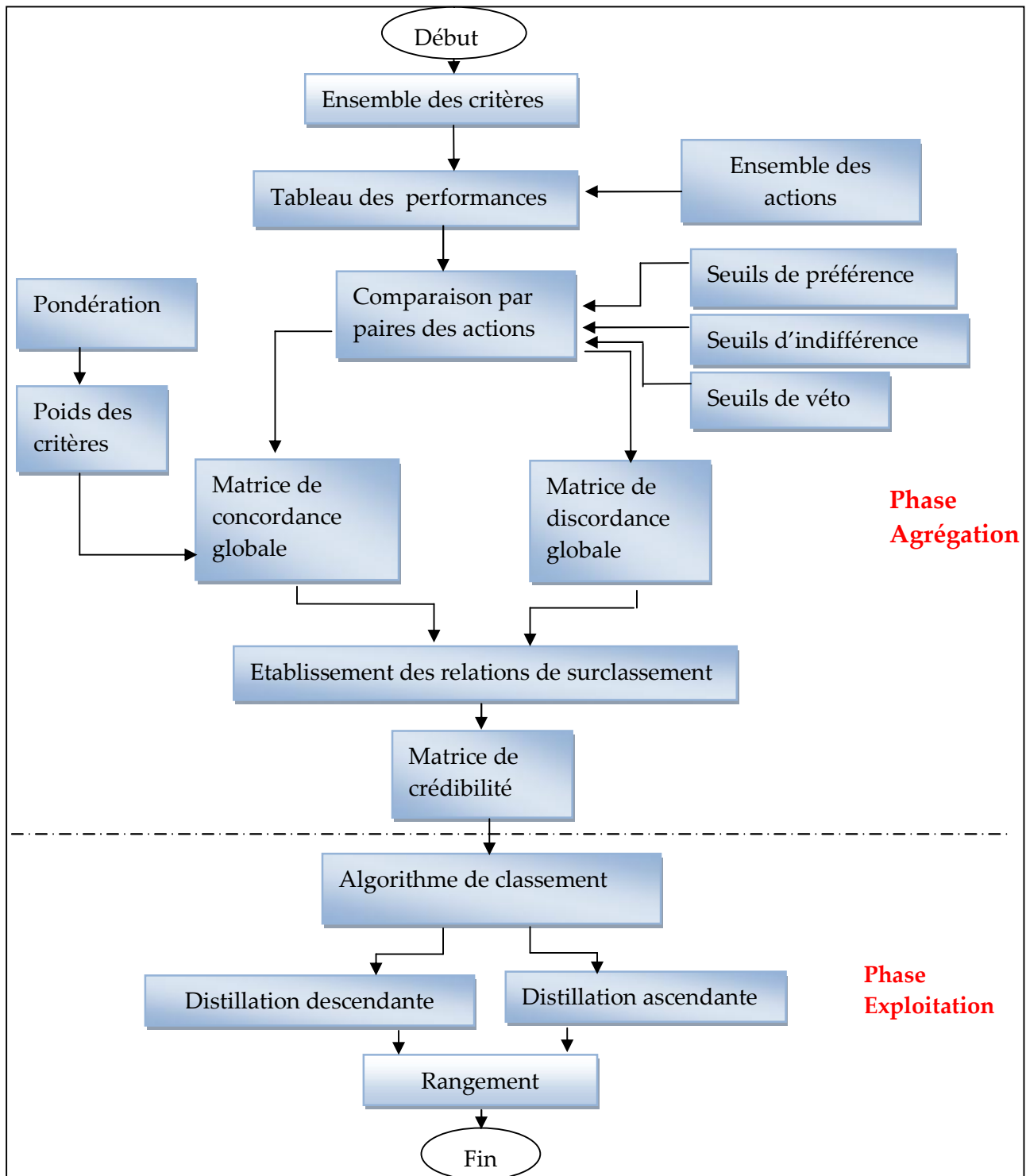


Figure 4.2 – Démarche d'utilisation de la méthode ELECTRE III.

En général, ELECTRE III opère en deux phases : Agrégation et Exploitation.

a. Phase d'Agrégation

Avant le début de traitement d'ELECTRE III, le décideur est invité à introduire les paramètres subjectifs de la méthode relativement à chaque critère:

1. Poids des actions.
2. Seuil de préférence.

3. Seuil d'indifférence.

4. Seuil de veto.

Pour construire les relations de surclassement, ELECTRE III utilise deux principes :

1. Le principe de concordance

Détermine l'indice de concordance globale $C(a, b)$ qui affirme dans quelle mesure, il ya concordance avec la relation de surclassement $a \succ b$. Ce principe est assuré par les formules suivantes :

$$C(a, b) = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^r p_j c_j(a, b) \quad (1)$$

$$\text{Avec : } P = \sum_{j=1}^r p_j \quad (2)$$

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 1 & \text{Si } g_j(a) + q_j \geq g_j(b) \\ 0 & \text{Si } g_j(a) + p_j \leq g_j(b) \\ \frac{p_j + g_j(a) - g_j(b)}{p_j - q_j} & \text{Sinon} \end{cases} \quad (3)$$

Avec:

a, b : Deux actions.

p_j : Le poids relative au critère j .

$g_j(a)$: L'évaluation du critère j pour l'action a .

j : L'indice du critère et r le nombre total de critères.

p, q : Les seuils de préférence et d'indifférence.

Les valeurs de l'indice de concordance⁷ $c_j(a, b)$ appartiennent à l'intervalle $[0, 1]$.

Après avoir réalisé des matrices de concordance pour chaque critère (m matrices $n \times n$) comprenant les indices de concordance $c_j(a, b)$, une matrice de concordance globale est ensuite réalisée (matrice $n \times n$ comprenant les indices de concordance globale $C(a, b)$).

2. Le principe de discordance

Ce principe est connu aussi sous le nom « principe du respect de la minorité ». Il consiste à vérifier que la minorité des critères contrariaient avec la relation de surclassement $a \succ b$ ne s'y oppose pas beaucoup : La relation de surclassement ne doit pas être nettement plus mauvaise relativement aux critères minoritaires. Ce principe est introduit par les formules suivantes :

$$d_j(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{Si } g_j(a) + p_j \geq g_j(b) \\ 1 & \text{Si } g_j(a) + v_j \leq g_j(b) \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j}{v_j - p_j} & \text{Sinon} \end{cases} \quad (4)$$

Des matrices de discordance sont ensuite réalisées pour chaque critère (m matrices $n \times n$ comprenant les indices de discordance $d_j(a,b)$).

3. Calcul du degré de crédibilité (Relation de surclassement floue)

Le degré de crédibilité pour chaque paire $(a,b) \in A^2$ est déterminé ainsi :

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b) & \text{Si } d_j(a,b) \leq C(a,b) \forall j \\ C(a,b) * \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1 - d_j(a,b)}{1 - C(a,b)} & \text{Avec } J(a,b) \text{ l'ensemble des critères tel que : } \\ & d_j(a,b) > C(a,b) \end{cases} \quad (5)$$

Une matrice des degrés de crédibilité est ensuite générée (matrice $n \times n$ comprenant les degrés de crédibilité $S(a,b)$ pour chaque paire $(a,b) \in A^2$).

Comparé à ELECTRE II, ELECTRE III possède une multitude de surclassement caractérisé par leur degré de crédibilité tandis qu'ELECTRE II est à base de deux types de surclassement fort ou faible. L'avantage de cette multitude est de bien saisir la complexité de la problématique étudiée.

b. Phase d'exploitation

La méthode ELECTRE III propose de classer les actions selon un algorithme décrit dans (Maystre et al., 1994) et (Roy et Bouyssou, 1993) et (Pel, 2004). Les actions sont comparées entre elles par paire selon tous les critères. Deux préordres sont construits (distillation) où les ex æquo sont acceptés mais pas les incomparabilités. Le principe d'établissement de ces deux distillations est le suivant:

- **La distillation descendante** range les mesures en partant de la meilleure jusqu'à la «moins meilleure », se basant sur les meilleurs scores des mesures comparées deux à deux,
- **La distillation ascendante** range les mesures en partant de la pire à la «moins pire », se basant sur les moins bons scores des mesures comparées deux à deux.

Un algorithme permet, par comparaison entre les deux préordres, de définir un graphe de surclassement illustrant le préordre final partiel acceptant les ex-æquo et les incomparabilités. C'est ce classement qui définit la meilleure action.

5.2. La méthode AHP

La résolution de problèmes décisionnels selon la méthode AHP repose sur trois principes fondamentaux (Saaty, 1980) :

- 1) Décomposition, comparaison des jugements, composition hiérarchique ou la synthèse des priorités. Le principe de la décomposition est appliqué pour structurer un problème complexe en une hiérarchie de critères, sub-critères, subsub critères ainsi de suite.
- 2) 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. Ces comparaisons sont utilisées pour dériver les priorités locales des éléments dans leur niveau.
- 3) 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 l'hiérarchie par la suite on ajoute les priorités globales du niveau le plus bas (généralement Ce sont les alternatives).

Le schéma suivant démontre plus précisément les étapes à suivre dans l'application de cette méthode (Saaty, 1980) :

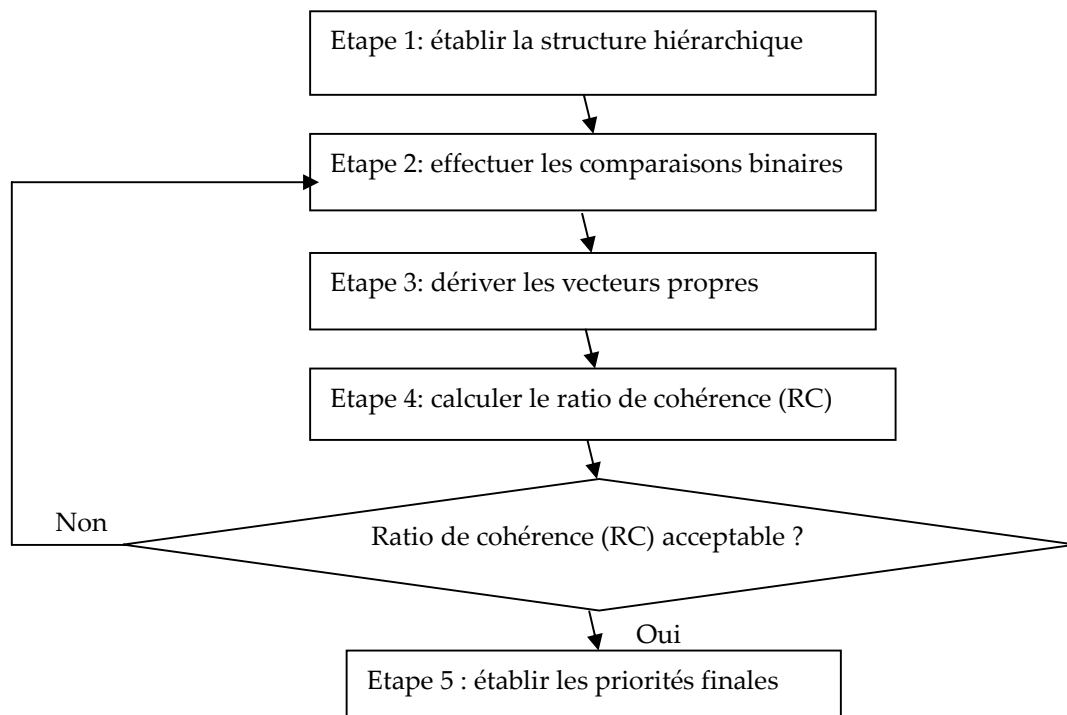


Figure 4.3 – Les étapes de la méthode AHP.

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.

Degré d'importance	Définition	Explication
1	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété.
3	Faible importance d'un élément par rapport à un autre.	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisant légèrement un élément par rapport à un autre.
5	Importance forte ou déterminante d'un élément par rapport à un autre.	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement un élément par rapport à un autre.
7	Importance attestée d'un élément par rapport à un autre.	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique.
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre.	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible.
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines.	Un compromis est nécessaire entre deux appréciations.
Réciproques (1/x)	Si l'activité i se voit attribuer l'un des chiffres précédents lorsqu'elle est comparée à l'activité j. j a donc la valeur réciproque lorsqu'on la compare à i.	

Table 4.1 – Echelle de comparaisons binaires.

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 :

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

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

Table 4.2 – 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 suivante décrit, plus précisément, les étapes à suivre pour dériver les vecteurs propres.

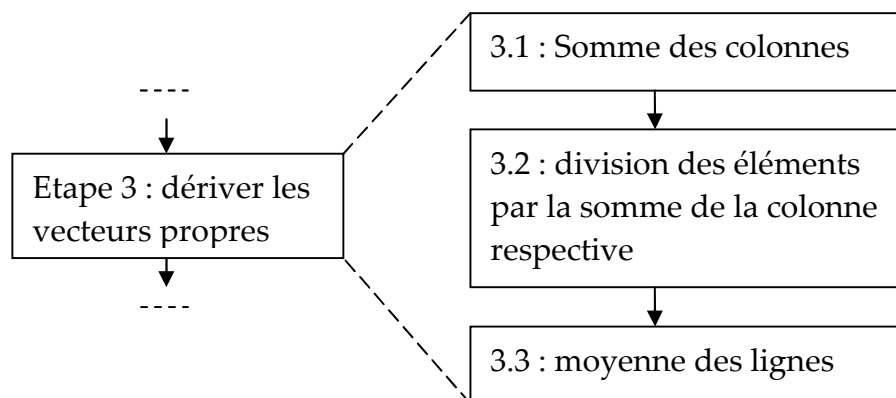


Figure 4.4 – Les différentes étapes pour dériver les vecteurs propres.

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) :

$$IC = (\lambda_{\max} - K) / (K - 1) \quad K : \text{nombre d'éléments comparés}$$

- 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 $\lambda_{\max}$. 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 de la table ci-dessous en fonction de n, c'est-à-dire en fonction de la taille de la matrice (Saaty, 1984).

N=the number of criterion	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

Table 4.3 – Table des indices de cohérence aléatoire.

Le ratio de cohérence est donné par la formule suivante : $RC = IC / IA$

- 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.

La table (4.4) présente des ratios de cohérence acceptables (Saaty, 1984):

Taille de la matrice (n)	Ratio de cohérence acceptable
3	0,05
4	0,08
5 et +	0,10

Table 4. 4 – Table des ratios de cohérence acceptables.

6. Caractéristiques du protocole proposé

Lors du déroulement de la négociation, un certain nombre d'aspects doit être pris en compte tels que : les objets et la cardinalité de la négociation, le langage de la négociation ⁸ utilisé par les agents pour échanger des informations pendant la négociation ainsi que les stratégies adoptées par les agents au cours du processus de négociation (Hamdadou et Bouamrane, 2016).

⁸ Défini par un ensemble de primitives spécifiques.

Dans ce qui suit, nous décrivons, en détails, les différentes caractéristiques du protocole de négociation que nous proposons dans cette étude.

6.1. Les objets de la négociation

Les actions sont les objets de la négociation. Elles peuvent être soit personnelles, soit communes. Dans notre cas, ce sont des actions communes (les actions ou les îlots vierges destinés pour une construction donnée). Ces actions vont être négociées tout au long du processus de négociation à travers le protocole jusqu'à ce que l'une d'elle soit choisie comme étant la meilleure action selon tous les participants (un accord mutuellement acceptable).

6.2. La cardinalité de la négociation

C'est une notion importante pour les SMA. Il s'agit de savoir combien d'agents négocient entre eux. Notre protocole permet, à un initiateur, de proposer un contrat à un ensemble de participants, Ces derniers communiquent par envoi de messages pour résoudre une problématique décisionnelle, les participants justifient leurs choix par des arguments afin d'aboutir à une décision collective. il s'agit d'une négociation de 1 vers n agents.

6.3. Le langage de la négociation : les primitives

Nous proposons un protocole de négociation multilatérale basé sur l'argumentation, en adoptant un langage de dialogue argumentatif, mettant en scène un agent initiateur ainsi qu'un ensemble d'agents participants négociateurs, qui tentent de trouver un compromis satisfaisant au mieux les participants. Ces derniers communiquent par envoi de messages pour résoudre une problématique décisionnelle.

Pour mener à terme un processus de négociation entre agents, il est nécessaire de définir des primitives spécifiques à l'agent coordinateur et d'autres primitives spécifiques aux agents participants.

6.3.1. Les primitives spécifiques à l'agent coordinateur

Les messages envoyés par le coordinateur sont destinés à tous les agents participants, nous lui associons, par conséquent, cinq primitives de négociation illustrées dans la table (4.5) (Madouri and Hamdadou, 2017)

Primitive de négociation	Description de la primitive
Inform_ref ()	L'agent coordinateur (initiateur) envoie la matrice de performance aux agents participants.
Request ()	L'agent coordinateur envoie un message aux participants pour les inciter à établir leur vecteur de préférences.
Propose ()	L'agent coordinateur propose un contrat aux agents participants concernant une action donnée.
Confirm ()	L'agent coordinateur envoie un message à tous les agents pour les informer que la négociation a été un succès et que l' action a été trouvé.
Failure ()	L'agent coordinateur envoie un message à tous les agents participants pour leur indiquer que la négociation a été un échec et que le nombre de tours de paroles est dépassé.

Table 4. 5 – Les primitives de négociation du coordinateur.

6.3.2. Les primitives spécifiques aux agents participants

Les messages envoyés par les participants sont uniquement destinés à l'initiateur. Les autres participants n'ont pas connaissance de ces messages. Le participant dispose de quatre primitives de négociation :

Primitive de négociation	Description de la primitive
Agree ()	Il indique au coordinateur qu'il a reçu la matrice de performance.
Inform ()	Après avoir établi un classement des actions de la meilleure à la moins bonne, chaque agent participant informe l'initiateur qu'il peut leur faire une première proposition.
Accept ()	Ce message répond à la proposition du contrat faite par l'initiateur. Le participant indique par ce message à l'initiateur qu'il accepte le contrat.
Refuse ()	Le participant indique à l'initiateur qu'il refuse sa proposition.

Table 4. 6 – Les primitives de négociation des agents participants.

6.4. Les stratégies des agents lors de la négociation

Le protocole proposé distingue deux rôles : initiateur et participant. La stratégie de négociation n'est pas la même, elle diffère selon le rôle de l'agent. nous distinguons deux types de stratégies à savoir les stratégies de l'agent coordinateur et celles des agents participants.

6.4.1. Les stratégies du participant

Nous associons à chaque agent participant trois stratégies :

Stratégie d'établissement de préférences : Chaque agent participant doit établir un classement des actions de la meilleure (celle qui lui ait la plus bénéfique) jusqu'à la moins bonne en se référant à un certain nombre de critères. Pour atteindre cet objectif, il exploite les avantages qu'offre la méthode d'aide multicritère à la décision ELECTRE III. Après que chaque participant ait établi son vecteur de préférence, il associe à chaque action un rang, l'action classée première aura le rang le plus grand (elle représentera la préférence du participant lors du premier tour). Ce rang est, à chaque fois, décrétement de 1 pour les actions suivantes. Pour pouvoir être conduite, la méthode ELECTRE III nécessite en entrée un ensemble de paramètres intra critères (**seuil de préférence, seuil d'indifférence et seuil de veto**)

et de paramètres inter critères (la pondération de chacun des critères) qui représente l'importance de chaque critère selon le participant considéré.

Après avoir accéder à la matrice de performance normalisée préalablement, chacun des agents participants exprime ses préférences en terme de critère. La pondération des critères par les agents participants s'avère une tâche délicate, pour cela, nous proposons d'exploiter la méthode multicritères AHP (Analytic Hierarchy Process).

Stratégie d'acceptation : en adoptant un langage de dialogue argumentatif, la négociation peut se dérouler en plusieurs tours jusqu'à ce qu'un compromis soit trouvé. A chaque nouveau tour, le participant reçoit une nouvelle proposition, si ce dernier reçoit un argument fort de l'autre agent alors il va modifier sa préférence c.à.d. Si le poids du critère de l'action proposée est supérieur ou égal au poids du critère de l'action du participant qui a reçue la proposition, il l'accepte. Sinon, il refuse.

Stratégie de refus : Lorsque le participant reçoit une proposition et que le poids du critère de celle-ci est inférieur ou égale au poids du critère de son action, il la refuse.

6.4.2. Les stratégies de l'initiateur

On associe à l'initiateur trois stratégies :

Stratégie de tri: Pour chaque performance, l'agent initiateur fait un rangement (en utilisant le tri croissant pour les performances à minimiser et le tri décroissant pour les performances à maximiser).

Stratégie de la proposition : L'initiateur calcul le nombre d'apparition de chaque critère ($NbrC_j = NbrC_j + 1$), et établit une liste contenant les actions concernées par le critère $\max(C_jmax)$.

L'agent initiateur propose aux (n) agents participants le contrat (proposition concernant une action).choisi par le premier agent qui a argumenté son choix avec le critère $\max(C_jmax)$.

Stratégie d'évaluation : La stratégie de l'initiateur qui lui permet d'analyser et calculer le pourcentage d'acceptation de chaque action choisie.

6.5. Modélisation du processus de négociation ARG_GDSS

Nous avons utilisé le langage de modélisation UML (Unified Modeling Language) afin de représenter l'interaction entre l'initiateur et les agents participants. La figure (4.5) illustre les différentes primitives associées à l'interaction modélisée sous forme d'un diagramme de séquences.

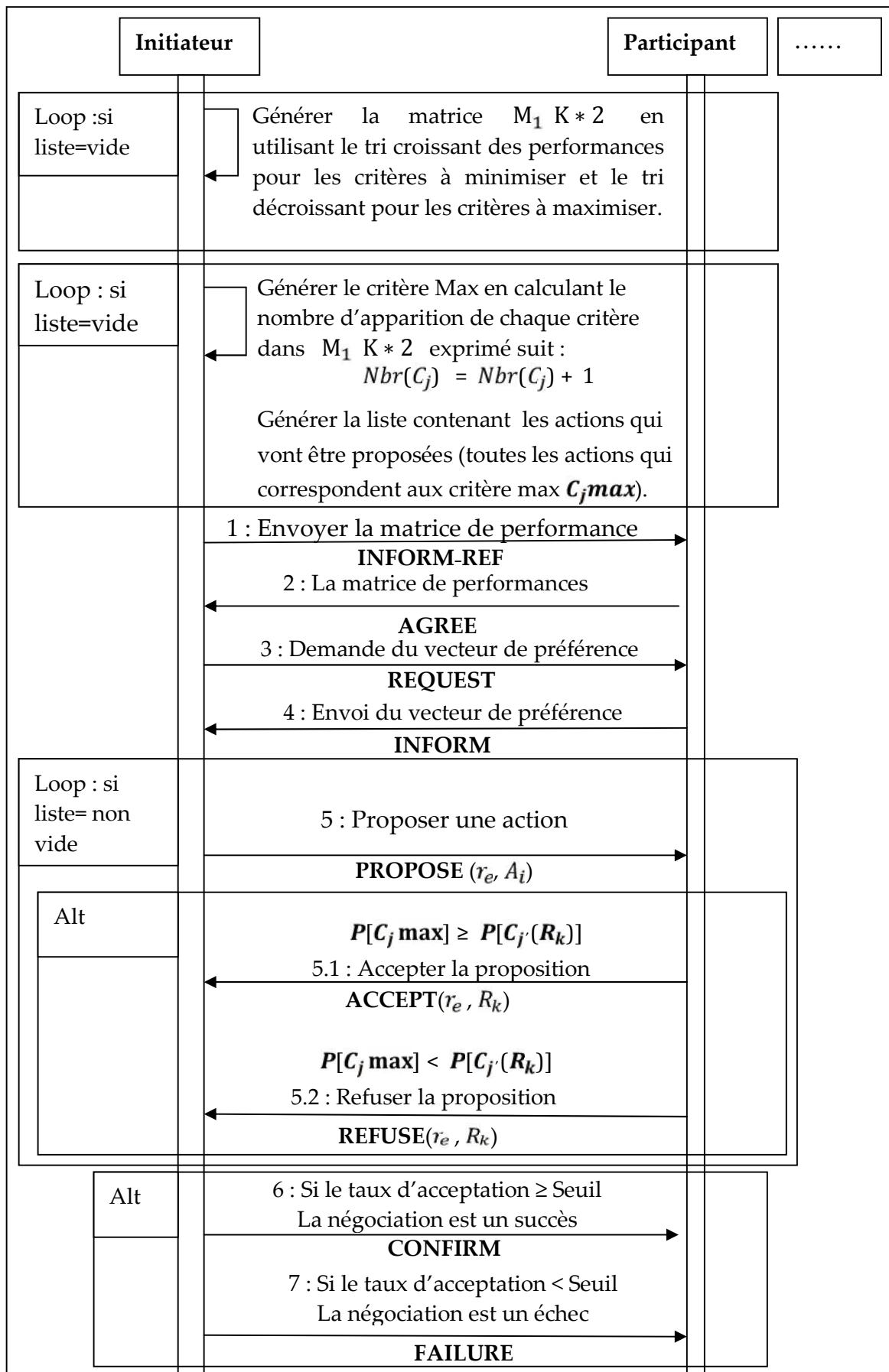


Figure 4.5 – Diagramme de séquence UML du protocole de négociation proposé.

Dans ce qui suit, nous proposons une description des termes utilisés dans le diagramme de séquence :

Terme	Description
$\mathbf{r}$	L'ensemble des actions qui vont être proposées (toutes les actions qui correspondent au critère max $\mathbf{C_jmax}$).
$\mathbf{r_e}$	$= r_1, r_2, \dots, r_E$, E=nombre maximal d'actions .
$\mathbf{r_e}$	L'action proposée.
$\mathbf{R_k}$	L'action choisie par l'agent participant A_i , celui qui a reçu la proposition.
$\mathbf{A}$	est l'ensemble des agents participants.
$\mathbf{A_i}$	$= A_1, A_2, \dots, A_n$, n=nombre maximal d'agents .

Table 4.7 – Description des termes utilisés.

propose (r_e, A_i) se lit (r_e est proposée à A_i), cela signifie que l'action r_e est proposée à l'agent A_i .

accept(r_e, R_k) se lit (r_e est acceptée à R_k), si le poids de critère de r_e est supérieur au poids du critère de R_k , accept $\subset (R \times R)$.

refuse (r_e, R_k)=**non** accept (r_e, R_k).

7. Modèle décisionnel adopté par ARG_GDSS

Nous adoptons la démarche d'aide à la décision adaptée à l'environnement et qui s'inspire de celle de Hamdadou (Hammadou, 2008). Elle comprend trois phases principales : la structuration du modèle décisionnel, son exploitation et la concrétisation des résultats. La figure (4.6) illustre les différentes phases et étapes d'utilisation du modèle proposé :

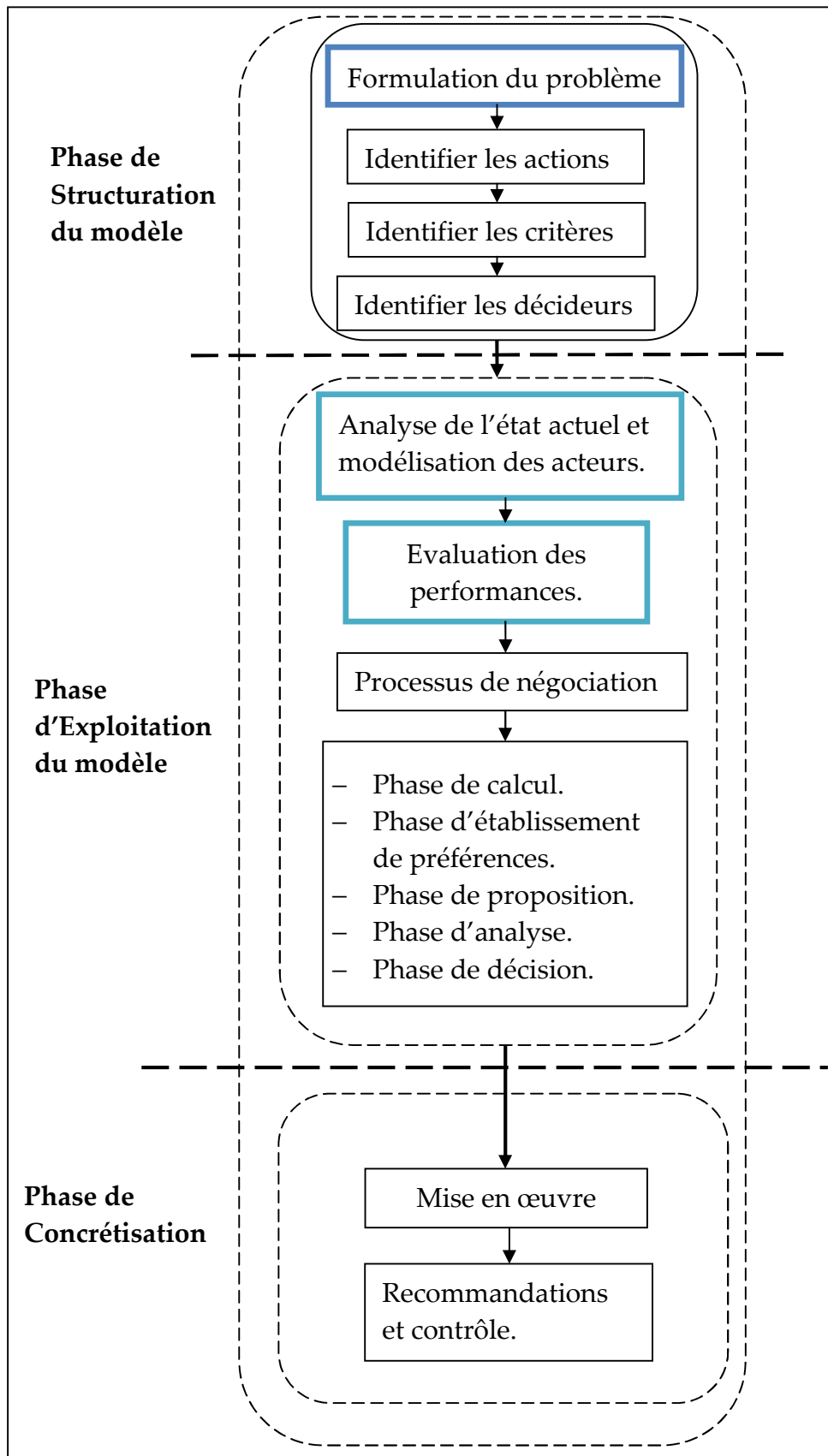


Figure 4.6 – Phases et étapes d'utilisation de ARG_GDSS.

7.1. La phase de structuration du modèle

Elle a pour objectif l'identification du problème et les choix fondamentaux sur la manière de l'aborder, elle passe principalement par trois étapes .

7.1.1. Identifier les critères

La phase d'identification des critères est réalisée en deux étapes . la première consiste à dresser une liste de critères.

7.1.2. Identifier les actions

L'identification de l'ensemble des actions est une étape très sensible dans toute démarche d'aide à la décision, en particulier lorsque la méthode d'analyse multicritère procède par agrégation partielle, il est très important que l'ensemble des actions soit aussi complet que possible car sa modification en court de route peut entraîner la répétition de l'analyse multicritère.

Dès que les étapes précédentes soient achevées, on peut procéder à l'évaluation des critères ce qui donne lieu à l'établissement de la matrice des performances.

7.1.3. Identifier les décideurs

Le concept de décideur se réfère à une entité concrète, localisée (dans un contexte); c'est une unité d'action et de décision, individuelle ou collective, à laquelle on peut attribuer des actions, une finalité et une stratégie. On peut identifier deux grands types de décideur : individuels et collectifs. Les décideurs collectifs sont des groupes ou des organisations. Les organisations peuvent être économiques (entreprise, coopératives, groupement de producteurs, etc.), politiques (un parti, le conseil municipal, le conseil des anciens d'une communauté, etc.), sociales (associations de jeunes, etc.).

La multiplicité des décideurs rend la négociation territoriale difficile puisque d'un côté nous aurons les décideurs forts disposant d'un pouvoir important et de l'autre côté des décideurs faibles qui ont plus de difficulté à défendre leurs intérêts.

7.2. La phase d'exploitation du modèle

Dans cette phase, tous les décideurs sont modélisés sous forme d'agent, à chaque agent participant est associé un poids afin d'exprimer son importance et l'étendue de son pouvoir lors de la décision. Tous les agents participants peuvent accéder à la matrice d'évaluation gérée par le SIG afin d'établir leurs vecteurs de préférences (concernant les différentes actions) en utilisant la méthode ELECTRE III lors de la phase d'initialisation. Après plusieurs tours de négociation, les agents participants

arrivent à un consensus qui satisfait toutes les parties prenantes ou une partie d'entre elles, c'est l'accord final.

7.3. La phase de concrétisation

Cette phase vise, essentiellement, l'acceptation sociale du résultat, cependant elle comprend aussi la mise en œuvre de la décision et son contrôle. La figure (4.7) résume les différentes étapes de la phase de structuration et d'exploitation du modèle pour le traitement de la problématique de localisation.

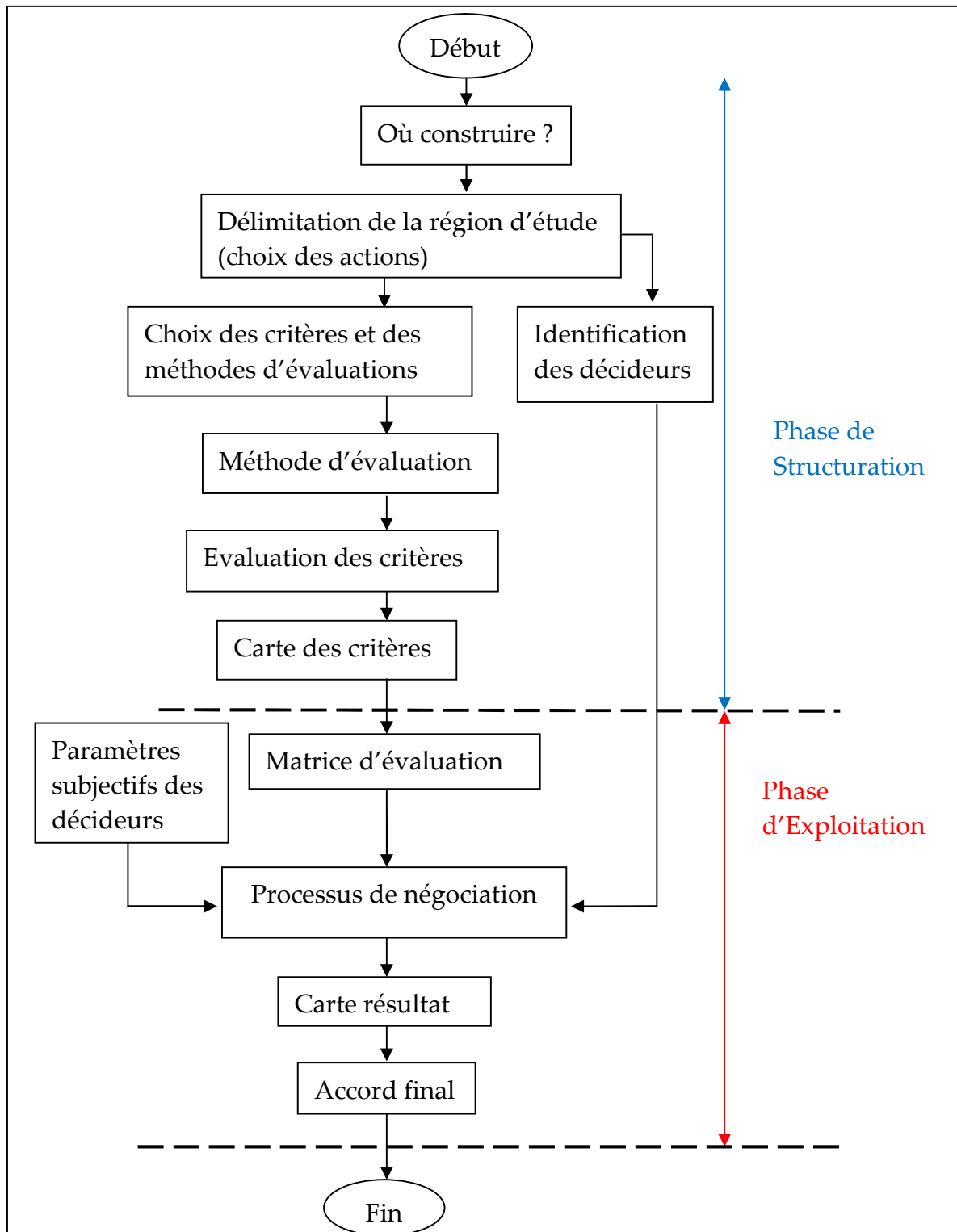


Figure 4. 7 – Synthèse des phases de structuration et d'exploitation du modèle.

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un Système Décisionnel ARG_GDSS en utilisant un SIG, un SMA tout en proposant un protocole de négociation par argumentation et des outils d'AMCD. Le couplage entre les différents modules est

faible, les différents composants demeurent indépendants et communiquent uniquement en s'échangeant des données. Le couplage répond aux besoins collectifs (environnementaux, sociaux, économiques, politiques, etc.) au détriment des besoins strictement individuels.

Le système proposé ARG_GDSS permet la prise de décision collective en se basant sur une stratégie de négociation par argumentation tout en offrant aux différents participants la possibilité d'exprimer leurs préférences souvent conflictuelles (établit via la méthode d'aide multicritères à la décision ELECTRE III)

ARG_GDSS est susceptible d'apporter une aide aux décideurs dans la réalisation des différents projets d'aménagement concernant la problématique de la localisation en AT.

Le système d'argumentation proposé permet de considérer simultanément l'accord de plusieurs agents via plusieurs messages d'acceptabilité et donc d'enrichir la sémantique du système d'argumentation.

Dans le chapitre suivant, notre approche sera appliquée à un cas réel tout en discutant les résultats obtenus:

L'utilisation du système ARG_GDSS passe, principalement, par deux phases, une pour la structuration du modèle décisionnel, et l'autre pour l'exploitation de ce modèle.

Chapitre 5

Expérimentations et résultats obtenus

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

Chapitre 5

Expérimentations et résultats obtenus

1. Introduction

L'objectif de notre étude est l'élaboration d'un système interactif d'aide multicritères à la décision collective (multi décideurs) ARG_GDSS pour l'AT. L'outil proposé est implémenté dans une plateforme Web et conjugue, précisément, la problématique de localisation d'un site satisfaisant un certain nombre de critères, souvent contradictoires, pour effectuer un projet de construction d'une quelconque infrastructure.

Selon le modèle décisionnel proposé, l'utilisation du système ARG_GDSS passe, principalement, par deux phases, une pour la structuration du problème décisionnel, et l'autre pour son exploitation.

Dans le chapitre précédent, nous avons détaillé le protocole de négociation proposé, qui procède en cinq phases (une phase d'établissement de préférence ; une phase de calcul ; une phase de proposition ; une phase d'analyse et une phase de décision), et enfin dans ce chapitre nous allons valider le modèle décisionnel proposé et expérimenter ARG_GDSS à travers une étude de cas réelle. Les différents résultats obtenus seront détaillés et discutés tout au long de ce chapitre.

2. Description du problème décisionnel

La problématique traitée dans cette étude de cas est celle relative à la conception d'une carte d'adéquation du territoire pour l'habitat. En effet, notre action portera sur le choix du site le plus adéquat, parmi plusieurs pour la construction d'une habitation. Ainsi, nous disposons de 650 îlots vierges (actions potentielles) pouvant convenir pour cette construction.

Le problème décisionnel abordé a été largement traité au sein de l'équipe de recherche « modélisation spatio temporelle et vision artificielle : du capteur à la décision » du laboratoire LIO dirigée par Mme HAMDADOU.

Pour le choix de cette région, on s'est inspiré des travaux de Joerin (Joerin, 1997) et ceux de (Hamdadou, 2008). Compte tenu du grand nombre de données spatiales à disposition.

2.1. Délimitation de la région d'étude

La région d'étude se trouve dans le canton de Vaud, à environ 15 km au nord de Lausanne. Ses limites géographiques dans le système de coordonnées suisse sont 532 750-532 500(m) et 158 000-164 000 (m). La surface de la région d'étude est de 52 500 km².

La carte géographique relative à la région test est présentée sur la figure (5.1) :

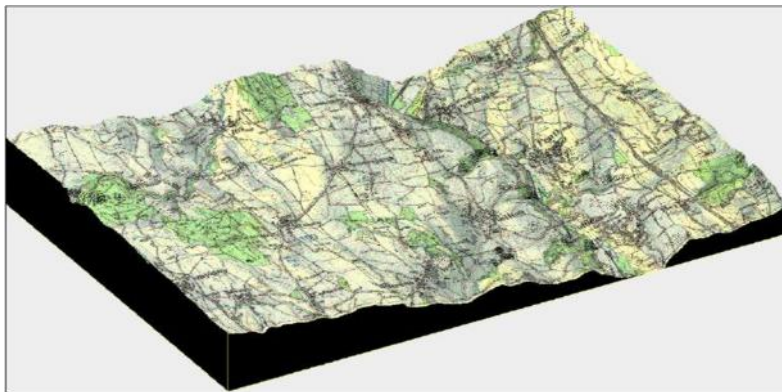


Figure 5.1 – Zone d'étude.

2.2. Identification des critères d'adéquation du territoire pour l'habitat

La première étape dans l'élaboration de la liste des critères consiste à identifier tous les facteurs influençant l'adéquation du territoire à l'habitation. Cette identification s'inspire largement des autres études liées au territoire et s'appuie, principalement, sur la méthode systématique proposée par Joerin (Joerin, 1997). L'adéquation du territoire pour l'habitat intègre, pour cette application, sept critères des plus pertinents. Le tableau (5.1) présente une description des facteurs et des critères identifiés pour le traitement de ce problème.

Critère	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 spatiale
Équipements	Economique	[0,2244]	Distance aux équipements : gaz, électricité, eaux, routes	Consultation des experts
Accessibilité	Economique	[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.

La définition ainsi que l'évaluation des critères identifiés par rapport aux différentes actions potentielles permettent de générer la matrice des performances illustrée par le tableau (5.2). Cette matrice a été générée en utilisant le SIG MAPINFO.

ID_ZONE	NUISANCES	BRUIT	IMPACTS	GEOTECHNIQ	EQUIPEMENT	ACCESSIBIL	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
.....							0.75
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	2	1	1147	9	0.76
511	0.96	0.58	2	1	1548	10	0.70
515	1.00	1.00	2	1	1425	8	0.70
516	1.00	0.99	2	1	1481	10	0.76
519	1.00	1.00	2	1	1622	11	0.67

Tableau 5.2 – Matrice des performances.

2.3. Identification des différents décideurs

Quatre décideurs sont, principalement, impliqués dans ce problème décisionnel. Les préférences exprimées, à travers des paramètres subjectifs (poids des critères, seuils de préférence, seuils d'indifférence et seuils de veto), par chacun des décideurs, respectivement sont résumés dans les tableaux suivants (5.3, 5.4, 5.5, 5.6).

Ces décideurs sont : le politicien, l'économiste, le représentant du public, et le représentant de la protection de l'environnement.

Critère	Poids	P(seuil de préférence)	Q(seuil d'indifférence)	V(seuil de Veto)
ID_ZONE	10	67	6	79
NUISANCES	15	10	14	13
BRUIT	20	46	97	97
IMPACTS	12	70	96	18
GEOTECHNIQ	10	14	89	35
EQUIPEMENT	8	87	0	68
ACCESSIBIL	10	62	22	68
CLIMAT	15	53	67	46

Tableau 5.3 – Paramètres subjectifs exprimés par le décideur Politique.

Critère	Poids	P(seuil de préférence)	Q(seuil d'indifférence)	V(seuil de Veto)
ID_ZONE	10	75	29	24
NUISANCES	15	60	33	5
BRUIT	20	43	43	44
IMPACTS	12	51	69	66
GEOTECHNIQ	10	93	8	2
EQUIPEMENT	8	78	57	0
ACCESSIBIL	10	81	41	64
CLIMAT	15	6	41	91

Tableau 5.4 – Paramètres subjectifs exprimés par le décideur Public.

Critère	Poids	P(seuil de préférence)	Q(seuil d'indifférence)	V(seuil de Veto)
ID_ZONE	10	30	59	92
NUISANCES	15	34	67	45
BRUIT	20	8	50	32
IMPACTS	12	28	100	55
GEOTECHNIQ	10	12	28	24
EQUIPEMENT	8	50	54	28
ACCESSIBIL	10	21	50	39
CLIMAT	15	34	47	67

Tableau 5.5 – Paramètres subjectifs exprimés par le décideur Economique.

Critère	Poids	P(seuil de préférence)	Q(seuil d'indifférence)	V(seuil de Veto)
ID_ZONE	10	64	46	67
NUISANCES	15	12	51	0
BRUIT	20	66	22	84
IMPACTS	12	81	26	59
GEOTECHNIQ	10	61	32	28
EQUIPEMENT	8	32	38	88
ACCESSIBIL	10	76	7	39
CLIMAT	15	23	27	25

Tableau 5.6 – Paramètres subjectifs exprimés par le décideur Protection de l'environnement.

3. Simulation du processus de négociation

Dans cette section, nous décrivons les détails relatifs à la mise en œuvre du Web GDSS proposé ARG_GDSS. Nous commençons tout d'abord par expliciter les différentes tâches effectuées par le coordinateur, ensuite nous présenterons les tâches effectuées par les agents participants.

3.1. L'agent coordinateur

Dans ce qui suit, nous présentons les 9 étapes qui résument l'implication de l'agent coordinateur dans le processus de négociation. La figure (5.2) illustre l'interface du coordinateur :

Coordinator

localhost:8084/negcarg/Coordinator.jsp

Load

Waiting times : 150 Ut Counter : 0

Ranking criteria :

Criterion : Clear all

Maximize Minimize

List of criteria to maximize : List of criteria to minimize :

Acceptance threshold : %

• Matrix of Performances

ID_ZONE	HARM	NOISE	IMPACTS	GEOTECHNICAL	EQUIPEMENT	ACCESSIBILITY	CLIMATE
Performances Ranking							
ID_ZONE	HARM	NOISE	IMPACTS	GEOTECHNICAL	EQUIPEMENT	ACCESSIBILITY	CLIMATE

• Matrix (Ressources, Criterion, Weight(Argument)) Multicriteria method (AHP)

ID_ZONE	Criterion	Weight
---------	-----------	--------

Figure 5.2 – la page de coordinateur.

Etape1 : Le coordinateur charge la matrice de performances à partir d'un fichier.

Coordinator

localhost:8084/negcarg/Coordinator.jsp?submit=load

Load

C:\Q016 Sound\Exemples\Ex

Waiting times : 150 Ut Counter : 0

Ranking criteria :

Criterion : Clear all

Maximize Minimize

List of criteria to maximize : List of criteria to minimize :

Acceptance threshold : %

• Matrix of Performances

ID_ZONE	HARM	NOISE	IMPACTS	GEOTECHNICAL	EQUIPEMENT	ACCESSIBILITY	CLIMATE
202	1.00	0.41	0	1	0.15	0	0.40
209	1.00	0.47	0	1	0.40	0	0.51
210	1.00	0.40	0	1	0.10	0	0.50
211	1.00	0.48	0	1	0.10	0	0.40
214	1.00	0.82	0	1	0.10	0	0.39
215	1.00	1.00	0	1	0.14	0	0.75
216	1.00	0.87	0	1	0.40	0.00	0.50

Figure 5.3 – Chargement de la matrice des performances.

Etape2 : Pour chaque critère, un classement est effectué (critères à maximiser, critères à minimiser) :

- Les critères à minimiser sont: C_1 :la nuisance, C_2 : le bruit et C_6 : l'accessibilité.
- Les critères à maximiser sont: C_3 : les impacts, C_4 : la géotechnique, C_5 : l'équipement et C_7 : le climat.

Le classement des critères par le coordinateur est donné par la figure (5.4).

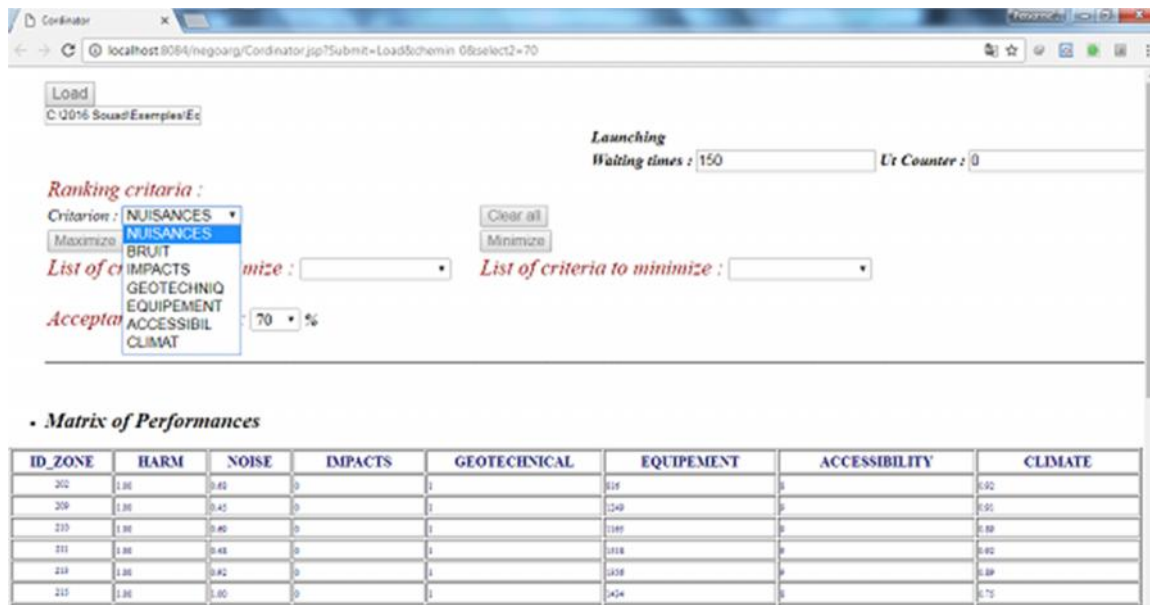


Figure 5.4 – Le classement des critères.

Etape3 : Avant de commencer le processus de négociation, il est nécessaire de fixer un seuil de négociation. Il est fixé à 70%, dans cette étude.

L'action choisie est trouvée dès que les agents participants reçoivent le message CONFIRM (synonyme de fin de négociation).

Le coordinateur **fixe** :

1. un temps d'attente de lancement (launching waiting times) (en Ut).
2. un compteur pour comptabiliser le temps écoulé entre le moment où les décideurs doivent être connectés jusqu'au temps d'attente de lancement).

Etape4 : Pour chaque performance, un classement est effectué en utilisant des tris croissants pour les critères à minimiser, et des tris décroissants pour les critères à maximiser.

Ensuite, on associe à chaque performance un rang, la performance classée première aura le rang le plus petit = 1. Ce rang est, à chaque fois, incrémenté de 1 pour les performances suivantes.

Coordinator

localhost:8084/negoarg/Coordinator.jsp?Submit=Load&chemin=0&select2=70

Performances Ranking

ID	ZONE	HARM	NOISE	IMPACTS	GEOTECHNICAL	EQUIPEMENT	ACCESSIBILITY	CLIMATE
202	29	11	24	17	28	3	1	
209	21	3	21	18	25	8	9	
210	21	12	28	19	28	9	4	
211	4	4	17	20	19	10	2	
213	5	17	38	21	24	7	5	
222	1	1	1	1	1	1	1	
223	1	1	1	1	1	1	1	
224	1	1	1	1	1	1	1	
225	1	1	1	1	1	1	1	
226	1	1	1	1	1	1	1	
227	1	1	1	1	1	1	1	
228	1	1	1	1	1	1	1	
229	1	1	1	1	1	1	1	
230	1	1	1	1	1	1	1	
231	1	1	1	1	1	1	1	
232	1	1	1	1	1	1	1	
233	1	1	1	1	1	1	1	
234	1	1	1	1	1	1	1	
235	1	1	1	1	1	1	1	
236	1	1	1	1	1	1	1	
237	1	1	1	1	1	1	1	
238	1	1	1	1	1	1	1	
239	1	1	1	1	1	1	1	
240	1	1	1	1	1	1	1	
241	1	1	1	1	1	1	1	
242	1	1	1	1	1	1	1	
243	1	1	1	1	1	1	1	
244	1	1	1	1	1	1	1	
245	1	1	1	1	1	1	1	
246	1	1	1	1	1	1	1	
247	1	1	1	1	1	1	1	
248	1	1	1	1	1	1	1	
249	1	1	1	1	1	1	1	
250	1	1	1	1	1	1	1	
251	1	1	1	1	1	1	1	
252	1	1	1	1	1	1	1	
253	1	1	1	1	1	1	1	
254	1	1	1	1	1	1	1	
255	1	1	1	1	1	1	1	
256	1	1	1	1	1	1	1	
257	1	1	1	1	1	1	1	
258	1	1	1	1	1	1	1	
259	1	1	1	1	1	1	1	
260	1	1	1	1	1	1	1	
261	1	1	1	1	1	1	1	
262	1	1	1	1	1	1	1	
263	1	1	1	1	1	1	1	
264	1	1	1	1	1	1	1	
265	1	1	1	1	1	1	1	
266	1	1	1	1	1	1	1	
267	1	1	1	1	1	1	1	
268	1	1	1	1	1	1	1	
269	1	1	1	1	1	1	1	
270	1	1	1	1	1	1	1	
271	1	1	1	1	1	1	1	
272	1	1	1	1	1	1	1	
273	1	1	1	1	1	1	1	
274	1	1	1	1	1	1	1	
275	1	1	1	1	1	1	1	
276	1	1	1	1	1	1	1	
277	1	1	1	1	1	1	1	
278	1	1	1	1	1	1	1	
279	1	1	1	1	1	1	1	
280	1	1	1	1	1	1	1	
281	1	1	1	1	1	1	1	
282	1	1	1	1	1	1	1	
283	1	1	1	1	1	1	1	
284	1	1	1	1	1	1	1	
285	1	1	1	1	1	1	1	
286	1	1	1	1	1	1	1	
287	1	1	1	1	1	1	1	

Figure 5.5 – Rangement de performances.

Etape5 : La matrice $M_1(K * 2)$ est alors créé, indiquant que pour chaque ressource R_k ($k = 1$ à K) correspond un critère C_j ($j = 1$ à n) (qui a un rang de performance minimum).

Matrix (Resources, Criterion, Weight(Argument))

Multicriteria method (AHP)

ID_ZONE	Criterion	Weight
202	ACCESSIBILITY	
209	POURLE	
210	CLD.GATE	
211	CLD.GATE	
213	BEARD	
215	ACCESSIBILITY	
216	CLD.GATE	
218	ACCESSIBILITY	
220	BEARD	
230	POURLE	
232	BEARD	
233	POURLE	
235	BOUYER.BEIT	
237	BOUYER.BEIT	
238	POURLE	
240	BOUYER.BEIT	
248	BOUYER.BEIT	
422	POURLE	
425	BEARD	
426	ACCESSIBILITY	
427	BEARD	
440	GEOTECHNICAL	

Figure 5.6 – La matrice générée $M_1(K * 2)$.

Etape6 : La méthode AHP permet d'associer à chaque critère un poids différent, ce dernier est exploité par les agents participants afin d'argumenter (justifier) leurs choix concernant une action. A cet effet, les agents participants utilisent les poids des critères comme étant des arguments, afin d'accepter ou refuser une action proposée.

ID_ZONE	Criterion	Weight
202	ACCESIBILITE	1.938957123701477
209	COULEUR	17.183388801040454
210	CROISSANCE	7.89238231708174
211	CROISSANCE	7.89238231708174
213	PEAUX	28.842087738932484
215	ACCESIBILITE	1.938957123701477
216	CROISSANCE	7.89238231708174
218	ACCESIBILITE	1.938957123701477
329	PEAUX	28.842087738932484
330	COULEUR	17.183388801040454
332	PEAUX	28.842087738932484
333	COULEUR	17.183388801040454
335	QUALITEDESOL	17.67944335821777
337	QUALITEDESOL	17.67944335821777
338	COULEUR	17.183388801040454
340	QUALITEDESOL	17.67944335821777
348	QUALITEDESOL	17.67944335821777
403	COULEUR	17.183388801040454
408	PEAUX	28.842087738932484
409	ACCESIBILITE	1.938957123701477
437	PEAUX	28.842087738932484
440	OBJETECHNICAL	14.07398787229813

Figure 5.7 – Attribution des poids aux différents critères.

Etape7 : Le coordinateur calcule le nombre d'apparition de chaque critère de la matrice $M_1(K * 2)$ exprimé comme suit:

$$Nbr(C_j) = Nbr(C_j) + 1$$

- Le critère maximum est généré (le critère maximum (C_{jmax}) est le critère qui a la valeur d'apparence la plus élevée dans la matrice $M_1(K * 2)$).
- Générer la liste concernant les actions qui vont être proposées (toutes les ressources qui correspondent aux critère $_{max} C_{jmax}$).

Figure 5.8 – Génération du critère $\max$.

Etape 8 : La création des différents agents utilisant le module Multi Agents (JADE) est illustrée par la figure (5.9).

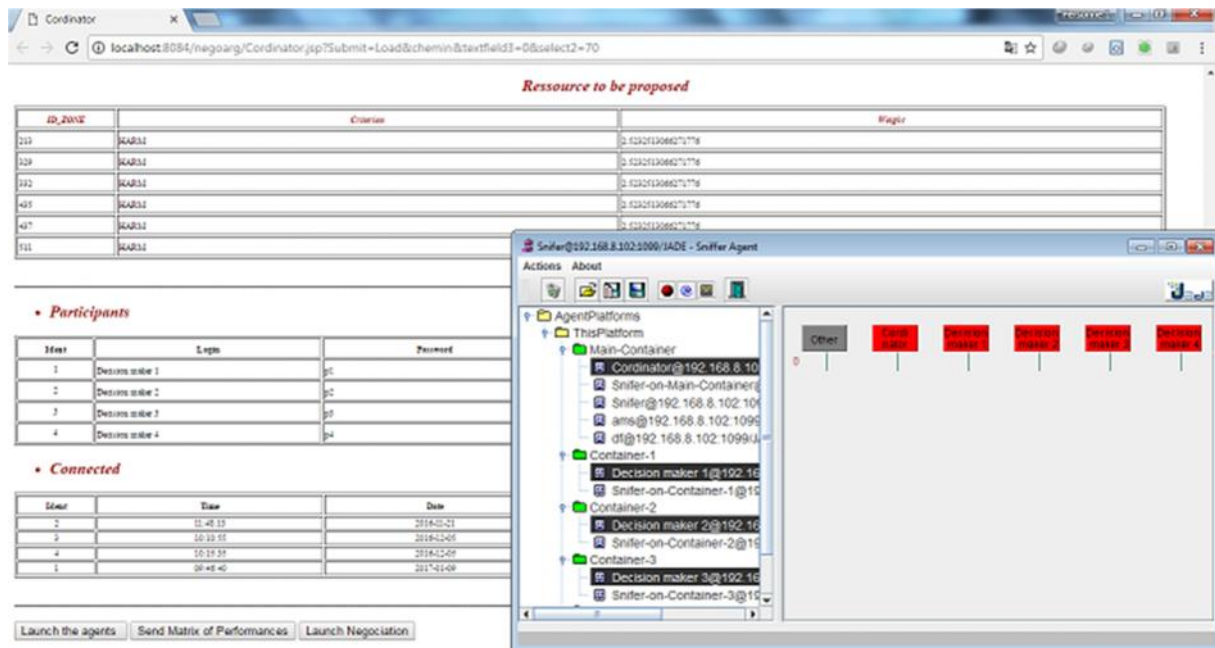


Figure 5.9 – La création des agents (décideurs).

Etape9 : Le coordinateur envoie la matrice de performances aux agents participants.

3.2 Les agents participants

Les agents intéressés par le problème posé font leurs inscriptions, le coordinateur envoie une invitation aux agents participants enregistrés indiquant la date et l'heure du début de la négociation et le launching waiting time. Après le launching waiting time, le coordinateur envoie la matrice des performances aux agents participants connectés et la négociation commence.

La figure ci-dessous montre la page associée à chaque agent participant:

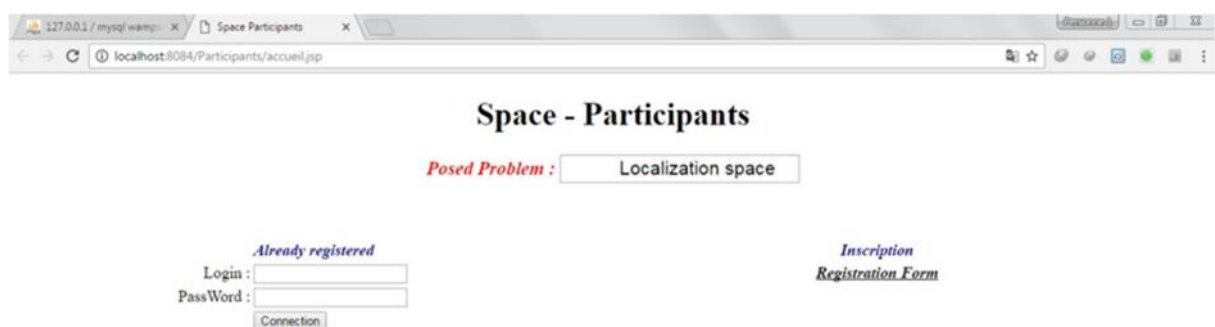


Figure 5.10 – La page associée à chaque agent participant.

Etape1 : Nouvelle inscription: si l'agent participant n'est pas inscrit.

Registration for participants

Login : Decision_maker_5
 PassWord : **
 Profession : Economist
 e-mail : Decision_maker_5@yahoo.com
 Send

Figure 5.11 - Page d'inscription.

Etape 2 : Déjà inscrit: si l'agent participant est déjà inscrit.

Space - Participants

Posed Problem : Localization space

Already registered
 Login : Decision maker 1
 PassWord : **
 Send

Inscription
Registration Form

Figure 5.12 - Page de connexion.

Etape3 : Une fois l'agent est inscrit, il attend de recevoir la matrice des performances de la part du coordinateur.

Etape4 : Chaque décideur reçoit la matrice de performances envoyée par le coordinateur, la figure (5.13) illustre la réception de la matrice de performances par le décideur 1.

Decideur1 :

Matrix of Performances

ID_ZONE	HARM	NOISE	IMPACTS	GEOTECHNICAL	EQUIPEMENT	ACCESSIBILITY	CLIMATE
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
211	1.00	0.48	0	1	1518	9	0.92
213	1.00	0.92	0	1	1356	9	0.89
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
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
448	1.00	0.73	0	6	2215	12	0.67
510	1.00	1.00	2	1	1147	9	0.76

Figure 5.13 – La matrice de performance reçue par chaque décideur.

Etape5 : les paramètres subjectifs exprimés par chaque décideur sont donnés par la figure (5.14).

Decision maker 1

Critère	P	Q	S
ARM	0.6	0.3	0.1
NOISE	0.6	0.3	0.1
IMPACTS	0	0	0
GEOTECHNICAL	0.6	0.3	0.1
EQUIPEMENT	0.6	0.3	0.1
ACCESSIBILITY	0.6	0.3	0.1
CLIMATE	0.6	0.3	0.1

Decision maker 2

Critère	P	Q	S
ARM	0.5	0.25	0.25
NOISE	0.6	0.3	0.1
IMPACTS	0.6	0.3	0.1
GEOTECHNICAL	0.6	0.3	0.1
EQUIPEMENT	0.6	0.3	0.1
ACCESSIBILITY	0.6	0.3	0.1
CLIMATE	0.5	0.25	0.25

Figure 5.14 – Paramètres subjectifs exprimés par les décideurs 1 et 2.

Grâce à la méthode d'agrégation partielle ELECTRE III, chaque décideur classe (range) les actions (les solutions possibles) de la meilleure à la pire pour sélectionner ensuite la (ou les) action(s) qui semble(nt) la (ou les) plus adéquate(s). Le vecteur de préférences basé sur cette méthode, pour chaque décideur, est illustré par la figure (5.15).

Decision maker 1

Rank	Ressources
1	448.
2	348.
3	335.
4	340.
5	337.
6	332.519.
7	440.511.
8	435.
9	333.
10	437.516.
11	433.
12	329.
13	216.
14	338.
15	330.
16	211.
17	436.
18	213.
19	218.515.
20	209.
21	215.
22	510.

Decision maker 2

Rank	Ressources
1	519.
2	216.
3	335.
4	337.340.
5	332.448.
6	440.511.
7	333.435.
8	437.516.
9	433.
10	329.
11	348.
12	211.
13	213.436.
14	338.
15	209.218.515.
16	216.215.510.

Decision maker 3

Rank	Ressources
1	335.
2	348.
3	211.
4	448.
5	337.440.
6	435.
7	338.
8	332.519.
9	437.511.
10	330.333.
11	433.
12	329.
13	436.516.
14	218.
15	340.
16	216.515.
17	215.
18	213.
19	209.
20	210.510.

Decision maker 4

Rank	Ressources
1	209.218.
2	329.516.
3	335.
4	337.340.
5	332.519.
6	440.
7	333.
8	435.
9	437.
10	348.
11	511.
12	433.
13	216.
14	213.436.
15	338.
16	211.
17	448.
18	210.215.510.515.

Figure 5.15 – Vecteur de préférences utilisant ELECTRE III de chaque décideur.

Grâce à l'agent Sniffer, il est possible de visualiser les différents messages échangés entre l'agent initiateur et les agents participants pendant le processus de négociation.

Dès que les agents participants reçoivent le message **Confirm**, ceci est synonyme de la fin de la négociation.



Figure 5.16 – Les messages échangés pendant le processus de négociation.

Le coordinateur envoie les résultats de la négociation aux décideurs sous la forme d'un journal, comme le montre la figure (5.17).

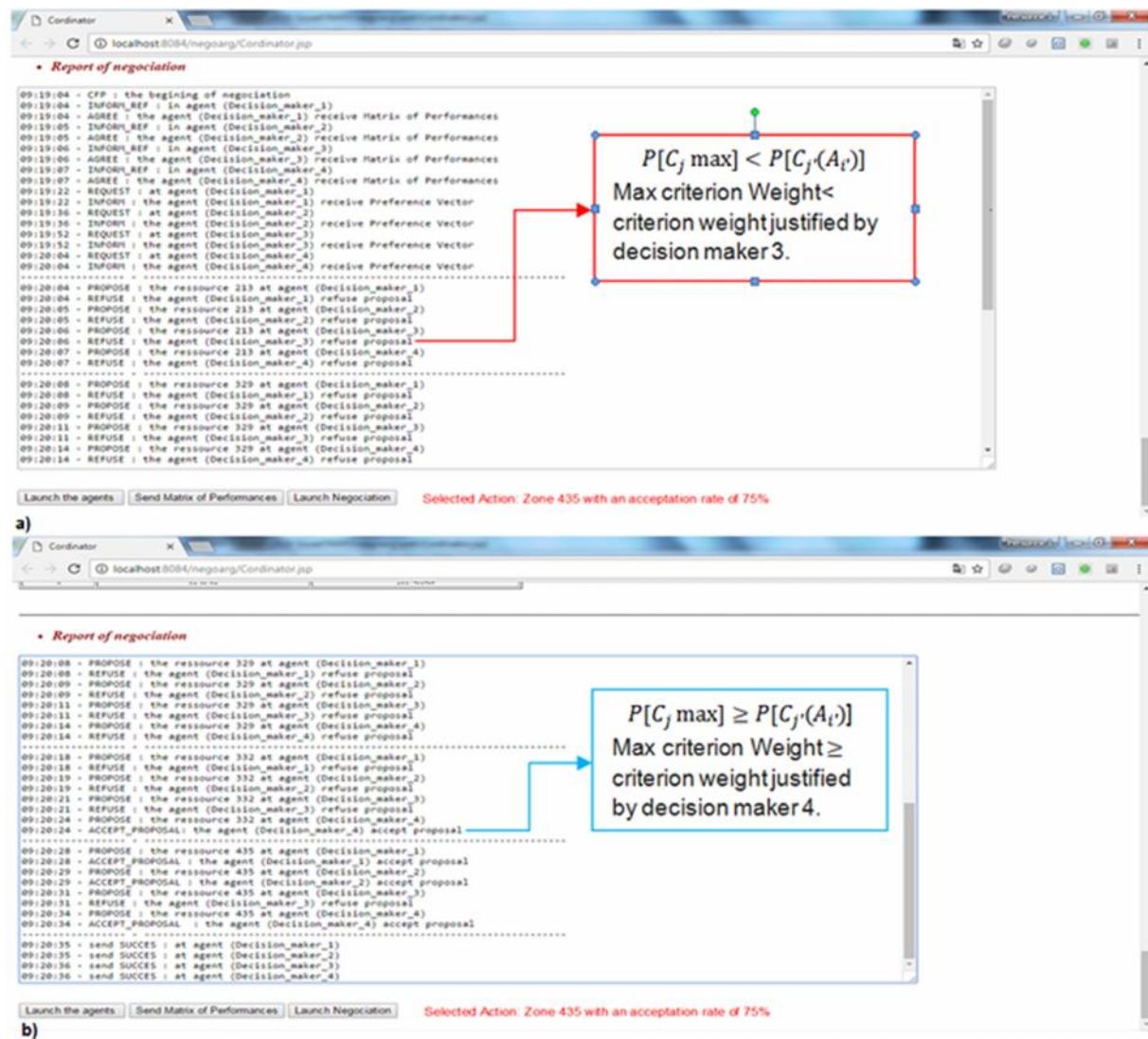


Figure 5.17 – le journal de négociation.

4. Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté, d'une manière détaillée, notre contribution ainsi que les résultats expérimentaux fournis par ARG_GDSS. Ce dernier est adapté pour les problématiques relatives à l'AT. Il intègre, principalement, un SIG, des outils d'AMCD ainsi qu'un SMA doté d'un protocole de négociation pour représenter la multiplicité, la diversité et le comportement des différents acteurs concernés.

Nous avons doté le module SMA d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation et l'analyse multicritères. A cet effet, les participants justifient leurs choix par des arguments afin d'aboutir à une décision collective.

Le SIG représente le territoire et permet de générer la matrice d'évaluation de toutes les actions relativement à chaque critère identifié. Cette matrice est traitée par deux méthodes :

- la méthode multicritères par agrégation partielle ELECTRE III afin de résoudre la problématique de rangement considérée.
- La méthode multicritères par agrégation totale AHP afin d'attribuer des poids aux critères,

Les différents décideurs communiquent par envoi de messages pour résoudre une problématique décisionnelle, et utilisent les poids attribués aux critères comme arguments pour justifier leurs choix.

Cet outil d'aide à la décision de groupe offre plus de choix aux différents décideurs concernés par le projet, et leur permet de passer à une étape de négociation des résultats obtenus afin de choisir la solution finale.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

La meilleure façon de traiter les problèmes liés à la gestion de l'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. En effet, chaque individu doit avoir accès aux informations relatives à l'environnement que détiennent les autorités publiques, y compris aux informations relatives à leurs collectivités et avoir la possibilité ainsi de participer aux processus de prise de décision.

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 déborde aujourd'hui du strict cadre du décideur traditionnel qui s'isole pour prendre une décision.

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 implique forcément de faire un choix entre plusieurs alternatives en se basant 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 acteur, elle 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.

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).

L'objectif de la présente étude est l'élaboration d'un système interactif d'aide multicritères à la décision collective (multi décideurs) nommé ARG-GDSS

(Argumentative Group Decision Support System) pour l'AT. L'outil proposé est implémenté selon une architecture web et conjugue, précisément, la problématique de la localisation d'un site satisfaisant un certain nombre de critères, souvent contradictoires, pour effectuer un projet de construction d'une quelconque infrastructure.

Le GDSS mis en place, dans ce travail de recherche, intègre principalement deux méthodes multicritères ELECTRE III et AHP, il utilise des outils pour saisir stocker manipuler les informations grâce aux fonctionnalités de SIG, et s'appuie sur les fonctionnalités d'un système multi-agents afin de présenter la multiplicité et la diversité des décideurs. Ce système est modélisé par un ensemble d'agents en interaction. Ces derniers communiquent par envoi de messages.

Dans ce manuscrit, nous défendons la thèse selon laquelle le dialogue peut être considéré comme un processus argumentatif au travers duquel les participants négocient pour aboutir à une décision collective. Nous proposons ici un modèle de dialogue entre agents pour une fin décisionnelle.

La première partie de notre thèse constitue une synthèse de l'état de l'art composée de trois chapitres. Le premier chapitre a été consacré à la présentation des principaux concepts liés à l'aide à la décision de groupe. Le deuxième chapitre introduit en détail les différents concepts liés à l'analyse multicritères. Les détails de la négociation dans les systèmes multi agents ont été présentés dans le chapitre trois.

La deuxième partie de la thèse décrit le système proposé ARG-GDSS en deux grands chapitres. Le premier chapitre présente les détails se rapportant à la modélisation du système d'aide à la décision spatiale de groupe proposé.

Le deuxième chapitre illustre les expérimentations effectuées et les résultats obtenus dans le but de mettre en valeur notre système proposé.

Les principaux objectifs que nous avons visés tout au long de cette thèse sont principalement:

- La mise en place d'une démarche formelle pour la résolution d'une problématique décisionnelle multi décideurs et multicritères.
- La représentation du territoire grâce aux fonctionnalités du SIG, ces dernières sont des outils puissants pour la manipulation, la gestion et l'analyse de données spatialement référencées.
- La représentation de la multiplicité et la diversité des décideurs impliqués dans l'aide à la décision spatiale à travers un modèle basé sur des agents.

- La prise en considération des préférences de chaque décideur concerné par la décision du groupe à travers une modélisation multicritères.
- L'aboutissement à un consensus qui satisfait les différents décideurs à travers un processus de négociation déterministe basé sur l'argumentation.

L'existence de plusieurs critères utilisés est le signe manifeste de la complexité de la décision en Aménagement du Territoire, en matière de choix de site, il faut en plus introduire les interdépendances entre les acteurs territoriaux, ie : tous les participants à la décision. Par conséquent, la planification urbaine est généralement de nature multicritère, où plusieurs critères conflictuels sont souvent pris en considération pour l'évaluation des différents processus de développement. Les aspects conflictuels qui caractérisent les objectifs et les préférences de tous les participants au processus de la prise de décision et les critères d'évaluation qui peuvent être considérés réduisent considérablement la chance d'aboutir à une solution acceptée par tous les participants dans le processus de la décision.

Pour cette raison, les chercheurs dans le domaine d'aide à la décision spatiale sont pris à prendre en considération la nature multicritère des problèmes spatiaux, de rendre possible l'interaction des différents points de vues des différents décideurs territoriaux par le biais d'un processus collaboratif et de fournir un environnement qui supporte l'intégration des experts.

A travers cette étude, notre travail a porté sur la mise en œuvre d'un système interactif d'aide multicritères à la décision de groupe, par la combinaison de SIG, SMA et AMC afin de mettre en place un outil d'aide à la décision à référence spatiale.

Ainsi, nous avons initié dans le cadre de l'aide à la décision spatiale de groupe une nouvelle approche alliant d'une part, l'analyse multicritères aux modèles décisionnels spatiaux classiques et d'autre part, l'analyse multicritères aux modèles à base d'agents en adoptant un langage de dialogue argumentatif. La démarche décisionnelle proposée :

- Permet une intégration complète dans le sens où les fonctions d'évaluation multicritères sont définies individuellement, et peuvent facilement être intégrées dans un SIG.
- Assure la représentation des différents décideurs : leur multiplicité, leur diversité, leur comportement et leur interaction.
- Assure la communication entre les acteurs à travers un protocole de négociation par argumentation.

- Justifie les choix par des arguments afin d'aboutir à une décision collective.

Dans le cadre de la présente étude, l'argumentation a été envisagée comme un dialogue entre les agents. Dans ce contexte, nous distinguons plusieurs intérêts de la négociation par argumentation dont nous citons :

- Parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées.
- Améliorer l'aspect formel de la négociation.
- Développer les techniques de négociation entre les décideurs.
- Exprimer l'objectif des décideurs.
- Effectuer le choix de la solution optimale en tenant compte des objectifs préétablis.
- Faire évoluer les états internes des agents sous l'influence de l'argumentation invoquée par l'un d'entre eux.
- Développer l'espace de négociation par la formulation de propositions ou contre propositions.
- Faire émerger des échanges entre agents pour persuader l'autre et lui faire changer ses intentions.

Perspectives

Le travail réalisé, dans le cadre de cette thèse, ouvre plusieurs perspectives de projets de recherches futures. Ces dernières concernent, essentiellement, l'amélioration du GDSS proposé par :

- L'intégration d'autres fonctions d'analyse spatiale dans le SIG.
- L'intégration d'autres méthodes d'analyse multicritères procédant par agrégation totale et partielle.
- L'exploitation d'autres stratégies de négociation entre les décideurs.
- L'amélioration de l'aspect formel de l'argumentation.

De plus, des études comparatives pourraient être menées afin de trouver de nouvelles opportunités d'amélioration.

Références

- (Abdou, 2007)** N. Abdou. Proposition de nouvelles relations de conséquence argumentative. Mémoire pour l'obtention du diplôme de magistère, Institut National .d'Informatique (INI), Alger 2007.
- (Adla, 2007)** A. Adla. Architecture coopérative pour l'aide à la décision de groupe distribuée. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, 2007.
- (Alexandre et Remy, 1993)** J. Alexandre and R. Remy. Système interactif d'aide à l'élaboration de plannings de travail de personne. Thèse de Doctorat, 1993.
- (Alnafie et al., 2013)** E. Alnafie, D. Hamdadou, A. Benyelloul, and M. Messaoudi. Optimisation de la méthode multicritères ELECTRE III par les colonies de fourmis. In Proceedings of CIP2013, 9^{ème} Conférence internationale Conception Production Intégrées, Université Aboubkr Belkaid, Tlemcen, , Octobre 2013.
- (Alnafie, 2015)** E. Alnafie. Vers une nouvelle approche pour l'élicitation des préférences dans la méthodologie multicritères d'aide à la décision. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, 2015.
- (Alter, 1980)** L. S. Alter. Decision Support Systems: Current Practices and Continuing Challenges, Addison Wesley, 1980.
- (Amgoud et Prade , 2003)** L. Amgoud and H. Prade. A possibilistic logic modeling of autonomous agents negotiation, Rapport de recherche , Toulouse (IRIT), 2003.
- (Amgoud et Prade, 2004)** L. Amgoud and H. Prade. Generation and evaluation of different types of arguments in negotiation, Rapport de recherche, Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT) , 2004.
- (Amgoud et Kaci, 2007)** L. Amgoud and S. Kaci. An argumentation framework for merging conflicting knowledge bases, International Journal of Approximate Reasoning, Volume 45, pp 321–340, 2007.

(Amgoud et Prade , 2009) L. Amgoud and H. Prade. Using arguments for making and explaining decisions, *Artificial Intelligence Journal*, Volume 173(3), pp 413-436, 2009.

(Amgoud, 2014) L.Amgoud. Postulates for logic-based argumentation systems, *International Journal of Approximate Reasoning*, Volume 55(9), pp 2028-2048, 2014.

(Amgoud et ben-naim, 2015) L. Amgoud and J.Ben-naim, Argumentation-based ranking logics, In *Proceedings of the 14th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 2015.

(Amgoud et Ben-naim, 2016) L. Amgoud and J.Ben-naim . Evaluation of arguments from support relations: axioms and semantics, In *Proceedings of the 25th International joint conference on artificial intelligence*, pp 900-906, 2016.

(Amgoud et al., 2017) L. Amgoud, J. Ben-Naim, D. Doder and S. Vesic. Acceptability semantics for weighted argumentation frameworks, In *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI*, 2017.

(Bana et al., 2002) C.A. Bana e costa, M.L. Costa-lobo, I.A.J. RAMOS and J.C. vansnick. Multicriteria approach for strategic town planning: the case of Barcelos. *Aiding Decisions with Multiple Criteria: Essays in Honour of Bernard Roy*, pp 429-456, Kluwer Academic Publishers, 2002.

(Bartolini et Preist, 2001) C. Bartolini and C. Preist. A Framework for Automated Negotiation, *Rapport de recherche*, HP Laboratories Bristol, 2001.

(Benhadji, 2011) M. Serradj .Benhadji. Une architecture client/serveur et un protocole de négociation pour un système multicritères d'aide à la décision de groupe : ELECTRE III et ELECTRE Tri . *Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master*, Université d'Oran, 2011.

(Ben-Mena, 2000) S. Ben-Mena. Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la Décision, *Unité de Mathématique, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Biotechnol, Agron. Soc. Environ Journal*, Volume 4(2), pp , 83–93, 2000.

(Bennabou, 2010) A.Bennabou. Vers un Système Interactif d'Aide Mulicritères à la Décision de Groupe en Aménagement du Territoire, *Mémoire pour l'obtention de*

diplôme de magister. Université Abou-Bekr-Belkaid Tlemcen, 2010.

(Benhassane, 2014) I.Benhassane. Un protocole de négociation par concession monotone et la méthode AHP, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université d'Oran, 2014.

(Bensaada, 2012) I. Bensaada. Proposition d'un protocole de négociation dans les systèmes d'aide multicritères à la décision de groupe par les web services, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université d'Oran, 2012.

(Bensalloua et Hamdadou, 2018) C. Bensalloua and D. Hamdadou. Spatial OLAP and Multicriteria Integrated Approach for Decision Support System: Application in Agroforestry Management, International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST), Volume 10 (3) , pp 1-26, 2018.

(Benyoucef et al., 2000) M. Benyoucef, R K. Keller, S.Lamouroux, J.Robert and V. STrussart. Towards a Generic E-Negotiation Platform, In Proceedings of the Sixth International Conference on Re-Technologies for Information Systems, pp. 95-109,2000.

(Berhane, 2014) I. Berhane. Un protocole de négociation par les web services dans un GDSS multicritères, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master, Université d'Oran, 2014.

(Bonczek et al., 1984) R.H. Bonczek, C.W. Holshapple and A.B. Whinston. Developments in decision support system, Advances in Computers, Volume 23, pp 145-175, 1984.

(Bonet et Geffner,1996) A.Bonet, and H. Geffner. Arguing for decisions: A qualitative model of decision making. In Proceedings of the 12th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI'96), pp 98–105, 1996.

(Bouamrane, 2006) K. Bouamrane. Un système interactif d'aide à la décision pour la régulation d'un réseau de transport urbain bimodal : Approche multi-agents et raisonnement à base de cas, Thèse de Doctorat, Département d'informatique, Université Oran 1-Ahmed Ben Bella, 2006.

(Boulemlia et al., 2000) A.Boulemlia, G. Henry and O .Pecqueur. Eléments de proposition à la mise en place d'une base de données urbaines dans une collectivité locale, Congrès de l'AUGC, Lyon, 2000.

- (Bui et Schenker , 1988)** T. Bui, A. Schenker-Wicki. Co-oP: Un système d'aide à la décision de groupe pour les décisions stratégiques de l'entreprise, *Swiss Journal of Economics and Statistics (SJES)*, Volume 124(3), pp 445-454, 1988.
- (Bussmann et Muller, 1992)** S. Bussmann and J. Muller. A Negotiation Framework for Co-operating Agents, In M, D. S. editor. In *Proceedings of CKBS-SIG*, Dake Centre, Université de Keele, pp 1–17, 1992.
- (Caillet, 2003)** R. Caillet. Analyse multicritères : étude de l'existant et application en analyse du cycle de vie, Rapport de stage, Université de Montréal, 2003.
- (Chaib-draa, 1996)** B. Chaib-draa. Interaction between agents in routine, familiar and unfamiliar situations, *International Journal of Intelligent and Cooperative Information Systems*, Volume 5(01), pp1-25, 1996.
- (Chakhar et al., 2005)** Chakhar, S. Mousseau, V. puscedu, B.ROY. Decision map for spatial decision making in urbanism planning, In *Proceedings of the Ninth International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM'05)*. The Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London, 2005.
- (Chesnevar et al., 2000)** C. I. Chesnevar, A. Maguitman, and R. P. Loui. Logical models of arguments. *ACM Computing Surveys*, Volume 32(4) , pp 337–383, 2000.
- (Codes, 2001)** Codes du Foncier et de l'Urbanisme. Compilation de textes juridiques législatifs et réglementaires de la république Algérienne Berti Editions, 2001.
- (Cohen et Levesque, 1988)** P. Cohen and H.J. Levesque. Intention is choice with commitment, *Rapport de Recherche, Canada*, Volume 42(3), pp 213-61,1988.
- (Collins et al., 1998)** J. Collins, B.Youngdahl, S. Jamison, B. Mobasher and M. Gini. A Market. Architecture for Multi-Agent Contracting, In *Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Agents*, pp. 285-292, 1998.

(Davis et Smith, 1983) R. Davis and R. Smith. Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, Artificial Intelligence Journal, Volume 20(1), pp 63-109, 1983.

(Demazeau et Costa, 1996) Y. Demazeau and A.R. Costa. Populations and organizations in open multi-agent systems, In Proceedings of the 1st National Symposium on Parallel and Distributed AI (PDAI), Université Federal do Rio Grande (FURG), pp. 1-13, 1996.

(Denegre et Salge, 1996) J. Denegre and F. Salge, Les systèmes d'information géographique, Institut Géographique National (IGN), Paris, PUF, Collection : Que sais-je ? , 1996.

(Drogoul, 1993) De.Drogoul. La simulation Multi-Agents à la résolution collective de problèmes, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 1993.

(Duckstein et al., 1992) L. Duckstein, W. Treichel and S. El Magnouni . Multicriterion analysis of groundwater management alternatives, Université Paris-Dauphine, Document du LAMSADE, N° 114, 1992.

(Engelmore et Morgan, 1988) R.Engelmore, T.Morgan. Blackboard systems: edited by robert engelmore, tony morgan. Addison Wesley Publishing Company, reading, MA, USA, 1988.

(Erceau, 1993) J.Erceau . Intelligence Artificielle Distribuée et Systèmes Multi-Agents de la théorie aux applications. 23^{ème} Ecole Internationale d'Informatique de l'AFCET, Neuchâtel, 1993.

(Ferber, 1997) J. Ferber. Les systèmes multi-agents: un aperçu général, Techniques et Sciences Informatiques, LIRMM, Université Montpellier II, Volume 16 (8), pp. 979-1012, 1997.

(Ferber, 1995) J. Ferber. Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective, Inter Editions, 1995.

(Florez, 1999) R.A. Florez-Mendez. Towards a standardization of Multi Agents System Frameworks , ACM Crossroads student Magazine, Canada, 1999.

(Florea et Panghe, 2000) A.Florea and B. Panghe. Achieving Cooperation of Self-interested Agents Based on Cos, In Proceedings of the 15th European Meeting on Cybernetics and System Research, Session: From Agent Theories to Agent Implementation. Vienna, pp 591-596, 2000.

(Fontana et al., 2013) V. Fontana, A. Radtke, V. B. Fedrigotti, U. Tappeiner, E. Tasser, S. Zerbe, and T. Buchholz. Comparing land-use alternatives: Using the ecosystem services concept to define a multi-criteria decision analysis, Ecological Economics, Volume 93: pp 128-136, 2013.

(Fox et Parsons, 1997) J. Fox, and S. Parsons. On using arguments for reasoning about actions and values, In Proceedings of the AAAI Spring Symposium on Qualitative Preferences in Deliberation and Practical Reasoning, Stanford, 1997.

(Gallupe et al., 1992) R.B. Gallupe, W.H. Cooper, J.S. Valacich, L.M. Bastianutti and J.F. Nunamker: Electronic Brainstorming and Group Size, Academy of Management Journal, Volume 35(2), 1992, pp 350-369, 1992.

(Ghalem, 2007) M.R. Ghalem. Un Système d'aide à la décision en aménagement du territoire : Approche du tri Multicritères, Intégrale de Choquet et SIG, Mémoire pour l'obtention du diplôme de magister, Université d'Oran, 2007.

(Grabisch et Roubens, 2000) M. Grabisch and M. Roubens. Application of the Choquet integral in multicriteria decision making. Fuzzy Measures and Integrals - Theory and Applications, pp 348-374, Physica-Verlag, 2000.

(Guerroudji, 2003) F. Guerroudji. Meddah. La gestion du patrimoine bâti par les SIG. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister, Département d'Informatique, Faculté des Sciences, USTO Mohamed Boudiaf, 2003.

(Gui, 1999) Critère d'analyse de projets. Guide explicative pour la mise en œuvre de la grille d'Analyse des projets, SGAR Franche-Comté, Avenir du Territoire entre Saone et Rhin, 1999.

(Hamdadou, 2008) D. Hamdadou. Un modèle pour la prise de décision en aménagement de territoire, une approche multicritères et une approche de négociation, Thèse de Doctorat, Université Oran 1- Ahmed Ben Bella, 2008.

(Hamdadou et Libourel, 2011) D.Hamdadou and Libourel. A MultiCriteria Group Decision Support System for Industrial Diagnosis, INFOCOMP Journal of Computer Science, Lavras, MG, Brazil, Volume 10(3), pp 01-55, 2011.

(Hamdadou, 2016) D. Hamdadou. A spatial group decision support system: Coupling negotiation and multicriteria approaches. Intelligent Decision Technologies Journal, Volume 10(2), 129-147, 2016.

(Hamdadou, 2017) D.Hamdadou. Méthodologie Multicritères d'Aide à la Décision Maison d'édition, Office National des Publications (OPU), ISBN 978-9947-0-4724-8, 2017.

(Hamdan , 2014) S . Hamdan. Conception et élaboration d'un système d'aide à la décision de groupe distribue, mémoire pour l'obtention de diplôme de Post graduation spécialisée, option management de système d'information, Université Oran1, 2014.

(Hemaissia, 2008) M. Hemaissia-Jeannin. Négociation combinée et multicritères d'agents coopératifs, Thèse de Doctorat, Université de Paris, 2008.

(Hoc et Lemoine , 1996) J. Hoc and M. P. Lemoine . Identification des activités de diagnostic, de prise de décision et de coopération en situation dynamique: le cas du contrôle aérien. Colloque « In Ergonomie et informatique avancée », pp. 207-217, 1996.

(Jarke ,1986) M. Jarke. Knowledge sharing and negotiation support in multiperson decision support systems. Decision Support Systems Journal, Volume 2(1), pp 93-102, 1986.

(Joerin ,1997) F. Joerin. Décider sur le territoire : Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritères, Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1997.

(José , 2009) M. José. Vidal, Fundamentals of Multiagent Systems, Rapport de stage, Office national d'études et de recherches aérospatiales, Toulouse ,France, 2009.

(Kalle, 2002) E. Kalle . Group Decision Support Systems (GDSS): Possibilities. Applications and Benefits, Wireless E-Business Seminar, 2002.

(Keen et Scott-morton , 1978) P.G.W. Keen, M.S. SCOTT-MORTON. Decision Support Systems: An Organizational Perspective, Publisher : Addison-Wesley, 1978.

- (Keen, 1987)** P. G. W. Keen. Decision Support Systems : The Next Decade. Decision Support Systems, Rapport de recherche, Volume 3, pp 253-265, 1987.
- (Keeney, 1992)** R.L. Keeney. Valued_Focused thinking: A path to creative decision. Harvard University Press, USA, 1992.
- (Kersten, 1985)** G. E. Kersten. NEGOT—Group Decision Support System, Information & Management journal, Volume 8(5), pp 237-246, 1985.
- (Kraus, 1997)** S. Kraus. Negotiation and cooperation in multi-agent environments, Artificial Intelligence, Thèse de Doctorat, Volume 94(1),pp 79-97. University of Maryland, USA, 1997.
- (Krasner et Pope, 1988)** G. Krasner and S. Pope. A cookbook for using the Model-View-Controller User Interface Paradigm in Smalltalk-80, Journal of Object Oriented Programming, Volume 1(3), pp 26-49, 1988.
- (Laouar, 2005)** R. Laouar, Contribution pour l'aide à l'évaluation des projets de déplacements Urbains, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis , Valenciennes, France, 2005.
- (Lee , 2003)** JS .Lee. A neuronal network approach to cloud classification, IEEE transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2003.
- (Levine et Pomerol, 1989)** P. Levine, J.C. Pomerol. Systèmes Interactifs d'Aide à la décision et Systèmes Experts-coll, Traité des nouvelles technologies, Décision assistée par ordinateur, Hermès Edition, Paris, 1989.
- (Lévy et al., 2005)** J. Lévy,F. Golay,M. Shuler,J. Macquart and B. Beaudé . Théorie des territoires, Rapport de Recherche. Faculté ENAC, Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne ,2005.
- (Madouri et Hamdadou, 2017)** S.Madouri, D.Hamdadou. Towards a Group Decision Support System Negotiation by Argumentation, International Journal of Agent Technologies and Systems (IJATS), volume 9(2), 2017.
- (Mammeri, 2013)** M. Mammeri. Une approche d'aide multicritères à la décision pour l'évaluation du confort dans les trains : construction d'un modèle d'évaluation, Thèse de Doctorat, Université Paris Dauphine – Paris IX, 2013.
- (Maounia, 2001)** S. Maounia. Elements d'introduction à l'urbanisme. Histoire,

méthodologie et réglementation, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère, USTHB, Alger, 2001.

(Marmonier, 2002) P. Marmonier. L'information géographique, Ecole nationale des sciences géographiques, Rapport de stage, France, 2002.

(Mathieu et Verrons, 2005) Ph. Mathieu and M. Verrons. Un modèle général de négociation de contrats, Rapport de recherche, Université de Lille, 2005.

(Maystre et al., 1994) L. Y. Maystre, J. Pictet and J. Simos. Méthodes multicritères ELECTRE: description. conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale, PPUR presses polytechniques, Volume 8, 1994.

(Mazouz, 2001) H. Mazouz. Ingénierie des protocoles d'interaction des systèmes distribués aux systèmes multi-agents, Thèse de Doctorat, Université Paris IX-Dauphine, 2001.

(Menazelli et Fodil, 2013) S. Menazelli and L. Fodil. 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 d'Informatique, Université d'Oran, 2013.

(Monod et Castelbajac, 2004) J. Monod and F. Castelbajac. L'Aménagement du Territoire, Collection Que Sais-je ?, Edition PUF, France, 2004.

(Morge et Beaune, 2005) M. Morge and P. Beaune. Conception Multi-Agents d'un Système d'Aide à la Décision Collective, In Proceedings of JFSMA'03, pp 359-363, 2005.

(Morge, 2005) M. Morge. Système dialectique multi-agents pour l'aide à la concertation, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2005.

(Mottier, 1999) V. Mottier. Un composant logiciel pour les systèmes informatisés de gestion des réseaux d'assainissements, Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 1999.

(Mousseau, 2003) V. Mousseau. Méthodes de Surclassement. Notes de Cours pour DEA, Méthodes Scientifique de Gestion, 2003.

- (Nwana et al., 1999)** H. Nwana, D. Ndumu, L. C. Lee and J. C. Collis. A Toolkit for Building Distributed Multi-Agent Systems, Rapport de stage, Université Londres, Volume 13(2), pp 129-185, 1999.
- (Oufella, 2009)** S. Oufella. Un Système Interactif d'Aide à la Décision de Group En Aménagement du Territoire, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magistère, Université d'Oran, 2009.
- (Pel, 2004)** P. Pellissier. Evaluation des Stratégies pour la Gestion du Risque Sismique du Bâtiment», Thèse Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale De Lausanne (EPFL), Suisse, 2004.
- (Parsons et Jennings, 1996)** S. Parsons and N. R. Jennings. Negotiation through argumentation—a preliminary report. In Proceedings of the 2nd International Conference on Multi Agent Systems, pp 267–274, 1996.
- (Prakken et Vreeswijk, 2002)** H. Prakken, and G. A. W. Vreeswijk . Logics for defeasible argumentation. In Handbook of Philosophical Logic Journal, Volume 4, pp 219–318. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- (Rosenschein et Zlotkin, 1994)** J. S. Rosenschein and G. Zlotkin. Designing conventions for automated negotiation, American Association for Artificial Intelligence, AI magazine, Volume 15(3), pp 29-46, 1994.
- (Roy, 1977)** B. Roy. ELECTRE III. un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples, rapport de recherche, Cahiers du Centre Etude Recherche Opérationnelle, Volume 20(1), pp 3-24., 1977.
- (Roy, 1985)** B. Roy. Méthodologie multicritères d'aide à la décision. Journal Economica, Paris, 1985.
- (Roy et Hugonnard, 1993)** B. Roy and J.C. Hugonnard. Classement des prolongements de ligne de métro en banlieue parisienne. Rapport de recherche, Université Paris Dauphine, Lamsade , 1993.

(Roy, 1993) B. Roy. Aide multicritères à la décision : Méthodes et cas , Economica, Paris, 1993.

(Roy et Bouyssou, 1993) B. Roy and D. Bouyssou. Aide multicritères à la décision : méthodes et cas. Editions Economica, Série (Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion), Paris , 1993.

(Roy, 2000) B. Roy .Réflexions sur le thème : quête de l'optimum et aide à la décision. Cahier du Lamsade N° 167, Décision Prospective Auto-organisation, Université Paris-Dauphine, 2000.

(Ruffez, 2003) P. Ruffez, Etude de la négociation dans le cadre d'un Jeu de rôle sur le SYLVOPASTORALISME, Rapport de stage de DEA IARFA, 2003

(Saaty, 1980) T.L. Saaty. The analytic hierarchy process, Priority, McGraw-Hill, Resource Allocation, RWS Publications, New York, USA, 1980.

(Saaty, 1984) T. L. Saaty. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process, Rws Publications, Volume 6, 1984.

(Schärlig, 1985) A. Schärlig. Décider sur plusieurs critères: panorama de l'aide à la décision multicritères. Volume 1, PPUR presses polytechniques et Universitaires Romandes, Université de Lausanne, Suisse, 1985.

(Simon, 1977) H. Simon. Science of Management Decision, New Jersey, Prentice-Hall, Administration et processus de decision .3^{ème} édition. Editions Economica, Paris,1977.

(Smith, 1980) R. G. Smith. The Contract Net Protocol: high-level communication and control in a distributed problem solver . IEEE Transactions on computers Journal, Volume 29(12), pp 1104– 1113, 1980.

(Sprague, 1987) R. Sprague, in context: Decision Support Systems, Decision Support Systems Journal, Volume 3(3) pp 197-202, 1987.

(Ströbel, 2000) M. Ströbel. A Framework for Electronic Negotiations Based on Adjusted Winner Mediation. In Proceedings of the DEXA 2000 Workshop on e-Negotiations , Rapport de recherche, Londres, UK, 2000.

(Tille, 2000) M. Tille. Choix de Variantes d'Infrastructures Routières : Méthodes Multicritères, Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2000.

(Trentesaux, 1996) S .D. Trentesaux . Conception d'un système de pilotage distribué, supervisé et multicritères pour les systèmes automatisés de production, Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, 1996.

(Turoff et al.,2002) M. Turoff, S.R. Hiltz, H.K. Cho, Z. Li, and Y. Wang. Social decision Support Systems (SDSS), In Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on Sciences, 2002.

(Urbani, 2006) D. Urbani. Elaboration d'une approche hybride SMA-SIG pour la définition d'un système d'aide à la décision : application à la gestion de l'eau, Thèse de Doctorat, Université Pascal Paoli, 2006.

(Vincke ,1989) P. Vincke. L'aide multicritères à la décision. Editions. Ellipses de l'Université de Bruxelles, Volume 6(3), pp 6-3, 1989.

(Weiss, 2000) G.Weiss. Multi Systems. A Modern Approach to distributed Artificial Intelligence, The MIT Press Cambridge Massachusetts London, England, 2000.

(Wooldridge et Jennings , 1995) M.J. Wooldridge and N.R. Jennings. Intelligent Agents. Theory and practice, Knowledge engineering Review , Volume 10(2), pp 115-152, Rapport de recherche, Canada, 1995.

(Wooldridge, 2002) M. Wooldridge. An Introduction to Multi agents systems, John Wiley & Sons Edition, 2002.

(Zemri et Hamdadou, 2014) F.A. Zemri and D. Hamdadou. Integration of multi criteria analysis methods to a spatio temporal decision support system for epidemiological monitoring, In Proceedings of the International Conference on Advanced Aspects of Software Engineering (ICAASE'2014), Constantine, Algérie, 2014.

Webographie

(NET 1) "Analyse multicritères", Site officiel de la commission européenne,
"http://ec.europa.eu/europeaid/evaluation/methodology/tools/too_cri_def_fr.htm".

Towards a Group Decision Support System: Negotiation by Argumentation

Souad Madouri

Department of Computer Science

University of Oran 1 Ahmed Ben Bella

Laboratory LIO

P.O.Box 1524- El Mnaouar- oran

Algeria

Madouri1980@hotmail.com

Djamila Hamdadou

Department of Computer Science

University of Oran 1 Ahmed Ben Bella

Laboratory LIO

P.O.Box 1524- El Mnaouar- oran

Algeria

dzhamdadoud@yahoo.fr

ABSTRACT

This research focuses on the design and development of an interactive multi-criteria Group Decision Support System (GDSS). This system comprises a set of agents communicating through messages. They aim to find an adequate area that can best address certain criteria among a set of variants (e.g. Localization of new infrastructure, shopping mall, hospital, etc.). A GDSS is designed, which relies mainly on the presentation of the territory through the functionalities of Geographic Information System (GIS), and the representation of the multiplicity and diversity of decision makers through the functionalities of a Multi Agents System (MAS). Moreover, an argumentation-based negotiation

protocol MAS module is provided. This approach is justified by the argumentative nature of the process by which participants justify their choices in order to reach a collective decision. This is achieved by exploiting the multi-criteria methods Analytic Hierarchy Process (AHP) and Electre III.

Keywords: Spatial Decision Support System (SDSS), Territory Planning (TP), MultiCriteria Analysis, Geographic Information System (GIS), Multi Agents System (MAS), Negotiation Protocol, Electre III, AHP, Argumentation, Group Decision Support System (GDSS).

INTRODUCTION

A GDSS includes features that support group work in formulating alternative decisions and then conducting sessions to evaluate, rank and select an alternative (i.e. to make group decisions). These GDSS are designed to support the decision making process through the analysis of alternatives, negotiation and vote.

This study addresses the problem of locating a surface that best meets certain criteria for a given construction project. The contributions of this work are within the following research areas: Territory planning, Multi-Criteria Decision support, geographic information systems and multi-agent systems. In the future, we want to design a GDSS by exploiting a negotiation by argumentation protocol that takes into account the preferences of the different decision makers. It then tries to find a compromise that satisfies some of the participants or (ideally) all of them in order to provide support for decision-makers in the field of TP.

The contribution of this work consists of:

The proposal of a decisional model based on a coupling between MAS and GIS which should provide support to decision-makers in TP to accomplish various development projects. There are a few examples of research works implying the combination of MAS and GIS in the literature.

On one hand, GIS allows capturing, storing, managing, viewing and manipulating information on geo-referenced objects. On the other hand, MAS provide many capabilities to model the situations in which the interaction between various entities is quite complex to be captured by traditional modeling tools.

In the current study, an argumentation-based negotiation protocol is proposed and integrated in MAS module. This protocol offers the possibilities to the agents to use the identified criteria as arguments while multi-criteria AHP method enables weighting these criteria.

This paper is organized as follow: An overview of the research problem is given in section one and the contributions are defined in section two. Some related works are described in section three while section four presents a state of the art of MAS techniques allowing reaching agreements and multicriteria methods. Section five presents the proposed negotiation protocol in details, where as section six describes the characteristics of the proposed protocol. Section seven introduces the used multi-criteria methods and section eight focuses on modeling the negotiation

process via argumentation. Section 9 is devoted to a real case study, which constitutes the first validation step. Finally, the last section concludes the paper and presents some future work.

CONTRIBUTION

In (Madouri et al, 2011), the authors have developed a GDSS named SIGMA (System Information Geographic Multi Agents), the latter is based on concession negotiation. This GDSS is composed of two main modules namely the GIS module and the MAS module:

GIS Module

This module incorporates generic functions that are common to all GIS. The main function of the GIS module is to ensure the representation of the territory. Through its functionalities, it is possible to:

- Manage the database;
- Archive information;
- Manipulate and interrogate geographic databases;
- Provide a spatial representation of the studied systems;
- Shape and visualize the data;

MAS Module

The MAS module aims to represent the various decision makers with their own objectives, decision strategies and preferences.

To deal with the group decision where different viewpoints must be considered, it is imperative to go through a negotiation phase in order to reach a beneficial consensus. For this end, the MAS module is provided with a negotiation protocol considering an initiator¹ agent in charge of the smooth functioning of the negotiation process and a set of participating agents that represent the different actors involved in the decision in TP (Hamdadou, 2008).

The figure 1 illustrates an overview of SIGMA.

Figure 1. Group Decision Support System SIGMA.

In this study, a contribution to the resolution of decision problems related to TP is achieved by providing a methodological approach designed to support multi decision-makers based on multilateral negotiation based argumentation and multi-criteria analysis.

RELATED WORK

A GDSS can facilitate and record group communication processes, and should take into account the likelihood of communication taking place outside of the system (Hamdadou, 2008).

On the other hand such system should be able to facilitate meetings across geographical and time differences. This is likely to be important in larger organizations and those that work on design with partners. Below is a brief description of some systems that were developed as prototypes in various research projects.

¹ This is the agent responsible for the negotiation management.

Author in (Gray, 1983) computerizes the conventional conference room with networks of personal computers and projection screens. The software is used simultaneously in order to contribute to various analyzes requested by decision makers. In (Kersten, 1985), the author developed a prototype of a GDSS that is also an expert system. It highlighted a combination of strategies and their consequences for the parties involved in the negotiation. The software was developed using an expert system software package based on rules. Another example of GDSS is the concept of MEDIATOR, it was proposed in (Jarke, 1986) which is based on a distributed database system with a mediator. The aim behind this is to manipulate the process of information exchange in group decision-making. In (Bui & Schenker, 1988), the authors presented an integrated concept of GDSS in a distributed environment in time and space. In (Le Bars, 2003), the author developed a simulation tool to help the negotiation of stakeholders involved in water management. In (Morge, 2005), a model called DIAL (DIALOGueIs an Argumentative Labour) was proposed and used as a basis for developing aid coordination systems. In (Verrons & Marie, 2005), the authors proposed a general negotiation model for developing multi-agent systems. It elaborated two applications. The first one consisted of an auction application that used individual resources of the participants while the second one consisted of an appointment making system GeNCA (Generic Negotiation of Contracts API) that used common resources to all participants. In (Dominique, 2006), the author developed a hybrid approach MAS-GIS and a platform for decision support dedicated to the studied water problem.

Several decision support systems for territory Planning (henceforth TP) were improved within our research team "Modeling spatial-temporal and artificial vision: from Sensor to decision ", attract our attention. The most important are:

The system MODSMAG for the spatial location. It is a Group Decision Support System (henceforth GDSS) in TP, based on the contract net protocol and multi-criteria method ELECTRE III.

- A GDSS in TP, which is based on a monotonous concession and multi-criteria analysis.
- A multi-criteria GDSS for Industrial diagnosis.
- A spatial GDSS, based on coupling multi-criteria analysis and satisfactory game theory,
- A negotiation platform for GDSS by using web services and multi-criteria methods.

The following GDSS are modeled using a MAS aiming to reach an acceptable agreement by all decision makers. Voting systems, auctions, negotiation and argumentation are among the most used techniques found. A presentation of the main work in this domain is shown below.

In (Caminada & Amgoud, 2007), the authors defined some principles (called rationality postulates) that structured argumentation systems based on a language that contains strict and defeasible rules. The aim is to avoid the anomalies of rule-based systems and avoid results that are not intuitive. In (Amgoud & Prade, 2009), the authors presented an argumentation-based approach to multi-criteria decision making that determines the mental states (preferences, goals and beliefs). The arguments

define actions² to attain goals regardless to whether these actions are practicable under particular conditions or not. These arguments are, however, counterbalanced conforming to their strengths. The argumentation framework proposed in this paper is in accordance with this approach. The argumentation-based decision making approach proposed in (Amgoud & Prade, 2009), is divided into different stages, allowing the arguments to be assessed, constructed and confronted in a successive way. The computational model proposed in this paper provides the construction of arguments and counterarguments, the assessment of arguments and the determination of compromises. Furthermore, it suggests some decisions even if lower-ranked goals cannot be achieved. In (Amgoud & Prade, 2009), the authors select the best decisions by assessing and confronting arguments. In (Morge & Mancarella, 2009), the authors proposed a practical application of the minimal concession strategy. They have emphasized on the concession-based mechanisms of MARGO which demonstrate that high-ranked goals are preferred to low-ranked goals. Thus, they adopted a decision approach where higher-ranked goals must be followed at the expense of lower-ranked goals. Additionally, concessions enforcing higher-ranked goals must be preferred to those enforcing lower-ranked goals. They believed that their framework is among the first argumentation frameworks that show such a mechanism. In (Amgoud, 2014), the author presented a set of postulates for argumentation systems based on deductive logic under Dung's semantics. In (Sklar et al., 2016), the authors presented the analysis and design of a user study which was intended to evaluate the effectiveness of ArgTrust in a collaborative human-agent decision-making task.

STATE OF THE ART

In the context of this research, MASA uses the benefits of a MAS to represent the diversity of actors involved in the decision, their behaviors as well as interactions. It is very suitable for modeling complex entities which can cooperate, collaborate or negotiate. The MAS module is endowed by a negotiation protocol.

Communication Techniques in a MAS

Auctions, voting systems, negotiation and argumentation are among the most used techniques to reach an agreement (Ferber, 1995).

- Auctions: English auction, Dutch auction, Vickery auction, and Auction of the first hidden offer.
- Voting systems: Condorcet method, Hare method, Borda method, and plurality voting.
- Negotiation: Concession Protocol, the contract net protocol, and One Step Protocol.
- Argumentation.

The Multi-Criteria Methods

There are several multi-criteria methods in the literature such as AHP, Analytic Network Process (ANP), Electre, Promethee and Oreste. The Electre method family consists of: Electre I, Electre II,

² An action is a possible solution to the decision problem considered. It could also be an alternative or simply a resource.

Electre IS, Electre TRI, Electre III, and Electre IV. The first three methods are used in aiding multi-criteria ranking issues. Electre TRI is used for classification problems, whereas the last two methods (i.e. Electre III and Electre IV) are used in solving multiple-criteria ranking problems.

The Electre III algorithm consists of three stages (Solecka, 2014):

- Constructing assessment matrix and defining the decision maker's preferences.
- Building the outranking relation S.
- Utilizing outranking relations leading to the generation of the final variant ranking.

ANP provides a solution for problems which can be modelled using a network diagram. The diversity of multi-criteria analysis methods is almost solely due to the large number of aggregation operators that these methods adopt. In this field, it is possible to distinguish three aggregation attitudes (Roy, 1985) constituting a main classification of the multi-criteria analysis methods (Alnafie et al., 2016).

The total aggregation

synthesizes the performances³ by assigning them weights (Roy, 1985) and evaluates the actions relative to a unique criterion (Roy, 1985; Morge & Mancarella, 2009). For this, two presumptions are necessary, namely, the commensurability and the transitivity. Weighted sum and weighted average (Vincke, 1989 ;Ben Mena, 2000; Ayadi, 2010), the methods MAUT and UTA (Ben Mena, 2000); (Jacquet-Lagrange & Siskos, 1982) and the method AHP (Saaty, 2000) are examples of such methods.

The partial aggregation

is based on the outranking relationship (Roy, 1985; Vincke, 1989; Ben Mena, 2000) whose implementation requires introducing the concepts of intransitivity and incomparability (Roy, 1985; Morge & Mancarella, 2009). The partial aggregation methods compare actions in pairs and verify if one of the two outranks the other. Outranking relations obtained are exploited to establish total or partial preorders. The most known methods of partial aggregation are the ELECTRE family (Roy, 1968; Morge & Mancarella, 2009; Ayadi, 2010), the PROMETHEE family (Brans & Mareschal, 2001; Hammami, 2003; Halouani et al., 2009) and the MACBETH method (Schärlig, 1985; Bana et al., 2002).

The local aggregation

is an approach that uses a solution as a starting point and then performs iterations series in three phases (Schärlig, 1985). These iterations aim to find a better solution around the first while interacting with the decision maker. Therefore, it is an interactive local judgement approach with trial-and-error iterations (Roy, 1985; Morge & Mancarella, 2009) .Multiple criteria linear programming (Benayoun et al., 1971; Vincke, 1989; Ben Mena, 2000), and the STEM method (Benayoun et al., 1971) are among the methods that employ local aggregation. Some other variants of these two methods are available in (Zions, 1980; Zions & Wallenius, 1976; Vincke, 1989).

³ Is the evaluation of an action (a_i) by criterion (g_j).

THE PROPOSED NEGOTIATION PROTOCOL

In order to deal with a group decision where different viewpoints must be taken into consideration, a multilateral negotiation protocol is proposed. It is shaped around an initiator agent and a set of participating agents, which aim to find a compromise that can best satisfy the participants.

For each performance, we make an arrangement by using ascending sorts for performances that are to be minimized, and descending sorts for performances that are to be maximized. A matrix R_k, C_j is then created, indicating that each resource R_k has a criterion C_j (which has a minimum performance rank) as an argument.

Definition 1

An argumentation system is a pair $AS = (R, \text{propose})$ where:

- R : is a set of resources (alternatives), $R_K = R_1, R_2, \dots, R_k = \text{maximum number of resources}$.
- propose : is a binary relation ($\text{propose} \subset R \times \text{Ag}$).
- Ag : set of agents = $A_1, A_2, \dots, A_n = \text{maximum number of agents}$.

$\text{Propose}(R_1, A_1)$ reads (R_1 is proposed to A_1), and means that the resource R_1 is proposed to the agent A_1 . (Morge, 2005).

Definition 2

Preference-based argumentation system:

- for an accepted resource:

A preference-based argumentation system is a set $PAS = (R, \text{propose}, \text{accept})$ where:

$AS = (R, \text{propose})$ is a preference-based argumentation system as defined previously (definition 1).

$\text{Accept}(R_1, R_2)$ reads (R_1 is accepted to R_2), if the criterion weight of $R_1 (PC_1)$ exceeds the criterion weight of $R_2 (PC_2)$, ($\text{accept} \subset R \times R$).

$C_1, C_2 \in \text{arg}$, two arguments, $\text{arg} = C_1, C_2, \dots, C_m = \text{maximum number of criterion}$

- for a rejected resource :

$\text{refuse}(R_1, R_2) = \text{not accept}(R_1, R_2)$, if the criterion weight of $R_1 (PC_1)$ is less than the criterion weight of $R_2 (PC_2)$, ($\text{refuse} \subset R \times R$).

The proposed negotiation protocol is characterized by a sequence of messages exchanged between an initiator and participating agents. It proceeds in five main phases:

- The establishment phase
- The calculation phase
- The proposal phase
- The analysis phase
- The decision phase

The Establishment Phase

This phase is a synonym of the beginning of a negotiation process, participants are asked to express their preferences about resources, and each one of them performs a resource classification⁴ from the best to the worst. Two methods of multi-criteria decision support (namely AHP and ELECTRE III) are used.

The Calculation Phase

The aim of this phase is to answer the question: Which resource will be proposed? In order to answer this question, the number of occurrences of each criterion (Arg) is calculated. It is expressed as follows:

$$NbrC_j = NbrC_j + 1 \quad (1)$$

With:

C_j : The set of criteria = $C_1, C_2, \dots, C_m$ = maximum number of criterion .

Max criterion is the criterion that has the highest value (C_jmax).

WEIGHT (criteria [j]): Each criterion is associated with a different weight through the AHP method. "A criterion is a reference by which the consequence of an action is measured. In other words, a criterion expresses the preferences of decision-makers relating to a given attribute" (Roy, 1985).

The Proposal Phase

The initiator agent proposes a contract (proposal for a resource) to (n) participant agents. The first agent chooses the resource, which is argued by the max criterion (C_jmax).

The other participating agents will either accept or refuse the proposal:

-Accept the proposal, if it respects the following condition: Max criterion Weight $\geq$ criterion weight justified by another agent :

$$P[C_jmax] \geq P[C_j(A_{i'})] \quad (2)$$

With:

P: weight.

C_jmax : max criterion.

A_i : the set of participants agents = $A_1, A_i, \dots, A_n$ = maximum number of agent .

$A_{i'}$: the participating agent that received the proposal.

$C_{j'}$: criterion justified by another agent($A_{i'}$): The criterion of the resource chosen by the agent that received the proposal ($A_{i'}$).

-Reject the proposal, keep the last proposal made in the previous rounds.

The Analysis Phase

When the initiator agent receives all the answers from the participating agents, it counts the number (acceptance rate) of the participating agents who have chosen the same resource (i.e. it calculates the

⁴ The ranking of actions from the best to the worst by referring to a number of criteria.

percentage of acceptance of each selected resource), and records the result in the protocol log. If this number (i.e. acceptance rate) is greater than or equal to a specific threshold⁵ then the negotiation is successful, otherwise the calculation phase is repeated by offering the next resource until all the resources that have the max weight are consumed.

The Decision Phase

This is the last phase of the proposed protocol. It indicates the end of a negotiation process, a decision is made by the initiator according to the answers of the participating agents.

THE CHARACTERISTICS OF THE PROPOSED PROTOCOL

During the course of the negotiations, a number of aspects must be considered such as: resources and cardinality of negotiation, the language of negotiation⁶ used by the agents to exchange information as well as the strategies adopted by the agents during the negotiation process (Hamdadou & Bouamrane, 2016). In what follows, the various features of the proposed negotiation protocol are described in details.

The resources of the negotiation: the resources are the objects of the negotiations. They can be either personal or common. In this case, they are common resources (virgin islets which are destined for a given construction project).

The cardinality of negotiation: is an important concept for MAS. It is the number of agents negotiating with each other. In the proposed protocol, an initiator is allowed to propose a contract to all participants. It is a negotiation from 1 to n agents.

The Language of Negotiation

To carry out a process of negotiation between agents, it is necessary to define specific primitives to the coordinator agent and other specific primitives to the participating agents.

The Primitives Specific to the Coordinator Agent

The messages sent by the coordinator are intended to all participating agents (broadcast). Therefore, five negotiation primitives are associated with it:

-Inform_ref : the coordinator sends the matrix of performance to the participating agents.

-Request: the coordinator (initiator) agent sends a message to the participating agents to encourage them to establish their preferences vector.

-Propose: the coordinator proposes a contract to the participating agents about a given resource.

-Confirm: the coordinator sends a message to all the agents informing them that the negotiation is a success and that the best resource has been found.

-Failure: the coordinator sends a message to all the agents informing them that the negotiation is a failure and that the number of speaking slots is exceeded.

⁵Essential threshold for the success of negotiations.

⁶Defined by a specific set of primitives.

The Primitives Specific to the Participating Agents

The messages sent by the participating agents are only intended to the initiator. The other agents are not aware of these messages. The participating agent has four negotiation primitives:

-Agree: it indicates to the coordinator that it received the matrix of performance.

-Inform: after establishing a resource classification from the best to the worst, each agent informs the initiator that it can make them a first proposal.

-Accept: this message responds to the contract proposal made by the initiator. It indicates to the initiator that it accepts the contract.

-Refuse: it indicates to the initiator that its proposal is refused.

The Strategies of the Agents in the Negotiation Process

The proposed protocol distinguishes two roles: initiator and participant. The negotiation strategy is not the same, it differs depending on the role of the agent. Two types of strategies are distinguished for the coordinator agent and those of the participating agents.

The Strategies of the Participants

Each participating agent is associated with three strategies.

Preferences Establishment Strategy

Each participating agent must establish a resource listing from the best (the one that is most beneficial) to the worst by referring to a number of criteria. In order to achieve this, it exploits the benefits of the ELECTREIII method. After each participant has established its preference vector, it associates a rank to each resource, the resource placed first will get the largest rank (it will represent the preference of the participant during the first round). Each time, this rank is decremented by 1 for the following resources. In order to be conducted, ELECTRE III requires as input a set of parameters intra-criteria (preferably threshold, indifference threshold and veto threshold) and Inter-criteria parameters (the weight assigned to each criteria), which represent the importance of each criterion according to the relevant participant.

After accessing the performance matrix normalized previously, each participating decision maker expresses his preferences in terms of criteria. The weighting of the criteria by the decision maker is a very delicate task, hence, the multi-criteria method AHP is exploited.

Acceptance Strategy

Negotiation can take place in several rounds until a compromise is reached. The participant receives a new proposal in each new round. If the weight criterion of the latter is greater or equal to the weight criterion of the resource of the participant who received the proposal, it will either accept the proposal or reject it.

Refusal Strategy

When the participant receives a proposal and the weight of its criterion is less or equal to the weight criterion of its resource, it refuses the proposal.

The Strategies of the Initiator

The initiator is associated with three strategies.

Sort Strategy

For each performance, the initiator makes an arrangement (using ascending sorts for the performances that are to be minimized and descending sorts for the performances that are to be maximized).

Proposal Strategy

The initiator calculates the number of occurrences of each criterion $NbrC_j = NbrC_j + 1$, and establishes a list containing the resources concerned by the max criterion (C_{jmax}).

The initiator proposes to (n) participating agents a contract (a proposal concerning a resource) chosen by the first agent that argues its choice with the max criterion (C_{jmax}).

Evaluation Strategy

the initiator strategy that allows it to analyze and calculate the acceptance percentage of each selected resource.

THE USED MULTI CRITERIA METHODS

Multiple criteria decision aiding (MCDA) is one of the most widely used scientific methodologies of decision support (Shofade, 2011). It intends to improve the quality of decisions by helping decision makers to make rational decisions concordant with their preferences. AHP and ELECTRE are some of the most widely used MCDA methods (Shofade, 2011).

The Electre III Method

Electre III rank alternatives (resources) from best to worst then select the alternative (or alternatives) that seems (or seem) most suitable (Roy, 1968).

The starting point for most outranking methods is a decision matrix describing the performances of the alternatives to be evaluated with respect to identified criteria. The output of an analysis is an outranking relation on the set of alternatives. (Raimon et al, 2007; Shofade, 2011).

Electre III is used in solving multiple-criteria ranking problems. The Electre III algorithm consists of three stages (Solecka, 2014):

- Constructing assessment matrix and defining the decision maker's preferences.
- Building the outranking relation S.
- Utilizing outranking relations leading to the generation of the final variant ranking.

The AHP Method

The resolution of decision problems according to the AHP method (Saaty, 1980) is based on three fundamental principles: Decomposition, comparison of judgments, and hierarchic composition or priorities synthesis.

- The principle of decomposition is applied to structure a complex problem into a hierarchy of criteria, sub-criteria, sub sub-criteria, etc.

- The principle of comparison of judgments is used to build pair-wise comparisons of all combinations of elements of the same level according to the parent of each level. Such comparisons are used to derive the local priorities of the elements in their level.
- The principle of priorities synthesis is to multiply the local priorities of each level by the global priorities of the parent level to obtain the global priorities of the entire hierarchy. After that, the global priorities of the lowest level (These are usually the alternatives) are added.

In figure 2, diagram shows the steps to follow in the application of this method:

Figure 2. The Steps of the AHP Method.

Modeling The Negotiation Process MASA

The interaction between the initiator and the participating agents is represented as a UML sequence diagram, which is often used to describe the interaction of different agents. Figure 3 illustrates the various primitives associated with the modeled interaction as a sequence diagram.

Figure 3. UML Sequence Diagram of the Proposed Negotiation Protocol.

Below is a description of the terms used in the sequence diagram.

R: The set of resources, $R_k = R_1, R_2, \dots, R_K$, R_K = The maximum number of resources ,

R_k : The proposed resource,

$R_{k'}$: A resource chosen by the participating agent $A_{i'}$, the one that received the proposal.

A: is the set of participating agents,

$A_i = A_1, A_2, \dots, A_n$, A_n = The maximum number of agents ,

$A_{i'}$: The participating agent that received the proposal,

Propose $(R_k, A_{i'})$ reads $(R_k \text{ is proposed to } A_{i'})$, it means that the resource R_k is proposed to the agent $A_{i'}$.

accept $(R_k, R_{k'})$ reads $(R_k \text{ is accepted to } R_{k'})$, if the criterion weight of R_k exceeds the criterion weight of $R_{k'}$, accept $\subset (R \times R)$.

refuse $(R_k, R_{k'}) = \text{not accept } (R_k, R_{k'})$.

EXPERIMENTAL RESULTS

The Case Study

The implementation of the proposed GDSS is accompanied by an application on a test region. The objective of this simulation exercise is to support the proposed methodology by a comparison with the available tools and data. In addition, testing **MASA** on an existing region (with real data) allows the validation of the proposed approach. This case study is concerned with the design of a map of land suitability for housing. The focus is on choosing the most suitable zone for the construction of a dwelling. This case study was investigated in (Hamdadou & Bouamrane, 2016).

Delimitation of the Area of Study

Identification of Actions

The area of study is situated in the canton of Vaud; approximately 15km in the north of Lausanne. The surface of this area is 52.500 km². Its geographical boundaries within the Swiss coordinate system are 532 750-532 500 (m) and 158 000-164 000 (m). The choice of this region is drawn from the work in (Joerin, 1997) which mainly resulted from a large number of available spatial data. For this case study, 650 actions are proposed.

In this approach, actions are homogeneous zones. The latter will bridge the gap between GIS and multi-criteria analysis. The creation of homogeneous zones is based on the use of a homogeneity index. A zone is considered as homogeneous if every one of its surface components is close to the average characteristics of this zone. This closeness relation is evaluated using a function defined in (Joerin, 1997).

Identification of Criteria

The purpose of this paper is to find the most relevant area for housing by taking into account several criteria. The first step is devoted to determining the list of criteria which influence the land suitability for housing. The identification of the list of criteria is widely based on other works, focused on territory and related mainly to the systematic approaches proposed in (Joerin, 1997 ; Hamdadou, 2008). Seven criteria are used for the suitability of a land: Harm, Noise, Impacts, Geotechnical and Natural risks, Equipment, Accessibility and Climate.

Evaluation of Performances

The evaluation of the performance of each action according to each criterion is described below:

- If the performance is high, this action is preferred;
- Performance evaluations can be performed using various methods: analytical formulas, measuring instruments, human experts, etc.
- If the evaluation criterion is not measurable by an analytical formula or is not objectively measurable, an evaluation or a score can be performed on a scale or a finite set of values.

The definition and assessment of the identified criteria according to different actions generates the matrix of performance.

Each decision maker is represented by an agent; the generation of agents is performed using the platform MAS JADE (Java DEvelopment Framework). Each participating agent is attributed a weight expressing its importance in the negotiation process.

Definition of Subjective Parameters

ELECTRE III introduces some subjective parameters. In the following, we show how **MASA** assigns values to these parameters. The AHP method was used to attribute a weight for each criterion.

Thresholds: Thresholds of preference and indifference p_j and q_j on the criteria j , respectively, are chosen on the basis of values assigned to data uncertainties (Hamdadou & Bouamrane, 2016). For example for an uncertainty of 20:

$$p_j = 2 * 20/100 * \max(i, k)[g_j(a_k) - g_j(a_i)]$$

$$q_j = 20/100 * \max(i, k)[g_j(a_k) - g_j(a_i)]$$

Where:

- $g_j(a_i)$: the performance of action a_i according to criterion j .
- $g_j(a_k)$: the performance of action a_k according to criterion j .

The veto threshold v_j is also determined by the values assigned to data uncertainties. For example for an uncertainty of 20, v_j is given by: $v_j = 3 * 20/100 * \max(i, k)[g_j(a_k) - g_j(a_i)]$.

Simulation of the Negotiation Process

The proposed web platform aims to give a realistic aspect to the negotiation process.

The Coordinator

Steps 1-9 illustrate the involvement of the coordinator agent in the negotiation process. Figure 4 shows the coordinator's page.

Figure 4. The Coordinator's Page.

1/The coordinator Loads the matrix of performances from a file.

Figure 5. Loading the Matrix of Performances.

2/ The ranking of criteria by the coordinator is given in Figure 6.

- Criteria that need to be minimized are: harm, noise, and accessibility.
- Criteria that need to be maximized are: impacts, geotechnical, equipment, and climate.

Figure 6. The Ranking of Criteria.

3/ Before starting the negotiation process, it is necessary to fix an acceptance threshold⁷. It is set to 70% in this study. The ultimate 'chosen' resource is found as soon as the participating agents receive the message CONFIRM (synonymous with the end of negotiation).

The coordinator designates a Launching Waiting time (in U_t) and a counter (the elapsed time between the moment when agents have to be connected and the end of the launching waiting time).

Figure 7. Threshold of the Negotiation.

4/Ascending sort is used for performances that are to be minimized, and descending sort for performances that are to be maximized.

Figure 8. Performances Ranking.

5/A matrix R_k, C_j is obtained, indicating that each resource R_k has a criterion C_j (which has a minimum performance rank):

Figure 9. The Generated Matrix R_k, C_j .

6/ Throughout the AHP method, each criterion is associated with a different weight:

Figure 10. The Weights of the Criteria.

⁷ Maximum of agreements necessary for the acceptance of a contract

7/The number of occurrences of each criterion is calculated, and the max criterion is generated (the max criterion is the criterion that has the highest value (C_{jmax})).

Figure 11. Generating the Max Criterion.

8/The creation of different agents using MAS component is illustrated in figure 12.

Figure 12. Creation of Agents.

9/The coordinator sends the matrix of performance to the participating agents.

Participating Agents

The agents concerned by the problem in hand make their subscription. The coordinator sends an invitation to the registered agents and indicates the date and the time to login as well as the launching waiting time. After the launching waiting time runs out, the coordinator sends the performance matrix to the connected participating agents and the negotiation process begins. The figure 13 shows the page of participating agents:

Figure 13. The Page of Participating Agents.

1/New registration: if the participating agent is not subscribed.

Figure 14. Registration Page.

2/Already registered : if the participating agent is already subscribed.

Figure 15. Login Page.

3/ Once subscribed , the agent waits for the coordinator to send the performance matrix.

4/Participating agent receives the performance matrix.

Decision maker 1 :

Figure 16. Performance Matrix for Each Agent.

5/ The values of subjective parameters expressed by each decision maker involved in the group decision in the context of TP are given in Figure 17:

Figure 17. Subjective Parameters Expressed by Decision Makers 1 and 2.

6/For each decision maker, the vector of preferences based on the ELECTRE III method is shown in Figure 18:

Figure 18. Vector of Preferences using ELECTRE III of Each Decision Maker .

The different messages exchanged between the coordinator and the participating agents via the MAS module (sniffer agent) during the negotiation process are shown in Figure 19.

Figure 19. Exchanged Messages During the Negotiation Process via the Sniffer.

The coordinator sends the results of the negotiation to the decision maker in the form of a journal as shown in Figure 20.

Figure 20. The journal of Negotiation.

CONCLUSION

In this study, we implemented a GDSS by integrating GIS, MAS and the multi-criteria methods AHP and ELECTRE III was proposed. It was aimed to provide an effective decision support tool in a spatial

reference. The negotiation process between the agents representing the decision makers (participating agents) is handled by a coordinator agent. The argumentative nature of this process led to the proposal of a protocol MAS module driven by argumentation. The latter offers more choices to the various decision-makers involved in the project and allows them to negotiate the results obtained. This should allow reaching an effective collective decision.

The proposed GDSS could be improved by:

- Enriching the GIS with other spatial analysis functions.
- Enriching the MAS by other multicriteria analysis methods proceeding by total and partial aggregation.
- Using other negotiation techniques between decision makers.
- Enhancement of the formal aspect of argumentation.

REFERENCES

- Alnafie, E., Hamdadou, D., & Bouamrane, K. (2016). Towards a new multicriteria decision support method using fuzzy measures and the choquet integral. *International Journal of Fuzzy System Applications (IJFSA)*, 5(1), 57-86.
- Amgoud, L., & Prade, H. (2009). Using arguments for making and explaining decisions. *Artificial Intelligence*, 173(3-4), 413-436.
- Amgoud, L. (2014). Postulates for logic-based argumentation systems. *International Journal of Approximate Reasoning*, 55(9), 2028-2048.
- Ayadi, D. (2010). *Optimisation Multicritere De La Fiabilite: Application Du Modele De Goal Programming Avec Les Fonctions De Satisfactions Dans L'industrie De Traitement De Gaz* (Doctoral dissertation, Université d'Angers).
- Bana, E., Costa, C. A., Costa-Lobo, M. L., Ramos, I. A. J., Vansnick, J. C (2002). *Multicriteria approach for strategic town planning: The case of Barcelos*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 429-456.
- Benayoun, R., De Montgolfier, J., Tergny, J., & Laritchev, O. (1971). Linear programming with multiple objective functions: Step method (STEM). *Mathematical programming*, 1(1), 366-375.
- Ben-Mena, S. (2000). *Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision*. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 4(2), 83-93.
- Brans, J. P., Mareschal, B (2001). *Prométhée - Gaia: Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*. Series: Statistics and Applied Mathematics (pp 192). Belgium, Brussels: Editions of the University of Brussels (Ed.), Choquet, G. (1953). Theory of capacities. *Annals of the Institute Fournier*, 5:131–295.

- Bui, T., & Schenker-Wicki, A. (1988). Co-oP: Un système d'aide à la décision de groupe pour les décisions stratégiques de l'entreprise. *Swiss Journal of Economics and Statistics (SJES)*, 124(III), 445-454.
- Caminada, M., & Amgoud, L. (2007). On the evaluation of argumentation formalisms. *Artificial Intelligence*, 171(5-6), 286-310.
- Ferber, J. (1995). *Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective*. InterEditions.
- Gray, P. (1983, June). Initial observations from the decision room project. In *Transactions of the Third International Conference on Decision Support Systems* (pp. 135-138).
- Halouani, N., Chabchoub, H., & Martel, J. M. (2009). PROMETHEE-MD-2T method for project selection. *European Journal of Operational Research*, 195(3), 841-849.
- Hamdadou, D. (2008). *Un Modèle d'Aide à la Décision en Aménagement du Territoire, une Approche Multicritère et une Approche de Négociation* (Doctoral dissertation, PhD thesis, Université d'Oran, Algérie).
- Hamdadou, D., & Bouamrane, K. (2016). A spatial group decision support system: Coupling negotiation and multicriteria approaches. *Intelligent Decision Technologies*, 10(2), 129-147.
- Hammami, A. (2003). *Modélisation technico-économique d'une chaîne logistique dans une entreprise réseau* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Laval).
- Jacquet-Lagrèze, E., & Siskos, J. (1982). Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European journal of operational research*, 10(2), 151-164.
- Jarke, M. (1986). Knowledge sharing and negotiation support in multiperson decision support systems. *Decision Support Systems*, 2(1), 93-102.
- Joerin, F. (1997). *DÉCIDER SUR LE TERRITOIRE Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère* (Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne).
- Kersten, G. E. (1985). NEGO—group decision support system. *Information & Management*, 8(5), 237-246.
- Le Bars, M. (2003). *Un Simulateur Multi-Agent pour l'Aide à la Décision d'un Collectif: Application à la Gestion d'une ressource Limitée Agro-environnementale* (Doctoral dissertation, Université Paris Dauphine-Paris IX).
- Madouri, S. (2011). *Vers un système d'Aide Multicritère à la Décision de Groupe en Aménagement du Territoire: Application à la Localisation Spatiale* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Ben Bella d'Oran1 Es Senia).
- Morge, M. (2005). *Système dialectique multi-agents pour l'aide à la concertation* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne).

- Morge, M., & Mancarella, P. (2009, May). Assumption-based argumentation for the minimal concession strategy. In *International Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems* (pp. 114-133). Springer Berlin Heidelberg.
- Maystre, L. Y., Pictet, J., & Simos, J. (1994). Méthodes multicritères ELECTRE: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale (Vol. 8). PPUR presses polytechniques.
- Raimon, R., Laura, P., Karina, G. Aïda, V (2007). use and evaluation of ELECTRE III/IV. DEIM-RT-07-003 .
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 2(1), 57-75.
- Roy, B. (1985). Méthodologie multicritère d' aide à la décision. *Economica*.
- Verrons, P. M. M. H. (2005). GeNCA: Un modèle général de négociation de contrats. *Revue d'Intelligence Artificielle*. Volume, 19(6).
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*., New York, NY, McGraw Hill, reprinted by RWS Publication, Pittsburgh.
- Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process* (Vol. 6). Rws Publications.
- Schärlig, A. (1985). Décider sur plusieurs critères: panorama de l'aide à la décision multicritère (Vol. 1). PPUR presses polytechniques.
- Shofade, O. J. S. (2011). Considering hierarchical structure of criteria in ELECTRE decision aiding methods. *Treball de màster en el Màster en Enginyeria Informàtica i Seguretat, ETSE, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona (Spain)*.
- Sklar, E. I., Parsons, S., Li, Z., Salvit, J., Perumal, S., Wall, H., & Mangels, J. (2016). Evaluation of a trust-modulated argumentation-based interactive decision-making tool. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 30(1), 136-173.
- Solecka, K. (2014). Electre III method in assessment of variants of integrated urban public transport system in Cracow. *Transport Problems*, 9(4), 83-96.
- Urbani, D. (2006). *Elaboration d'une approche hybride SMA-SIG pour la définition d'un système d'aide à la décision; application à la gestion de l'eau* (Doctoral dissertation, Université Pascal Paoli).
- Vincke, P. (1989). *L'aide multicritère à la décision*, éditions. Ellipses, éditions de l'Université de Bruxelles, 6(3), 6-3.
- Zionts, S., & Wallenius, J. (1976). An interactive programming method for solving the multiple criteria problem. *Management science*, 22(6), 652-663.
- Zionts, S. (1980). *Methods for solving management problems involving multiple objectives*. In *Multiple criteria decision making theory and application* (pp. 540-558). Springer Berlin Heidelberg.

Résumé

Dans cette thèse, l'objectif principal est de mettre en place un système interactif d'aide multicritères à la décision de groupe. Ce système est modélisé par un ensemble d'agents en interaction. Ces derniers communiquent par envoi de messages pour résoudre une problématique décisionnelle spatiale qui consiste en la recherche d'une surface satisfaisant au mieux certains critères parmi un ensemble de variantes (exemple : la localisation d'une infrastructure, centre commercial, centre hospitalier, etc.). Nous concevons un système d'aide à la décision de groupe qui s'appuie principalement 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). Nous dotons le module SMA d'un protocole de négociation basé sur l'argumentation. A cet effet, les participants justifient leurs choix par des arguments afin d'aboutir à une décision collective. Nous proposons, également, un modèle de communication entre les différents agents nommé ARG_GDSS (Argumentative Group Decision Support System). Ce dernier sert de base à un système d'aide à la décision de groupe exploitant, principalement, deux méthodes d'analyse multicritères : -La méthode par agrégation totale AHP afin d'attribuer des poids aux critères ; -La méthode par agrégation partielle ELECTRE III afin de classer (ranger) les variantes (les solutions possibles) de la meilleure à la pire pour sélectionner ensuite la (ou les) action(s) qui semble (nt) la (ou les) plus adéquate(s). Le protocole proposé met en scène un agent coordinateur responsable du bon déroulement de la négociation et un ensemble d'agents participants représentant les différentes entités concernées par la décision en AT.

Mots clés :

Système d'aide à la décision spatiale; Aménagement du Territoire; Aide à la décision de groupe; Analyse multicritères ; Système d'Information Géographique (SIG); Système Multi Agents; Protocole de négociation; Méthode multicritères ELECTRE III; Méthode multicritères AHP; Négociation par argumentation.