

**Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique**  
**Département de Mathématiques et informatique**  
**Filière : Informatique**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique

Option : **Réseaux et Systèmes**

Présenté par :

**Sani Mahamadou**

THEME :

Utilisation de l'approche FAHP/FPROMETEE pour l'élection  
d'un Facilitateur (coordinateur) au sein d'un GDSS

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

KAID SLIMANE B	MCA	Université de Mostaganem	Président
ROUBA B	MCA	Université de Mostaganem	Examineur
MOHAMED LAREDJ A .	MCA	Université de Mostaganem	Encadreur

Année Universitaire 2020-2021

# Dédicace

A mes parents.

A toute ma famille.

A mes amis.

A tous ceux qui me sont chers.

# REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir aider et donner la patience et le courage tout au long de mon parcours.

Je remercie également toute ma famille qui m'a apporté un soutien sans faille et qui m'a aidé a surmonter toutes les difficultés afin de mieux suivre tous mon parcours académique.

Je remercie tous les enseignants de tous cycles depuis le primaire jusqu'à l'université qui m'ont soutenu et apporté leur connaissance afin que j'arrive à ce stade .

Je remercie particulièrement monsieur Mohamed Adnane Laredj, d'avoir accepté d'encadrer mon travail , sa confiance qu'il m'a accordé ainsi que sa disponibilité.

Je remercie tous mes camarades ainsi que toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué afin que ce travail puisse voir le jours.

Un grand merci à ma mère , qui grâce à ses prières et son soutien je suis arrivé à la fin de mes études.Je lui dédit ce mémoire.

# Résumé

La prise de décision est depuis de nombreuses années une tâche importante dans toutes structures. Dans le cadre des organisations, la prise de décision collective a connu une grande croissance et est devenue un domaine de recherche pour de nombreux scientifiques.

Grâce à l'analyse multicritère qui est un outil d'aide à la décision conçue pour résoudre les problèmes multicritères complexes et difficiles à analyser dans le processus décisionnel, le domaine de l'optimisation des prises de décisions a connu un véritable essor et une évolution fulgurante. Ainsi, de nombreuses méthodes d'analyse multicritères ont vu le jour afin d'aider les décideurs et tous les acteurs œuvrant dans le processus décisionnel à prendre les décisions optimales.

Nous présentons dans notre travail une combinaison de trois méthodes d'analyses multicritères que sont la méthode Delphi, FAHP et FPROMETHEE qui, nous permettront d'analyser et apporter une solution à notre problématique qui est le choix d'un coordinateur au sein d'un GDSS

Mots clés : Prise de décision, Analyse multicritère, GDSS, Delphi, FAP, FPROMETHEE.

# Abstract

Decision-making has for many years been an important task in all structures. Within organizations, collective decision-making has experienced great growth and has become a field of research for many scientists.

Thanks to the multicriteria analysis which is a decision support tool designed to solve complex multicriteria problems and difficult to analyze in the decision-making process, the field of decision-making optimization has experienced a real boom and evolution. As a result, many multicriteria analysis methods have emerged to help decision-makers and all those involved in the decision-making process to make the optimal decisions.

We present in our work a combination of three multicriteria analysis methods that are the Delphi, FAHP and FPROMETHEE method which will allow us to analyze and provide a solution to our problem which is the choice of a coordinator within a GDSS

Keys words :Decision making,multi-criteria-analysis, GDSS,Delphi,FAHP,FPROMETHEE.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Aide à la décision collective</b>	<b>4</b>
I.	Introduction . . . . .	4
1.	Décision et aide à la décision . . . . .	4
2.	Typologie des décisions . . . . .	5
3.	Classification selon le degré d'incertitude . . . . .	6
4.	Les acteurs du processus d'aide à la décision . . . . .	7
II.	Le processus d'aide à la décision . . . . .	7
III.	Processus de Prise de décision collectif . . . . .	9
1.	Typologie des processus de prise de décision de groupe . . . . .	10
2.	Modèle du processus de décision de groupe . . . . .	10
IV.	Système interactif d'aide à la décision . . . . .	11
1.	Composition d'un SIAD . . . . .	11
2.	Les fonctionnalités des SIAD . . . . .	12
3.	Classification des SIAD . . . . .	12
V.	L'aide à la décision de groupe . . . . .	13
1.	Définition de groupe . . . . .	13
2.	Typologie de groupe . . . . .	14
3.	Composition d'un groupe . . . . .	14
VI.	Système d'aide à la décision de groupe (GDSS) . . . . .	15
VII.	Les différents types de GDSS . . . . .	16
VIII.	Caractéristiques des GDSS . . . . .	16
IX.	Les GDSS distribués . . . . .	17
1.	Architecture des GDSS distribués . . . . .	17
2.	Les avantages des GDSS . . . . .	19
3.	Les limites des GDSS . . . . .	20
X.	Conclusion . . . . .	20
<b>2</b>	<b>Analyse multicritere</b>	<b>21</b>
I.	Introduction . . . . .	21
1.	Définition . . . . .	21
2.	Typologie de critère . . . . .	22
3.	Le paradigme multicritere . . . . .	23
II.	L'aide à la décision multicriteres . . . . .	24
1.	Nature des problèmes multicriteres . . . . .	25
2.	Définitions et terminologies . . . . .	25

III.	Problème multicritère . . . . .	25
IV.	Difficultés des problèmes multicriteres . . . . .	26
V.	Démarches multicriteres . . . . .	26
1.	Les démarches du bas vers le haut "Bottom-up" . . . . .	26
2.	Démarches multicriteres du bas vers le haut "top-down" . . . . .	27
3.	Démarches intermédiaires . . . . .	27
VI.	Les étapes d'aide à la décision multicriteres . . . . .	28
1.	Étape d'identification des alternatives potentielles . . . . .	28
2.	Étape de modélisation des préférences du décideur . . . . .	28
3.	Étape de la procédure d'agrégation . . . . .	28
VII.	Les problématiques multicriteres . . . . .	29
1.	La problématique du choix( $P.\alpha$ ) . . . . .	29
2.	La problématique du tri( $P.\beta$ ) . . . . .	29
3.	La problématique du rangement ( $P.\gamma$ ) . . . . .	29
4.	La problématique de la description( $P.\delta$ ) . . . . .	29
VIII.	Conclusion . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Les méthodes d'analyse multicritère</b>	<b>31</b>
I.	Introduction . . . . .	31
II.	Définition . . . . .	31
III.	Les méthodes multicritères . . . . .	32
1.	Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse . . . . .	32
2.	Méthodes de surclassement selon l'approche du surclassement de synthèse . . . . .	32
3.	Méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif . . . . .	32
IV.	La méthode Delphi . . . . .	33
1.	Les acteurs intervenant dans Delphi . . . . .	33
2.	Les avantages de méthode Delphi . . . . .	33
3.	Les inconvénients de la méthode Delphi . . . . .	34
4.	Le déroulement de la méthode Delphi . . . . .	34
5.	Méthodologie et conseils . . . . .	35
6.	Discussion . . . . .	35
V.	La méthode AHP . . . . .	36
1.	Introduction . . . . .	36
2.	Les différents étapes de la méthodes AHP . . . . .	36
3.	Avantages de AHP . . . . .	38
VI.	Les méthodes PROMETHEE . . . . .	38
1.	Introduction . . . . .	38
2.	PROMETHEE GDSS . . . . .	39
3.	Résolution d'un problème PROMETHEE GDSS . . . . .	44
4.	Analyse de sensibilité de PROMETHEE GDSS . . . . .	44
5.	La salle de réunion PROMETHEE GDSS . . . . .	45
6.	Les avantages de PROMETHEE GDSS . . . . .	45
7.	Discussion . . . . .	46
VII.	Conclusion . . . . .	46
VIII.	Ensembles flous . . . . .	46
1.	Définition . . . . .	46
2.	Les nombres triangulaires flous(Triangular fuzzy number(TFN)) . . . . .	47

---

---

3.	Opérations sur les nombres triangulaires flous . . . . .	47
IX.	FAHP . . . . .	48
1.	Les différentes étapes de FAHP . . . . .	48
X.	FUZZY PROMETHEE . . . . .	49
XI.	Conclusion . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Application des méthodes d'analyse multicritere au cas d'étude et simulation</b>	<b>52</b>
I.	Introduction . . . . .	52
II.	La e-maintenance . . . . .	52
III.	Application de la méthode Delphi . . . . .	53
1.	Sélection du Panel d'experts . . . . .	53
2.	La procédure Delphi . . . . .	53
3.	Analyse des réponses . . . . .	53
IV.	Application de la méthode FAHP . . . . .	54
V.	Fuzzy PROMETHEE . . . . .	57
VI.	Simulation des résultats . . . . .	61
1.	Introduction . . . . .	61
2.	PROMETHEE-GAIA . . . . .	61
3.	Installation . . . . .	61
4.	Conclusion . . . . .	69

---



# Table des figures

1.1	Modèle de Processus de Décision proposé par [Simon,82]	7
1.2	Étapes de prise de décision [Doutriaux J,80]	9
1.3	Modele du processus de décision de groupe [Adla,10]	10
1.4	Composition d'un SIAD [A.Chacroun 92]	11
1.5	Classification selon la matrice espace-temps	17
1.6	combinaisons des systèmes d'aide à la décision de groupe	17
1.7	Architecture centralisée [Adla, 10]	18
1.8	Architecture décentralisée [Adla, 10]	18
1.9	Architecture hybride[Adla, 10]	19
2.1	Relation de dominance entre deux actions a et b	23
2.2	Ensemble de solutions efficaces	24
2.3	Démarches multicritere "Bottom-up"[Kenney.R,92]	26
2.4	Démarche "top-down"[Roy.B,85]	27
2.5	Démarches intermédiaire	27
2.6	Les problématiques multicriteres	30
3.1	Le processus de la méthode Delphi	35
3.2	Structuration hierarchique	37
3.3	Échelle Saaty	37
3.4	Matrice de comparaison de critère	38
3.5	Exemple de génération d'alternatives	40
3.6	Fonction de préférence	42
3.7	Procedure PROMETHEE [Marshall et Brans,82]	43
3.8	PROMETHEE 2 ranking [Marshall et Brans,82]	44
3.9	Salle PROMETHEE GDSS [Macharis 1998)	45
3.10	Fonction d'adhésion [Seiddiki,18]	47
3.11	Fonction d'adhésion de deux nombres flous triangulaires	48
4.1	Classement Partiel des alternatives	60
4.2	Classement global des alternatives	61
4.3	Interface Principale de PROMETHEE-GAIA	65
4.4	Classement Partiel PROMETHEE 1	66
4.5	Classement global PROMETHEE 2	67
4.6	Le plan GAIA	68
4.7	Poids des critères	69

# Liste des tableaux

2.1	Tableau d'évaluation alternatives/critères . . . . .	28
3.1	Tableau d'évaluation . . . . .	41

---

## Introduction Générale

La prise de la décision est devenue de nos jours très importante voire cruciale dans tous les domaines sans exceptions. Faire le meilleur choix n'est plus aperçu comme une tâche secondaire car la survie de l'organisation y en dépend surtout dans un monde aussi concurrentiel que le notre.

Or, prendre la décision adéquate lorsque nous sommes en face d'un problème complexe, difficile à cerner et analyser, qui sort du cadre classique de problème à critère unique n'est pas une tâche qui s'avère facile, aisée car : «une très grande partie des problèmes de décision se caractérise par la diversité des points de vue qui sont souvent contradictoires et qui mesurent des choses de natures différentes»[Boumediene,10].

En effet, il n'existe pratiquement pas de solutions mathématiques qui permettent de résoudre ce genre de problème dit "mal posé", d'où l'importance et la nécessité de l'utilisation des méthodes d'analyse multicritères ainsi que le système d'aide à la décision de groupe (GDSS) afin de proposer des solutions pour ce genre de problématique et ainsi faciliter le processus de prise de décision en particulier dans le contexte sanitaire actuel dans lequel nous vivons où les rencontres, réunions et travaux de groupes sont prohibés dans bon nombre de pays appliquant les mesures anti-COVID 19.

Notre travail consistera à utiliser les méthodes d'analyse multicritères afin de résoudre notre problématique portant sur le choix d'un facilitateur (coordinateur) au sein d'un GDSS.

La problématique du choix du facilitateur étant un problème multicritère car plusieurs critères seront évalués à la fois par plusieurs décideurs rendant le choix particulièrement complexe et difficile à analyser car les différents décideurs peuvent avoir des avis divergents et contradictoires et le choix du coordinateur s'effectuera non pas à travers d'un critère unique mais à travers plusieurs critères les uns différents des autres.

Notre travail sera décomposé ainsi en quatre (4) chapitres :

- Dans le premier chapitre intitulé "**Aide à la décision collective**" nous aborderons le thème de la décision de l'aide à la décision des différents types de décisions ensuite nous parlerons des systèmes interactifs d'aide à la décision de groupe ainsi que des systèmes d'aide à la décision de groupe (GDSS)
- Le chapitre 2 "**Analyse multicritère**" c'est le lieu où nous parlerons de la complexité des problèmes à critères multiples. Dans ce chapitre nous détaillerons l'aide à la décision multicritères ainsi que les difficultés des problèmes multicritères.
- Le troisième chapitre "Les méthodes d'analyse multicritère" est le lieu pour nous de détailler les différentes méthodes d'analyse multicritère qui nous serviront de base pour la résolution de notre problématique de choix du coordinateur. Ces méthodes (Delphi, FAHP, FPROMETHEE) utilisées dans cet ordre nous permettront de choisir les critères, d'attribuer une pondération à chacun des critères, de définir les futures actions (alternatives) et enfin pouvoir obtenir un classement partiel puis global de ces actions.  
Nous verrons l'importance de l'utilisation de la fuzzification combinée avec les méthodes multicritères (Fuzzy AHP, Fuzzy PROMETHEE) afin de mieux cerner les problèmes liés à l'incertitude, la subjectivité ainsi que l'imprécision présents dans les jugements humains.

---

— Le dernier chapitre de notre contribution intitulé "Cas d'étude et Simulation" est comme son nom l'indique le chapitre dans lequel nous allons appliquer les méthodes multicritères du chapitre 3 à notre cas d'étude.

Dans la dernière partie de ce chapitre nous allons simuler nos résultats avec le logiciel PROMETHEE-GAIA. Nous essayerons de comparer nos différents résultats afin d'en tirer une conclusion.

# Chapitre 1

## Aide à la décision collective

### I. Introduction

Chaque jours nous prenons des décisions de façon individuelle ou collective. Ces décisions peuvent avoir des fins positives ou négatives. L'aide à la décision représente l'ensemble des moyens et techniques utilisés afin de prendre la meilleure décision possible face à un problème donné.

Dans ce chapitre, notre travail consistera à définir ce qu'est la décision, d'aborder les thématiques de la décision, de l'aide à la décision, du processus de prise de décision. Ensuite nous parlerons des systèmes interactifs d'aide à la décision (SIAD) dont ceux qui permettent la prise de décision collective appelés GDSS (Group Decision Support System).

#### 1. Décision et aide à la décision

##### 1.1. Décision

L'étymologie du mot décider vient du Latin «deciderer» qui veut dire «trancher» et plus anciennement de «caederer» signifiant «couper».

Il existent plusieurs définitions qui ont essayé de définir le terme «Décision».

Elle peut être définie comme un processus durant lequel un individu ou un groupe d'individu effectue un choix entre plusieurs possibilités susceptibles de résoudre un problème donné.

*«Une décision est une action qui est prise pour faire face à une difficulté ou répondre à une modification de l'environnement, c'est à dire pour résoudre un problème qui se pose à l'individu ou à l'organisation» [Adla,10]*

*«La décision est un choix entre les actions, les solutions possibles encore appelées alternatives» [Hamdadou,08].*

*«Une décision est le résultat d'un processus mental qui choisit une parmi plusieurs alternatives mutuellement exclusives» [Boudraa,12]*

Pour la plupart des écoles rationalistes-analytiques, la décision est définie comme un choix entre plusieurs possibilités. Pour d'autres aussi la décision est un processus de sélection de buts et d'alternatives.

Le terme décision admet plusieurs définitions, il est assimilé à un acte, une action ou un processus de résolution d'un problème auquel l'on est confronté.

[Roy,93] estiment que *«la décision est souvent présentée comme le fait qu'un individu souvent*

---

*isolé (décideur) qui exerce librement un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné dans le temps».*

Selon [Mintzberg,93], une décision, quelle soit individuelle ou le résultat d'un groupe de travail, peut être définie comme «l'engagement dans une action, c'est à dire, une intention explicite d'agir».

Pour beaucoup de décideurs une décision n'est qu'un choix : «A décision is a conscious choice between at least two possible courses of action»

*«la prise et l'exécution des décisions sont les buts fondamentaux de toute organisation, de tout management. Toute organisation dépend structurellement, de la nature des décisions qui sont prises en son sein et non par des décideurs, qu'ils soient individuels ou collectifs» [Lemoigne,74]*

Enfin selon [Simon,82], «les différentes prises de décision au sein d'une organisation permettent de les répartir au sein de cette dernière sur une échelle graduée qui va du moins normalisés au plus normalisés».

## **12. Aide à la décision**

L'aide à la décision a été défini par [Boudraa,12] comme étant : «l'activité de celui qui prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourants 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 les systèmes de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part»

L'aide à la décision est un processus qui se sert d'un ensemble d'informations collecté, disponible à un moment donné dans le but de formaliser un problème et aboutir à la résolution de ce problème à travers la prise d'une décision jugée adéquate.

«L'aide à la décision utilise des moyens, techniques et méthodologiques issues du domaine des mathématiques appliquées telles que l'optimisation, les statistiques, la théorie de la décision ainsi que des théories des domaines moins formels telles que l'analyse des organisations et les sciences cognitives» [Zararé,05].

«L'aide à la décision correspond à une démarche constructive dans laquelle, on considère que les performances des intervenants sont souvent conflictuelles, peu structurées et appelées à évoluer au sein du processus et influencées du fait même de la mise en œuvre du modèle.» [Hamdadou,08]

## **2. Typologie des décisions**

Plusieurs chercheurs qui s'intéressent à la décision ont apporté une classification des décisions en fonctions de plusieurs critères. Dans ce qui suit nous allons décrire les différents types de décisions.

---

## **21. Classification de la décision selon le degré de répétition**

Simon propose deux types de décisions différentes :

- Les décisions programmées
- Les décisions non programmées

## **22. Les décisions programmées**

Ces décisions sont pour la plupart connues par les acteurs de prise de décision. Leur traitement ne nécessite pas beaucoup d'efforts car elles n'ont pas ou ont peu évolué dans le temps. Il s'agira dans ce cas d'appliquer les procédures correspondantes afin de les résoudre. Elles sont relativement moins coûteuses en temps [Herbet S.,82].

## **23. Les décisions non programmées**

Une décision non programmée correspond à un nouvel événement. Les acteurs œuvrant dans cette prise de décision doivent procéder à des techniques afin de mieux cerner le problème dans le but de trouver une résolution à ce dernier. Les décisions non programmées sont plus coûteuses en temps mais aussi financièrement car le processus de prise de décision est partiellement maîtrisé ou pas du tout connu dans la plupart des cas [Herbet S.,82].

## **3. Classification selon le degré d'incertitude**

Dans ce contexte on peut classer les décisions selon trois types [Bressy G, Konkuyt C,04] :

### **31. Les décisions en avenir certain**

La prise de ce genre de décision est sans risque, car l'on a déjà été confronté à ce genre de problème. On peut prévoir à l'avance la résolution de ce type de problème. Les décisions certaines sont celles qui portent le moins de conséquences pour toute organisation.

### **32. Les décisions en avenir incertain**

Les décisions à avenir incertain sont celles qui posent le plus de dégâts. D'une part elles sont mal maîtrisées et d'autre part elles sont dans la plupart des cas des décisions importantes et cruciales pour l'organisation. Leur traitement est relativement complexe.

### **33. Les décisions en avenir aléatoires**

Il est quasi impossible de connaître le résultat à l'avance de ce type de problème. Les acteurs procèdent dans ce cas à des simulations dans l'optique de trouver une meilleure solution possible.

---

## 4. Les acteurs du processus d'aide à la décision

Pour [Hamdadou,08], un acteur de l'aide à la décision est «tout individu intervenant dans le processus d'aide à la décision». On distingue plusieurs acteurs dans un processus d'aide à la décision. [Hamdadou,08]

- Le décideur : La personne qui est assistée par l'aide à la décision.
- L'homme d'étude (l'analyste) : Un individu ou un groupe d'individu dont le rôle est l'établissement d'un système de préférence, le choix du modèle d'aide à la décision, établissement des recommandations et conseils pour le décideur.
- Les intervenants : Les entités qui interviennent dans le processus de prise de décision et qui conditionnent directement la prise de décision.
- Les agis : Ils sont quand à eux concernés directement par les conséquences de la décision prise.
- Les demandeurs : Ils demandent l'étude et allouent les moyens
- Le négociateur : Il est mandaté par un décideur pour faire valoir la décision (point de vue) de celui-ci dans une négociation
- Le médiateur : Il intervient dans le processus de prise de décision pour aider le décideur ou le négociateur en vue de la recherche d'un compromis
- L'arbitre : L'arbitre ou le juge intervient quant à lui en se substituant aux acteurs dans la recherche du compromis.

## II. Le processus d'aide à la décision

L'ensemble des étapes à la suite desquels un ensemble d'alternatives débouchant à une solution à un problème donné est trouvé représente le processus d'aide à la décision.

Pour [Taggat], le processus d'aide à la décision est le : «*de s'intéresser à la façon dont les décideurs collectent et utilisent l'information dans la prise de décision, cela dans le but de comprendre et d'assister les décideurs*»

On distingue plusieurs étapes dans le processus de prise de décision.

Plusieurs chercheurs ont proposé différentes étapes pour le processus de prise de décision.

Simon considère que le processus de prise de décision passe par trois étapes importantes (Figure 1). La figure 1 représente le modèle canonique proposé par Simon.

[Nachet,14] a proposé une définition aux différentes étapes du processus de décision

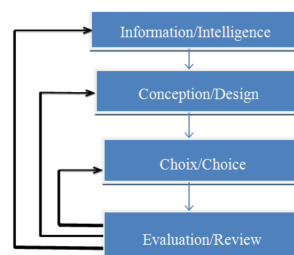


FIGURE 1.1 – Modèle de Processus de Décision proposé par [Simon,82]

proposé par [Simon,82]. Ainsi :

- Information (Intelligence) : Phase d'identification du problème.



- 
- Conception(Design) :Phase de modélisation.Ici,le décideur élabore les différentes solutions et scénarios possibles.
  - Choix(Choice) : Phase de sélection d'un mode d'action spécifique(Choix de la prise de décision).
  - Évaluation(Review) :Cette phase permet d'évaluer la décision choisie à l'étape 3.Au niveau de cette étape le processus de décision peut être arrêté(satisfaction) ou dans le cas échéant le processus peut retourner en arrière vers l'une des trois précédentes étapes.

**[W.Dill,62]** le processus de prise de décision doit obligatoirement passé par 5 étapes :

- Détermination des objectifs
- Recherches des alternatives et collectes de données
- Comparaison des alternatives
- Exécution de la décision
- Suivi de l'exécution et évaluation des résultats

Quelque soit le choix du nombre on peut considérer qu'un processus de décision doit obligatoirement passer par ces étapes qui sont nécessaires(Figure 2) :

- Reconnaissance du problème
- Analyse du problème
- Formulation d'alternatives
- Sélection de la meilleure alternative
- L'implémentation du choix
- Le contrôle du résultat

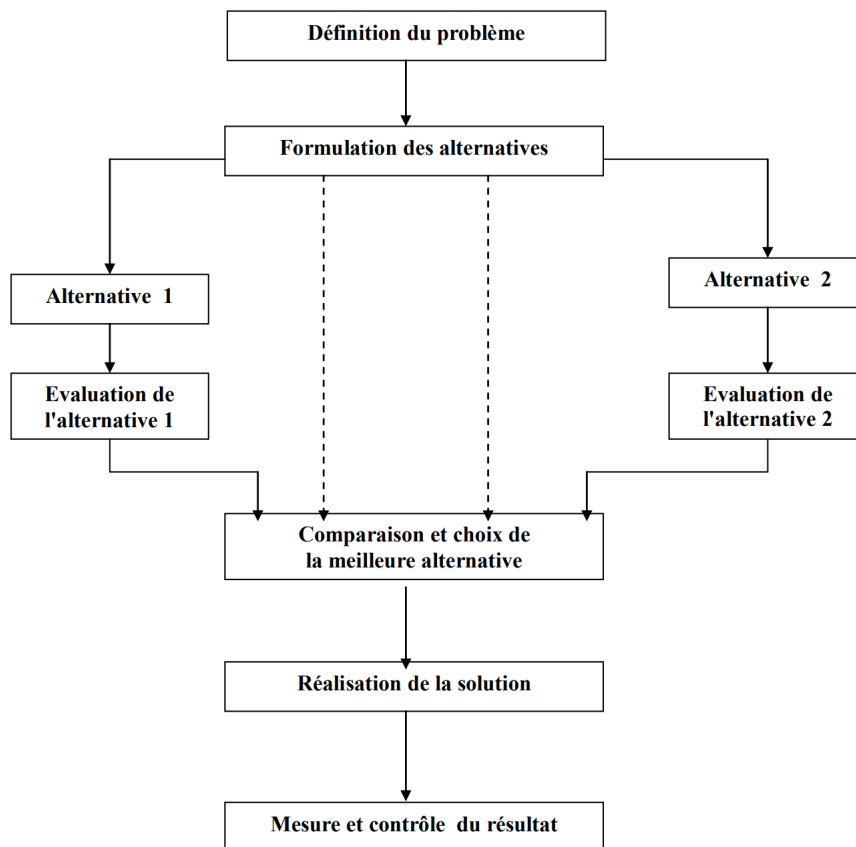


FIGURE 1.2 – Étapes de prise de décision [Doutriaux J,80]

### III. Processus de Prise de décision collectif

La prise de décision de groupe est définie comme l'ensemble des étapes par lesquelles un groupe d'individu arrive à trouver une issue à un problème (figure 3).

Le processus de prise de décision collectif est très important pour toute organisation. La nature des décisions ainsi que leur importance ne permettent pas à un seul individu de prendre à lui seul des décisions.

Pour [Smoliar et Sprague,02], « les processus de décision dans les organisations impliquent généralement plusieurs acteurs interagissant les uns avec les autres. Cette interaction implique une communication de l'information ainsi qu'une compréhension partagée par les décideurs impliqués dans ces processus. Ils analysent cette interaction selon trois dimensions : le sens des connaissances manipulées doit être commun à tous ; l'autorité nécessaire pour un agent artificiel ou non de pouvoir réguler les charges de travail ; enfin la confiance que les utilisateurs peuvent avoir dans les diverses technologies qui peut notamment passer par différentes visualisations des connaissances partagées ».

« Le processus de décision est également défini comme un lot de tâches corrélées qui incluent : la collecte, l'interprétation et l'échange des informations, la création et l'identification des scénarios, la génération d'alternatives, l'évaluation de ces alternatives, le choix parmi les alternatives et, l'implémentation et le contrôle d'un choix » [Guzzo 95].

---

## 1. Typologie des processus de prise de décision de groupe

Il existe plusieurs variétés de processus de prise de décision de groupe en fonction des intérêts des différents acteurs du processus. C'est dans cette logique que [Rekik .D,07] à classifié les processus en plusieurs types qui sont :

- Processus décisionnel multidecideurs coopératifs : Lorsque les décideurs ont des intérêts et des objectifs communs.
- Processus décisionnel multidecideurs non-coopératifs : Lorsque les différents décideurs ont des avis divergents voire conflictuels.

## 2. Modèle du processus de décision de groupe

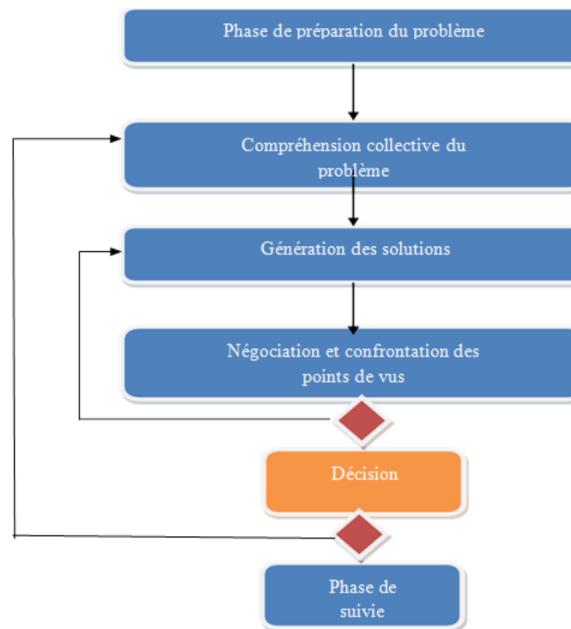


FIGURE 1.3 – Modèle du processus de décision de groupe [Adla,10]

La figure 3 montre les étapes du processus de prise de décision de groupe. Abdelhadi a décrit les différentes étapes de ce processus comme suit :

- Phase de préparation du problème : Cette étape permet la préparation en ligne des réunions en fixant en accord avec tous les participants , la problématique de la réunion, le jour ainsi que l'heure à laquelle devrait se tenir la réunion pour s'assurer de la disponibilité de tout un chacun afin d'éviter les imprévus et permettre à ces derniers de pouvoir se préparer en avance pour la réunion en faisant des recherches.
- La compréhension collective du problème : L'objectif recherché au cours de cette étape est la compréhension et l'analyse de l'objet de la réunion de tous les participants.
- Génération des solutions : Au cours de la phase de germination des solutions, l'objectif est de concevoir différentes solutions et alternatives susceptibles de résoudre le problème.

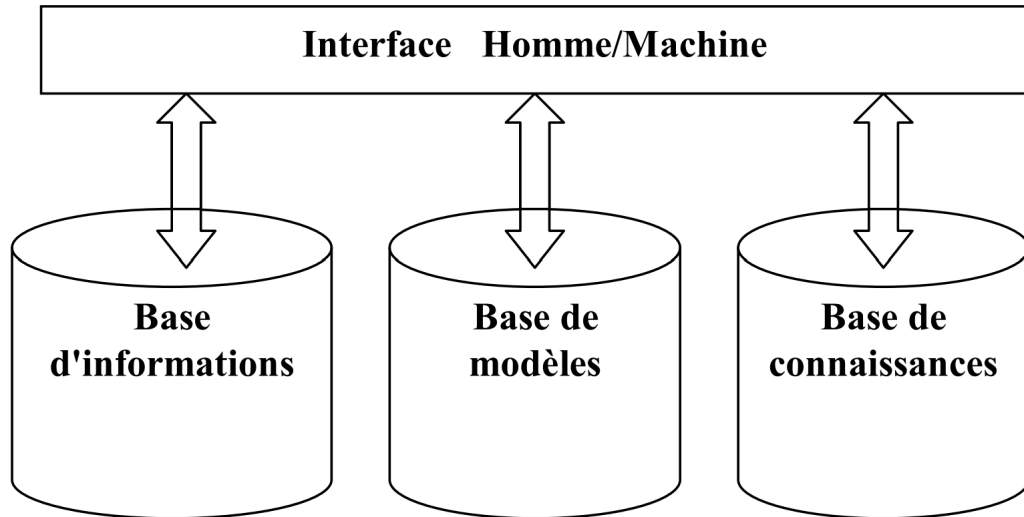


FIGURE 1.4 – Composition d'un SIAD [A.Chacroun 92]

- Négociation et confrontation des points de vue :Ici les alternatives de chaque participant sont confrontées à celles des autres dans l'optique de s'accorder ensemble et choisir celle qui est la plus optimale possible
- Décision :Cette étape permettra d'évaluer toutes les alternatives retenues au cours de la précédente étape et d'en choisir la meilleure.
- Phase de suivi :La dernière étape permet de mettre en application la décision prise.

## IV. Système interactif d'aide à la décision

Les décisions prises au sein des organisations sont souvent complexes et mal maîtrisées.La prise de la meilleure décision possible est donc devenue primordiale.

Les systèmes interactifs d'aide à la décision(SIAD) ont été conçu pour venir en aide aux organisations à travers les décideurs pour apporter une aide à ces derniers afin de résoudre les problèmes complexes.

[A.Chacroun,92] définit les SIAD comme étant «des systèmes d'information interactifs destinés à aider les décideurs à exploiter des données et des modèles pour résoudre des problèmes peu ou mal structurés»

### 1. Composition d'un SIAD

La figure 4 représente la composition d'un SIAD.Ainsi,on distingue :

- Base de donnée d'informations : regroupent toutes les informations sur le système.
- Base de donnée de modèles :décrit le comportement du système.
- Base de donnée de connaissances :
- Interface Homme/Machine

---

## 2. Les fonctionnalités des SIAD

Les SIAD ont pour objectifs principales l'amélioration des conditions de prises de décision complexes. [Maache,11] a cité un ensemble de fonctionnalités des SIAD parmi lesquels :

- Accéder à l'information pertinente et permettre un contrôle de ces accès.
- Diagnostiquer le problème, en rendant possible la présentation des informations sous une forme bien adaptée à l'interprétation des données
- Définir de nouveaux concepts à travers des concepts déjà existants
- Structurer l'information sous forme de modèle
- Permettre la description de l'information sous forme de modèle
- Conserver et gérer les objectifs du système
- Faciliter la communication entre les décideurs même s'ils sont géographiquement éloignés

## 3. Classification des SIAD

Les systèmes d'aide à la décision sont classifiés selon différents niveaux. Power a proposé quatre classifications des systèmes d'aide à la décision.

### 3.1. Classification au niveau utilisateur

Pour la classification au niveau utilisateur, Hattenschwiler [Hattenschwiler] distingue les SIAD coopératifs, actifs et passifs.

Un SIAD actif peut apporter des solutions, des suggestions ou des décisions explicites.

Un SIAD passif quand à lui est un système qui aide le processus décisionnel mais qui peut apporter des solutions, des suggestions ou des décisions explicites.

Un SIAD coopératif permet au décideur de modifier, de compléter ou d'affiner les suggestions de décisions fournis par le système avant de les renvoyer au système pour validation. Le système améliore aussi, complète et affine les suggestions du décideur et les lui renvoie pour validation. Le processus entier recommence alors à nouveau jusqu'à ce qu'une solution consolidée soit générée.

### 3.2. Classification au niveau conceptuel

- SIAD centré données qui met en relief l'accès et la manipulation d'une série temporelle de données internes à l'organisation et quelques fois des données externes.
- SIAD orienté modèle qui met en relief l'accès à la manipulation d'un modèle de simulation, d'optimisation, financier et statistique. Ce type de système utilise des données et des paramètres fournis par les utilisateurs pour aider les décideurs à analyser une situation.
- SIAD orienté documents qui fournit une expertise de résolution de problèmes spécialisés, stockés comme des faits, des règles, des procédures ou des structures similaires.
- SIAD orienté communication qui supporte plus qu'une personne travaillant sur une tâche partagée. Pour cette catégorie on retrouve les systèmes d'aide à la décision de groupe appelé Group Decision Support Systems en Anglais (GDSS).

---

### 33. Classification au niveau système

Pour cette catégorie Power a distingué deux types de SIAD

- SIAD d'entreprise qui est relié à de larges entrepôts de données et sert à plusieurs gestionnaires dans l'entreprise.
- SIAD simple utilisateur ou de bureau qui est un petit système intégrer dans un ordinateur de bureau d'un gestionnaire individuel.

### 34. Classification au niveau connaissance

Selon la nature de la connaissance utilisée, quatre classe de SIAD peuvent être répertoriées [[Lévine].

- Les SIAD à base de savoir théoriques relatif au problème.
- Les SIAD à base de savoir expert qui sont construits à partir des connaissances des experts du domaine du problème.
- Les systèmes à base de connaissance factuel.
- Les systèmes informatiques classiques combinant une base de données fournissant les informations utiles à la prise de décision, un tableur calculant quelques éléments de décision, et éventuellement un grapheur permettant de les présenter sous un format ergonomique.

Les SIAD peuvent être regroupés en quatre principaux. systèmes[Gaouar,14] qui sont :

- SIAD passif :
- SIAD traditionnel :
- SIAD étendu :
- SIAD nominatif :

## V. L'aide à la décision de groupe

L'aide à la décision de groupe permet une prise de décision collective.Elle implique un groupe d'individu qui peuvent être soit dans le même endroit ou géographiquement éloignés de collaborer afin de prendre la décision la plus judicieuse possible.

« Les participants à un processus de décision doivent joindre leurs efforts pour un but commun ou ils doivent intégrer des points de vue multiples qui ne sont pas forcément en harmonie les uns avec les autres.Ils doivent travailler ensemble pas forcément au même endroit ni au même moment.Ils sont engagés dans un effort de coordination afin de résoudre le problème ou il doivent diviser la prise de décision en différentes sous tâches qui seront affectés à des participants individuels»[Zaraté,05].

### 1. Définition de groupe

Un groupe est un rassemble de deux ou plusieurs individus, entités,objets ou organisations dans le but de se réunir pour collaborer,travailler ou réaliser un objectif ensemble. Le travail de groupe peut être défini comme la collaboration de plusieurs entités dans le seul but est la réalisation d'une tâche bien définie.

---

## **2. Typologie de groupe**

Un groupe est certes un regroupement d'individus ou de parties prenantes. Cependant, il existe plusieurs types de groupes.

### **21. Groupe interactif**

Un groupe interactif est dans lequel les membres constituants communiquent entre eux et ont pour seul objectif la résolution d'un problème donné. Ils se forcent à collaborer ensemble pour atteindre leur objectif. Dans ce type de groupe plusieurs entités (personnes) ne peuvent prendre la parole ensemble parce que les membres du groupe ne prêtent attention qu'à une seule activité à la fois.

### **22. Groupe nominal**

Dans un groupe nominal, le résultat final du groupe est le fruit du choix d'un des résultats de tous les participants (décideurs). Chaque participant travaille séparément et indépendamment du groupe. Le résultat final qui sera choisi sera celui du groupe entier.

### **23. Équipe**

L'équipe est une combinaison à la fois du groupe interactif et nominal. Le groupe de travail est subdivisé en une équipe de deux à cinq personnes (2 à 5 personnes). Toutes les équipes travaillent séparément. Dans les équipes le travail est celui d'un groupe interactif, tandis que le résultat du groupe est initial nominal c'est à dire il résulte du choix du travail d'une des équipes.

## **3. Composition d'un groupe**

Un groupe chargé de la prise de décision est constitué des éléments suivants :

### **31. Facilitateur**

Un facilitateur est une entité qui est chargée de faciliter le déroulement d'une action ou d'un processus. Il lance et prépare les processus de prise de décision. Le facilitateur aide un groupe à mieux travailler ensemble, à mieux percevoir les objectifs communs et l'accompagne pour s'organiser afin d'atteindre ses objectifs. Il permet au groupe d'identifier un problème et de le résoudre. Il a pour rôle de créer les conditions nécessaires pour que l'envie des différents acteurs ne soit freinée, l'équilibre au sein du groupe de travail soit assuré, d'assurer le respect des uns et autres dans le groupe, de diffuser le résultat aux participants à la fin de la rencontre. Le facilitateur ne possède pas la solution au problème mais aide le groupe à avancer vers la solution. Le facilitateur est responsable du processus de prise de décision de groupe du début à la fin.

#### **Rôle du facilitateur**

Afin de mener à bien tous ses objectifs, le facilitateur doit en amont mettre en place :

- 
- Préparer la rencontre en indiquant aux participants les objectifs de la réunion
  - Clarifier la finalité et l'objectif de la réunion
  - S'assurer que le but de la réunion soit attractif et pour les différents participants.
  - Collecter toutes les informations utiles à la réunion
  - Détecter les éventuelles contraintes pouvant empêcher le bon déroulement de la rencontre et ainsi porter atteinte aux objectifs fixés.
  - Mettre en place les différentes étapes de la rencontre ainsi que tous les outils de facilitation pour assurer la réunion
  - S'assurer que tous les participants puissent participer à la réunion
  - Transmettre l'agenda de la rencontre aux différents participants afin de leur laisser le temps pour s'y préparer pour la réunion.
  - Une réunion peut se faire en présentielle ou à distance, ainsi le facilitateur doit en fonction du type de la réunion (présentielle ou à distance) préparer le déroulé de la réunion ainsi que les méthodes et outils d'animations qui vont être utilisés tout au long de la réunion. Niveau Logistique
  - En présentielle : Vérifier toutes les configurations d'animations (Projecteur, écran, tablettes etc...) —
  - A distance : s'assurer que tous les participants puissent accéder aux outils de travail à distance sélectionnés (Microsoft Teams, Zoom, Beekast, Google Slides...).
- Pendant la réunion le facilitateur doit :
- Rappeler aux participants les différents objectifs
  - Animer et coordonner le débat
  - Vérifier que chacun puisse s'exprimer librement
  - Garantir et faire respecter le délai imparti pour toutes les prises de parole et la réunion. Le rôle du facilitateur ne s'arrête pas uniquement lorsque la rencontre s'achève. En effet il doit poursuivre le travail en transmettant aux participants la synthèse du travail effectué, prévoir les éventuelles étapes à suivre après la rencontre.

### **32. Participant**

Les participants sont les autres membres du groupe autre que le facilitateur. Ce sont les experts, les décideurs ou toute autre entité représentative d'une organisation qui prendra part au processus de prise de décision. Ils reçoivent les problématiques de la part du facilitateur et construisent des idées, des alternatives et des commentaires utiles pour la prise de décision.

## **VI. Système d'aide à la décision de groupe (GDSS)**

Les GDSS (Group Decision Support Systems) ou systèmes d'aide à la décision de groupe sont une catégorie de système d'aide à la décision destinée à fournir une aide à la prise de décision de groupe.

Un GDSS «est un ensemble de technologies qui soutiennent les activités effectuées par des décideurs organisés en groupe» [Ould Mahraz]

Les Systèmes d'aide à la décision de Groupe (GDSS) «facilitent la résolution de problèmes non structurés et semi-structurés par un groupe de décideurs travaillant ensemble telle une équipe» [DeSanctis, 87].

«Un GDSS est un système interactif et informatisé qui facilite la résolution des problèmes non structurés par un ensemble de décideurs fonctionnant ensemble tant que



---

groupe»[Hamdadou,08]

Le système d'aide à la décision de groupe est « une combinaison d'ordinateurs, de communications et de technologies de décision travaillant en tandem pour fournir une aide à l'identification de problème, à la formulation et à la génération de solutions pendant les réunions de groupe»[DeSanctis,87]

Le GDSS a pour principal objectif l'accroissement de l'efficacité dans le processus de prise de décision de groupe. Ils contribuent à l'amélioration de la participation et à la compréhension des problèmes.

## **VII. Les différents types de GDSS**

Desanctis et Gallupe [Desanctis,87] ont distingués trois types de GDSS.

### **01. Les GDSS du premier niveau**

La fonction essentiel des GDSS de premier niveau est l'amélioration de la communication entre les décideurs.

### **02. Les GDSS du deuxième niveau**

Les GDSS du deuxième niveau quand à eux en plus de l'amélioration de la communication interdecideurs, sont contiennent des procédures permettant de modéliser et d'agrèger les préférences individuelles afin d'établir un consensus. Les GDSS de ces niveaux font souvent intervenir un facilitateur.

### **03. Les GDSS de niveau trois**

les GDSS de niveau 3 permettent de structurer de façon automatisée les échanges d'information et la communication sur la base de recommandations émises par des systèmes experts, par exemple les règles à suivre au cours du processus de décision et les méthodes d'aide à la décision à mettre en œuvre, en fonction du contexte.

## **VIII. Caractéristiques des GDSS**

Quelque soit le type de GDSS considéré on distingue deux dimensions de bases qui caractérisent un GDSS[Dennis]. Ces deux caractéristiques sont :

- La Proximité
- et La synchronisation

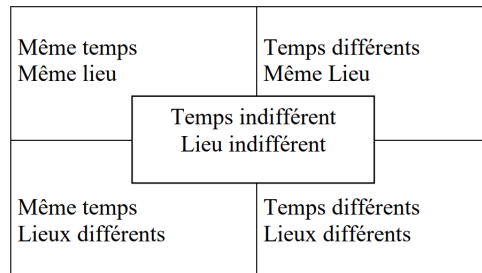


FIGURE 1.5 – Classification selon la matrice espace-temps

La figure 5 permet de visualiser les différents types de réunions GDSS selon suivant la matrice espace-temps.

La figure 6 met en évidence les différents outils GDSS utilisés en fonction de la matrice espace-temps.

	Même temps	Différents temps
Même lieu	Salles de décision	Tableau blanc Ecran partagé Chat
Différents lieux	Vidéoconférence EMS GDSS distribué synchrone	GDSS distribué asynchrone SIAD coopératif

FIGURE 1.6 – combinaisons des systèmes d’aide à la décision de groupe

## IX. Les GDSS distribués

Les GDSS sont des GDSS décentralisés qui sont présents dans différents endroit et permettent la prise de décision de groupe de façon dynamique et rapide. La dispersion des participants à un processus de prise de groupe a favoriser l’avènement des GDSS distribués. Grâce aux GDSS distribués l’échange entre les différents participants n’est plus limitée à la matrice espace-temps, le temps imparti pour échanger des idées devient alors continu au lieu d’être repartit à la durée d’une réunion.

### 1. Architecture des GDSS distribués

On distingue trois architectures différentes les unes des autres de systèmes d’aide à la décision de groupe distribués.

- Les architectures centralisées
- Les architectures décentralisées
- Les architectures hybrides

## 11. L'architecture centralisée

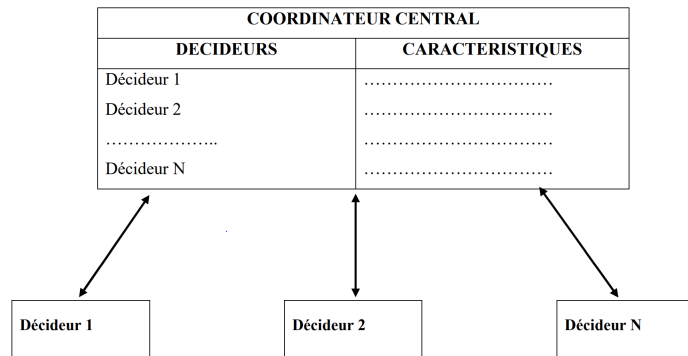


FIGURE 1.7 – Architecture centralisée [Adla, 10]

Dans ce type d'architecture une hiérarchie est imposée. Tous les composants (participants) transmettent leurs informations à une entité supérieure (le coordinateur centrale).

## 12. L'architecture décentralisée

Dans ce type d'architecture chaque composant est autonome. Il n'y a aucune hiérarchisation (figure 7).

Les GDSS distribués décentralisés sont en opposition avec les GDSS à architecture centralisées.

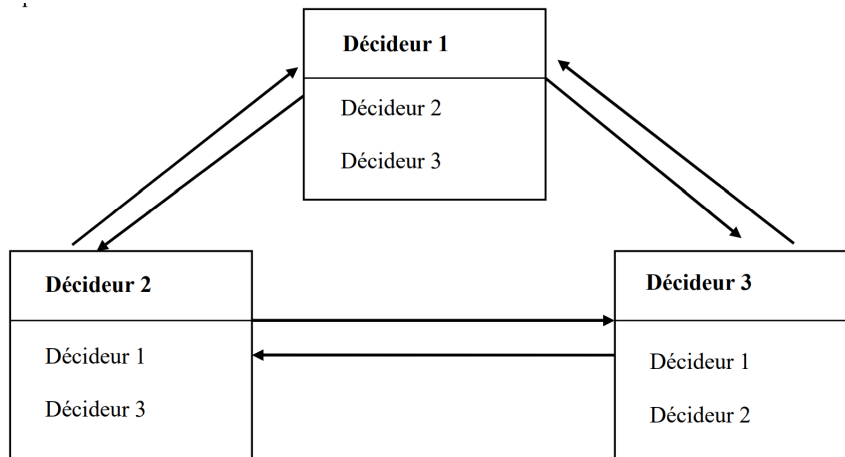


FIGURE 1.8 – Architecture décentralisée [Adla, 10]

### 13. L'architecture hybride

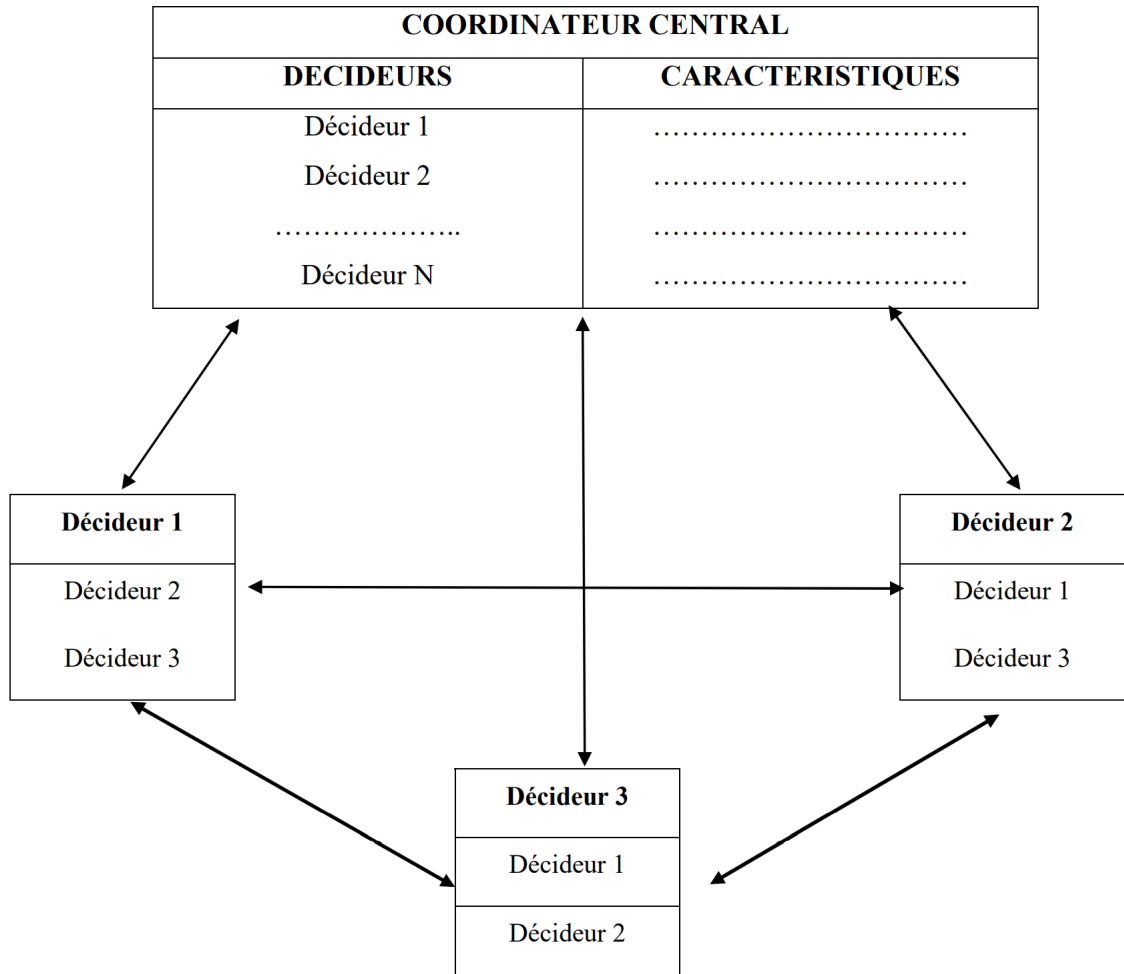


FIGURE 1.9 – Architecture hybride[Adla, 10]

Comme son nom l'indique, l'architecture hybride est un mélange des deux architectures. On y retrouve une entité supérieure et hiérarchique qui collecte les données des autres entités qui fonctionnent indépendamment de l'entité supérieure.

### 2. Les avantages des GDSS

Les systèmes d'aide à la décision de groupe présentent beaucoup de points positifs parmi lesquels nous pouvons citer :

- L'amélioration, la participation et la compréhension du problème traité ainsi que la réduction des conflits interpersonnels contre productifs[Miranda]
- Les GDSS réduisent le temps de travail car les participants peuvent travailler simultanément. Le travail se fait en parallèle entre les différents participants.
- L'anonymat, car toute suggestions d'alternatives d'idées ou de commentaire reste anonyme. Les participants se sentent libres car ils n'ont aucune pression des autres membres du groupe. Ils peuvent ainsi librement élaborer et exprimer leurs opinions.

- 
- L'évaluation des alternatives peut également être plus objective avec l'utilisation des GDSS.
  - Les GDSS permettent d'éliminer la domination très grande de certains membres du groupe[Mandouri,11]

### **3. Les limites des GDSS**

Malgré leur multiples avantages , les GDSS pressentent néanmoins quelques points faibles(inconvénients).Ainsi de nombreuses études ont prouvé que l'utilisation des GDSS n'a aucun lien significatif avec l'augmentation des performances du travail de groupe [Pinsonneault ][Miranda].

Pour certains les GDSS se limitent uniquement à l'amélioration de la qualité de la décision et à la facilitation de la création des idées mais n'accordent pas beaucoup d'importance à l'amélioration de la satisfaction des différents participants.

## **X. Conclusion**

La prise de décision est étape importante dans le processus de toute organisation.Chaque individu et chaque organisation a le devoir de bien s'organiser afin de prendre les décisions les plus adéquates.

La prise de décision est un phénomène complexe et difficile à cerner.

Dans ce chapitre nous avons dans un premier temps défini ce qu'est la décision ainsi que l'aide à la décision.

Ensuite nous avons défini et classifié les différents types de décisions à travers ceci nous avons introduit le concept du processus de prise de décision de groupe ce qui nous a permis de faire un bref résumé des systèmes d'aide à la décision(SIAD) et d'aide à la décision de groupe(Group Decision Support System).Nous avons vu qu'il existe plusieurs types de GDSS , les avantages ainsi que les limites de ces derniers.

# Chapitre 2

## Analyse multicritere

### I. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons appris l'importance des prises de décision au sein de toute organisation. Cependant la majorité des décisions sont prises grâce un seul critère qui, la plupart des cas pour les entreprises ce critère est financier. Il existe en effet pour cela de nombreuses fonctions mathématiques qui permettent de modéliser ce genre de problématique.

Avec la mondialisation, la plupart des décisions sont multicritères, les prises de décision ne se font plus au travers d'un critère unique mais plusieurs critères sont choisis pour rentrer en jeu dans le mécanisme du processus de prise de décision. Or, il est très difficile d'opter pour une fonction ou un algorithme pour ce genre de prise de décision multicritère. D'où la problématique de l'approche multicritere et le choix d'un facilitateur (coordinateur)

L'analyse multicritere qui sera traitée dans ce chapitre est caractérisée par une sélection de la meilleure alternative choisie dans un ensemble d'alternatives par rapport à un critère bien défini.

#### 1. Définition

L'analyse multicritere est une technique, méthode qui permet de comprendre, d'analyser des problèmes complexes qui comportent plusieurs objectifs le plus souvent contradictoires.

[Vincke,89] l'a définît comme *«une approche constructive visant à à fournir des outils permettant à progresser dans la résolution d'un problème ou plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte»* [Mandouri,11].

#### 11. Qu'est ce qu'un critère

Un critère est principe, un élément de référence qui permet de juger, apprécier, estimer ou de définir un objet. Un critère est une conception permettant de comparer et d'évaluer des actions potentielles selon un point de vue défini.

*«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»* [Scharlig,85]

Un critère est «une fonction  $g$ , définie dans un ensemble  $A$  prenant ces valeurs dans un ensemble totalement ordonné et représentant les préférences du décideur selon un certain point de vue» [Alnafie,16] Pour [Mandouri,11], le choix d'un critère passe obligatoirement par trois les facteurs suivant :

- L'exhaustivité
- La cohérence
- L'indépendance

## 2. Typologie de critère

Il existe deux grandes catégorie de critères : Le monocritarisme et le multicritarisme

### 21. Le paradigme monocritere

Toute problématique de la forme :

$$Opt f(x) \quad /x \in A$$

est un paradigme monocritère ou  $A$  représente l'ensemble des solutions possibles.

$f(x)$  est la fonction de préférence .Pour tous  $x$  appartenant à l'ensemble  $A$  , $f(x)$  est un nombre réel qui doit être maximisé ou minimisé.

Le paradigme monocritère est donc une optimisation.Ce type de problème mathématique est clairement adapté aux configurations de prise de décision à critère unique dans lesquels il suffira de soit maximiser ou minimiser la fonction  $f(x)$ .

Pour [Scharlig,85] , ce type de paradigme est idéal aux pour les traitements de certains problèmes particuliers mais, pressentent des limites dans les situations ou le facteur humain rentre en jeu.

### 22. Propriétés du paradigme monocritère

$$Opt f(x) \quad /x \in A$$

Ce problème monocritere possède plusieurs propriétés :

- Propriété 1 :Problème posé

La solution optimale  $x'$  qui sera soumis au decideur pour validation puisqu'il n'existe aucune autre solution optimale qui soit meilleure que  $x'$

$$f(x') \geq f(x), \quad x \in A$$

- Propriété 2 :relation de dominance  $f(x)$  permet de faire la différence entre toutes les actions de l'ensemble  $A$ .Une relation de dominance(I,P) est alors prouvée entre tous couple d'actions a et b.

$$\begin{cases} f(a) > f(b) \Rightarrow aPb \\ f(a) = f(b) \Rightarrow aIb \\ f(a) < f(b) \Rightarrow aRb \end{cases}$$

Où P désigne la Préférence et I l'indifférence.

- Propriété 3 : Pré-ordre complet La relation(I,P) permet de ranger les actions par ordre,de la moins bonne action à celle qui a beaucoup d'importance(plus bonne ac-

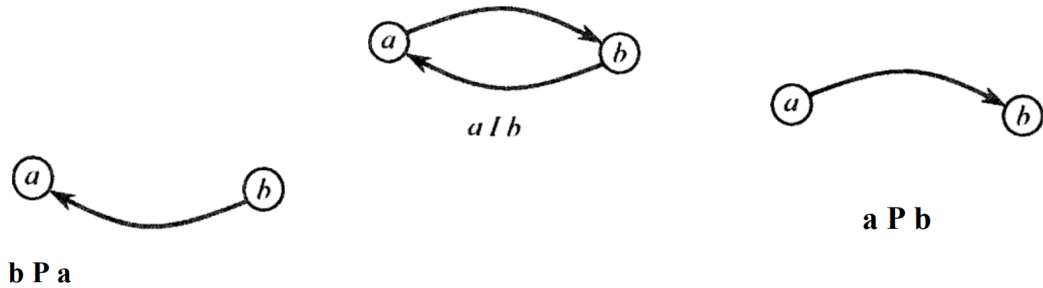


FIGURE 2.1 – Relation de dominance entre deux actions a et b

tion).Ceci permet au décideur de faire un tri plus facilement.

— Propriété 4 :La transitivité Les relation entre I et P sont transitives.

$$\begin{cases} aPb, bPc \Rightarrow aPc \\ aIb, bPc \Rightarrow aIc \end{cases}$$

### 3. Le paradigme multicritere

Le paradigme multicritere s’annonce comme suit :

$$Max f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \quad x \in A$$

Où  $f_j(x)$  avec  $j = 1, 2, 3, \dots, j$  des applications directs de A sur l’ensemble des nombres réels.et  $j$  est l’ensemble des critères.

#### 31. Définition du paradigme multicritère

[Bernard Roy,85] défini le paradigme multiritere comme «un nouveau schéma de pensée pour comprendre ou agir sur un système de telle sorte que :

- Plusieurs critères sont à l’œuvre pour conduire le système
- Les critères sont conflictuels
- L’existence des compromis a pour but de conférer aux critères des valeurs compatibles avec une certaine forme d’équilibre»

#### 32. Propriétés du paradigme multicritere

Le paradigme multicritère dispose de quatre propriétés qui sont :

Propriété 1 :Problème mal posé

Contrairement au paradigme monocritere il n’existe pas de solution optimale  $x'$  pour la résolution des problème.On ne peut en aucun cas trouver une fonction mathématique de telle sorte que :

$$f_j(x') \geq f_j(x), \forall x \in A, \forall j = 1, 2, \dots, k$$

Il s’agit alors d’un problème mathématique sans solution ou problème mal posé.

Dans ce genre de cas , la seule solution optimale sera issue d’un compromis et elle sera soumis au décideur.



---

Propriété 2 :Relation de dominance(I,P,R)

Les différents critères définis dans l'ensemble  $K$ , permet d'établir une relation de dominance pour tous couple de critère. Ainsi nous avons :

$$aPb \Rightarrow \begin{cases} f_j(a) \geq f_j(b), \forall j = 1, 2, \dots, k \\ \exists h : f_h(a) > f_h(b) \end{cases}$$

$$aIb \Rightarrow \begin{cases} f_j(a) = f_j(b), \forall j = 1, 2, \dots, k \end{cases}$$

$$aRb \Rightarrow \begin{cases} \exists h : f_h(a) > f_h(b) \exists h' : f_{h'}(a) < f_{h'}(b) \end{cases}$$

Où P désigne la Préférence, I l'indifférence et R l'incomparabilité.

Propriété 3 : L'efficacité

Une solution  $x \in A$  est appelée efficace ou pareto-optimale si elle est la seule qui domine (elle n'est dominée par aucune autre solution). On désigne par  $E$  l'ensemble des solutions efficaces. Propriété 4 : La transitivité

A

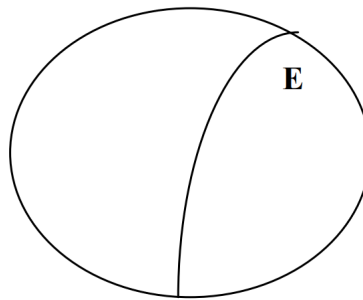


FIGURE 2.2 – Ensemble de solutions efficaces

## II. L'aide à la décision multicritères

L'aide à la décision multicritère a vu le jour grâce aux nombreux inconvénients que représentent les prises de décisions sur les problèmes unicritère qui se basaient uniquement sur l'aspect économique pour trancher entre les différentes alternatives. Or, les problèmes à critères uniques bien qu'ayant des solutions mathématiques bien posées ne reflètent pas toujours la réalité. Ils sont difficilement modélisables et pratiquement impossibles à comparer entre eux. Dans le cas où une solution satisfaisante existe celle-ci est malheureusement dans la plupart des cas non optimale.

C'est ainsi que pour l'évaluation globale d'un problème, il est nécessaire de le décomposer en structurant l'ensemble des critères d'évaluations grâce à l'approche multicritères.

[Pomerol, 93] stipule que « l'approche multicritère d'aide à la décision permet de pallier aux restrictions que pose le problème du critère unique en augmentant le niveau de réalisme et de lisibilité ».

Pour [Phillipe Vincke, 89], l'aide à la décision multicritère « vise à fournir à un des outils lui permettant de progresser dans la résolution du problème de décision à plusieurs points de vue (critères) souvent contradictoires ».

L'aide à la décision multicritère a pour principal objectif d'apporter des solutions et d'éclairer les décideurs sur les problèmes qui ont plusieurs critères qualitatifs et ou quantitatifs, des critères hétérogènes de nature conflictuels.

---

## 1. Nature des problèmes multicritères

La plupart des problèmes multicritères sont généralement classifiés selon deux critères [Othmani I,98].

### 11. La nature des conséquences

La classification des problèmes selon la nature des conséquences modélisées au préalable. Ces conséquences peuvent être :

- déterministes, floues
- réversibles, lourdes ou irréversibles

### 12. La nature de l'ensemble des alternatives

La nature de l'ensemble des alternatives peut être :

- explicite c'est à dire avec un nombre déterminé (fini) d'alternatives
- ou implicite ; dans ce cas de figure, le nombre d'alternatives est infini

## 2. Définitions et terminologies

### 21. Action

Une action est un fait, une faculté d'agir, de manifestation d'une volonté d'accomplir quelque chose. Elle représente un élément de solution qui contribue à la décision. Une action peut être définie comme un processus visant à modifier le comportement ou l'état d'un système [Roy B,85].

Lorsqu'une action est exclusive elle est alors appelée alternative.

### 22. Action Potentielle

Une action potentielle est une action qui a de fortes chances d'être réalisée au cours du processus de prise de décision. L'ensemble des actions potentielles est noté  $A$  [Roy B,85]

### 23. Contraintes

Une contrainte représente une exigence, un but qui doit être forcément atteint.

## III. Problème multicritère

Un problème multicritère est une situation de prise de décision qui nécessite la présence de plusieurs critères très souvent contradictoires et conflictuels.

Un problème de décision multicritère est une situation où, ayant défini un ensemble  $A$  d'alternatives (actions), une famille  $F$  de critères sur  $A$ , on désire [Vincke P,89] :

- Soit de partitionner  $A$  en un sous ensemble suivant des normes (problème de tri)
- Soit de déterminer un sous ensemble d'actions considérées comme les meilleures vis à vis de  $F$  (problème de choix)
- Soit de ranger les actions de  $A$  de la plus bonne (meilleure) à la moins bonne (mauvaise) (problème de rangement)

---

## IV. Difficultés des problèmes multicritères

La principale caractéristique des problèmes multicritères est que ces derniers ne permettent pas de trouver une solution objective, car ils sont de nature complexe, et difficile à maîtriser. C'est à dire que ces problèmes sont mal posés et qu'aucune fonction mathématique ne permet de valider une solution pour ce genre de problématique.

La résolution des problèmes multicritères ne consiste en aucun cas de trouver une solution objective et optimale, mais elle consiste à aider le décideur à comprendre, analyser et maîtriser le problème auquel il fait face en envisager une solution. Cette solution proviendra à la suite d'un compromis et dépend fortement de la nature du décideur (son comportement, son tempérament...), et des conditions dans lesquels l'on arrive au compromis.

Tous ceci rend les problèmes multicritères relativement difficiles à cerner car leur résolution est en contradiction avec les méthodologies des scientifiques habituées à résoudre des problèmes grâce à des méthodes claires et précises qui ne dépendent pas d'eux.

## V. Démarches multicritères

Il existe énormément de démarches de résolution des problèmes multicritères les unes différentes des autres. Chaque démarche met l'accent sur un aspect particulier d'un problème et tente de trouver une solution. Chaque démarche a ses avantages et ses inconvénients.

### 1. Les démarches du bas vers le haut "Bottom-up"

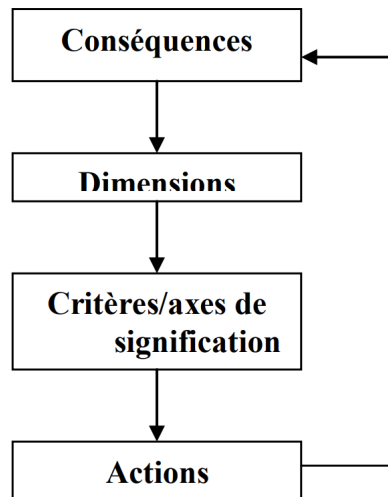


FIGURE 2.3 – Démarches multicritère "Bottom-up" [Kenney.R,92]

Les démarches multicritères du bas vers le haut mettent plus l'accent sur les conséquences qu'auront la prise des décisions. (figure 3)

«Elles consistent à identifier toutes les conséquences pouvant résulter de la mise en œuvre des actions» [Roy.B,85]

---

## 2. Démarches multicritères du bas vers le haut "top-down"

Ces démarches se basent sur la décomposition en niveau hiérarchiques ordonné du plus niveau le plus bas au plus haut.

Pour [Keeney,92]«La démarche "top-down" consiste à construire une structure hiérarchique ayant à son premier niveau l'objectif global qui est éclaté en sous objectifs jusqu'à l'obtention d'un niveau mesurable que l'on qualifie d'attribut»(figure 4)

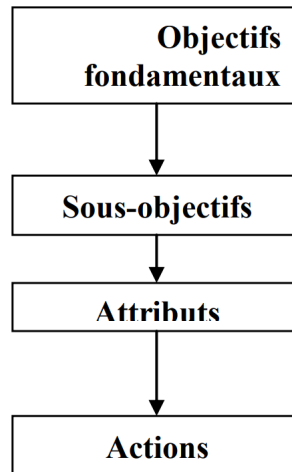


FIGURE 2.4 – Démarche "top-down" [Roy.B,85]

## 3. Démarches intermédiaires

La démarche intermédiaire combine les deux premières démarches.

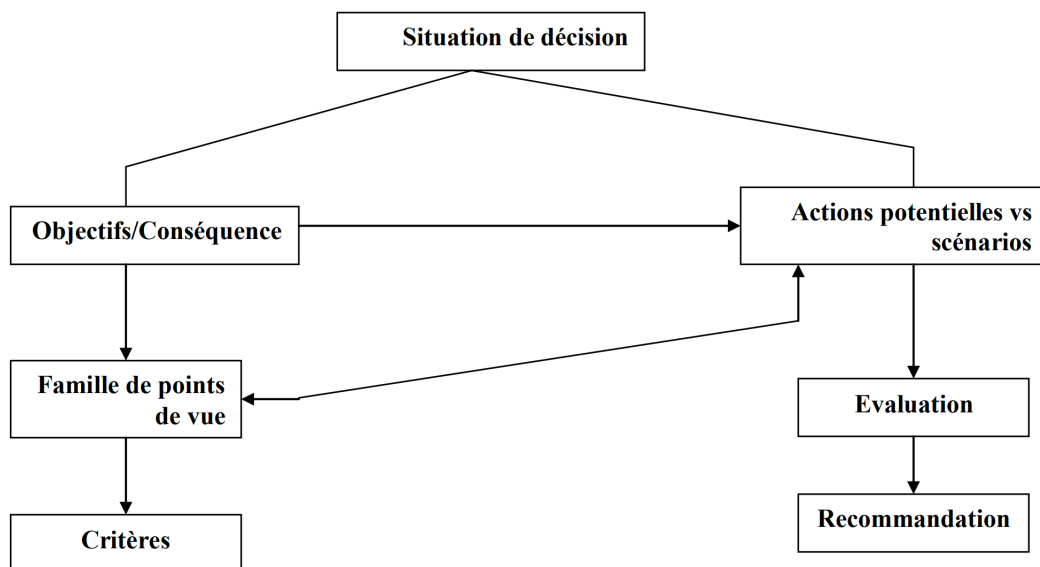


FIGURE 2.5 – Démarches intermédiaire

«Partant d'une situation quelconque il y a lieu de tenter de dégager dès le départ les objectifs qu'on cherche à atteindre en tenant compte de ces objectifs, et des points

de vue. Les objectifs ainsi dégager permettraient les actions (globales) ou des scénarios (ensembles d'actions fragmentées). Une fois l'étape d'évaluation terminée on procédera à une étape d'investigation.» (figure 5) [Laaribi.A,00]

## VI. Les étapes d'aide à la décision multicritères

Pour [Sebastien .B,04] l'aide à la décision multicritère est une démarche en trois étapes.

### 1. Étape d'identification des alternatives potentielles

Cette étape permet d'identifier toutes les alternatives et construire l'ensemble  $A$  des alternatives potentielles. Cette étape ne converge pratiquement pas car à tout instant une alternative peut apparaître et une autre disparaître.

### 2. Étape de modélisation des préférences du décideur

Au cours de cette étape des comparaisons sont effectuées entre toutes les alternatives. Deux alternatives sont comparées entre elles grâce à un critère. Un critère est une fonction  $C$  réelle, définie sur l'ensemble des alternatives  $A$ . Ainsi deux actions potentielles  $a_1$  et  $a_2$  peuvent être comparées grâce au réel  $Ca_1$  et  $Ca_2$ . En fonction de la nature du critère et de son importance on peut lui attribuer un poids.

A l'issue de cette étape le décideur peut modéliser un tableau de préférence dans lequel chaque critère sera évalué.

Dans le tableau à plusieurs entrées les critères sont dans les colonnes et les alternatives sur les lignes. La case  $C_j(a_i)$  donne la performance du  $a_i$  selon le critère  $C_j$

		Critères					
		$C_1()$	$C_2()$	...	$C_j()$	...	$C_k()$
Alternatives	$a_1$						
	$a_2$						
	...						
	$a_i$						
	...						
	$a_n$						
		$w_1$	$w_2$	...	$w_i$	...	$w_k$
		Poids					

TABLE 2.1 – Tableau d'évaluation alternatives/critères

### 3. Étape de la procédure d'agrégation

La procédure d'agrégation permet de s'appuyer sur le tableau des alternatives (tableau 2.1) afin de répondre à la problématique posée.

---

## VII. Les problématiques multicritères

La problématique désigne un fait qui pose un problème, qui est difficile à résoudre. Elle peut être définie aussi comme un ensemble de problèmes se posant à un sujet bien déterminé.

[Roy .B,85] la détermine comme «étant une orientation de l'investigation que l'on adopte pour un problème de décision donné. Elle exprime aussi les termes dans lesquels le décideur pose le problème et traduit le type de prescription (résultat) qu'il souhaite obtenir.»

On distingue 4 types de problématiques multicritères qui sont :

### 1. La problématique du choix ( $P.\alpha$ )

La problématique du choix consiste à procéder à la sélection de la meilleure solution possible. Il s'agit de la problématique classique. Ici le problème est posé en terme du meilleur choix. L'objectif ultime consiste à élaborer un sous ensemble  $A'$  de  $A$ .

### 2. La problématique du tri ( $P.\beta$ )

La problématique du tri ( $P.\beta$ ) consiste à poser le problème en terme de tri et élaborer une procédure d'affectation. Les actions sont triées par catégories. Cette problématique consiste en l'élaboration soit de la préconisation de l'acceptation ou rejet de certaines actions de  $A$ , soit à l'adoption d'une méthodologie de tri.

### 3. La problématique du rangement ( $P.\gamma$ )

La problématique de rangement consiste à poser le problème en terme de rangement des actions selon un ordre de classement décroissant ou en une procédure de rangement. Cette problématique vise à présenter soit un ordre partiel ou complet portant sur des classements regroupant des actions de  $A$ , soit à proposer l'adoption d'une méthodologie fondée sur une procédure de classement.

### 4. La problématique de la description ( $P.\delta$ )

Elle consiste à poser le problème à une description des actions de  $A$  et/ou de leurs conséquences. Elle consiste soit à présenter une description systématique et formalisée des actions de  $A$  et de leurs conséquences, soit à proposer l'adoption d'une méthodologie fondée sur procédure cognitive.

Problématique	Objectif	Résultat
$P\alpha$	Eclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix finale d'une seule action, ce sous-ensemble contenant des « meilleurs » actions (optimaux) ou, à défaut, des actions « satisfaisantes ».	Un choix ou une procédure de sélection.
$P\beta$	Eclairer la décision par un tri résultant une affectation de chaque action à une catégorie étant définies a priori en fonction de normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un tri ou une procédure d'affectation.
$P\gamma$	Eclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tous ou partie (les « plus satisfaisantes ») des actions en en classes d'équivalence, ces classe étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement.
$P\delta$	Eclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences.	Une description ou une procédure cognitive.

FIGURE 2.6 – Les problématiques multicritères

## VIII. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé le thème de l'analyse multicritère. L'analyse multicritère a pour but de permettre au décideur de trouver un chemin pour la prise d'une solution meilleure optimale. Cette solution bien qu'optimale n'est pas forcément la meilleure en raison du caractère indécis des problèmes multicritères qui sont difficiles à traiter.

# Chapitre 3

## Les méthodes d'analyse multicritere

### I. Introduction

Dans ce chapitre nous allons décrire quelques méthodes d'analyse multicritere.

Dans un premier temps nous allons décrire la méthode Delphi qui a vu le jour dans les années 1960 et qui a pour but principal de permettre les travaux à distance et coordonnés par un facilitateur. Delphi permet de rassembler les idées et commentaires des différents décideurs à travers une série itérative de questionnaires. Nous verrons les avantages ainsi que les limites de cette méthode. L'utilisation de la méthode dans notre travail nous permettra de faire le choix des critères à travers lesquels le choix du coordinateur sera effectué.

Ensuite la méthode d'analyse multicritère que nous allons décrire est l'analyse hiérarchique des procédés ou AHP qui est une méthode d'aide à la décision multicritere qui a été conçue dans les années 1970 afin d'aider les décideurs à trouver des solutions aux problèmes multicriteres qui deviennent de plus en plus complexes et difficiles à traiter.

AHP dans notre travail sera utilisé dans le but d'attribuer une pondération (Poids) à nos différents critères.

La troisième et dernière méthode que nous allons décrire est la méthode PROMETHEE plus particulièrement PROMETHEE GDSS qui permet à un groupe de décideur d'arriver à travers une itération de 11 étapes regroupées en trois 3 phases à une solution optimale d'un problème multicritere.

Grâce à PROMETHEE nous allons pouvoir classer les critères ainsi que les actions à travers le classement partiel et global des alternatives.

### II. Définition

Pour [Vincke .P,89], l'aide à l'analyse multicritère : «Vise à fournir comme son nom l'indique à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution du problème de décision multicritere dans lequel les critères sont souvent contradictoires» L'aide à la décision multicritere a pour objectif d'apporter des éclairages et des explications à une catégorie de problèmes dans lesquels :

— Plusieurs critères quantitatifs et qualitatifs sont pris en considération; ces critères



- 
- sont souvent hétérogènes
- Ces critères sont dans la majorités contradictoires
  - Les critères sont d'inégales importances(ils n'ont pas les mêmes poids)
- L'intérêt des méthodes d'analyses multicriteres est le choix entre les différents critères conflictuels pour aboutir à une ou plusieurs solutions qui simplifierons le processus décisionnel.
- Il existe de nombreux méthodes d'analyse multicriteres les unes différentes des autres dont :les méthodes PROMETHEE,AHPE,ELECTRE...

### **III. Les méthodes multicritères**

Il existe plusieurs méthodes multicritères d'aide à la décision.  
[Roy,85] les a représenté dans trois principales catégories qui sont différentes les unes des autres.

#### **1. Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse**

Les méthodes qui appartiennent à cette catégorie sont généralement appelées méthodes d'agrégation complète.Elles consiste à agréger l'ensemble de critères de telle sorte qu'on obtienne une fonction critère unique qui synthétise cet ensemble.Cette fonction qu'il faudra optimiser ,agrège les préférences locales au niveau de chaque critère.  
Ceci revient à transformer un problème multicritere en un problème monocritere[Scharlig,85].

#### **2. Méthodes de surclassement selon l'approche du surclassement de synthèse**

A l'inverse des méthodes d'agrégation complète cette méthode accepte l'incomparabilité entre les différentes actions.Les méthodes appartenant a cette catégories sont appelées les méthodes d'agrégation partielle.Dans cette catégorie de méthodes , les actions sont comparées deux à deux(par paires) pour pouvoir vérifier l'existence ou non d'une relation de surclassement.

A la fin de l'opération de comparaison, une synthèse de l'ensemble des relations binaires est élaborée afin d'apporter des éléments de réponse au problème posé.Ce type de méthodes ne s'applique qu'au cas où l'ensemble des actions est fini.

Parmi les méthodes de surclassement on peut citer **ELECTRE**de Roy et **PROMETHEE** de Brans.

#### **3. Méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif**

La troisième catégorie de méthodes multicriteres, les méthodes interactives est également appelée méthodes d'agrégation locale et itérative.Ces méthodes procèdent en premier lieu par la détermination d'une solution de départ.Ensuite , elles effectuent une recherche dans l'environnement de la solution déterminée afin d'aboutir à une solution (un meilleur résultat).Ainsi ,elles permettront au décideur de modéliser ces préférences de manière séquentielle et itérative.

---

## IV. La méthode Delphi

La méthode Delphi est un outil standard d'enquêtes qui a été conçu aux États Unies dans les années 1960 dans le but de permettre le travail à distance entre plusieurs participants et coordonné par un facilitateur(coordonateur) qui centralise et traite les différentes informations.

«Elle consiste en un processus itératif permettant une présentation anonyme d'un ensemble de jugements émanant de personnes informées, jugements qui sont ensuite soumis à réévaluation.»[Delbecq,86].

«Elle permet le travail à distance, sans réunion entre les différents participants. Le travail se fait à correspondance»[Delbecq,86]

La méthode a pour but principal de rassembler plusieurs avis des différents acteurs, participants(experts) sur un sujet donné, de mettre en évidence des convergences d'opinions et de relever par la suite un consensus. Pour arriver à cette finalité Delphi a la particularité de poser une série de questions à un cercle de personnes plusieurs fois.

### 1. Les acteurs intervenant dans Delphi

Il existe deux principaux acteurs intervenant dans l'élaboration du processus Delphi. Il s'agit des analystes et des experts.

Les analystes sont chargés d'organiser le dispositif Delphi, c'est à dire il permet de sélectionner les experts, de rédiger les versions successives de questionnaires, d'analyser et d'exploiter les résultats obtenus.

Les experts sont les personnes qui seront consultées durant le processus de Delphi.

Le nombre d'experts n'est pas figé, il dépend du type de la problématique mais il est important de miser sur la qualité que sur la quantité du moment où la méthode Delphi est relativement lente.

Le choix des experts doit tenir compte :

- De leur connaissance du problème
- La disponibilité durant le processus Delphi
- Indépendance vis à vis de certains facteurs politiques, commerciales, sociales ou autres...

### 2. Les avantages de méthode Delphi

La méthode Delphi présente de nombreux avantages qui lui ont permis d'être toujours d'actualité, d'être l'une des méthodes les plus utilisées dans les processus de prise de décision de groupe. à travers le monde

Parmi ces avantages l'on peut citer :

- La méthode Delphi permet de garantir l'anonymat de tous les participants ainsi, les acteurs du processus de prises de décision se sentent libre de donner leurs avis, opinions
- Delphi est un processus itératif
- Elle permet un feedback continu auprès des participants
- Un traitement statique des réponses
- Delphi permet surtout le processus de prise de décision de groupe même dans les cas où les différents acteurs du processus ne peuvent se réunir physiquement à cause des

- 
- contraintes comme la distance géographique par exemple.
  - Avec Delphi on a la certitude d'arriver à un consensus à la fin.
  - La méthode Delphi favorise la convergence d'opinions autour des centrales d'un problème.
  - a méthode Delphi aide à structurer une communication de groupe, de sorte que le processus soit efficace en permettant à un groupe d'individus de traiter un problème complexe.[IIASA]

La méthode Delphi permet de générer des consensus raisonnés qui pourront servir à légitimer certaines décisions futures à prendre sur un projet. Elle permet de collecter une information riche, notamment au niveau des déviances, qui sont parfois plus intéressantes que la norme. Elle peut être appliquée dans des domaines très variés (gestion, économie, technique, sciences sociales, sciences humaines, etc.). Elle ouvre parfois sur des perspectives ou des hypothèses non envisagées par les analystes.

### **3. Les inconvénients de la méthode Delphi**

Bien qu'ayant de nombreux avantages permettant le processus de décision la méthode Delphi présentent des inconvénients.Ces inconvénients sont :

- La méthode Delphi du point de vue pratique est très lourde à mettre en pratique, elle est longue,couteuse et fastidieuse.
- Delphi au lieu d'être relationnelle est plutôt intuitive
- Avec la méthode Delphi, les experts sont beaucoup plus sollicités ce qui provoquera une lassitude ou une déconcentration chez certains.
- La lenteur de la méthode ;puisque'il n'existe pas un délai imparti comme pour les réunions traditionnelles certains experts transmettent le résultat des questionnaires tardivement ce qui ralentit considérablement le processus.
- Du point de vue méthodologique,la recherche pure et simple d'un consensus seule ne peut donner une bonne analyse.
- Dans le déroulement de la méthode Delphi, seul les experts qui sortent de la norme , qui n'ont pas le même avis que la majorité doivent expliquer justifier leur positions or l'avis de la majorité n'est pas forcément le meilleur choix.En d'autres terme l'abandon des avis minoritaires est un défaut de la méthode Delphi.

### **4. Le déroulement de la méthode Delphi**

Selon le travail fournit par l'IIASA(International Institute For Applied systems Analysis)«La méthode Delphi se compose d'une série d'interrogations itératives d'un groupe d'individus dont les avis ou les jugements sont d'intérêt. Après l'interrogation initiale de chaque individu, les retours sont ensuite synthétisés et renvoyés aux experts. C'est un processus itératif. L'expert est ainsi encouragé à reconsidérer et, si approprié, à changer sa réponse précédente à la lumière des réponses des autres membres du groupe»

- Le coordinateur (facilitateur) envoie un premier questionnaire aux experts sélectionnés en expliquant le problème et son contexte.
- Chaque membre émet ses suggestions et les solutions de manière anonyme.
- Le coordinateur synthétise les réponses et idées de chaque membre, et intègre les idées et les solutions de chacun dans une liste qui leur est renvoyée.
- Chaque membre classe les idées et les solutions de la liste intégrée.

- 
- Les étapes 3 et 4 sont répétées plusieurs fois jusqu'à ce qu'un consensus émerge et qu'on parvienne à une décision claire.

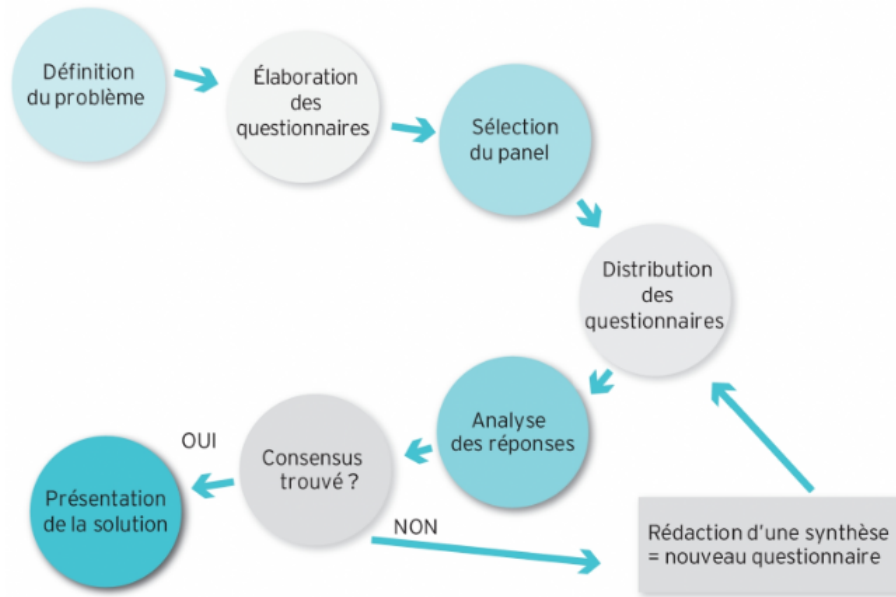


FIGURE 3.1 – Le processus de la méthode Delphi

## 5. Méthodologie et conseils

Afin de bien mettre en œuvre la méthode Delphi il est indispensable de suivre les recommandations suivantes :

- Définir clairement de manière précise l'objet(le problème , les questions relatives au problème..) sur lequel portera la méthode
- Faire le choix des experts qui vont apporter leurs expertises pour la bonne conduite de la méthode.
- Élaborer un questionnaire qui contiendra des questions claires précises et qui cibleront directement l'objet.
- Administrer le questionnaire aux différents experts choisis en amont.

## 6. Discussion

La méthode Delphi est une technique qui présente de nombreux avantages qui permettent de mettre en place la prise de décision collective et cela même lorsque l'on se trouve dans des situations où les experts ne peuvent se réunir. Cependant on a constaté qu'elle peut souvent être lourde à mettre en place et lente aussi. Elle ne permet pas aussi aux participants d'exploiter et de justifier leurs idées , les participants sont trop sollicités.

---

## V. La méthode AHP

### 1. Introduction

Analyse hiérarchique des procédés en anglais Analytical Hierarchy Process (AHP) est une méthode d'analyse d'aide à la décision multicritère créé dans les années 1970 par le mathématicien **Thomas Saaty**.

L'AHP est préconisée pour résoudre des problèmes complexes avec une décision multicritères. La force de cette approche [Al-Harbi,01],[Skibniewski et al, 92] est qu'elle organise les facteurs de manière structurée tout en donnant une solution relativement simple pour les problèmes de prise de décision. Elle permet de décortiquer un problème d'une manière logique en passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur jusqu'à parvenir à une comparaison simple pour chaque paire de critères, par la suite on peut remonter au niveau supérieur pour la prise de décision [MAKREM BEN JEDDOU,15 ].

AHP consiste en une décomposition des problèmes multicritère en systèmes hiérarchique. Elle permet de faire la comparaison et le choix entre plusieurs options préétablie. AHP a été élaborer dans le but de simplifier , structurer et analyser les problèmes complexes et non structurés [Ratih Kartika Dewi,19]. AHP est un modèle hiérarchique fonctionnel avec la perception de l'humain comme principal entrant. AHP est basée sur trois principaux principes a savoir :

- La structuration hiérarchique
- L'établissement, la structuration des priorités
- La cohérence logique

### 2. Les différents étapes de la méthodes AHP

La méthode AHP est effectuée suivants quatre étapes qui sont :

#### 21. Étape 1 : Décomposer le problème en une structure hiérarchique

L'application de la méthode AHP commence d'abord par la décomposition du problème en une hiérarchie de critères afin d'être plus facilement analysé et comparé de manière indépendante. Cette hiérarchisation permettra aux différents décideurs de mieux évaluer les alternatives en faisant des comparaisons par paires pour chacun des critères choisis. [Saaty,08]

Cette première étape a pour but de :

- Définir l'objectif (niveau 0)
- Définir les critères de décision (niveau 1)
- Le dernier niveau de la hiérarchie comprendra les différentes alternatives choisies au préalable (niveau 2).

#### 22. Étape 2 : Effectuer les combinaisons binaires niveau par niveau

La structuration des priorités consiste en la création d'un couplage de comparaison matricielle rempli de nombres considérés comme l'importance relative entre les éléments.

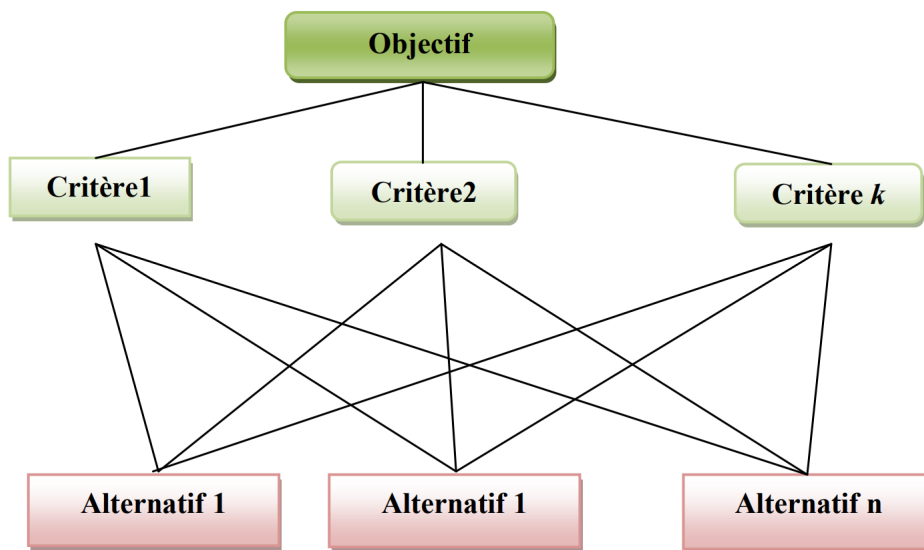


FIGURE 3.2 – Structuration hiérarchique

Dans la méthode AHP, l'importance relative ou le poids des critères sont déterminés après consultation des experts ou bien l'organisation d'entretiens ou réunions de groupe. Une comparaison par paires des critères est alors effectuée en utilisant une approche d'évaluation qualitative ou quantitative. Généralement une échelle numérique à neuf (1...9) appelée échelle de Saaty (figure 4) est recommandée par cette comparaison.

L'objectif de la deuxième est de permettre :

- De comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie deux par deux, par rapport à l'élément du niveau supérieur.
- Les matrices de comparaison (figure 5) ainsi obtenues auront la propriété suivante :

$$a_{i,j} \leq 0, \quad a_{i,j} = \frac{1}{a_{j,i}}, \quad a_{i,i} = 1 \forall i$$

<i>Poids ou intensité de la comparaison</i>	<i>Jugement verbal de la préférence</i>
1	Même importance
3	Importance modérée
5	Forte importance
7	Très forte importance
9	Extrême importance ou importance absolue
2,4,6,8	Utilisés pour des jugements intermédiaires par rapport à ceux listés ci-dessus.

FIGURE 3.3 – Échelle Saaty

	Criterion 1	Criterion 2
Criterion 1	1	Numerical Rating
Criterion 2	1/Numerical Rating (Reciprocal)	1

FIGURE 3.4 – Matrice de comparaison de critère

### 23. Étape 3 : Déterminer les priorités

Cette étape permet de :

- Calculer l'importance relative de chacun des éléments de la hiérarchie à partir des évaluations obtenues de l'étape 2
- Détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteur propre

### 24. Étape 4 : Synthétiser les priorités

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

## 3. Avantages de AHP

Les principaux avantages de la méthode AHP sont :

- Structure hiérarchique : tri les éléments d'un problème dans différents niveaux et dans des groupes à caractéristiques similaires.
- Identification des priorités : permet de considérer la priorité relative de chaque critère pour ainsi obtenir le meilleur alternatif selon l'objectif identifié.
- La comparaison binaire des éléments (alternatives, critères, et sous critères)

### 31. Discussion

La méthode AHP est un outil important dans les prises de décisions multicritères. Avec AHP le problème est décomposé en plusieurs parties indépendantes afin de permettre au décideur de facilement cerner, maîtriser et analyser le sujet.

## VI. Les méthodes PROMETHEE

### 1. Introduction

La méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Methods for Enrichment Evaluation) a été proposée en 1982 par [Jean Pierre Brans, 82]. PROMETHEE fait partie de la famille des méthodes d'analyse multicritère de surclassement value pour lesquelles deux traitements mathématiques ont été proposés.

---

PROMETHEE est une méthode d'aide à la décision de groupe qui utilise l'agregation partielle. Cette methode est efficace dans le cas où le nombre d'alternatives à classer est fini.

La technique de PROMETHEE consiste en une comparaison des différents alternatives par paires, à vérifier si l'une des actions comparée à l'autre la surclasse de façon significative ou pas. «Le principe de la méthode PROMETHEE consiste à établir un processus de comparaison numérique de chaque action par rapport à toutes les autres actions. Ainsi il est possible de calculer le plus (mérite) ou le moins (démérite) de chaque action par rapport à toutes les autres. Le résultat de cette comparaison permet le classement ordonné des actions»[Jean Pierre Brans,82].

Les méthodes PROMETHEE comprennent PROMETHEE 1 qui permet de classer les actions selon un pré-ordre partiel, PROMETHEE 2 qui fournit un classement selon pré-ordre total, PROMETHEE 3 et PROMETHEE 4 qui permettent une optimisation sous contraintes , le système d'aide à la décision de groupe PROMETHEE GDSS ainsi que plusieurs autres expansions. Avec PROMETHEE GDSS , il est possible de traiter un problème mutlticritere dans lequel chaque décideur exprime ses propres critères afin d'obtenir un classement complet global des alternatives.

## **2. PROMETHEE GDSS**

PROMETHEE GDSS ou PROMETHEE d'aide à la décision de groupe est une famille de PROMETHEE qui permet de prendre en compte les préférences d'un groupe de décideurs.

PROMETHEE GDSS est un membre de la famille PROMETHEE qui a été développé dans le but de fournir une aide à la décision de groupe.

PROMETHEE GDSS permet de prendre en compte les préférences d'un groupe de décideur.

Le groupe de décideur dans un premier temps identifient les différentes alternatives et les différents critères d'évaluation. Ensuite un classement est effectué par chaque décideur de manière individuelle suivant les poids et les fonctions de préférences de chaque critères. A la fin, le travail (classement) de tous les décideurs est regroupé afin d'obtenir un classement global qui prend en compte les préférences de chaque décideur. [Mohammed Seddiki,17]

PROMETHEE GDSS comporte trois phases. La première étape où etape préliminaire a pour objectif de structurer le problème de décision de groupe sous forme de problème multicritere. Une étape individuelle permettra par la suite à chaque décideur d'exprimer ses préférences personnelles et d'analyser ses propres données à l'aide de la méthodologie d'analyse multicritere PROMETHEE. Enfin l'étape d'évaluation globale mettra en évidence les solutions de meilleur consensus.

### **21. Procédure de PROMETHEE GDSS**

PROMETHEE consiste en une itération de 11 étapes regroupées en trois 3 phases [Mareschal, B, Brans J.P,98].

- Phase 1 : Génération d'alternatives et de critères
- Phase 2 : Évaluation individuelle par chaque décideur
- Phase 3 : Évaluation globale par le groupe



---

## Phase 1 :Génération d’alternatives et de critères(étape préliminaire)

- Étape 1 : Premier contact facilitateur-décideurs.Au cours de la première étape la première réunion(contact) a lieu entre le facilitateur et les différents décideurs.La première prise de contact peut se faire entre le facilitateur et tous les décideurs ou bien entre le facilitateur et chacun des décideurs individuellement.Chaque décideur est alors informé des modalités ainsi que la problématique qui a nécessité la réunion.
- Étape 2 : Description du problème en présentiel dans la salle GDSS.C’est aussi l’occasion pour le facilitateur de présenter l’infrastructure informatique, la méthodologie PROMETHEE et aussi décrire de façon claire le problème aux décideurs.
- Étape 3 :Génération d’alternatives .Cette étape est une étape informatique durant laquelle les décideurs travaillent séparément, ici chaque décideur implémente les différentes alternatives possibles en insérant ses commentaires ainsi que la description de chaque alternative. A la fin de cette étape un nombre important d’alternatives

Alternative 1	
Description	Comments
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

FIGURE 3.5 – Exemple de génération d’alternatives

- est généré.
- Étape 4 :Ensemble stable d’alternatives :  
Toutes les alternatives proposées sont collectées et affichées par le coordinateur de manière anonyme ou pas, bien que l’anonymat est préféré par la majorité des facilitateurs.Ensuite , s’ouvre une discutée animée.Les alternatives jugées inintéressantes seront rejetées, de nouvelles alternatives intéressantes apparaissent, certaines alternatives sont combinées ,d’autres fusionnées,jusqu’à l’obtention d’un ensemble d’alternatives jugé stable.Cette étape s’arrête dès lors qu’un ensemble jugé stable d’alternatives est trouvé.
  - Étape 5 :Commentaire sur les alternatives  
Cette étape est aussi une étape totalement informatisée.Toutes les alternatives obtenues dans l’étape 4 sont transmises par le coordinateur sur les stations de tous les décideurs.Ainsi, chacun pourra émettre ses propres commentaires sur chaque alternative.A la fin tous les commentaires sont collectés par le facilitateur afin qu’aucune idée ne se perde.
  - Étape 6 : Critère d’évaluation :  
Après que le groupe de décideurs a collecté des informations sur les alternatives potentielles,la problématique du choix de la meilleure alternative se pose alors.Très souvent les différents décideurs ne peuvent s’accorder sur un seul choix car chacun

à ses préférences. Cette étape est contraignante pour les décideurs car d'une part le décideur est en conflit avec ses propres préférences à cause de la nature multicritère du problème, d'autre part les décideurs entre eux sont en contradictions perpétuelles. Pour aider les décideurs, PROMETHEE GDSS leur propose durant cette phase un débat ouvert dans lequel chacun donne son avis sur les critères comme pour l'étape 4. Tous les critères ainsi définis sont collectés par le coordinateur et présentés sous forme d'un tableau d'évaluation. Le tableau est ensuite envoyé à tous les décideurs. Chaque décideur doit remplir le tableau d'évaluation individuel. Il peut y avoir

Actions/Critères	$f_1(x)$	$f_2(x)$	...	$f_j(x)$	...	$f_k(x)$
$a_1$	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_j(a_1)$	...	$f_k(a_1)$
$a_2$	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_j(a_2)$	...	$f_k(a_2)$
...	...	...	...	...	...	...
$a_i$	$f_1(a_i)$	$f_2(a_i)$	...	$f_j(a_i)$	...	$f_k(a_i)$
...	...	...	...	...	...	...
$a_n$	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_j(a_n)$	...	$f_k(a_n)$

TABLE 3.1 – Tableau d'évaluation

des valeurs du tableau qui sont déjà pré-remplies par le coordinateur. Ces valeurs font suite à un accord objectif et global. Lorsqu'un décideur n'est pas convaincu par un critère, ce dernier peut tout simplement une pondération nulle à ce critère.

## Phase 2 : Évaluation individuelle par chaque décideur

Au cours de cette phase, les 7, 8 et 9 étapes du processus sont effectuées qui permettront d'évaluer les alternatives proposées.

— Étape 7 : Poids des critères :

Considérons :

$DM_r (r = 1, 2, \dots, R)$ , l'ensemble de tous les décideurs qui interviennent dans le processus de décision.

Le poids de chaque critère sera alors représenté sous la forme :

$W_k^r$  avec  $k$  l'ensemble des critères.

$$(W_1^r, W_2^r, W_j^r, \dots, W_k^r) \text{ tel que } \left( \sum_{j=1}^k W_j^r = 1 \right)$$

Lorsqu'un décideur considère qu'un critère est inutile pour lui, il attribue au critère de ce dernier un poids égal à zéro 0, cela signifie que ce critère n'apparaîtra pas dans son analyse personnelle.

— Étape 8 : La fonction de préférence Selon la procédure PROMETHEE GDSS, une fonction de préférence doit être associée à chaque critère pour des comparaisons par paire.

$$P_j(a, b) = G_j [f_j(a) - f_j(b)]$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1$$

Où  $P_j(a, b)$  est la fonction de préférence associée au critère  $f_j(\cdot)$ , et  $G_j(\cdot)$  est une fonction non décroissante de déviation entre  $f_j(a)$  et  $f_j(b)$ .

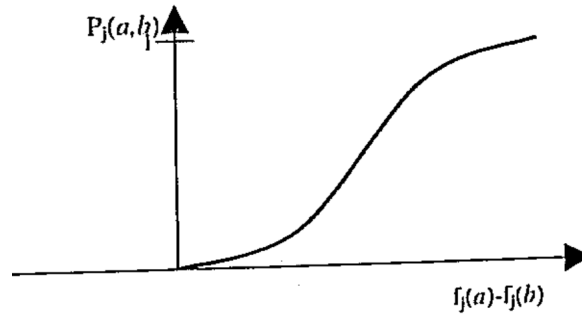


FIGURE 3.6 – Fonction de préférence

Si  $f_j(\cdot)$  est un critère à maximiser nous auront :

$G_j[f_j(a) - f_j(b)] = 0$  si  $f_j(a) < f_j(b)$  Pas de préférence (pas de différence entre  $a$  et  $b$ )

$G_j[f_j(a) - f_j(b)] \neq 0$  si  $f_j(a) > f_j(b)$  faible préférence

$G_j[f_j(a) - f_j(b)] \neq 1$  si  $f_j(a) \gg f_j(b)$  forte préférence

$G_j[f_j(a) - f_j(b)] = 1$  si  $f_j(a) \gg \gg f_j(b)$  Préférence stricte de  $a$  par rapport à  $b$

La fonction de préférence permet de traduire les déviations sur un critère spécifique en degré de préférence figure(3). Dans le but de faciliter la sélection de la fonction de préférence, 6 six différents modèles basiques ont été proposés. Dans chaque modèle, la fonction de préférence dépend de deux paramètres au maximum.

Durant cette étape, le coordinateur aide les décideurs afin de faire un choix sur la fonction de préférence. À la fin de cette étape, chaque décideur dispose de sa table d'évaluation complète avec le poids de chaque critère ainsi que la fonction de préférence.

— Étape 9 : Analyse individuelle PROMETHEE-GAIA

Selon la méthodologie PROMETHEE-GAIA, chaque décideur de manière individuelle doit calculer les quantités suivantes :

$$\begin{cases} \pi^r(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) W_j^r \\ \phi^+ r(a) = \sum_{x \in A} \phi^r(x, a) \\ \phi^- r(a) = \sum_{x \in A} \phi^r(x, a) \\ \phi^r(a) = \phi^+ r(a) - \phi^- r(a) \end{cases}$$

Pour toute alternative  $a$  de l'ensemble des alternatives  $A$ ,  $\phi^+ r(a)$  et  $\phi^- r(a)$  permettent de mesurer respectivement la puissance et la faiblesse de l'alternative  $a$  par rapport aux autres alternatives.  $\phi^r(a)$  est une valeur de fonction de telle sorte que plus sa valeur est élevée, meilleure sera l'alternative  $a$ .

$\phi^r(a)$  est appelé le flux net de l'alternative  $a$  par rapport au décideur  $r$ .

## Phase 3 : Évaluation globale par le groupe

La dernière phase de PROMETHEE permettra de faire une évaluation globale par tous le groupe, dans cette phase les deux dernières étapes de la procédure PROMETHEE sont exécutées.

— Étape 10 :Matrice d'évaluation globale :

A la fin de la phase d'évaluation individuelle,le coordinateur collecte les données provenant de tous les décideurs dans le but de constituer le flux net suivant :

$$\phi^r(a_i) \quad i = 1, 2, ..n, \quad r = 1, 2...R$$

$$\phi^r(a_i) = \sum_{j=1}^k \phi_j^r(a_i)W_j$$

si

$$\phi^r(a_j) = \sum_{x \in A} (P_j(a, x) - P_j(x, a))$$

où  $\phi_j^r(a_i)$  est l'unique flux net du critère obtenu en considérant le critère  $f_j(\cdot)$  par le décideur  $r$ .

Supposons qu'un consensus a été trouvé pour l'attribution du poids des critères.

$W_1, W_2, W_r...W_R$  sont les poids des critères tel que :

$$\left( \sum_{r=1}^R W_r = 1 \right)$$

Le flux net permet de représenter les préférences de chaque décideur. Plus ce flux est élevé, plus l'alternative correspond au décideur.

La dernière étape de PROMETHEE permettra au facilitateur de collecter les vecteurs de flux net de tous les décideurs et de les placer dans une matrice.Dans cette matrice facile à analyse , on retrouve le point de vue exprimé de chaque décideur sur un critère donné.

Le problème décisionnel devient lors « $n * DM_s$ », où  $n$  représente le nombre d'actions, et  $DM$  un décideur(decisio-maker en anglais).

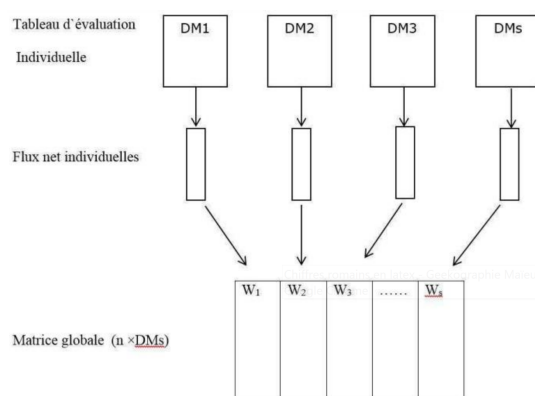


FIGURE 3.7 – Procédure PROMETHEE [Marshall et Brans,82]

— Étape 11 :Évaluation globale

Dans le but de mieux analyser et comprendre la matrice obtenue, une fonction de préférence devrait être évaluée par chaque critère définie.

Ici , le groupe de décideur pourra calculer le flux net global du groupe qui n'est que

la somme individuelle de tous les flux nets calculés.

$$\Phi^G(a_i) = \sum_{r=1}^R \phi^r(a_i)W_r$$

Ce flux globale fournit immédiatement le rangement PROMETHEE 2 des alternatives.

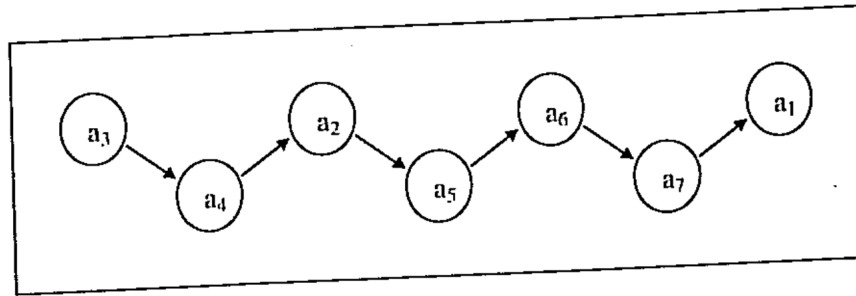


FIGURE 3.8 – PROMETHEE 2 ranking [Marshall et Brans,82]

### 3. Résolution d'un problème PROMETHEE GDSS

A l'issue des trois phases de la procédure PROMETHEE GDSS si l'ensemble du groupe de décideurs obtient une solution optimale (un compromis meilleure), alors la prise de décision est terminée le compromis trouvé représente alors la solution finale du groupe. Dans le cas où un ou plusieurs décideurs ne sont pas satisfaits du compromis, alors le groupe est contraint d'abandonner le compromis pour essayer de résoudre le problème à nouveau.

Pour cela, la résolution du problème passe par une analyse de sensibilité. [Mareschal, B, Brans J.P,98].

### 4. Analyse de sensibilité de PROMETHEE GDSS

L'analyse de sensibilité consiste à modifier les paramètres qui influent sur le résultat afin d'analyser leurs impacts sur le résultat final [Mareschal B, Brans J.P,82]

L'analyse de sensibilité aussi se déroule en plusieurs étapes.

- Première étape consiste à diminuer le poids de chaque décideurs et voir si le groupe entier peut être satisfait et arriver à un compromis.
- En second lieu on procède à une modification de fonctions de préférences attribuées à chaque critères afin de voir l'on peut arriver à atteindre le compromis.
- Après la première et la seconde étape si le problème de conflit persiste toujours, l'étape suivante consiste à modifier les poids des critères.
- Après la troisième étape, la quatrième étape elle suggère de revoir la ou les alternatives qui causent problème.
- La cinquième étape consiste à envisager la possibilité de revoir les critères de décision qui créent le conflit
- Si après toutes les étapes précédentes, le problème persiste il est conseillé de revoir la constitution de tous le groupe de décision.

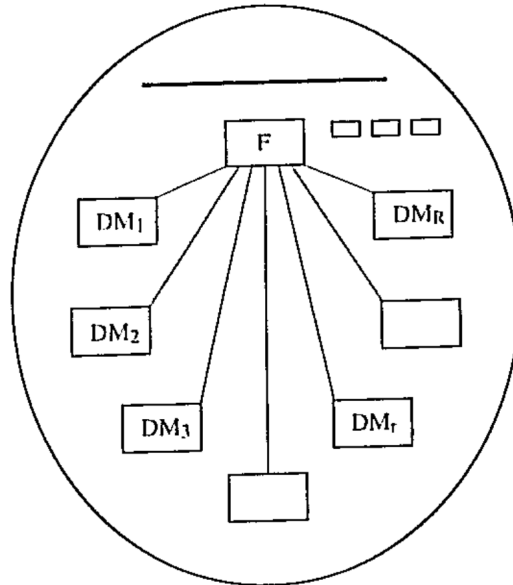


FIGURE 3.9 – Salle PROMETHEE GDSS [Macharis 1998)

## 5. La salle de réunion PROMETHEE GDSS

Les décideurs et le coordinateurs se rencontrent dans la salle PROMETHEE .La salle PROMETHEE GDSS est une salle classique composée d'ordinateurs sur lesquels le logiciel PROMETHEE GDSS est installé.

Elle comprend  $R$  postes(stations) de décideurs.Chaque station sera occupée par un décideurs qui peut être secondé par un ou deux assistants.Toutes les stations sont équipées par des ordinateurs , des fax, des téléphones pour permettre aux différents décideurs de mieux travailler.

Chacune des station est reliée à l'ordinateur du facilitateur .Ainsi ce dernier pourra collecter à temps toutes les données nécessaires à la processus PROMETHEE au pres des postes des decideurs.

La figure () schématise une salle PROMETHEE GDSS.

## 6. Les avantages de PROMETHEE GDSS

PROMETHEE GDSS figure parmi l'une des méthodes les plus répandues(utilisées)dans la catégories des méthodes de surclassement.Les avantages de cette méthode sont nombreux parmi lesquels nous pouvons citer :

- L'introduction de six(6) fonctions de préférences différentes dans un seul processus
- PROMETHEE GDSS permet de prendre en compte simultanément une multitude de critères exprimés par plusieurs décideurs pour obtenir un classement global des alternatives.
- La simplicité de Prométhée la place sur une bonne position pour être utilisée si on cherche à ranger des actions potentielles et que le décideur ne trouve pas beaucoup de peine à déterminer les poids des critères. Bien souvent cette méthode est sujette à des modifications ou des extensions

---

## 7. Discussion

La méthode PROMETHEE est une méthode qui est divisée en plusieurs catégories dont PROMETHEE GDSS qui nous intéresse car c'est la méthode PROMETHHEE qui intervient dans l'aide à la décision de groupe. PROMETHHEE GDSS permet l'analyse d'un problème multicritère donné à travers une procédure de onze (11) étapes effectuées en trois (3) phases. Chaque étape permet de une visualisation soit individuelle ou globale des décideurs. A l'issue de toutes les étapes PROMETHEE permet de trouver une solution au problème.

## VII. Conclusion

Par leur manière de d'intégrer tout types de critères, les méthodes d'analyse multicritères permettent aux décideurs de mieux cerner les problèmes de natures complexes que sont les problèmes multicritère en aidant les décideurs à arriver à l'obtention d'un compromis qui est en réalité plus judicieux que l'obtention d'une solution optimale qui est plus adaptée aux problèmes à critère unique.

Les méthodes d'analyse multicritères nous ont permis de distinguer plusieurs types de processus d'analyse multicritères les uns différents des autres. Quelque soit le type de la méthode choisi, la finalité est l'obtention d'un compromis qui permettra de résoudre un problème qui admet plusieurs critères contradictoires.

La démarche que nous avons suivi dans notre travail qui consiste à l'application de la méthode Delphi, AHP et PROMETHEE nous permettra de subdivisé notre problème et ainsi mieux l'analyse.

La méthode Delphi qui est quelque sorte une méthode formelle, à travers ses séries de questionnements nous permettra d'arriver à un ensemble de critères issus d'un compromis trouvé entre les experts. La pondération de ces critères sera possible grâce à la méthode AHP et un classement des critères et des actions sera effectué à l'aide de la méthode PROMETHEE.

Nous avons vu que toutes les méthodes d'analyses multicritères que nous avons traiter dans notre travail ne traitent pas des cas des problèmes d'incertitudes où les jugements et les avis des décideurs/experts doivent être pris en considérations.

Pour mieux cerner et bien comprendre les avis de tous les décideurs, nous allons introduire la fuzzification dans notre travail. Nous verrons l'importance d'intégrer les nombres flous aux méthodes d'analyse multicritères existantes.

## VIII. Ensembles flous

### 1. Définition

Le concept de la théorie de l'ensemble floue a été introduit pour la première fois en 1965 par [Lofti.Z,65].

La logique floue sert d'outil mathématique qui aborde les problèmes d'incertitudes, de subjectivité et d'imprécision dans les jugements humains.

La logique floue est une forme de plusieurs valeurs logiques dans laquelle les différentes valeurs d'une variable peuvent être n'importe quelle valeur de l'intervalle  $[0,1]$ .

La logique floue a été introduite afin de permettre l'utilisation, la manipulation de la notion de complètement vrai ou complètement faux où les valeurs possibles peuvent être rangées entre complètement vrai et complètement faux c'est à dire entre 0 et 1.

La logique floue se distingue des ensembles classiques en ce sens que ces derniers n'admettent que deux valeurs (booléenne) soit 0 soit 1. Or dans la plupart des problèmes auxquels nous faisons face dans la vie, il n'est pas toujours possible de les représenter en valeur booléenne. L'incertitude et l'imprécision de certaines valeurs ne peuvent qu'être représentées que par des nombres flous.

Elle est largement utilisée dans les processus de prise de décision multicritères afin d'étendre les méthodes stochastiques et déterministes à des applications utiles des situations d'incertitudes.

Il existe plusieurs types de nombres flous, les plus utilisés sont les nombres triangulaires flous et les nombres flous trapézoïdaux à cause de leurs simplicités d'utilisation et de calcul. [Lofti.Z,65]

## 2. Les nombres triangulaires flous (Triangular fuzzy number (TFN))

Un nombre triangulaire flou est défini comme un ensemble flou avec une fonction d'adhésion (membership function)  $y = f(x)$ , exprimé en un triplet de nombre réel  $(l, m, u)$  où les valeurs  $l, m, u$  représentent respectivement la plus petite valeur possible, la valeur la plus possible et la plus grande valeur possible.

Considérons un ensemble non vide  $X$ .

Soit  $\tilde{A}$  un ensemble flou dans  $X$  caractérisé par des fonctions d'adhésions qui traduisent les éléments de l'ensemble  $X$  en nombres réels appartenant à l'intervalle  $0, 1$   $[0, 1]$ .

La fonction d'adhésion est exprimée comme suit :

$\mu_A : X \Rightarrow [0, 1]$  où  $\mu_A$  représente le degré d'appartenance de  $x$  dans  $A$  désignant les termes linguistiques d'une variable linguistique.

Notons que les nombres flous sont utilisés pour traduire, convertir les termes linguistiques en de nombres réel entre  $[0, 1]$  afin de saisir la subjectivité et l'imprécision.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l) & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

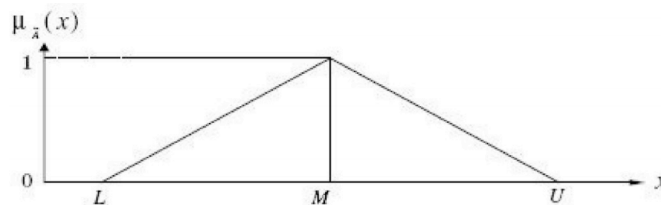


FIGURE 3.10 – Fonction d'adhésion [Seiddiki,18]

## 3. Opérations sur les nombres triangulaires flous

Considérons deux nombres triangulaires flous  $A$  et  $B$ , tel que  $\tilde{A} = l, m, u$  et  $\tilde{B} = l_1, m_1, u_1$   
 $\tilde{A} + \tilde{B} = (l, m, u) + (l_1, m_1, u_1) = (l + l_1, m + m_1, u + u_1)$



$$\begin{aligned}\tilde{A} - \tilde{B} &= (l, m, u) - (l_1, m_1, u_1) = (l + u_1, m - m_1, l_1 - u) \\ \tilde{A} \times \tilde{B} &= (l, m, u) \times (l_1, m_1, u_1) = (ll_1, mm_1, uu_1) \\ \tilde{A} / \tilde{B} &= (l, m, u) / (l_1, m_1, u_1) = \left(\frac{l}{u_1}, \frac{m}{m_1}, \frac{u}{l_1}\right) \\ \tilde{A}^{-1} &= \left(\frac{1}{l}, \frac{1}{m}, \frac{1}{u}\right)\end{aligned}$$

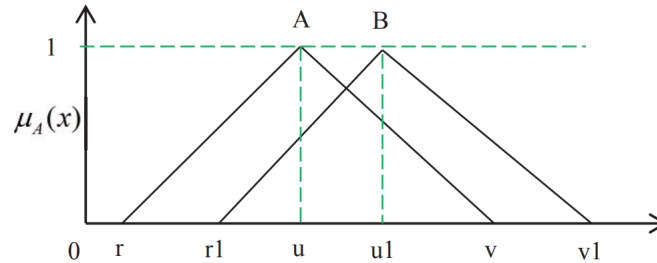


FIGURE 3.11 – Fonction d’adhésion de deux nombres flous triangulaires

## IX. FAHP

La combinaison de la logique floue avec la méthode AHP a été proposé dans le but de surpassé les limites de la méthode AHP concernant les incertitudes vis à vis des jugements humains, car la méthode AHP ne permet pas de bien refléter le style de la pensée humaine.

[Laarhoven.V et Pedrycz,83] ont été les premiers à avoir intégrer les nombres triangulaires flous à la méthode AHP en 1983.

La méthode AHP est basée sur trois principaux objectifs qui sont :

- La construction de l’hierarchie
- La comparaison par paires
- La consistance logique

Dans la méthode FAHP les comparaisons par paires des critères se font non pas à travers des valeurs fixes , mais à travers des variables linguistiques afin de mieux refléter le jugement des décideurs parce qu’il s’avère souvent compliqué de donner une valeur exacte à une comparaison.

C’est pour cela que les nombres triangulaires flous sont utilisés afin de spécifier les valeurs linguistiques de ces variables.

### 1. Les différentes étapes de FAHP

- Étape 1 : Comparaison des critères par paire (Calcul de la matrice de comparaison)  
 Dans la première étape les décideurs doivent tout d’abord procéder à une comparaison par paires des critères en prenant en considération l’objectif global. Ces différentes comparaisons permettent l’évaluation des poids des critères en utilisant une échelle linguistique floue. Les abstractions dans le jugement des décideurs sont prises en compte grâce à l’échelle linguistique. Cette information est convertie en nombre triangulaires flous  $(l, m, u)$ , où  $\tilde{a}_{ij}$  est l’importance relative du  $i$ ème critère vis à vis

du j-ieme critère attribué par le décideur  $d$ .  
 $d = 1, 2, D$  représente le nombre total de décideurs.

- Étape 2 : La matrice de comparaison pondérée  
 La matrice de comparaison pondérée de chaque décideur est obtenue grâce à l'équation suivante :

$$S = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} 1$$

- Étape 3 : Calcul du degré de possibilité  
 Considérons deux nombres triangulaires flous  $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$  et  $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$

$$V(S_i \geq S_j) = \sup[\min(\mu_{S_i}(x), \mu_{S_j}(y))] = \begin{cases} 1, & \text{si } m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)}, & \text{si } l_j \leq u_i, \text{ autres} \end{cases} \quad \text{Le}$$

degré de possibilité de  $S_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq S_1 = (l_1, m_1, u_1)$  représente le plus grand point d'intersection entre  $\mu_{S_1}$  et  $\mu_{S_2}$ .

- Étape 4 : Calcul du degré de possibilité pour nombre convexe flou qui devra être plus grand qu'un k nombre convexe flou  $V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), i = 1, 2, \dots, k$

- Étape 5 : Calcul du vecteur de poids et de la normalisation du nombre non flou  
 $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), i \neq k = 1, 2, \dots, n$

$W' = [d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)]^T$  Le calcul du vecteur de poids permet de déterminer le poids flou et non flou .

## X. FUZZY PROMETHEE

Fuzzy-PROMETHEE(FPROMETHEE), où intégration de la logique floue aux méthodes PROMETHEE a été introduite par **Lé Teno et Mareschal** en 1998.

La méthode PROMETHEE se base sur un processus de comparaison par paires des actions, il évalue dans des conditions bien précises si l'une des deux actions surclasse clairement l'autre ou pas. Un tableau d'évaluation qui indique l'évaluation de chaque action en fonction de chaque critère est conçu.

Les méthodes PROMETHEE présentent l'avantage d'utiliser l'agrégation partielle, par conséquent les jugements humains des décideurs ont forcément un impact important sur les résultats. D'où la nécessité d'appliquer d'associer les méthodes PROMETHEE à la théorie des nombres flous et à l'environnement flou de pallier à la problématique de l'influence des jugements humain sur les résultats, des imprécisions etc...

Depuis son apparition dans les 1980, la méthode PROMETHEE a plusieurs fois été étendu à plusieurs formes, dont FPROMETHEE.

La combinaison de la théorie des nombres flous avec PROMETHEE permet de mieux saisir et analyser les incertitudes concernant l'évaluation des alternatives par rapport aux critères.

**[Gouma et Lygerou,00]** sont les premiers à avoir intégrer les nombres triangulaires flous à PROMETHEE pour interpréter les variables linguistiques. A prés plusieurs études ont intégrer la méthode PROMETHEE aux nombres flous.

L'association des méthodes PROMETHEE à la logique de l'ensemble flou offre la possibilité de prendre en considération l'incertitude concernant l'évaluation des alternatives par rapport aux différents critères[Seddiki,19].

FPROMETHEE a été utilisé pour la résolution de nombreux problèmes d'analyse multicritere. Selon la théorie de la méthode PROMETHEE, les fonctions de préférences  $(p_j(a, b))$  devraient être calculées pour chaque critère. Ainsi, dans la plupart des cas, la fonction de type 5 est adaptée (préférée) car elle est celle qui est la plus adéquate des fonctions de préférences qui traduit le mieux les informations qualitatives.

Les poids et les fonctions de préférences des critères sont alors utilisés pour comparer les actions(alternatives).

$$\begin{aligned} p_j(a, b) &= p_j(d_j(a, b)) = p_j(\tilde{f}(a) - \tilde{f}(b)) \\ &= p_j((a^l, a^m, a^u) - (b^l, b^m, b^u)) \\ &= p_j(a^l - b^u, a^m - b^m, a^u - b^l) \\ &= (p_j(a^l - b^u), p_j(a^m, b^m), p_j(a^u, b^l)) \end{aligned}$$

La première étape de la méthode FPROMETHEE consistera à calculer les valeurs des flux entrants et sortants.

Le flux sortant  $\phi^+$  d'une alternative  $a$  représente la force de cette action. $\phi^+$  est un nombre compris entre 0 et 1[0,1].

Si  $\phi^+$  est égal à 1 alors cela signifie que l'action en question est préférable à toutes les autres actions sur tous les critères.

Lorsque le flux sortant est égal à 0 alors , l'action en question n'a aucun avantage sur les autres actions sur tous les critères.

Le flux sortant est calculé grâce à l'équation suivante :

$$\phi(a)^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(a, b)$$

Le flux entrant  $\phi^-$  quand à lui représente une mesure de faiblesse.Comme le flux sortant c'est un nombre compris entre 0 et 1 où 0 représente la meilleure solution et 1 la mauvaise solution.

Le flux entrant  $\phi^-$  est calculé avec l'équation suivante :

$$\phi^- = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(a, b)$$

La deuxième étape de la méthode consiste au calcul de la valeur du flux net  $\phi$ .Le flux net est la différence entre le flux sortant et le flux entrant.

$$\phi = \phi^+ - \phi^-$$

## XI. Conclusion

Dans ce chapitre il a été le lieu pour nous de traiter les méthodes d'analyse multicritere qui nous serviront dans le prochain chapitre.

En plus de ces méthodes, nous avons souligner dans ce chapitre l'importance de la fuz-zification dans le domaine de la prise de décision collective car, ces derniers permettent aux experts de mieux cerner et bien exprimer leurs préférences.Avec les nombres flous la complexité présente dans les jugements humains ne présente plus comme une limite

---

pour les décideurs.

Dans le chapitre qui va suivre, nous allons appliquer les méthodes d'analyse multicritère intégrées à la fuzzification afin de traiter notre problématique qui est le choix du coordinateur.

# Chapitre 4

## Application des méthodes d'analyse multicritère au cas d'étude et simulation

### I. Introduction

Le présent chapitre traitera du choix du coordinateur dans le e-maintenance. Utilisation de l'approche FAHP/FPROMETHEE pour l'élection d'un facilitateur (coordinateur) au sein d'un GDSS.

Comme nous l'avons cité dans le chapitre 1, le facilitateur joue un rôle très important (primordial) au sein des systèmes d'aide à la décision de groupe. Le choix d'un coordinateur n'étant pas une tâche simple à réaliser.

Dans notre travail nous allons utiliser la méthode Delphi dans le but de choisir les critères que nous allons mettre en place pour la sélection du facilitateur. La méthode FAHP pour l'attribution des poids à chaque critère et enfin nous allons utiliser la méthode FPROMETHEE pour classer les critères en vue de l'élection du coordinateur.

A la fin de ce chapitre nous allons présenter et utiliser le logiciel de simulation PROMETHEE-GAIA pour simuler la méthode PROMETHEE.

Cette simulation sera l'occasion d'observer sur une interface graphique les différents actions, critères à travers plusieurs scénarios.

PROMETHEE-GAIA nous permettra aussi d'obtenir plusieurs graphes et figures montrant clairement les comportements des différentes alternatives les uns par rapport aux autres.

### II. La e-maintenance

Avec le développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (TIC) grâce à l'accroissement de l'Internet, les systèmes de télémaintenance émergent vers le concept de l'e-maintenance. L'architecture d'e-maintenance se fait via un réseau web qui permet de coopérer, d'échanger, partager et de distribuer ces informations aux différents systèmes partenaires de ce réseau. Le principe consiste à intégrer l'ensemble des différents systèmes de maintenance dans un seul système d'information

L'e-maintenance consiste à faire la maintenance à distance. Grâce à cette nouvelle tech-

---

nique , les experts n'ont pas forcément besoin d'être sur place pour réparer, vérifier et prévenir les pannes des machines, ce qui fera gagner en temps et en frais aux entreprises car il est dans la majorité des cas connu que les experts ne sont pas toujours dans les mêmes emplacements géographiques d'où la nécessité d'attendre plusieurs jours voire semaines avant qu'ils puissent se réunir pour réparer une panne. L'e-maintenance permet de considérablement réduire cette problématique surtout dans le contexte actuel de pandémie mondiale dans lequel les rencontres physique de plusieurs personnes sont prohibées.

### **III. Application de la méthode Delphi**

La méthode Delphi fait partie d'une des meilleures méthodes d'analyse multicritère. Nous l'appliquons dans notre travail comme étant l'outil qui nous permettra de soulever la subjectivité des experts dans le but de trouver d'un commun accord (consensus) les différents critères pertinents sur la base desquels nous allons choisir notre coordinateur. Dans cette partie nous allons appliquer les différentes étapes de la méthode Delphi sur notre cas d'étude.

#### **1. Sélection du Panel d'experts**

Pour cette première étape plusieurs professionnels de la maintenance ont été contactés individuellement par mail. Ces professionnels ont été choisis pour leur compétence et/ou leur expérience dans le fonctionnement, le diagnostic et la maintenance des pannes. Ils ne connaissaient pas l'identité des autres professionnels contactés.

#### **2. La procédure Delphi**

Une version électronique du questionnaire a été envoyée à chaque expert. Le logiciel de création de questionnaire Google Forms® a été utilisé pour la création des questionnaires.

A chaque itération, les experts évaluaient la pertinence et l'objectivité des questions proposées. Ils répondaient une seule fois par itération et ne pouvaient envoyer le questionnaire que s'il était rempli entièrement.

Chaque itération devait durer entre 2 et 3 semaines. Un délai maximum de 4 semaines était attendu pour la réponse des experts.

Les résultats étaient envoyés individuellement (cités anonymement) et ils étaient synthétisés dans la plus part des cas en graphe. Chaque expert pouvait comparer ses réponses par rapport à celle du groupe.

#### **3. Analyse des réponses**

Les résultats ont été analysés sur le logiciel de traitement de données Google Sheets et sur Google Forms avec des graphes de données. Une question était validée si elle avait un consensus positif. Le consensus positif était défini par une médiane supérieure ou égale à 2.

Une question était exclue si elle avait un consensus négatif. Le consensus négatif était défini par une médiane égale à 1.

---

A l'issue de la méthode Delphi , les critères retenus pour l'élection du coordinateur dans le cadre de l'e-maintenance sont :

- **Qualité du réseau** : entre l'expert et le site de la panne
- **L'expérience** : plus l'expert a participé dans la résolution de plusieurs pannes, plus il est a de chance d'être élu comme coordinateur.
- **La distance entre l'expert et l'entreprise** (site de la panne) : la distance entre l'expert et le site de la panne joue un rôle important, dans le cas où la présence de l'expert aux niveaux du site de la panne est nécessaire, alors il est mieux si la distance être plus courte pour assurer la présence de l'expert au bonne moment.
- **L'expérience en tant que coordinateur** : ce critère permet de comptabiliser le nombre de fois où l'expert a été élu comme coordinateur.
- **Temps de réponse** : il représente l'intervalle de temps écoulé entre la déclaration de la panne par le technicien (envoi de la notification) et l'arrivée de la réponse de l'expert, ceci représente en un mot l'interactivité de l'expert.

## IV. Application de la méthode FAHP

Dans notre travail nous allons utiliser la méthode FAHP pour l'attribution des poids (pondération) aux critères établis dans la méthode Delphi.

Les étapes de la méthode FAHP sont les suivants :

### Étape 1 : Calcul de la matrice floue de comparaison par paires

Valeur	Jugement valeur verbale	Valeur Floue
1	Même importance	(1,1,1)
3	Importance modérée	(1,3,5)
5	Forte importance	(3,5,7)
7	Très forte importance	(5,7,9)
9	Extrême importance	(7,9,11)
2	Valeur intermédiaire	(1,2,3)
4	Valeur intermédiaire	(3,4,5)
6	Valeur intermédiaire	(5,6,7)
8	Valeur intermédiaire	(7,8,9)

## La matrice de comparaison par paire des critères

Critères/Critères	C1	C2	C3	C4	C5
Distance	(1,1,1)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1})$	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(1,1,1)
Expérience	(1,3,5)	(1,1,1)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1})$	(1,3,5)	(1,3,5)
Expérience-coordonateur	(1,3,5)	(1,3,5)	(1,1,1)	(3,5,7)	(3,5,7)
Qualité-réseau	(1,1,1)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1})$	$(\frac{1}{7}, \frac{1}{5}, \frac{1}{3})$	(1,1,1)	(1,1,1)
Temps-réponse	(1,1,1)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{3}, \frac{1}{1})$	$(\frac{1}{7}, \frac{1}{5}, \frac{1}{1})$	(1,1,1)	(1,1,1)

## La matrice de comparaison par paire des critères sans les fractions

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1,1,1)	(0.16,0.2,0.25)	(2,3,4)	(0.125,0.142,0.166)	(1,2,3)
C2	(4,5,6)	(1,1,1)	(6,7,8)	(0.25,0.33,0.5)	(6,7,8)
C3	(0.25,0.33,0.5)	(0.125,0.142,0.166)	(1,1,1)	(0.125,0.142,0.166)	(0.25,0.33,0.5)
C4	(6,7,8)	(2,3,4)	(6,7,8)	(1,1,1)	(6,7,8)
C5	(0.33,0.5,1)	(0.125,0.142,0.166)	(2,3,4)	(0.125,0.142,0.166)	(1,1,1)

(3.4,3.66,5)* $(\frac{1}{55.56}, \frac{1}{34.39}, \frac{1}{23.28})$	$S_1=(0.056, 0.106, 0.21)$
(4.2,10.33,17)* $(\frac{1}{55.56}, \frac{1}{34.39}, \frac{1}{23.28})$	$S_2=(0.071, 0.299, 0.714)$
(9,17,25)* $(\frac{1}{55.56}, \frac{1}{34.39}, \frac{1}{23.28})$	$S_3=(0.153, 0.493, 1.05)$
(3.34,3.53,4.33)* $(\frac{1}{55.56}, \frac{1}{34.39}, \frac{1}{23.28})$	$S_4=(0.056, 0.102, 0.181)$
(3.34,3.53,4.33)* $(\frac{1}{55.56}, \frac{1}{34.39}, \frac{1}{23.28})$	$S_5=(0.056, 0.102, 0.181)$

$$S_1=(0.056, 0.106, 0.21)$$

$$S_2=(0.071, 0.299, 0.714)$$

$$S_3=(0.153, 0.493, 1.05)$$

$$S_4=(0.056, 0.102, 0.181)$$

$$S_5=(0.056, 0.102, 0.181)$$

## Étape 3 : Calcule du degré de possibilité

Dans cette étape nous allons calculer le degré de possibilité de chaque critère. Pour cela nous allons comparer les critères entre eux :

Comparaison de  $S_1$  avec les autres.

$$V(S_1 \geq S_2) = 0.41$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 0.128$$



---

$$V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_5) = 1$$

Comparaison de  $S_2$  avec les autres.

$$V(S_2 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 0.743$$

$$V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_5) = 1$$

Comparaison de  $S_3$  avec les autres.

$$V(S_3 \geq S_1) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_5) = 1$$

Comparaison de  $S_4$  avec les autres.

$$V(S_4 \geq S_1) = 0.96$$

$$V(S_4 \geq S_2) = 0.35$$

$$V(S_4 \geq S_3) = 0.06$$

$$V(S_4 \geq S_5) = 1$$

Comparaison de  $S_5$  avec les autres.

$$V(S_5 \geq S_1) = 0.96$$

$$V(S_5 \geq S_2) = 0.35$$

$$V(S_5 \geq S_3) = 1.06$$

$$V(S_5 \geq S_4) = 1$$

**Étape 4 : Calcule du degré de possibilité pour un nombre flou convexe pour qu'il soit plus grand qu'un nombre k convexe**

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i) \text{ avec } i=1,2,3,\dots,k$$

$$V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5) = 0.128$$

$$V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5) = 0.743$$

$$V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5) = 0.06$$

$$V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4) = 0.06$$

## Calcul du vecteur de poids et normalisation du vecteur de poids non flou

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \text{ avec } i, k = 1, 2, \dots, n; k \neq i.$$

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$$

$$W' = (0.128, 0.743, 1, 0.06, 0.06)^T$$

$$W' = \left( \frac{0.128}{1.991}, \frac{0.743}{1.991}, \frac{1}{1.991}, \frac{0.06}{1.991}, \frac{0.06}{1.991} \right)^T$$

$$W' = (0.064, 0.373, 0.5, 0.03, 0.03)^T$$

Ainsi nous avons déterminé le poids des critères.

Critères	Poids du critère(W)	Poids-Criteres
Distance		0.064
Expérience		0.373
Expérience-Coordinateur		0.5
Qualité -reseau		0.03
Temps de reponse		0.03

## V. Fuzzy PROMETHEE

Fuzzy PROMETHEE se déroule en 5 principales étapes qui sont :

Étape 1 : Formation des décideurs

Étape 2 : Définition de la fonction de préférence

Étape 3 : Calcul du classement général  $\phi(a, b)$

Étape 4 : Calcul de  $\Phi^+$  et  $\Phi^-$  et du classement partiel

Étape 5 : Calcul de  $\Phi$  et du classement général des décideurs (pour l'élection de notre coordinateur) [Nabareseh.S,15]

### Étape 1 : Formulation de la matrice de décision floue

D'après la méthode Delphi nous distinguons cinq critères d'évaluation pour l'élection du coordinateur.

$C_1$  : La qualité du réseau

$C_2$  : L'expérience

$C_3$  : La Distance

$C_4$  : L'expérience Coordinateur

$C_5$  : Le temps de réponse Le poids de ces critères a été calculé en utilisant la méthode FAHP.

### ETAPE 1

La première de la méthode fuzzy PROMETHEE consiste en la détermination des variables linguistiques, des alternatives, et des décideurs.

Pour les décideurs nous allons travailler avec 4 décideurs(D1,D2,D3,D4).

Pour les alternatives nous choisissons 5 alternatives(m=5)(A1,A2,A3,A4,A5).

Termes linguistiques	Nombres Flous Triangulaires	Classement-alternatives
Très Faible (TF)	(0.0, 0.0,2.5)	Mauvais (Ma)
Faible (F)	(0.0, 2.5,5.0)	Pauvre (P)
Moyen (M)	(2.5,5.0,7.5)	Passable(Pa)
Grand (G)	(5.0,7.5,10.0)	Bien (B)
Très Grand (TG)	(7.5,10.0,10.0)	Meilleur (M)

## Etape :Calcul du poids des critères

Le poids de chaque critère doit être calculer à ce niveau mais cette étape à été déjà calculer plus haut dans la méthode FAHP.

Ainsi, dans notre travail nous allons joindre les résultats du calcul des poids des différents critères de la méthode FAHP au niveau de ceux de FPROMETHEE.

### Le poids important de chaque critère

•	D1	D2	D3	D4	Fuzzy weight
C1	TG	TG	G	G	(0.056,0.106,0.21)
C2	G	TG	G	F	(0.071,0.299,0.714)
C3	TG	TG	G	TG	(0.153,0.493,1.05)
C4	G	TG	G	TG	(0.056,0.102,0.181)
C5	TG	TG	G	F	(0.056,0.102,0.181)

## Étape :Classement de chaque alternative sous chaque critère

Dans cette étape les préférences de tous les décideurs (préférence de chaque décideurs de chaque alternative vis à vis de chaque critère) sont établies.

Puisque nous avons 4 Décideurs nous allons avoir quatre tableaux avec les différentes appréciations de chaque décideur individuellement.

### Préférence du décideur 1

Decideur 1					
•	A1	A2	A3	A4	A5
C1	M	Pa	M	B	P
C2	B	Pa	Ma	B	B
C3	P	B	B	M	Pa
C4	B	B	B	B	Pa
C5	Ma	Pa	P	B	B

### Préférence du décideur 2

Decideur 2					
•	A1	A2	A3	A4	A5
C1	P	B	M	M	Pa
C2	B	B	Ma	Pa	B
C3	M	M	P	Ma	Ma
C4	B	M	B	P	Pa
C5	Pa	P	B	M	M

---

### Préférence du décideur 3

Decideur 3					
•	A1	A2	A3	A4	A5
C1	Ma	P	M	Pa	Pa
C2	Pa	B	M	B	B
C3	P	Ma	Ma	P	P
C4	M	B	Pa	Pa	Pa
C5	M	B	B	P	P

### Préférence du décideur 4

Decideur 4					
•	A1	A2	A3	A4	A5
C1	P	Pa	B	M	M
C2	M	B	M	Ma	P
C3	P	M	B	B	M
C4	B	Pa	P	Pa	B
C5	B	M	Ma	M	B

## Étape : Construction de la fonction de préférence floue

Dans cette étape nous allons calculer la fonction de préférence de chaque alternative vis à vis des autres alternatives.

•	C1	C2	C3	C4	C5
P(A1,A2)	0	1	0	1	0
P(A1,A3)	0	1	0	1	1
P(A1,A4)	0	1	1	1	0
P(A1,A5)	0	1	0	1	0
P(A2,A1)	1	0	1	0	0
P(A2,A3)	0	1	1	1	1
P(A2,A4)	0	1	1	1	0
P(A2,A5)	0	1	1	1	0
P(A3,A1)	1	0	1	0	0
P(A3,A2)	1	0	0	0	0
P(A3,A4)	1	1	0	1	0
P(A3,A5)	1	0	1	0	0
P(A4,A1)	1	0	1	0	1
P(A4,A2)	1	0	0	0	1
P(A4,A3)	0	1	1	0	1
P(A4,A5)	1	0	1	0	1
P(A5,A1)	1	0	1	0	1
P(A5,A2)	1	0	0	0	0
P(A5,A3)	0	1	0	0	1
P(A5,A4)	0	1	0	1	0

## Étape : Calcul de la fonction de préférence agrégée pondérée

La fonction de préférence agrégée de chaque alternative est calculée dans cette étape. Pour se faire nous allons utiliser l'équation suivante :

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)W_j$$

•	A1	A2	A3	A4	A5
A1	.....	1.423	1.762	3.119	1.423
A2	2.068	.....	3.458	3.119	3.119
A3	2.068	0.372	.....	1.795	2.068
A4	2.407	0.711	3.119	.....	2.407
A5	2.407	0.372	1.423	1.423	.....

## Étape : Calcul de flux sortant, du flux entrant et du flux net de chaque alternative

Dans cette étape qui est très importante nous procédons au calcul du flux sortant, entrant et du flux net grave aux équations suivantes :

$$\text{Flux sortant : } \phi(a)^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{b \neq a} \pi(a, b)$$

$$\text{Flux entrant : } \phi^- = \frac{x1}{n-1} \sum_{b \neq b} \pi(a, b)$$

$$\text{Flux net : } \phi = \phi^+ - \phi^-$$

A l'issue de cette étape qui est la dernière de FPROMETHEE, un classement partiel puis global des alternatives peut être effectué.

•	Le flux net entrant $\phi^+$	Le flux net sortant $\phi^-$	L flux net $\phi$	Classement Global
A1	1.931	2.237	-0.306	3
A2	2.941	0.719	2.222	1
A3	1.575	2.440	-0.865	5
A4	2.161	2.364	-0.203	2
A5	1.406	2.254	-0.848	4

## Classement partiel des alternatives

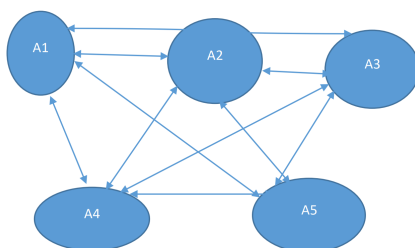


FIGURE 4.1 – Classement Partiel des alternatives

---

## Classement global des alternatives

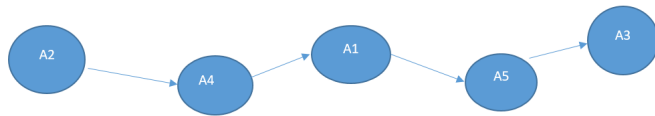


FIGURE 4.2 – Classement global des alternatives

## VI. Simulation des résultats

### 1. Introduction

Le but de ce chapitre qui est le dernier chapitre de notre travail est d'utiliser le logiciel PROMETHEE-GAIA afin de simuler la méthode PROMETHEE. Cette simulation permettra d'observer à travers une interface graphique, les actions, les critères à travers plusieurs scénarios, d'obtenir des graphes montrant clairement le surclassement des alternatives.

Dans un premier temps nous allons parler du logiciel, comment l'installer avant de finir avec des graphes qui justifieront notre analyse faite dans le chapitre précédent.

### 2. PROMETHEE-GAIA

PROMETHEE a été créé dans les années 1982 par Jean Pierre Brans.

PROMETHEE se diffère des autres méthodes d'analyse multicritère par sa simplicité et facilité de mise en œuvre. PROMETHEE apporte à la fois plus de flexibilité dans la modélisation des préférences et une plus grande facilité d'utilisation. Dès le milieu des années 80, une grande attention est donnée par les Professeurs Jean-Pierre Brans et Bertrand Mareschal au développement d'outils performants et interactifs d'analyse de sensibilité liés aux méthodes PROMETHEE. En particulier la pondération des critères joue un rôle crucial en aide à la décision multicritère. Il est donc essentiel de permettre aux décideurs d'apprécier dans quelle mesure des variations de la pondération des critères impactent les classements PROMETHEE.

La méthodologie PROMETHEE-GAIA inclut plusieurs outils à cette fin, comme notamment les intervalles de stabilité sur poids et la procédure interactive Walking Weights.

En 1989, GAIA apporte un complément descriptif aux classements PROMETHEE.

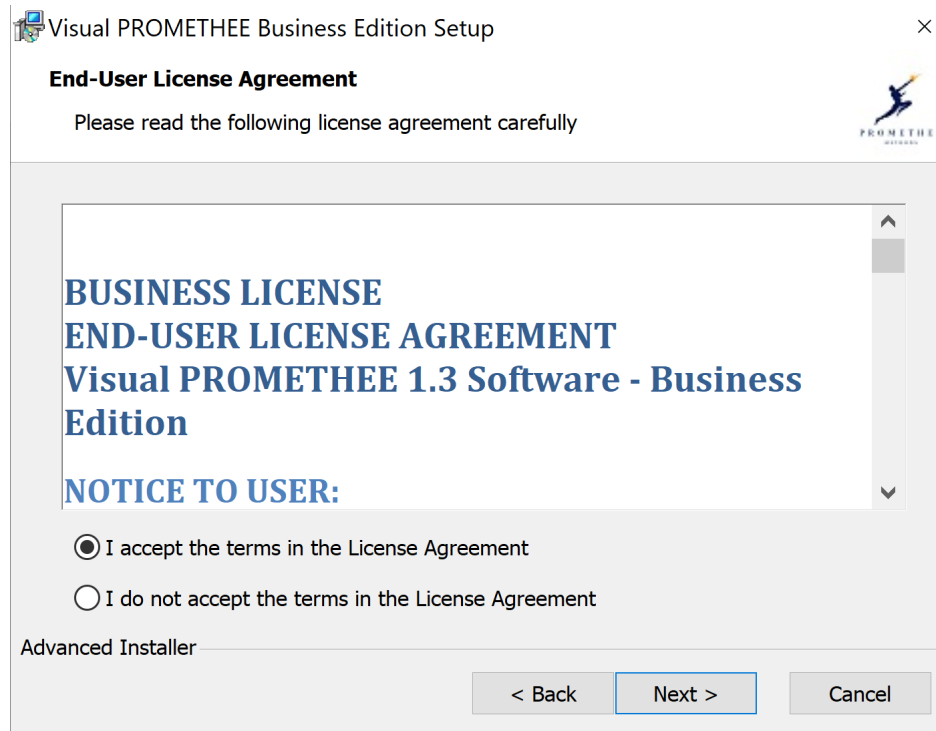
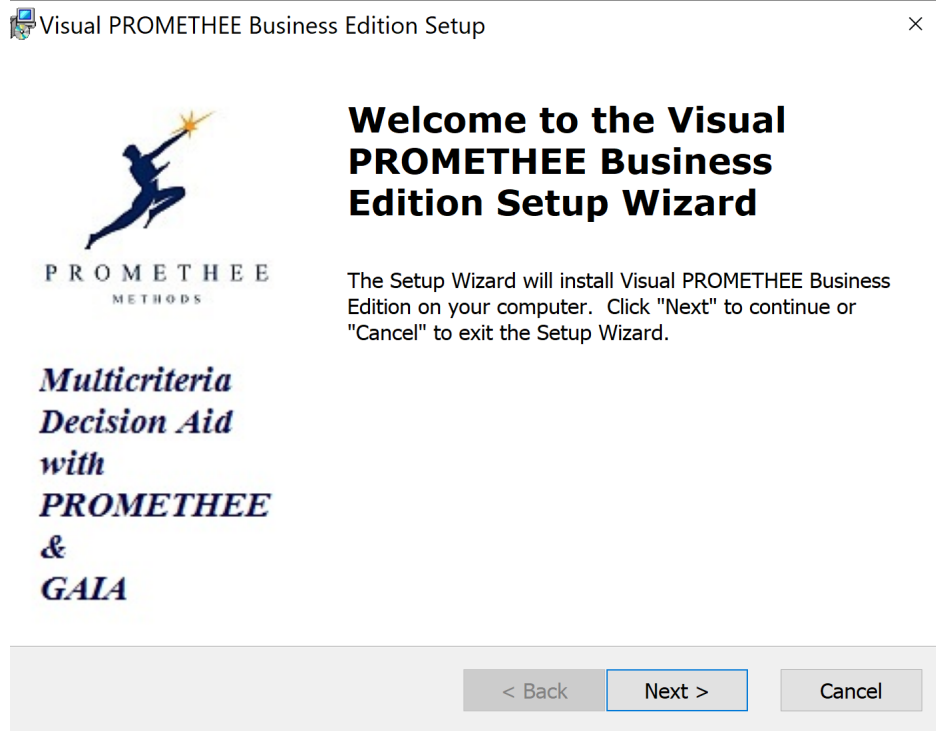
A l'aide d'une représentation graphique du problème multicritère, le décideur peut facilement comprendre quels sont les choix possibles et quels compromis sont requis pour arriver à prendre une bonne décision. GAIA fournit également une aide appréciable pour déterminer l'impact qu'ont les poids des critères sur les classements PROMETHEE.

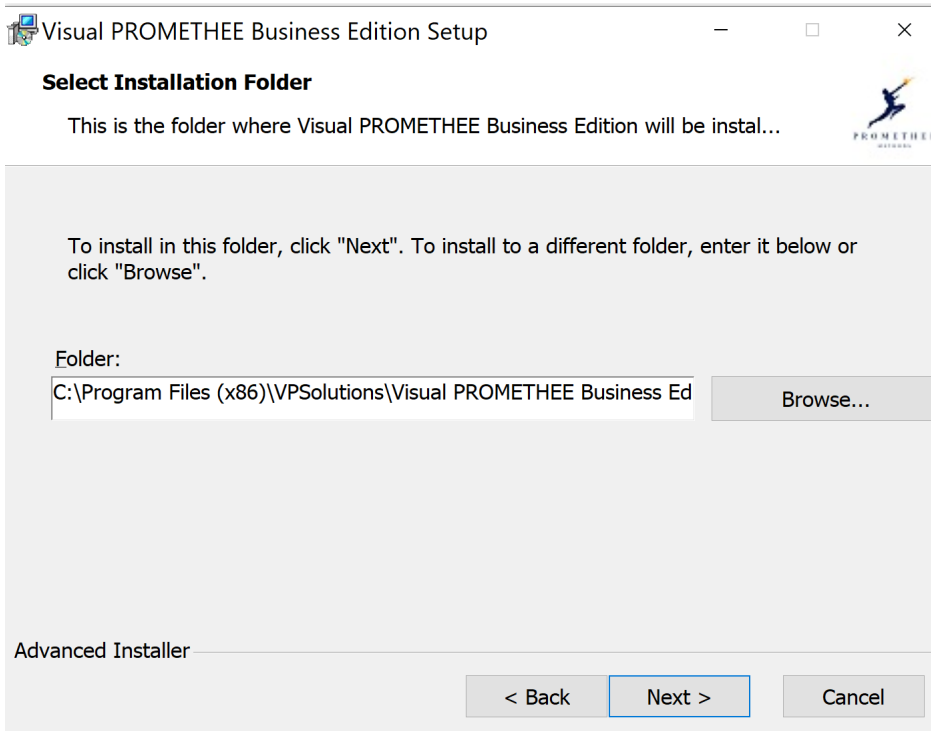
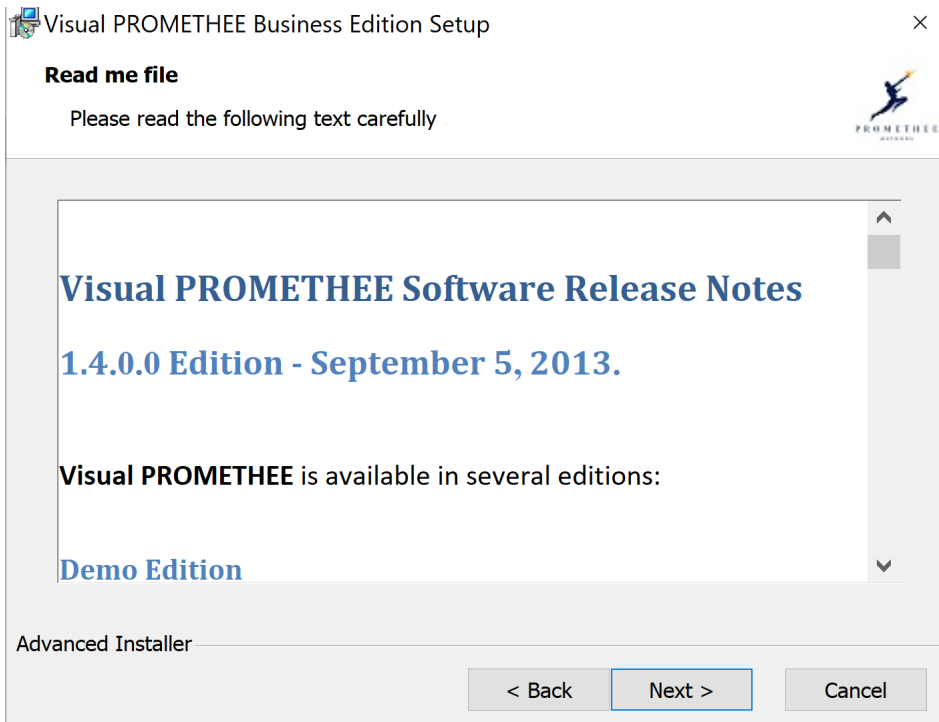
A l'heure actuelle, cette approche descriptive est toujours un atout unique de la méthodologie PROMETHEE-GAIA.

### 3. Installation

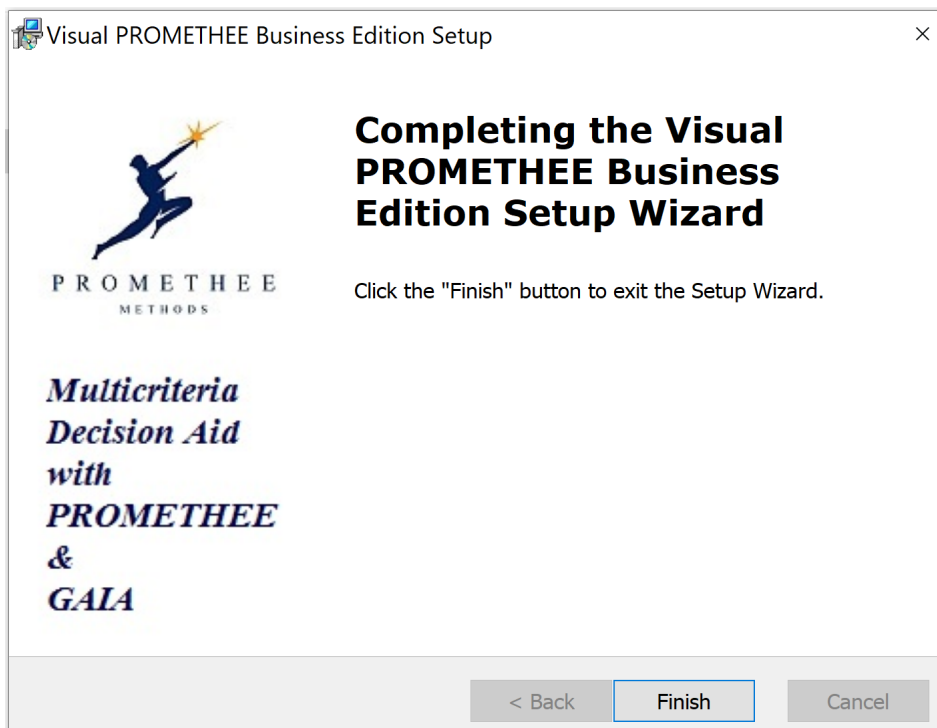
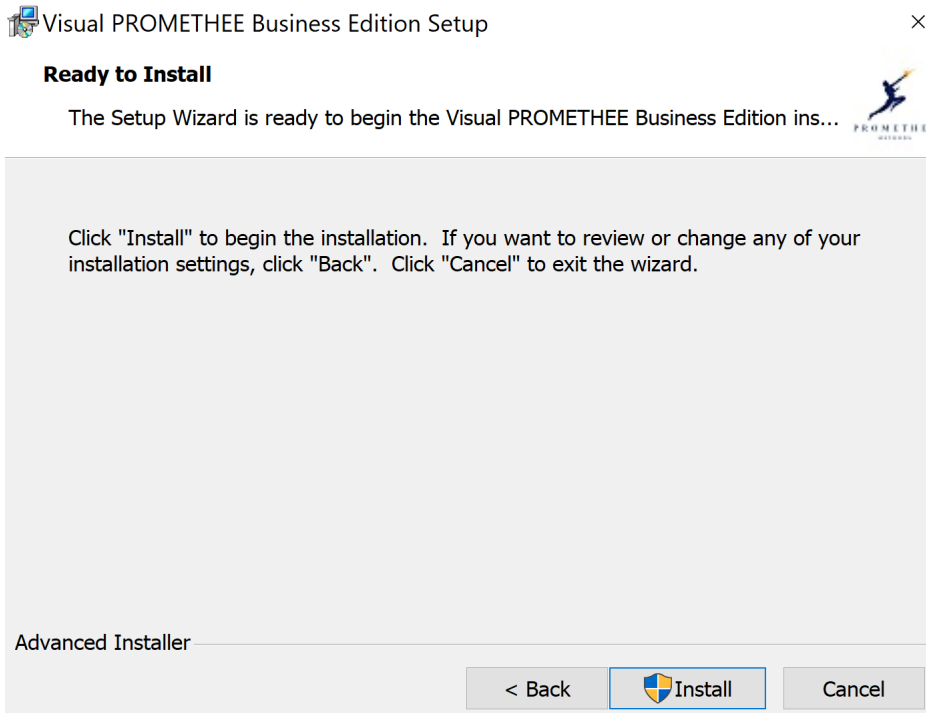
Le lien de téléchargement du logiciel PROMETHEE-GAIA est le suivant :

<http://www.promethee-gaia.net/FR/business-edition.html>  
Les étapes ci-dessous doivent être suivies :









Nous remarquons dans cette interface tous les critères ainsi que leurs poids, les différentes actions(alternatives) ainsi que les preferences de chaque experts.

Scenario1	Distance	Experiene	Experience-c...	Qualité-reseau	Temps-reponse	
Unit	Fuzzy	Fuzzy	Fuzzy	Fuzzy	Fuzzy	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	
<b>Preferences</b>						
Min/Max	max	max	max	max	max	
Weight	0,06	0,37	0,50	0,03	0,03	
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
<b>Statistics</b>						
Minimum	1,00	3,00	1,00	4,00	2,00	
Maximum	5,00	4,00	5,00	4,00	4,00	
Average	3,20	3,40	3,20	4,00	3,20	
Standard Dev.	1,47	0,49	1,47	0,00	0,75	
<b>Evaluations</b>						
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternative 1	Meilleur	Passable	Meilleur	Bien	Pauvre
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternative 2	Bien	Passable	Mauvais	Bien	Bien
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternative 3	Pauvre	Bien	Bien	Bien	Passable
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternative 4	Bien	Bien	Bien	Bien	Passable
<input checked="" type="checkbox"/>	Alternative 5	Mauvais	Passable	Pauvre	Bien	Bien

FIGURE 4.3 – Interface Principale de PROMETHEE-GAIA

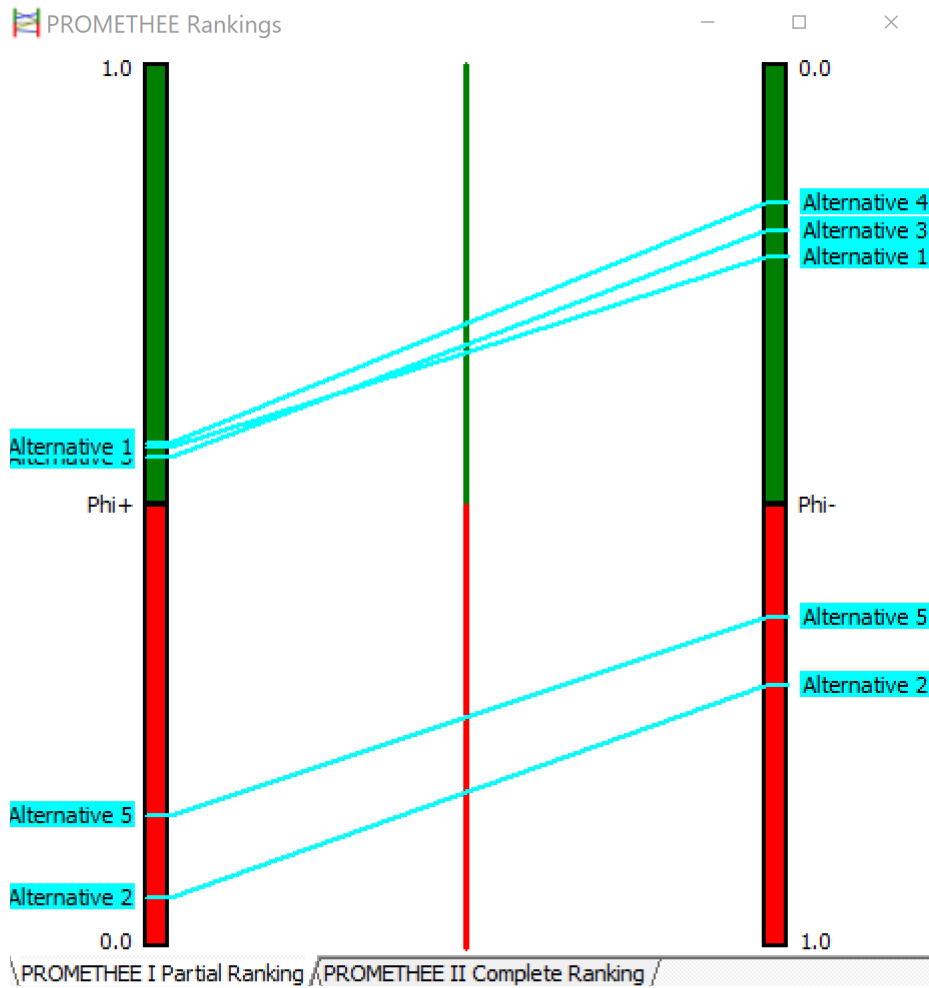


FIGURE 4.4 – Classement Partiel PROMETHEE 1

Le classement partiel nous donne le classement PROMETHEE 1 des différentes actions

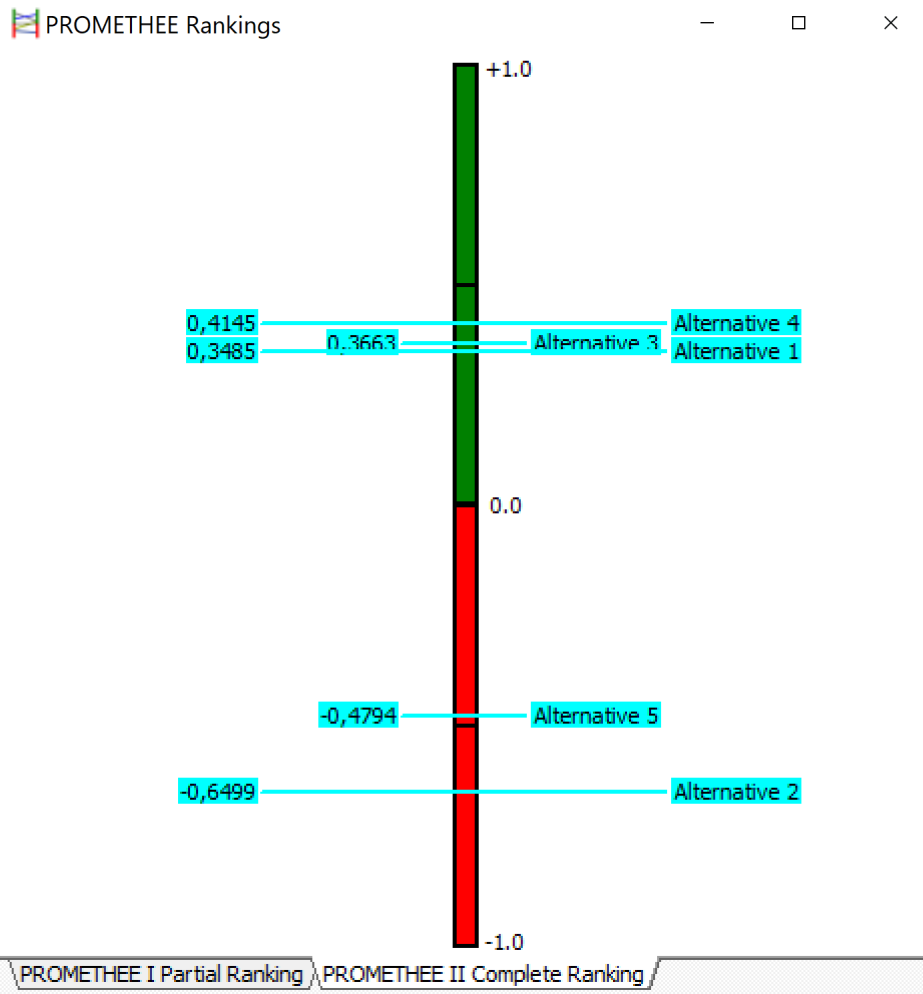


FIGURE 4.5 – Classement global PROMETHEE 2  
 PROMETHEE 2 nous permet de voir surclassement des différents alternatives. Ici nous remarquons le surclassement de l'action A4 sur toutes les autres, suivies de A3, puis A1, A5 et en dernière position l'alternative A2.

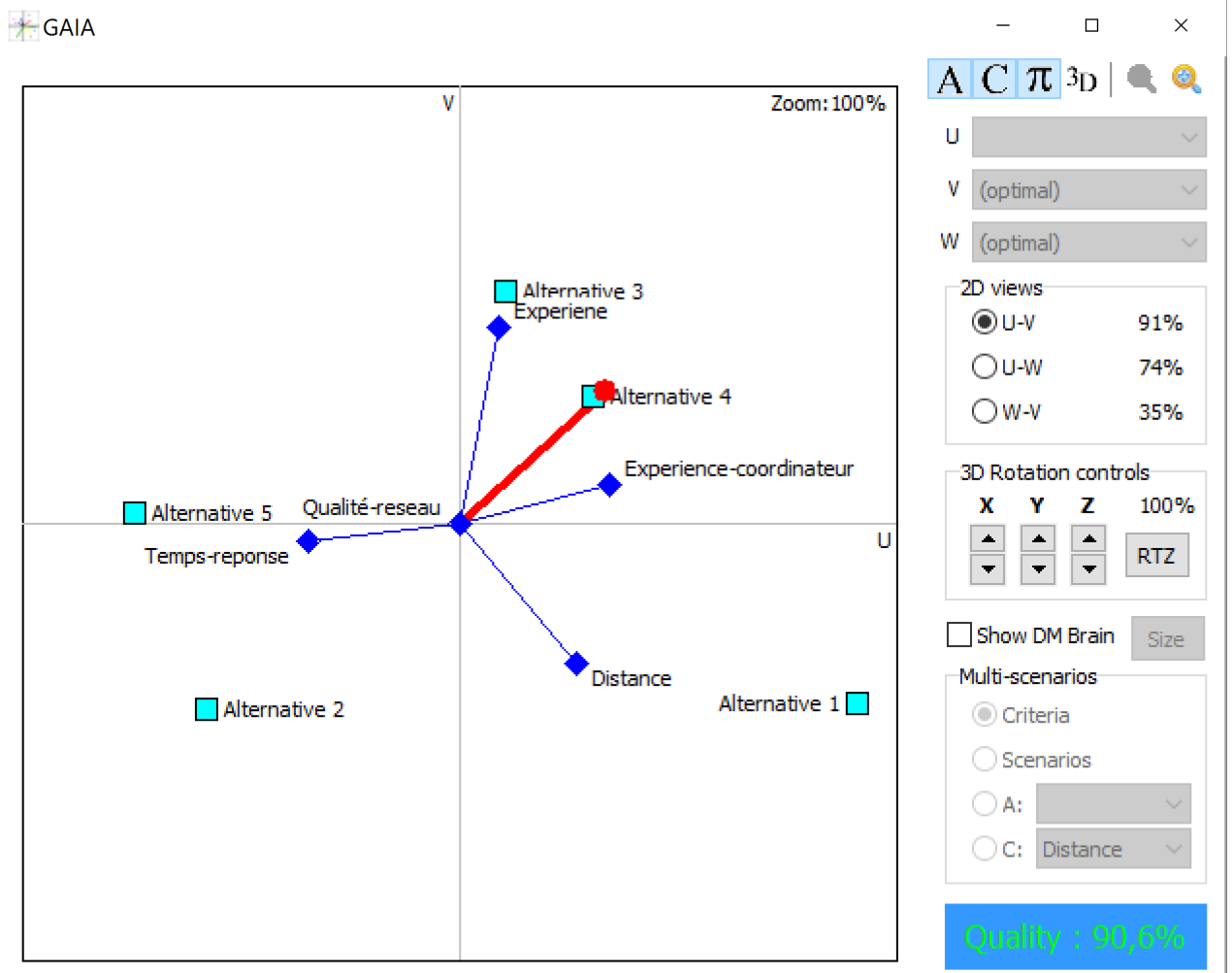


FIGURE 4.6 – Le plan GAIA

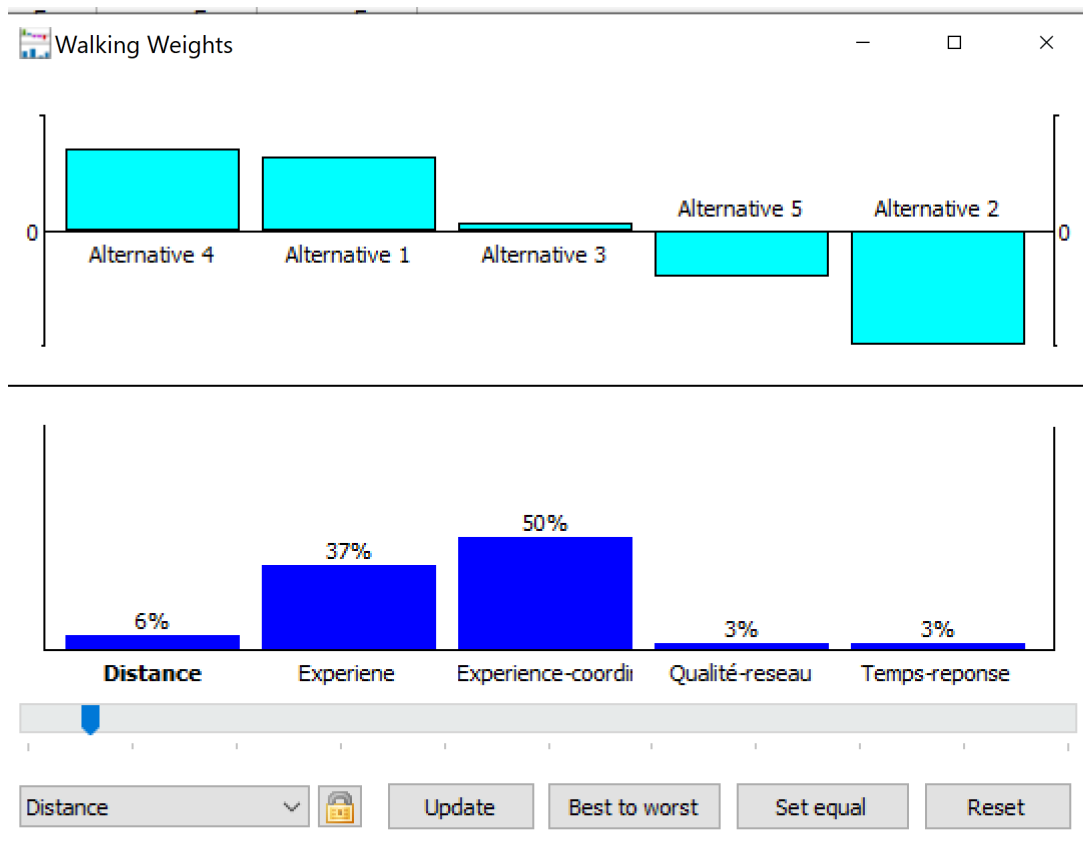


FIGURE 4.7 – Poids des critères

Sur ce schéma nous constatons la pondération de chaque critère. Dans notre cas d'étude, le critère "expérience-coordonateur" est largement en tête avec 50%, suivi du critère "expérience" 37%, "Distance" 6%, "qualité du réseau" et "temps de réponse" se retrouvent en dernière position avec un 3% du poids.

#### 4. Conclusion

Dans ce quatrième chapitre nous avons appliqué les trois méthodes d'analyse multicritères abordées dans le chapitre sur notre cas d'étude.

Notre cas d'étude consiste en la sélection, au choix d'un coordinateur dans le cadre de l'entretien.

Nous avons dans un premier temps appliqué la méthode Delphi afin de sélectionner à travers une série itérative de questionnaire les différents critères qui seront évalués dans l'optique du choix du facilitateur.

Ensuite l'utilisation de la méthode FAHP nous a permis d'attribuer aux différents critères un poids.

Puis nous avons utilisé la méthode FPROMETHEE dans un premier temps pour choisir le nombre de décideurs et d'alternatives. Dans notre travail nous avons fait le choix sur quatre (4) décideurs et cinq (5) alternatives.

Grâce à la méthode FPROMETHEE nous avons obtenu le classement partiel et global des différentes alternatives.

En dernière partie l'utilisation du logiciel PROMETHEE-GAIA nous a permis de simuler la méthode PROMETHEE afin de mieux observer toutes les actions ainsi que tous les critères à

---

travers une interface graphique qui montre le comportement de ces derniers dans chaque scénario(Chaque scénario représente le choix de chaque experts/décideurs).

# Conclusion Générale et perspectives

Notre travail a pour objectif le choix et la sélection d'un coordinateur dont le rôle est primordial au sien d'un système d'aide à la prise de décision collective.

Pour mener à bien notre travail nous avons en premier lieu défini le concept de la décision ainsi que l'aide à la décision de groupe et son implémentation à travers le système d'aide à la décision de groupe (GDSS).

Nous avons abordé ensuite la thématique de l'analyse multicritère qui, est devenu un domaine de recherche pour de nombreux experts et chercheurs à cause de sa complexité.

De là , nous avons vu quelques méthodes d'analyse multicritères que nous avons défini et expliquer afin de les appliquer à notre problématique qui est le choix du facilitateur.

Nous avons vu qu'ils existent plusieurs méthodes permettant d'analyser et solutionner les problèmes multicriteres dont la complexité est du au faite que les criteres sont pour la plupart concurrentiels ainsi il est difficile de choisir un critère au détriment d'un autre.

Parmi les méthodes d'analyse multicriteres que nous avons choisi, pour mieux comprendre notre démarche, la méthode Delphi dont le but principal est de recenser tous les critères qui devront être pris en compte dans le cadre de notre travail. Ainsi grâce à la méthode Delphi, nous avons pu dégager cinq critère de choix de coordinateur.

La deuxième méthode appliquée dans notre travail est la méthode FAHP.

FAHP où l'analyse hiérarchique des procédés floue est une combinaison de la méthode AHP avec la fuzzification. Cette combinaison a pour objectif de mieux relever les véritables expressions des experts et ainsi limiter les subjectivités et autres imperfections liées aux jugements humains.

A travers la méthode FAHP , nous avons attribué une pondération aux critères.

La troisième et dernière méthode , tout comme la deuxième méthode est une combinaison avec les nombres flous. Il s'agit de la méthode FPROMETHEE.

FPROMETHEE est une variante de la méthode PROMETHEE qui est une méthode de surclassement qui permet d'obtenir un classement partiel et global des alternatives.

La dernière étape de notre travail a été la simulation de nos résultats en utilisant le logiciel PROMETHEE-GAIA.

En perspectives, pour améliorer et apporter une vision globale , nous proposons une configuration du logiciel PROMETHEE-GAIA dans laquelle il serait possible d'introduire les valeurs floues (nombres triangulaires flous par exemple) afin de laisser le choix aux experts de mieux exprimer leurs choix et ainsi avoir des solutions aux problèmes multicriteres dans lesquelles les



---

limites liées aux jugements des hommes ne représentent plus un obstacle.

# Bibliographie

[**Adla,10**], Adla,"Facilitation pour une prise de decision collective",Thèse de doctorat ,Université de Toulouse, France,2010

[**Abdelhadi,19**], Abdelhadi" Élaboration d'un modèle de négociation par les web services dans un système d'aide multicritère à la décision de groupe",Thèse de doctorat ,Université Oran 1 ,Algérie,2019

[**Alnafie,16**], Alnafie"Vers une nouvelle approche pour l'éllicitation des préférences dans la méthodologie multicriteres d'aide à la decision",These de doctorat,Université Oran 1, 2016

[**Boudraa.N,12**], Boudraa.N" Élaboration d'un système d'aide multicritères à la décision spatiale de groupe", Memoire de Master,Université Oran 1,Algérie,2012

[**Bernard Roy,85**], Bernard Roy "Science de la décision ou science de l'aide à la décision", Revue internationale de systématique,Paris, 1985

[**Brans J.P,82**], Brans J.P"Élaboration d'instruments d'aide à la décision : méthode PROMETHEE",colloque d'aide à la décision, Université Laval, Québec, 1982

[**Bouyssou D, Roy B,93**], Bouyssou D, Roy B "Aide multicritère à la décision : méthodes et cas", Economica, Paris,1993

[**Bernard Roy,85**], Bernard Roy,"Méthodologie multicritère d'aide à la décision", 1er Ed, Economica, Paris,1985

[**Checroun A,92**], Checroun A,"Comprendre, concevoir et utiliser les SIAD", 1er Ed, Masson, Paris, 1992

[**Cremer M.A, Doutriaux. J,80**], Cremer M.A, Doutriaux J "Principes d'économie managériale", 1er Ed, Graeton morin, 1980

[**DeSanctis.G et Galuppe.B,87**], DeSanctis.G "A fundation,for the study of group decision support system",Journal ,1987

[**Gaouar.A,14**], Gaouar.A" Proposition d'un outil d'aide à l'évaluation des stratégies de coordination dans le fonctionnementd'un WEB-DSS", Memoire de Master,Université Tlemcen,Algérie,2014

---

[**Hamdadou,08**], Hamdadou " Un modèle d' aide à la décision en aménagement du territoire, une approche multicritere et une approche de négociation", Thèse de doctorat, Université Oran1, Algérie 2008

[**Othman.I,98**], Imed Othman "Optimisation multicritère : fondements et concepts", Thèse de doctorat, université Joseph Fourier de Grenoble, France, 1998

[**Keeney R.L,92**] Keeney R.L " *Value focused thinking : A path to creative decision* ", Harvard university press

[**Laborie.F,06**], Laborie.F " Le concept de salle de décision collective et son application aux processus complexe", Thèse de doctorat, Université Toulouse 3, France, 2006

[**Mandouri,19**], Mandouri "Vers un système d' aide à la décision spatiale de groupe : négociation par argumentation ", Thèse de doctorat, Université Oran 1 , Algérie, 2019

[**Maache.Y,11**], Maache.Y " Aide à la decision d' ordonnancement inter-entreprise dans le cadre des travaux de la maintenance ", Thèse de doctorat, Université Batna, Algérie, 2011

[**Mareschal B, Brans J.P,88**], Mareschal B, Brans J.P "Geometrical representations for MCDA", European Journal of Operation Research, 1988

[**Marcela P. Moreira,17**] Marcela P. Moreira, "PROMETHEE and Fuzzy PROMETHEE Multicriteria Methods for Ranking Equipment Failure Modes" Conference Paper December 2009

[**MAKREM B. J,15**], MAKREM BEN JEDDOU "Application de la méthode AHP pour le choix multicritères des fournisseurs", Revue Marocaine de recherche en management et marketing, 2015

[**Marakas, G,99**], Marakas, G, "Decision Support Systems in the Twenty-First Century". N.J., USA, 1999

[**Mintzberg H,93**], Mintzberg H "Structure et dynamique des organisations", 1er Ed, Ed d'organisation, Paris, 1993

[**Nachet.B,14**], Nachet Bakhta "Modèle multi-agents pour la conception des systèmes d' aide à la décision collective ", Thèse de doctorat, Université Oran 1 , Algérie, 2014

**Nabareseh.S,15**, Nabareseh Stephen "Selecting Countries for Developmental Aid Programs using Fuzzy PROMETHEE" , London, U.K, Novembre 2015

[**Vincke.P,89**], Philippe Vincke "L' aide multicritère à la décision", 1er Ed, Ed de l' université de Bruxelles, Belgique, 1989

[**Roy.B,85**], Roy.B " Aide multicriteres à la decison", Journal, Edition Economica Paris , France, 1985

[**SAATY, Thomas L,80**] , SAATY "The Analytic Hierarchy Process", New York : McGraw-Hill, 1980

---

[**Schnitzler,17**], Schnitzler" Apparentissage automatique des données multiparametriques au gisement de sulfures massives volcanogenes", Thèse de doctorat, Université Quebec ,Canada,2017

[**Scharlig.A,85**], Scharlig.A"Décider sur plusieurs criteres";Panorama de l'aide à la decision multicritere vol 1 , Edition PPUR press polytechniques , 1985

[**Simon H,82**], Simon H,"Rational choise and the structure of environnement", Models of bounded rationality,Cambridge, 1982

[**Seddiki,18**], Seddiki,"Integreted FAHP-FPROMETHEE for thermal insulation of mansory building",2018

[**Seddiki,18**], Mohammed Seddiki,"Multi-criteria evaluation of renewable energy alternatives for electricity generation in a residential building",2019

[**Taibi.B,10**], Taibi BOUMEDIENE,"L'analyse Multicritère comme outil d'aide à la décision :Application de la méthode PROMETHEE Etude de cas : l'entreprise SEROR,UNIVERSITE ABOU-BEKR-BELKAID TLEMCEN,2010

[**Zaraté,05**], Zaraté"Des systèmes interactifs d'aide à la décision aux systèmes coopératifs d'aide à la décision ", Thèse de doctorat, Université Toulouse ,France,2005

<https://www.e-marketing.fr/Thematique/academie-1078/fiche-outils-10154/La-methode-DELPHI-324666.htm4S2OlbeO1kKDyAow.97>