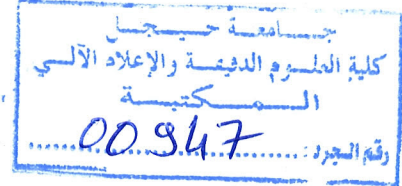


Rèpublique Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche Scientifique

Université Mohamed Sadik Benyhia de Jijel  
Faculté des Sciences Exactes et d'informatique  
Département d'Informatique



## Mémoire

de fin d'études pour l'obtention du  
diplome de Master en  
Informatique

Option : Système d'information et aide à la décision

Thème

Aide multicritère à la répartition des thèmes  
des mémoires de Master

Présenté par : Rida Rabiaa

Encadré par : Dr. Chettibi Saloua

Promotion : 2018.

Rèpublique Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche Scientifique

Université Mohamed Sadik Benyhia de Jijel  
Faculté des Sciences Exactes et d'informatique  
Département d'Informatique

لا يعار.  
Exclus du Prêt.



**Mémoire**  
*de fin d'études pour l'obtention du  
diplome de Master en  
Informatique*

Option : Système d'information et aide à la décision

Thème

**Aide multicritère à la répartition des thèmes  
des mémoires de Master**

Présenté par : Rida Rabiaa

Encadré par : Dr. Chettibi Saloua

Promotion : 2018.

## *Remerciements*

Avant tout, je remercie **Dieu** qui m'a donné le courage et la force pour continuer, c'est grâce à lui que mon chemin est éclairé pour finir ce modeste travail.

Je remercie très vivement mon encadreur **Dr. " Chettibi Saloua "** pour son soutien, sa disponibilité, ses orientations, ses précieux conseils et ses encouragements tout au long de mon travail.

Je tiens à remercier très sincèrement l'ensemble des **membres du jury** qui me font le grand honneur d'accepter de juger mon travail

Je remercie mes très chers **parents**, qui ont toujours été là pour moi.

Ces remerciements vont aussi au corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences Exactes et Informatique, "Département d'informatique", pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une bonne formation.

Ma reconnaissance s'adresse à ma **famille** qui a su m'approcher, sans relâcher les soutiens durant toutes ces longues années d'études.  
Je remercie également, tous les enseignants, qui ont assuré ma formation durant mon cycle universitaire.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes amies, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

## *Dédicaces*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance Aussi, c'est tout simplement que je tiens à dédier ce modeste travail :*

*À Ma chère mère et à mon cher père, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*À ma très chère sœur pour ses encouragements permanents, et son soutien moral.*

*À mes chers frères pour leur appui et leur encouragement.*

*À mes oncles et tantes , cousines et cousins, et à toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.*

*À Tous mes enseignants .*

*À mes chères amies et collègues.*

*À tous ceux qui j'aime et tous ceux qui m'aiment.*

*Merci d'être toujours là pour moi*

**Rabaa**



## RÉSUMÉ

L'analyse multicritère est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes de décision où plusieurs critères, souvent contradictoires, doivent être satisfaits simultanément. Ce domaine d'AMCD (Aide multicritère à la décision) connaît une évolution importante qui s'est traduite par le développement d'un grand nombre de méthodes multicritère.

Dans ce mémoire, le problème de répartition des sujets de master est formulé en tant qu'une Problématique d'affectation  $P.\beta$  suivie par une Problématique de classement  $P.\gamma$ . Afin de résoudre ces deux problématiques, nous faisons recours à ELECTRE-TRI et TOPSIS, respectivement. Le processus décisionnel proposé est implémenté au sein d'une application Java destinée à être utilisée par les enseignants, les étudiants et l'administration.

**Mots clés :** Aide multicritère à la décision, Problématique d'affectation  $P.\beta$ , Problématique de classement  $P.\gamma$ , ELECTRE, TOPSIS .

## ABSTRACT

Multicriteria analysis is a decision support tool developed to solve decision problems where several criteria, often contradictory, must be met simultaneously. This MCDA (Multicriteria Decision aid) area is undergoing significant evolution that has resulted in the development of a large number of multicriteria methods.

In this master's thesis, the problem of the distribution of master thesis topics is formulated as an assignment problematic  $P.\beta$  followed by a ranking problematic  $P.\gamma$ . In order to solve these two problems, we use ELECTRE-TRI and TOPSIS, respectively. The proposed decision-making process is implemented within a Java application for use by teachers, students and administration.

**Key words :** multicriteria decision aid, assignment problematic  $P.\beta$ , ranking problematic  $P.\gamma$ , ELECTRE-TRI, TOPSIS .

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>1</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>4</b>
<b>Table des figures</b>	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>6</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>7</b>
<b>1 Aide multicritère à la décision</b>	<b>9</b>
1.1 Introduction . . . . .	9
1.2 Décision . . . . .	9
1.3 Aide à la décision . . . . .	9
1.4 Processus de décision et Processus d'aide à la décision . . . . .	10
1.5 Acteurs dans un processus de décision . . . . .	11
1.6 Paradigme monocritère . . . . .	11
1.7 Aide multicritère à la décision . . . . .	12
1.8 Problématiques en aide multicritère à la décision . . . . .	12
1.8.1 Problématique de choix $P.\alpha$ . . . . .	12
1.8.2 Problématique de tri $P.\beta$ . . . . .	12
1.8.3 Problématique de rangement $P.\gamma$ . . . . .	13
1.8.4 Problématique de description $P.\delta$ . . . . .	13
1.9 Relations de préférence . . . . .	13
1.9.1 Rappelle sur Quelques propriétés des relations binaires . . . . .	14
1.9.2 Relations d'ordre . . . . .	15
1.10 Conclusion . . . . .	16
<b>2 Méthodes d'aide multicritère à la décision</b>	<b>17</b>
2.1 Introduction . . . . .	17
2.2 Concepts et terminologie . . . . .	17
2.2.1 Action . . . . .	17
2.2.2 Critère . . . . .	17

2.3	Démarche générale d'une méthode multicritère . . . . .	18
2.3.1	Dresser la liste des actions potentielles . . . . .	19
2.3.2	Dresser la liste des critères à prendre en considération . . . . .	19
2.3.3	Calcul de la matrice des performances . . . . .	19
2.3.4	Agrégation des performances . . . . .	19
2.4	Classification des méthodes d'AMCD . . . . .	20
2.4.1	Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse . . . . .	20
2.4.2	Méthodes basées sur la relation de surclassement . . . . .	20
2.4.3	Méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif . . . . .	21
2.5	Méthodes utilisant un critère unique de synthèse . . . . .	21
2.5.1	Méthode de la somme pondérée . . . . .	21
2.5.2	Méthode TOPSIS . . . . .	22
2.5.3	Méthode VIKOR . . . . .	24
2.6	Méthodes utilisant la relation de surclassement . . . . .	25
2.6.1	Relation de surclassement . . . . .	25
2.6.2	Construction de relation de surclassement . . . . .	26
2.6.3	Graphe de surclassement . . . . .	26
2.6.4	Noyau du graphe . . . . .	26
2.6.5	Méthodes ELECTRE . . . . .	26
2.6.6	Méthodes PROMETHEE . . . . .	31
2.7	Les avantages et les limites d'aide multicritère à la décision . . . . .	31
2.8	Conclusion . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Conception</b> . . . . .	<b>33</b>
3.1	Introduction . . . . .	33
3.2	Description de la procédure actuelle . . . . .	33
3.2.1	Étapes de processus actuelle . . . . .	33
3.2.2	Critique de la procédure actuelle . . . . .	35
3.3	Processus Proposé . . . . .	35
3.3.1	Affectation des étudiants à des catégories . . . . .	36
3.3.2	Proposition des sujets PFE par les enseignants . . . . .	39
3.3.3	Dépôts des fiche de vœux par les étudiants . . . . .	39
3.3.4	Classement des étudiants . . . . .	39
3.3.5	Affectation des sujets aux étudiants . . . . .	40
3.3.6	Exemple numérique . . . . .	40
3.4	Conclusion . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Implémentation</b> . . . . .	<b>49</b>
4.1	Introduction . . . . .	49
4.2	L'environnement de développement . . . . .	49

---

4.2.1	L'environnement matériel . . . . .	49
4.2.2	L'environnement Logiciel . . . . .	49
4.3	Présentation de l'application . . . . .	50
4.3.1	Coté serveur . . . . .	50
4.3.2	Coté client . . . . .	54
4.4	Conclusion . . . . .	58
	<b>Conclusion générale</b>	<b>59</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>60</b>



# Liste des tableaux

1.1	Modélisation des quatre situations fondamentales de préférences dans la comparaison de deux actions potentielles [5]	14
2.1	Les différentes procédures d'affectation [20]	31
3.1	Paramètres utilisés dans ELECTRE-TRI	39
3.2	Matrice des performances des étudiants	41
3.3	Tableau d'indice de concordance	41
3.4	Tableau d'indice de concordance Globale	42
3.5	Tableau de l'indice de discordance	43
3.6	Tableau de l'indice de crédibilité	44
3.7	Existence de relation de surclassement	44
3.8	Matrice des performances	45
3.9	Calcul des préférences normalisées	45
3.10	Multiplication des préférences normalisées par les poids	45
3.11	Calcul de la distance par rapport à la solution idéale et anti-idéale	46
3.12	Calcul de l'indice de similarité	46
3.13	Classement et affectations des étudiants dans les catégories	46
3.14	Exemple de cinq fiches de vœux	47
3.15	Affectation des sujets aux étudiants	48

# Table des figures

1.1	Modèle IDC [13]	10
1.2	Problématique de choix $P.\alpha$ [17]	12
1.3	Problématique de tri $P.\beta$ [17]	13
1.4	Problématique de rangement $P.\gamma$ [17]	13
2.1	Procédure d'agrégation multicritère [21]	20
2.2	Graghe de surclassement	26
2.3	Illustration de la problématique de tri [12]	29
2.4	Détermination de l'indice de concordance [20]	29
2.5	Détermination de l'indice de discordance [20]	30
3.1	Schéma global du processus proposé	36
3.2	Catégories-Bornes	37
4.1	Interface principale du Serveur	51
4.2	Interface ELECTRE-TRI	52
4.3	Interface Topsis	53
4.4	Interface affectation des sujets	53
4.5	Interface Accueil	54
4.6	Interface d'authentification	55
4.7	Interface Espace Enseignant	56
4.8	Interface Espace Étudiant	57
4.9	Interface Espace authentification Admin	58
4.10	Interface Visualisation des données	58

# Liste des abréviations

**AMCD** Aide Multicritère à la décision

**ELECTRE** Elimination Et Choix Traduisant la REalité

**IDC** Intelligence Design choice

**PAMC** Procédure d'agrégation multicritère

**PFE** Projet Fin d'Etdues

**PROMETHEE** Preference Ranking Organisation METHods for Enrichement Evaluation

**SP** Somme Pondérée

**TOPSIS** Technique for Ordre Préférence by Similarity to Ideal Solution

**UE** Unité d'Enseignement

**VIKOR** ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

# Introduction générale

Tout activité humaine nécessite de faire un choix entre plusieurs possibilités. Prendre une décision est une activité quotidienne pour tout individu qui fait partie intégrante de sa vie. Quand il s'agit des organisations ou des entreprises, la prise de décision n'est pas toujours une tâche simple. C'est pour cette raison que des technique d'aide à la décision ont vu le jour.

Ces techniques se basent souvent sur un seul critère, chose qui ne concorde pas toujours avec les besoins de l'organisation, et donc un seul critère n'est pas suffisant pour prendre la bonne et la meilleure décision. Ainsi ces techniques se sont orientées vers le multicritère qui nous permet de prendre la meilleure décision tout en évaluent toutes les alternatives possibles [8].

## Problématique

Dans le milieu universitaire, on a souvent besoin de sélectionner et/ou de classer les étudiants, par exemple : à l'entrée d'une formation de master ou lors de l'affectation des sujets PFE (Projet de Fin d'Etudes), etc.

Notre travail porte sur la problématique de répartition des thèmes des mémoires de Master. Considérons l'exemple de l'université de Jijel, et spécifiquement le département d'informatique, nous constatons que la procédure actuelle :

- Est principalement guidée par les préférences des étudiants qui sont exprimées par des fiches de vœux.
- Ne prend en compte qu'un seul critère dans le classement, à savoir :« les résultats académiques de l'étudiant».
- Se déroule manuellement.

L'objectif principal de ce projet est d'exploiter la puissance de la modélisation multicritère afin d'affecter chaque sujet à l'étudiant susceptible de l'accomplir avec succès. En plus, la procédure d'affectation des sujets sera complètement automatisée ce qui permet d'optimiser le temps et l'effort fourni.

## Plan de mémoire

Ce mémoire est organisé en 04 chapitres :



- ✓ **Chapitre 01** : Nous introduisons l'aide à la décision et ses domaines. Aussi, nous présentons l'aide multicritère à la décision (AMCD) avec ses problématiques principales.
- ✓ **Chapitre 02** : Dans ce chapitre, nous classifions les méthodes d'AMCD. Particulièrement, nous décrivons les méthodes : somme pondérée, TOPSIS, VI-KOR, ELECTRE 1 et ELECTRE-TRI.
- ✓ **Chapitre 03** : Nous commençons par critiquer la procédure actuellement utilisée dans la répartition des sujets de master. Ensuite, nous proposons une nouvelle procédure basée sur les méthodes ELECTRE-TRI et TOPSIS. Nous illustrons notre proposition à l'aide d'un exemple numérique.
- ✓ **Chapitre 04** : Nous présentons dans ce dernier chapitre l'application Client-Serveur développée en Java. Cette application permet aux enseignants de déposer leurs sujets, aux étudiants de déposer leurs fiches de vœux et à l'administrateur de lancer la procédure d'affectation.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale dans laquelle nous résumons notre travail et nous proposons quelques perspectives.



# Aide multicritère à la décision

## 1.1 Introduction

L'approche monocritère, issue du domaine de l'aide à la décision et de la recherche opérationnelle, cherche à trouver une solution optimale pour tout contexte décisionnel. Par contre, l'approche multicritère cherche à construire, en collaboration avec le décideur, une solution de compromis entre plusieurs critères d'évaluation. Dans ce chapitre, nous visons à définir les concepts de base nécessaires pour mieux cerner notre domaine d'étude.

## 1.2 Décision

*Une Décision est le fait d'un individu isolé "le décideur" exerçant librement un choix entre plusieurs possibilités d'actions à un moment donné dans le temps*[5].

## 1.3 Aide à la décision

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, en prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision[5].

En effet, l'aide à la décision est destinée à la résolution des problèmes qui requièrent des calculs compliqués et non pas élémentaires. On peut citer quelques domaines d'aide à la décision [5] :

### ✓ Problèmes de production

ordonnancement de tâches sur une machine ou dans un atelier, gestion des approvisionnements, adaptation du fonctionnement d'une usine à une demande variable, organisation de tournées de distribution, planification des opérations d'entretien, choix d'une technologie.

### ✓ Problèmes de mercatique

organisation d'un réseau de distribution, répartition et motivation de la force de vente,

choix de supports pour une campagne publicitaire.

✓ **Problèmes de gestion du personnel**

recrutement d'un ou de plusieurs candidats, mise en place d'un système d'évaluation.

✓ **Problèmes de gestion financière**

évaluation de projets d'investissement, octroi de crédits bancaires, constitution d'un portefeuille de titres.

✓ **Problèmes de recherche-développement**

sélection et évaluation de projets de recherche.

## 1.4 Processus de décision et Processus d'aide à la décision

Un processus de décision est une séquence d'étapes successives et itératives qui permet d'aider le décideur à faire un choix plus éclairé. Le processus d'aide à la décision est l'insertion de l'activité d'aide à la décision au sein d'un processus de décision [8].

Selon le modèle IDC (Intelligence design choice), le processus de décision est composé de

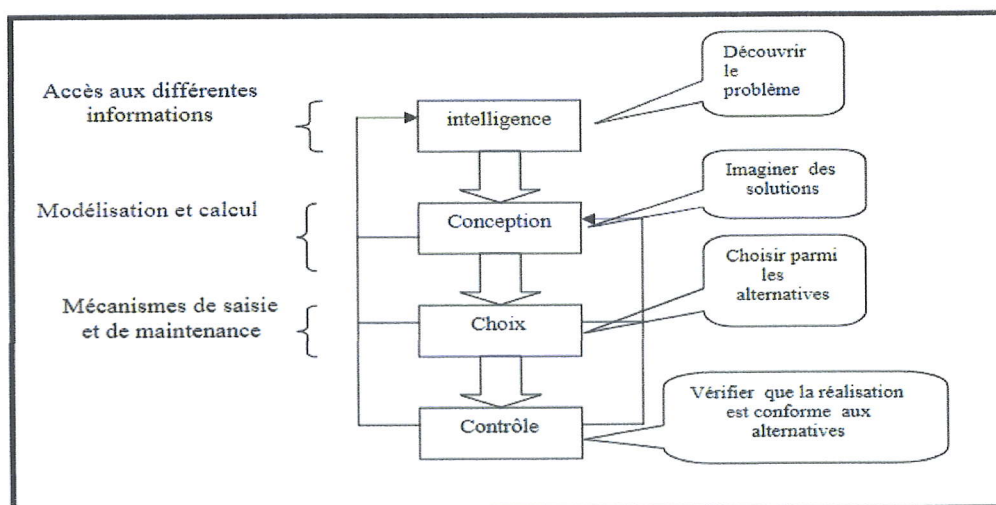


FIGURE 1.1 – Modèle IDC [13]

trois étapes [13] :

- ◆ **L'information ou le renseignement (intelligence)** : Recherche d'information en fonction des questions que se pose le décideur, définition du problème à résoudre, c'est-à-dire identification des objectifs ou buts, classification de celui-ci, décomposition du problème en sous-problèmes plus faciles à résoudre.
- ◆ **La conception (design)** : la construction ou le choix d'un modèle du processus de décision, détermination des variables de décision, des variables incontrôlables, des relations mathématiques ou symboliques ou qualitatives entre ces variables et construction de solutions.

- ◆ **Le choix (choice)** : Le décideur choisit entre les différentes suites d'actions-solutions qu'il a été capable de construire et d'identifier pendant la phase précédente. Cette étape se décompose en deux étapes : celle de **recherche** et celle d'**évaluation**. La phase de recherche peut être de type analytique (optimisation, toutes les alternatives sont atteintes), aveugle (recherche exhaustive ou partielle) et heuristique. Dans ces deux cas, seule une solution respectivement soit assez bonne, soit satisfaisante est fournie. Cette recherche est couplée avec une évaluation qui est l'étape finale qui amène à une recommandation solution.

## 1.5 Acteurs dans un processus de décision

L'acteur est un élément dans un modèle (donc une représentation) de l'observateur. On peut distinguer plusieurs acteurs qui peuvent interférer les uns avec les autres [6] :

- ✓ **Décideur** : c'est la personne à qui s'adresse l'aide à la décision, il occupe une position centrale dans le processus. Il désigne l'entité qui apprécie le (possible) et les finalités, exprime les préférences et est censé les faire prévaloir dans l'évolution du processus.
- ✓ **Intervenant** : c'est une personne qui cherche à influencer le décideur dans une des phases du processus.
- ✓ **Agis** : ils sont concernés par les conséquences de la décision. Ils interviennent indirectement dans le processus par l'image que d'autres se font de leurs valeurs et plus concrètement de leurs systèmes de préférences.
- ✓ **Homme d'étude (ou analyste)** : prend en charge l'aide à la décision en utilisant des modèles plus ou moins formalisés.
- ✓ **Médiateur** : intervient en vue d'aider les décideurs (ou les négociateurs) à rechercher une action-compromis.

## 1.6 Paradigme monocritère

L'approche classique de la théorie de la décision consistait en une approche connue sous le nom de paradigme monocritère. Cette approche avait le mérite de déboucher sur des problèmes mathématiques bien posés mais qui n'étaient pas toujours représentatifs de la réalité car [6] :

- ◆ La comparaison de plusieurs actions possibles se fait rarement suivant un seul critère.
- ◆ les préférences sur un critère sont, dans bien des cas, difficilement modélisables par une fonction.
- ◆ Lorsqu'il y a plusieurs objectifs, il est impossible de les atteindre tous à la fois.



## 1.7 Aide multicritère à la décision

Le paradigme multicritère est défini par Rosenthal(1985)[8] comme étant un domaine affilié à la Recherche Opérationnelle/Aide à la Décision (RO/AD) dédié aux contextes décisionnels qui sous-tendent la prise en compte simultanée de plusieurs critères (par exemple : coût, risque, sécurité, confort, etc.)[8]. Cependant, la prise de décision en présence de critères multiples est difficile parce que ces critères sont généralement conflictuels, exprimés dans des unités différentes et difficiles de mesurer quantitativement. Pour cela, plusieurs méthodologies d'aide multi-critère à la décision ont été développées comme nous allons le voir dans le chapitre suivant.

## 1.8 Problématiques en aide multicritère à la décision

Roy [5] a identifié quatre problématiques de référence : la problématique de choix, la problématique de tri, la problématique de rangement et la problématique de description.

### 1.8.1 Problématique de choix $P.\alpha$

La problématique de choix  $P.\alpha$  consiste à formuler le problème en termes de meilleur choix, l'aide à la décision est orientée de telle sorte le résultat soit une sélection d'un ensemble de « bonnes » alternatives qui soit de plus petite cardinalité possible. La procédure de sélection n'est pas orientée directement vers une solution optimale, mais elle consiste plutôt à éliminer les mauvaises alternatives en les comparant [17].

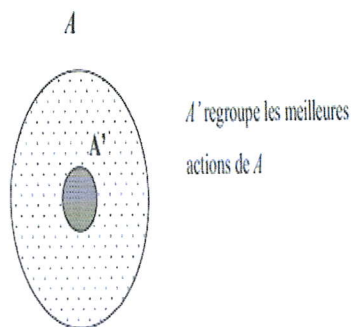
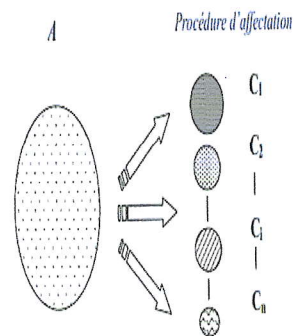


FIGURE 1.2 – Problématique de choix  $P.\alpha$  [17]

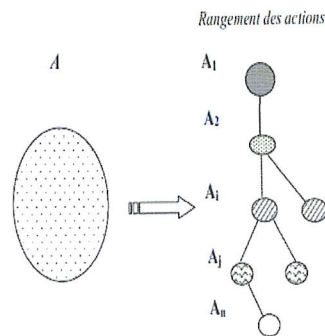
### 1.8.2 Problématique de tri $P.\beta$

La problématique du tri  $P.\beta$  consiste à poser le problème en termes de tri des actions par catégories. Le choix de cette catégorie est justifié par le type de jugement que l'on voudrait porter sur les actions et par les traitements que l'on souhaiterait faire [17].

FIGURE 1.3 – Problématique de tri  $P.\beta$  [17]

### 1.8.3 Problématique de rangement $P.\gamma$

La problématique du rangement  $P.\gamma$  consiste à poser le problème en termes de rangement des actions de  $A$  ( $A$  : l'ensemble des alternative) ou de certaines d'entre elles, où à ce que l'on ait un ordre partiel ou total sur l'ensemble  $A$  [17].

FIGURE 1.4 – Problématique de rangement  $P.\gamma$  [17]

### 1.8.4 Problématique de description $P.\delta$

La problématique de la description  $P.\delta$  consiste à poser le problème en termes limités à une description des actions de  $A$  et/ou de leurs conséquences. Ce type de problématique est approprié lorsque le décideur rencontre des difficultés à définir le problème à présenter une description systématique et formalisée des actions et de leurs conséquences qualitatives ou quantitatives [17].

## 1.9 Relations de préférence

Afin de prendre une décision, il est nécessaire que le décideur soit capable de comparer les différentes alternatives disponibles en utilisant une relation de préférence qui est

mathématiquement une relation binaire. Dans la modélisation des préférences, quatre situations fondamentales peuvent être rencontrées : l'**indifférence**, la **préférence stricte**, la **préférence faible** et l'**incomparabilité**. Ces situations sont représentées par les relations binaires  $I, P, Q, R$ , respectivement comme le montre le tableau suivant [5] :

<i>Situation</i>	<i>Définition</i>	<i>Propriété de la relation binaire</i>
<b>Indifférence</b>	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre les deux actions.	<b><math>I</math></b> : relation symétrique et réflexive
<b>Préférence stricte</b>	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une (identifiée) des deux actions.	<b><math>P</math></b> : relation asymétrique et irréflexive
<b>Préférence faible</b>	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui affirment une préférence stricte en faveur de l'une (identifiée) des deux actions mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre soit une indifférence entre ces deux actions.	<b><math>Q</math></b> : relation asymétrique et irréflexive
<b>Incomparabilité</b>	Aucune des trois situations précédentes ne s'impose : les deux actions sont alors non comparables.	<b><math>R</math></b> : relation symétrique et irréflexive

TABLE 1.1 – Modélisation des quatre situations fondamentales de préférences dans la comparaison de deux actions potentielles [5]

### 1.9.1 Rappel sur Quelques propriétés des relations binaires

Une **relation binaire**  $R$  sur un ensemble  $A$  est un sous ensemble du produit cartésien  $A \times A$ .

Soit  $R$  une relation binaire sur un ensemble  $A$ . Parmi les propriétés les plus classiques que  $R$  peut posséder, mentionnons [5] :

- ◆ **Réflexivité** :  $\forall a \in A, aRa$  ;
- ◆ **Irréflexivité** :  $\forall a \in A, \neg aRa$  ;
- ◆ **Symétrie** :  $\forall a, b \in A, aRb \iff bRa$  ;
- ◆ **Asymétrie** :  $\forall a, b \in A, aRb \Rightarrow \neg bRa$  ;
- ◆ **Antisymétrie** :  $\forall a, b \in A \times A, aRb \text{ et } bRa \Rightarrow a = b$



- ◆ **Transitivité** :  $\forall a, b, c \in A, aRb \text{ et } bRc \Rightarrow aRc$ ;
- ◆ **Quasi-transitive** :  $\forall a, b, c, d \in A, aRb \text{ et } bRa \Rightarrow aRd \text{ ou } dRc$ .
- ◆ **Complétude** :  $\forall a, b \in A, aRb \text{ et/ou } bRa$ .
- ◆ **Ferrers** :  $\forall a, b, c, d \in A, aRb \text{ et } cRd \Rightarrow aRd \text{ ou } cRb$

### 1.9.2 Relations d'ordre

Une relation binaire  $R$  est une relation d'ordre si cette relation est [20] :

- Réflexive.
- Antisymétrique.
- Transitive.

Parmi les types des relations d'ordre on peut citer [20] :

- **Préordre** : est une relation réflexive et transitive [20].
- **Ordre** : est un préordre antisymétrique [20].
- **Ordre totale** : est une relation binaire qui est : complète, transitive et antisymétrique [10].
- **Pré-ordre totale** : est une relation de pré-ordre pour laquelle tous les éléments d'un ensemble peuvent être liés en relation. L'incomparabilité entre deux éléments n'est pas permise, par contre les relations de préférence  $P$  et d'indifférence  $I$  sont prise en considération. [17, 20].

$$\forall a, b \in A \begin{cases} aPb \iff g(a) > g(b) \\ aIb \iff g(a) = g(b) \end{cases} \quad (1.1)$$

- **quasi-ordre** : est une relation binaire réflexive, appelée aussi semi-ordre, on vérifiera les relation de transitivité, de Ferrers et de semi-transitivité. Cette relation est de quasi-ordre ssi il existe une fonction  $g : A \rightarrow \mathbb{R}$  telle que [17] :

$$\forall a, b \in A \begin{cases} aPb \iff g(a) > g(b) + q \\ aIb \iff |g(a) - g(b)| \leq q \end{cases} \quad (1.2)$$

avec :  $q$  une constante non négative appelée seuil d'indifférence.

- **Ordre partiel** : cet ordre est basé sur l'évaluation d'une action par des intervalles, cet ordre est basé sur l'existence de relation de complétude et de Ferrers, il est vérifié lorsque il existe une fonction  $g : A \rightarrow \mathbb{R}$  et une fonction  $q : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$  telle que [17] :

$$\forall a, b \in A \begin{cases} aPb \iff g(a) > g(b) + q(g(b)) \\ aIb \iff \begin{cases} g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \\ g(b) \leq g(a) + q(g(a)) \end{cases} \end{cases} \quad (1.3)$$

- **Pseudo-ordre** : parmi les relation les plus complexes, introduit la préférence faible (Q), la préférence strict (P), et l'indifférence. Le pseudo-ordre est vérifié ssi il existe une fonction  $g : A \rightarrow \mathbb{R}$ , une fonction  $q : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$  et une fonction  $p : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$



telles que [17] :

$$\forall a, b \in A \left\{ \begin{array}{l} aPb \iff g(a) > g(b) + p(g(b)) \\ aIb \iff \begin{cases} g(a) \leq g(b) + q(g(b)) \\ g(b) \leq g(a) + q(g(a)) \end{cases} \\ aQb \iff g(b) + p(g(b)) \geq g(a) > g(b) + q(g(b)) \end{array} \right. \quad (1.4)$$

$q$  (respectivement  $p$ ) est appelée seuil d'indifférence (respectivement seuil de préférence).

## 1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la décision et le processus d'aide à la décision. Ensuite, nous avons expliqué la différence entre le paradigme monocritère et celui multicritère. En outre, nous avons identifié les problématiques fondamentales en aide multicritère à la décision. Enfin, nous avons abordé la modélisation des préférences.

Le chapitre suivant va porter sur les approches utilisées en aide multicritère à la décision.

# Méthodes d'aide multicritère à la décision

## 2.1 Introduction

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils d'aide à la décision développés depuis les années 1960. De nombreuses méthodes ont été proposées afin de permettre aux décideurs de faire un «bon» choix. Pour certains experts du domaine, ce choix existe dans l'esprit du décideur, et le processus d'aide à la décision doit le faire ressortir. Pour d'autres, le processus d'aide à la décision doit créer ce choix. Dans ce chapitre, nous allons définir la terminologie de base et décrire les différentes méthodes d'aide multicritère à la décision.

## 2.2 Concepts et terminologie

### 2.2.1 Action

L'ensemble des action noté  $A$  est l'ensemble des objets, décisions, candidats, que l'on va explorer dans le processus de décision.

Une action peut être [17] :

**Réelle** : Elle correspond à un projet complètement élaboré susceptible d'être mis à exécution. Mais nous serons souvent amenés à considérer, dans l'aide à la décision, les actions fictives.

**Fictive / Imaginaire** : est considérée soit comme une action idéalisée pour connaître la réaction du décideur, soit comme objet de référence (ou prototype) dans les problèmes de classification multicritère, les actions fictives peuvent être réalistes ou non réalistes.

**Réaliste** : correspond à un projet dont la mise à exécution peut être raisonnablement envisagée.

**Potentielle** : est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins ou présumée telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision.

### 2.2.2 Critère

Un critère  $g$  est une fonction à valeurs réelles définie sur l'ensemble  $A$  des actions potentielles de telle sorte qu'il soit possible de raisonner ou de décrire le résultat de la comparaison

de deux actions a et b à partir des deux nombres  $g(a)$  et  $g(b)$  [5].

On distingue plusieurs types de critères [21] :

- **Vrai-critère** : la structure de préférence sous-jacente est une structure de pré-ordre total ("modèle traditionnel").
- **Quasi-critère** : la structure de préférence sous-jacente est une structure de quasi-ordre ("modèle à seuil").
- **Critère d'intervalle** : la structure de préférence sous-jacente est une structure d'ordre d'intervalle ("modèle à seuil variable").
- **Pseudo-critère** : la structure de préférence sous-jacente est une structure de pseudo-ordre.

### 2.2.2.1 Famille de critères

L'élaboration d'une famille  $F = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  de critères pour représenter les différents points de vue est un opération délicate qui doit permettre de modéliser les préférences à un niveau global [17].

### 2.2.2.2 Famille de critères cohérente

Une famille de critères est cohérente si elle est conforme aux trois exigences suivantes [21] :

- **Exhaustivité** : dans le sens qu'il ne faut pas oublier un critère.
- **Cohérence** : Il doit y avoir une cohérence entre les préférences locales de chaque critère et les préférence globales. C'est-à-dire si une action a est égale à une action b pour tous les critères sauf pour un ( ou elle lui est supérieure), ceci signifie que l'action a est globalement supérieure à l'action b.
- **Indépendance** : Il ne doit pas y avoir de redondance entre les critères. Leur nombre doit être tel que la suppression d'un des critères ne permet plus de satisfaire les deux conditions précédentes.

## 2.3 Démarche générale d'une méthode multicritère

Lorsqu'on pose un problème multicritère, il s'agit d'en trouver la "solution la plus adéquate". Cette solution pouvant prendre diverses formes (choix, affectation, ou classement ). Une méthode AMCD opère en 4 grandes étapes [19] :

1. Dresser la liste des actions potentielles A.
2. Dresser la liste des critères à prendre en considération F.
3. Établir la matrice des performances .
4. Agréger les performances.

### 2.3.1 Dresser la liste des actions potentielles

Cette première étape doit d'être définie au mieux, et c'est l'occasion de réflexion sur le dit contexte. Au fait, lors de cette étape le champ d'étude est délimité en définissant l'ensemble des alternatives ou actions potentielles et admissibles, conformément à la situation décisionnelle en question.[8]

### 2.3.2 Dresser la liste des critères à prendre en considération

Il s'agit d'élaborer la liste des critères à prendre en considération pour mesurer les conséquences d'une action. En effet, les critères à déterminer doivent permettre de décrire, d'analyser, d'évaluer et de comparer les différentes actions potentielles. Un critère peut être plus important qu'un autre. Cette importance relative est exprimée par la valeur de poids associé [21, 8].

### 2.3.3 Calcul de la matrice des performances

Il consiste à évaluer chaque action potentielle de l'ensemble A selon chaque critère de l'ensemble des critères F. Cette évaluation se fait à l'aide d'une matrice constituée en lignes des actions potentielles de l'ensemble A et en colonnes des différents critères. N'importe quelle méthode multicritère agit sur cette matrice qui est la matrice des performances. Ainsi, les valeurs qui remplissent ce tableau est le croisement des lignes et des colonnes de cette matrice qui donne une évaluation de l'action  $a_i$  selon le critère j. Les seuils et les poids sont des informations complémentaires contenues dans chaque colonne. La matrice des performance prend la forme suivante [8, 21] :

$$M = \begin{matrix} & g_1 & \dots & g_n & \dots & g_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ \dots \\ \dots \\ a_i \\ \dots \\ \dots \\ a_n \end{matrix} & \left( \begin{matrix} g_1(a_1) & \dots & g_j(a_1) & \dots & g_n(a_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_1(a_i) & \dots & g_j(a_i) & \dots & g_n(a_i) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_1(a_n) & \dots & g_j(a_n) & \dots & g_n(a_n) \end{matrix} \right) \end{matrix}$$

### 2.3.4 Agrégation des performances

Une fois avoir obtenue l'évaluation de chaque action par rapport à chaque critère, il est nécessaire d'obtenir un modèle qui permettra de faire une évaluation globale. En effet, lors de cette étape, un modèle approprié à la situation étudiée, est déterminé dans le but de représenter des préférences globales sur l'ensemble A.[8]



On peut résumer la démarche générale d'une méthode par la figure 2.1

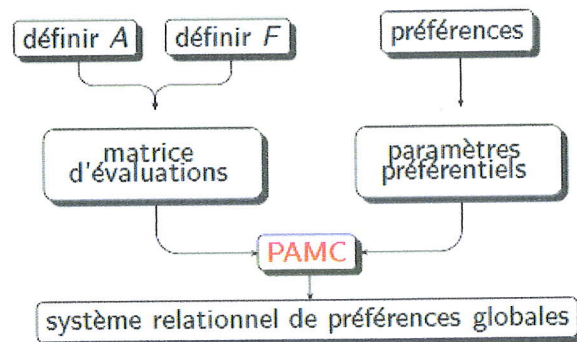


FIGURE 2.1 – Procédure d'agrégation multicritère [21]

## 2.4 Classification des méthodes d'AMCD

Les méthodes d'aide multicritère à la décision peuvent être classifiées selon le type de problème qu'elles affrontent ou selon les formes d'agrégation des critères. Roy[5] propose trois classes de méthodes : **méthodes par agrégation complète**, par **agrégation partielle** et par **agrégation locale**.

### 2.4.1 Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse

Cette approche est la plus classique. Les méthodes appartenant à cette catégorie sont généralement désignées sous le nom des méthodes d'agrégation complète. Dans cette approche, les différents critères sont synthétisés dans une seule fonction mathématique monotone (à sens d'évaluation unique). Dans ces méthodes, le problème multicritère est transformé en un problème monocritère. L'approche suppose que tous les jugements soient commensurables et transitifs et exclut toute incomparabilité entre deux actions [8, 21].

### 2.4.2 Méthodes basées sur la relation de surclassement

Cette approche est l'inverse de l'approche précédente, les méthodes appartenant à cette catégorie, sont appelées aussi les méthodes d'agrégation partielle. Elles respectent l'incomparabilité et l'intransitivité. En effet, les actions sont comparées deux à deux pour pouvoir vérifier l'existence d'une relation de surclassement ou pas. Une fois toutes les actions comparées de cette façon, une synthèse de l'ensemble des relations binaires est élaborée afin d'apporter des éléments de réponse à la situation décisionnelle posée, à condition que l'ensemble des actions est fini [8, 21].

### 2.4.3 Méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif

Cette approche s'applique à des ensembles d'actions d'une très grande dimension voire infinis (les actions varient en continu). Les méthodes appartenant à cette catégorie, sont également appelées méthodes d'agrégation locale et itérative. Cette appellation renvoie au fait que ces dernières procèdent, en premier lieu, par la détermination d'une solution de départ. Elles effectuent ensuite une recherche dans l'environnement de cette solution pour essayer d'aboutir à un meilleur résultat, d'où le qualificatif et progressif, le terme itératif a été également utilisé pour qualifier les méthodes interactives. Ainsi ces dernières permettent de modéliser les préférences du décideur de manière séquentielle et itérative. En effet, elles s'attachent à révéler progressivement des phases de calcul et de dialogue. Cette succession d'étapes a pour finalité d'arriver à un compromis final qui puisse satisfaire le décideur [9].

## 2.5 Méthodes utilisant un critère unique de synthèse

Les méthodes utilisant un critère unique de synthèse modélise la situation de l'indifférence et de la préférence et exclut l'incomparabilité. (Ce qui permet d'avoir un ordre totale sur  $A$ ). Le principe de ces méthodes consiste à rechercher une fonction  $g$  (d'évaluation globale) qui est le résultat de l'agrégation des performances partielles  $a_1, a_2 \dots, a_n$  d'une alternative (action)  $a$  telle que :

$$g(a) = V(g(1), g(2), \dots, g(n)). \quad (2.1)$$

où :

- $V$  : est l'opérateur d'agrégation qui sert à combiner plusieurs valeurs numériques en une seule.
- $n$  : est le nombre des critères.

Parmi les méthodes appartenant à la catégorie utilisant un critère unique de synthèse nous retrouvons la méthode de la somme pondérée, la méthode TOPSIS et la méthode VIKOR.

### 2.5.1 Méthode de la somme pondérée

La méthode de la somme pondérée est à la fois la méthode la plus simple et la plus connue dans le domaine de prise de décision multicritère. Comme son nom l'indique, la méthode de la somme pondérée consiste à pondérer les différents critères du problème de décision multicritère avec des nombres réels appelés poids, qui représentent l'importance de chaque critère dans le processus de décision. Une fois l'importance des différents critères quantifiée, la méthode choisit l'action qui minimise ou maximise la somme pondérée des critères [7].

Mathématiquement, la fonction d'agrégation  $V$  prend la forme suivante :

$$g(a) = \sum_{i=1}^n w_i a_i$$

tel que :

- $w_i \in [0,1]$
- $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .
- **Cette méthode présente plusieurs avantages :**[7]
  - ✓ Simplicité et utilisation facile de la méthode.
  - ✓ Permet d'obtenir un résultat numérique.
  - ✓ Permet d'obtenir un classement complet des actions.
- **Cependant, cette méthode a ses limites :**
  - ✓ L'interprétation des poids n'est pas très claire car ils intègrent à la fois :
    - la notion d'importance relative des critères.
    - un facteur de normalisation des échelles des critères.
    - le choix des coefficients de pondération qui nécessite une connaissance préalable du problème.
  - ✓ Pas de correspondance intuitive entre les valeurs des poids et la solution optimale proposée par SP.

## 2.5.2 Méthode TOPSIS

La technique pour la préférence d'ordre par similitude à la solution idéale (TOPSIS) développé par Hwang et Yoon est une technique pour évaluer la performance des alternatives par la similitude avec la solution idéale. Selon cette technique, la meilleure alternative serait celle qui est la plus proche de la solution idéale-positive et la plus éloignée de la solution anti-idéale. La solution idéale est celle qui maximise les critères de bénéfice et minimise les critères de coût. La solution idéale-négative maximise les critères de coût et minimise les critères de bénéfice. En résumé, la solution idéale est composée de toutes les meilleures valeurs possibles des critères, et la solution anti-idéale consiste en toutes les plus mauvaises valeurs possibles des critères [18].

### 2.5.2.1 Étapes de la méthode TOPSIS

Dans cette partie, nous expliquons la procédure détaillée de TOPSIS et avant de cité l'ensemble des étapes, nous considérons la matrice performances  $M$ , définies comme suit :

$$M = \begin{matrix} & C_1 & \dots & C_n \\ A_1 & \left( \begin{matrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \right) \end{matrix}$$



où  $A_1, A_2, \dots, A_m$  sont des alternatives, et  $C_1, C_2, \dots, C_n$  sont des critères,  $x_{ij}$  indique la notation de l'alternative  $A_i$  selon le critère  $C_j$ . Le vecteur de poids  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  est composé des poids individuels  $w_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) pour chaque critère  $C_j$  satisfaisant  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ . En général, les critères sont classés de bénéfique signifie qu'une valeur plus élevée est meilleure alors que pour le critère de coût est valide le contraire. Les données de la matrice de décision  $M$  proviennent de différentes sources, il est donc nécessaire de la normaliser pour la transformer en une matrice sans dimension, ce qui permet de comparer les différents critères [18].

**Étape 1 :**

Pour chaque alternative ( $i$ ) et chaque critère ( $j$ ), calculer les préférences normalisées.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (g_j(x_i))^2}}$$

tel que :  $j=1, \dots, n$ , et  $n$  est le nombre des critères.

$i=1, \dots, m$ , et  $m$  est le nombre des alternatives.

**Étape 2 :**

Multiplier les performances normalisées par les poids associées aux critères :

$$v_j(x_i) = w_j * r_{ij}$$

**Étape 3 :**

Identification de solution  $A^+$  idéale et anti-idéale  $A^-$  tel que :

$$A^+ = \{ v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+ \}$$

$$A^- = \{ v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^- \}$$

avec :

$$v_j^+ = (\max v_{ij}, j \in J_1; \min v_{ij}, j \in J_2)$$

$$v_j^- = (\min v_{ij}, j \in J_1; \max v_{ij}, j \in J_2)$$

avec :  $J_1$  : Ensemble des critères de bénéfique.  $J_2$  : Ensemble des critères de coût.

**Étape 4 :**

Calculer les distances euclidiennes à partir de la solution idéale  $A^+$  et la solution anti-idéal  $A^-$  de chaque alternative  $A_i$  comme suit :

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij}^+)^2}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij}^-)^2}$$

tel que :

$$d_{ij}^+ = v_{ij} - v_j^+, \text{ avec } i=1, \dots, m;$$

$$d_{ij}^- = v_{ij} - v_j^-, \text{ avec } i=1, \dots, m;$$

**Étape 5 :**

Calcul de l'indice de similarité à la solution idéal.



$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}$$

**Étape 6 :**

Classer les alternatives en fonction de la proximité relative. Les meilleures alternatives sont celles qui ont l'indice de similarité le plus élevé et qui devraient donc être choisies parce qu'elles sont plus proches de la solution idéale  $A^+$ .

**2.5.3 Méthode VIKOR**

La méthode VIKOR (Multicriteria Optimization and Compromise Solution) une technique d'AMCD, centré sur le classement et la sélection d'un ensemble d'alternatives dans la présence de critères contradictoires. Par solution de compromis, on entend une solution réalisable, la plus proche de l'idéal, et le terme «compromis» signifie un accord établi par des concessions mutuelles. La méthode VIKOR détermine la liste de classement de compromis et la solution de compromis en introduisant l'indice de classement multicritères basé sur la mesure particulière de «proximité» à la solution «idéale» [11].

**2.5.3.1 Étapes de la méthode VIKOR**

Avant de citer les différentes étapes de la méthode VIKOR, nous avons besoin d'introduire que cette méthode est basée sur la matrice de performance  $M$  qui a la même définition que dans TOPSIS. Considérons aussi les critères sont à maximiser.

**Étape 1 :**

Déterminer le meilleur  $f_j^*$  et le pire  $f_j^-$  pour tous les critères tel que :

$$f_j^* = \max_j f_{ij} .$$

$$f_j^- = \min_j f_{ij} .$$

avec :

$i=1, \dots, m$  et  $m$  est le nombre des alternatives.

$j=1, \dots, n$  et  $n$  est le nombre de critère.

$f_{ij}$  valeur de critère  $j$  prise par l'alternative  $i$ .

**Étape 2 :**

Pour chaque alternative  $i$ , calculer  $S_i$  et  $R_i$  tel que :

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* + f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}$$

$$R_i = \text{Max}_j \left( w_j \frac{f_j^* + f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right)$$

avec :

$S_i$  :le maximum de l'utilité du groupe.

$R_i$  :le minimum individuel de regret de l'adversaire.

**Étape 3 :**

Pour chaque alternative  $i$ , calculer  $Q_i$  :

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^-}{R^- - R^*}$$

tel que :

$$\begin{aligned} S^* &= \min_j S_j & R^* &= \min_j R_j \\ S^- &= \max_j S_j & R^- &= \max_j R_j \end{aligned}$$

$v$  est un paramètre entre 0 et 1, tel que :

Si  $v > 0.5$  il s'agit d'un vote majoritaire .

Si  $v \simeq 0.5$  il s'agit d'un vote consensus .

Si  $v < 0.5$  il s'agit d'un veto .

#### Étape 4 :

Classer les alternatives, en les triant par leurs valeurs  $S_i$ ,  $R_i$  et  $Q_i$ , dans l'ordre croissant.

Les résultats sont trois listes de classement : S, R, Q respectivement.

#### Étape 5 :

Proposer comme solution de compromis l'alternative ( $A'$ ) classée première dans la liste Q, si les deux conditions C1 et C2 sont vérifiées ensemble :

• C1. "Avantage acceptable" :

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad (2.2)$$

où :

$A''$  est l'alternative avec la deuxième position dans la liste de classement par Q

$DQ = \frac{1}{(m-1)}$  et  $m$  est le nombre d'alternatives.

• C2. "Stabilité acceptable dans la prise de décision" :

La solution  $A'$  doit aussi être la mieux classée dans S et / ou R.

Si Seulement C2 n'est pas vérifiée : renvoyer  $A'$  et  $A''$ .

Si C1 n'est pas vérifiée : renvoyer les  $M$  premières alternatives tel que :

$$Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ .$$

## 2.6 Méthodes utilisant la relation de surclassement

Les méthodes qui utilisent la relation de surclassement consistent à comparer les alternatives par paires au moyen d'une relation de surclassement S. Puis d'exploiter cette relation afin de fournir un résultat répondant à l'une des trois premières problématiques (choix, tri, rangement)[15].

### 2.6.1 Relation de surclassement

Une relation de surclassement est une **relation binaire** S définie dans A telle que  $aSb$  si, étant donné ce que l'on sait des **préférences du décideur** et étant donnée la **qualité des évaluations des actions** et la **nature du problème**, il y a suffisamment d'arguments pour admettre que a est **au moins aussi bonne** que b, sans qu'il y ait de raison importante

de refuser cette affirmation [14].

Les méthodes de surclassement procèdent en deux étapes : celle de la construction de la relation de surclassement, et celle d'exploitation de la relation de surclassement en fonction de la problématique choisie. Nous pouvons citer deux grandes familles qui sont ELECTRE et PROMETHEE [15].

### 2.6.2 Construction de relation de surclassement

Pour valider la relation de surclassement, il faut vérifier les deux conditions suivantes [14]

- **Condition de concordance** : une majorité de critères doit être en accord avec  $aSb$  (principe majoritaire).
- **Condition de non-discordance** : aucun des critères non concordants ne doit réfuter fortement  $aSb$  (principe de respect des minorités).

### 2.6.3 Graphe de surclassement

Le **graphe de surclassement** permet de visualiser la relation de surclassement pour l'ensemble des couples d'actions [21].

### 2.6.4 Noyau du graphe

Le **noyau du graphe** est composé d'un ensemble de sommets tel que [21]

- Tous les sommets qui n'appartiennent pas au noyau sont surclassés par un sommet du noyau au moins.
- Les sommets du noyau ne se surclassent pas entre eux.

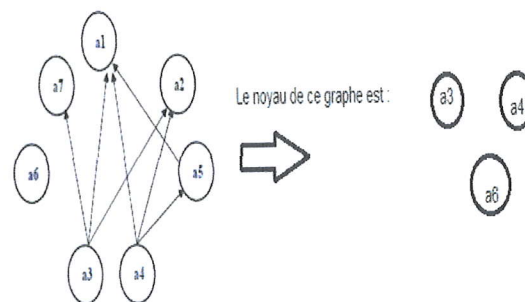


FIGURE 2.2 – Graphe de surclassement [21]

### 2.6.5 Méthodes ELECTRE

Les méthodes ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la REalité) ont été développées par Bernard Roy au début des années 1970. Les méthodes ELECTRE suivent



l'approche d'agrégation partielle. Elles se basent sur les mêmes concepts fondamentaux de l'analyse multicritère mais diffèrent dans leurs fonctionnements ainsi que dans le type de la problématique traitée[21].

### 2.6.5.1 Méthode ELECTRE 1

Cette méthode, permet de résoudre les problèmes multicritère de choix. Elle partitionne l'ensemble A des actions potentielles en deux sous-ensemble N et A/N complémentaires tels que toute action appartenant à A/N est surclassée par au moins une action appartenant à N. les actions-éléments de A/N sont éliminées. Les actions appartenant à N sont incomparables entre elles, ce sont les actions sélectionnées [21].

Comme nous l'avons énoncé ci-dessus, la méthode ELECTRE se base sur les deux concepts de concordance et discordance afin de classer les actions. Pour ce faire la méthode introduit deux paramètres appelés **indice de concordance** et **indice de discordance**.

Les étape de ELECTRE1 sont les suivants :

#### Étape 1 :

Effectuer des comparaisons sur tous les couples d'action par chaque critère ce qui permet de construire les trois ensembles suivants :

$$\begin{aligned}j^+(a_i, a_k) &= \{j \in F / g_j(a_i) \geq g_j(a_k)\} \\j^=(a_i, a_k) &= \{j \in F / g_j(a_i) = g_j(a_k)\} \\j^-(a_i, a_k) &= \{j \in F / g_j(a_i) < g_j(a_k)\}\end{aligned}$$

alors on peut construire l'ensemble de concordance tel que :

$$J(a_i, a_k) = j^+(a_i, a_k) \cup j^=(a_i, a_k)$$

#### Étape 2 :

Convertir les relations entre actions en valeur numérique.

On détermine la somme des poids des critères appartenant a chaque famille  $j^+, j^=, j^-$  comme suit :

$$\begin{aligned}P^+(a_i, a_k) &= \sum_j P_j \text{ avec } j \in j^+(a_i, a_k) \\P^=(a_i, a_k) &= \sum_j P_j \text{ avec } : j \in j^=(a_i, a_k) \\P^-(a_i, a_k) &= \sum_j P_j \text{ avec } : j \in j^-(a_i, a_k)\end{aligned}$$

#### Étape 3 :

Fusionnement des valeurs numériques obtenues.

**Indice de concordance  $c_{ik}$**  : Cette indice est entre 0 et 1 ( $0 \leq c_{ik} \leq 1$ ). Il exprime combien l'hypothèse de départ  $\ll a_i S a_k \gg$  concorde avec la réalité représentée par l'évaluation des actions.



$$c_{ik} = \frac{P^+(a_i, a_k) + P^-(a_i, a_k)}{P(a_i, a_k)}$$

**Indice discordance :** Cette indice est entre 0 et 1 ( $0 \leq D_{ik} \leq 1$ ). Sa valeur augmente si  $a_k$  est considérablement préférée par rapport à  $a_i$

$$D_{ik} = \begin{cases} 0 & \text{si } j^-(a_i, a_k) = \emptyset, \\ \max_j \left( \frac{g_j(a_k) - g_j(a_i)}{\delta_j} \right) & \text{sinon .} \end{cases} \quad (2.3)$$

avec  $\delta_j$  représente la différence maximale entre deux action pour le même critère.

**Étape 4 :**

Pour qu'une relation de surclassement soit valable il faut qu'elle soit suffisamment concordante et suffisamment non discordante avec l'hypothèse  $\ll a_i S a_k \gg$

$$\ll a_i S a_k \gg \Leftrightarrow \begin{cases} C_{ik} \geq c \\ D_{ik} \leq d \end{cases} . \quad (2.4)$$

c : seuil de concordance (proche de 0.7)

d : seuil de discordance (proche de 0.3)



**2.6.5.2 Méthode ELECTRE TRI**

Cette méthode permet de résoudre des problèmes d'affectation (problématique  $P.\beta$ ) où les actions doivent être classées dans différentes catégories. L'affectation d'une action résulte des comparaisons avec des actions de référence ou profil définissant les catégories. Cette méthode utilise un modèle [20].

On note l'ensemble  $F = \{1, 2, \dots, m\}$  l'ensemble des indices des critères. Chaque action de l'ensemble A sera évaluée par une fonction réelle, exprimant l'évaluation de l'action pour un critère donné, on note  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_h\}$  l'évaluation de l'action pour les critères considérés. L'importance des critères dans la prise de décision est évaluée par un ensemble de poids  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ . Par opposition aux autres approches, les alternatives qui constituent l'objet de la décision ne sont pas comparées entre elles, mais à des seuils traduisant la frontière entre les  $h$  classes prédéfinies, noté  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_h\}$ . Chaque alternative sera comparée aux frontières de chaque catégorie, formant un profil  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_h\}$ . La figure 2.3 illustre la problématique de tri ou d'affectation.

L'affectation des actions dans les catégories se base sur la vérification des relations de surclassement  $\ll a S b_h \gg$ .

L'approche ELECTRE TRI s'appuie sur les étapes suivantes [20]

**Étape 1 :**

Évaluation de l'indice de concordance

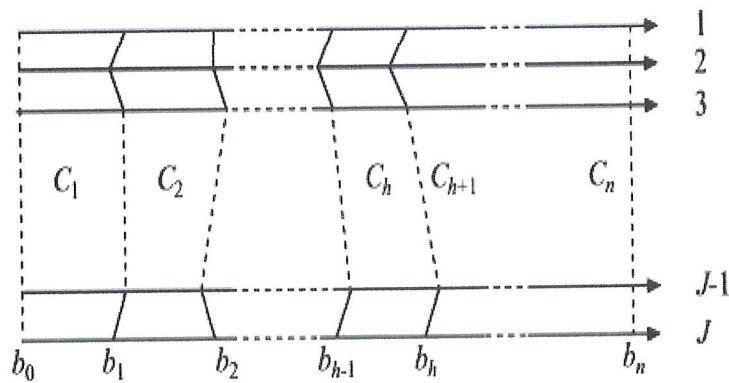


FIGURE 2.3 – Illustration de la problématique de tri [12]

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h), \\ 1 & \text{si } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h), \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} & \text{sinon.} \end{cases} \quad (2.5)$$

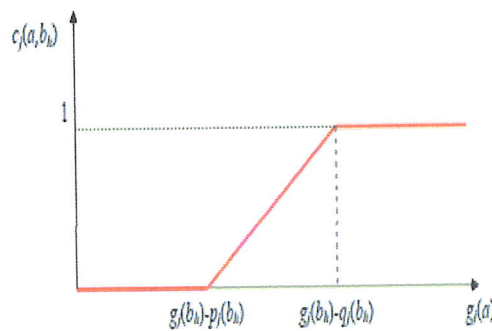


FIGURE 2.4 – Détermination de l'indice de concordance [20]

**Étape 2 :**

Calcul de l'indice de concordance global :

$$C(a, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} w_j * c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} w_j} \quad (2.6)$$

**Étape 3 :**

Calcul de l'indice de discordance à chaque critère  $j$  est associé un seuil de veto  $v_j(b_h)$  tel que :  
 $g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h)$

$$D_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b_h) < g_j(a) + p_j(b_h), \\ 1 & \text{si } g_j(b_h) > g_j(a) + q_j(b_h), \\ \frac{g_j(a) + p_j(b_h) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - v_j(b_h)} & \text{sinon.} \end{cases} \quad (2.7)$$

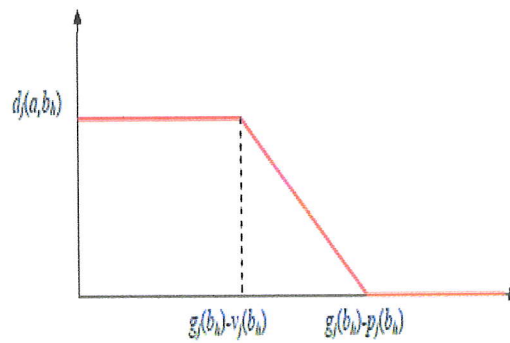


FIGURE 2.5 – Détermination de l'indice de discordance [20]

**Étape 4 :**

Calcul d'indice de crédibilité

$$\sigma(a, b_h) = \begin{cases} C(a, b_h) & \text{si } \bar{F} = \emptyset, \\ C(a, b_h) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - C(a, b_h)} & \text{sinon} \end{cases} \quad (2.8)$$

avec  $\bar{F}(a, b_h) = \{j \in F : d_j(a, b_h) > C(a, b_h)\}$

**Étape 5 :**

Établissement de la relation de surclassement . Dans ce cas, la relation de surclassement se définit à base de l'indice de crédibilité et de l'indice de coupe  $\lambda$ . L'indice de coupe  $\lambda$  qui représente le seuils de majorité doit satisfaire  $\lambda \in [\frac{W}{2}, W]$  tel que  $W$  est la somme des poids. Quant les poids sont normalisées  $\lambda \in [0.5, 1]$  .

Dans cette étape les règles suivantes sont utilisées :

$\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  et  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \Rightarrow a$  S  $b_h$  et  $b_h$  S  $a \Rightarrow a$  I  $b_h$ .  $a$  est Indifférent à  $b_h$

$\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  et  $\sigma(b_h, a) < \lambda \Rightarrow a$  S  $b_h$  et  $b_h$  ne surclasse pas  $a \Rightarrow a$  surclasse  $b_h$

$\sigma(a, b_h) < \lambda$  et  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \Rightarrow a$  ne surclasse pas  $b_h$  et  $b_h$  S  $a \Rightarrow b_h$  surclasse  $a$ .

$\sigma(a, b_h) < \lambda$  et  $\sigma(b_h, a) < \lambda \Rightarrow a$  ne surclasse pas  $b_h$  et  $b_h$  ne surclasse pas  $a \Rightarrow b_h$  . Dans ce cas  $a$  et  $b$  sont incomparables.

Il existe deux types de procédure d'affectation : l'affectation optimiste et l'affectation pessimiste. Elles sont décrites dans le tableau suivant 2.1

<i>Procédure d'affectation</i>	<i>Pessimiste</i>	<i>Optimiste</i>
<b>Objectif</b>	Ranger les actions dans les catégories les plus basses possibles.	Ranger les actions dans les catégories les plus hautes possibles
<b>Procédure</b>	Affecter l'action à une catégorie de façon telle que cette action surclasse l'action de référence basse de cette catégorie, $a \succ b_h \Rightarrow a \in C^{h+1}$	Affecter l'action à une catégorie de façon telle que l'action de référence haute de cette catégorie soit préférée à l'action, $b^h > a \Rightarrow a \in C^h$
<b>Sens</b>	De haut en bas	De bas en haut

TABLE 2.1 – Les différentes procédures d'affectation [20]

### 2.6.6 Méthodes PROMETHEE

La méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation METHODS for Enrichment Evaluation) a été proposée pour la première fois en 1982 par Jean Pierre Brans. Elle fait partie de la famille des méthodes de surclassement valué, pour lequel deux traitements mathématiques particuliers sont proposés : le premier permet de ranger les actions en un préordre partiel et qui mène à l'incomparabilité (méthode PROMETHEE I), le second permet de ranger les actions potentielles selon un préordre total (méthode PROMETHEE II)[9]

## 2.7 Les avantages et les limites d'aide multicritère à la décision

L'aide multicritère à la décision présente plusieurs avantages [9] :

- ◆ **Trouver une solution dans des situations complexes** : est un avantage important en aide multicritère à la décision qui se caractérise par sa capacité à simplifier les situations complexes, par la décomposition et la structuration de l'analyse pour atteindre une solution en toute transparence.
- ◆ **Une méthode compréhensible** : Même si les outils mathématiques utilisés pour traiter l'information peuvent être complexes, les bases sur lesquelles s'effectuent les choix des critères et la notation des performances sont en revanche souvent simples, compréhensibles et mises au point par le groupe qui conduit le processus d'analyse.
- ◆ **Une méthode rationnelle** : Grâce à une approche homogène et simultanée lors de l'évaluation d'un grand nombre d'objets, la méthode permet également une appréciation stable des différents éléments entrant dans l'analyse. En ce sens, elle rationalise le processus conduisant aux choix .



- ◆ **Un outil de négociation utile aux débats complexes** : l'utilisation d'aide multicritère à la décision dans la résolution de problèmes complexes, dans des différents contextes conflictuels. La lisibilité de ses méthodes permet de dépassionner le débat et de surcroît, de développer la communication entre les acteurs. Elle constitue ainsi un outil de discussion, de délibération, de concertation, ou de négociation utile aux débats entre les usagers.  
Néanmoins, l'aide multicritère à la décision présente plusieurs limites [9] :
- ◆ **Lourdeurs des débats** : Les difficultés opérationnelles pour choisir des actions à étudier, pour définir des critères de comparaison et les variables de performances. Les débats pour résoudre ces points essentiels à la réussite d'aide à la décision peuvent parfois être très longs et compliqués .
- ◆ **Disponibilité des données** : Manque des données fiables pour un système d'information sur une durée suffisante, qui influence sur la décision et la validation des méthodes dans le processus d'aide à la décision.
- ◆ **Facteurs temps et coûts** : Durant l'évaluation la durée de réalisation des analyses et leurs coûts en ressources humaines, en traitement des données sont souvent les facteurs les plus limitant.

## 2.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dans un premier temps défini la terminologie de base utilisée dans les méthodes d'AMCD. Puis, nous avons expliqué la démarche générale d'une méthode multicritère. En plus, nous avons classifié les méthodes d'AMCD selon l'approche suivie dans l'agrégation. Enfin nous avons décrit des méthodes d'AMCD très connues dans la littérature à savoir : la somme pondérée, TOPSIS, ELECTRE1 et ELECTRE TRI . Dans le chapitre suivant, nous allons présenter notre contribution à la résolution du problème d'affectation des sujet PFE aux étudiants. Une contribution essentiellement basée sur l'aide multicritère à la décision.

# Conception

## 3.1 Introduction

Typiquement, la répartition des sujets de master nécessite de classer les étudiants. Ce classement doit se faire selon plusieurs critères tels que : la qualité des résultats académiques obtenus, l'adéquation entre les connaissances déjà acquises et le sujet du master, maîtrise d'anglais, préférence de l'étudiant, etc.

Dans ce chapitre, nous critiquons la procédure actuellement suivie dans l'affectation des thèmes de master aux étudiants au sein de notre département. Ensuite, nous proposons une nouvelle procédure basée sur des méthodes d'AMCD.

## 3.2 Description de la procédure actuelle

Au sein de notre département d'informatique, l'affectation des sujets de PFE se déroule chaque année après les examens du Semestre 3. Cette étape est précédée par une phase préparatoire de proposition des sujets par les enseignants.

### 3.2.1 Étapes de processus actuelle

Le processus de proposition et d'affectation des sujets PFEs passe par les étapes suivantes :

#### Étape de proposition et validation des sujets

Chaque enseignant doit proposer au moins un sujet qui :

- ✓ Doit être dans le domaine informatique.
- ✓ Doit être destiné à une spécialité bien déterminée (SIAD, Réseaux ou IA).
- ✓ Ne fait pas l'objet d'un mémoire déjà soutenu.
- ✓ Doit être réalisable de point de vue difficulté et durée.

Le comité scientifique se réunit pour valider les sujets et vérifier les contraintes déjà citées. La liste des sujets retenue, par spécialité, est affichée pour les étudiants.

## Étape de classement des étudiants

La secrétaire prépare le classement des étudiants selon une moyenne calculée en utilisant la formule suivante :

### Cas d'un seul étudiant (monôme)

$$M = MG * (1 - T * (AS + \frac{PC}{2} + \frac{RS}{4})) \quad (3.1)$$

Tel que :

- M : Moyenne de classement.
- MG : Moyenne générale.
- T : Taux d'actualisation.
- AS : Nombres des année supplémentaire.
- PC : Nombre de réussites par crédit.
- RS : Nombre de réussites à la deuxième session.

avec :

$$MG = \frac{S1 + S2}{2} \quad (3.2)$$

- S1 : moyenne de l'étudiant en Semestre 1.
- S2 : moyenne de l'étudiant en Semestre 2.

### Cas de deux étudiants (Binôme)

La moyenne de classement est :

$$M = \frac{Mc1 + Mc2}{2} \quad (3.3)$$

Tel que :

- Mc1 : Moyenne de classement pour l'étudiant 1.
- Mc2 : Moyenne de classement pour l'étudiant 2.

## Étape de remplissage des fiches de vœux par les étudiants

Chaque étudiant consulte la liste des titres des sujets PFEs. Ensuite, il remplit sa fiche de vœux en commençant par le sujet le plus intéressant pour lui. Une seule fiche de vœux est présentée même pour le cas des binômes.

## Étape de traitement des fiches de vœux

Un comité composé du chef de département, du président du comité scientifique et des responsables des spécialités, se réunit pour traiter les fiches de vœux des étudiants. La liste triée des étudiants, déjà préparée par la secrétaire, est exploitée dans cette étape. Dans l'affectation des sujets, on commence par le binôme / monôme le mieux classé qui prend systématiquement son premier choix. Le sujet est éliminé des fiches de vœux du reste des étudiants. Le processus

se répète jusqu'à ce qu'il ne reste aucun binôme / monôme. En cas d'égalité stricte dans la moyenne, et pour le cas d'un binôme, l'étudiant ayant la moyenne maximale est choisi.

### 3.2.2 Critique de la procédure actuelle

Plusieurs inconvénients peuvent être notés :

- ✓ Un seul critère est utilisé : la moyenne de classement. Cependant, plusieurs critères intéressants peuvent être retenus.
- ✓ Les sujets sont affectés selon les préférences des étudiants indépendamment de leur niveau. En conséquence, un sujet difficile peut être affecté à un étudiant faible et vice-versa.
- ✓ Le classement des étudiants et l'affectation des sujets se fait manuellement. Le processus est de ce fait très lent.

### 3.3 Processus Proposé

Le processus proposé a pour finalité «d'affecter à chaque étudiant un sujet dont il est capable de réaliser».

Plusieurs critères sont exploités afin de classer les étudiants d'une manière plus juste, il s'agit de : connaissance théorique, la compétence en matière de programmation, le niveau en anglais, la créativité. En outre, les résultats obtenus en M2 sont exploités (alors qu'ils sont complètement négligés dans la procédure actuelle). Aussi, nous suggérons que chaque enseignant précise le module le plus proche à son sujet afin de résoudre les situations de conflits entre les étudiants d'une manière plus pédagogique.

Le processus proposé passe par cinq étapes comme le montre la figure ci-dessous.



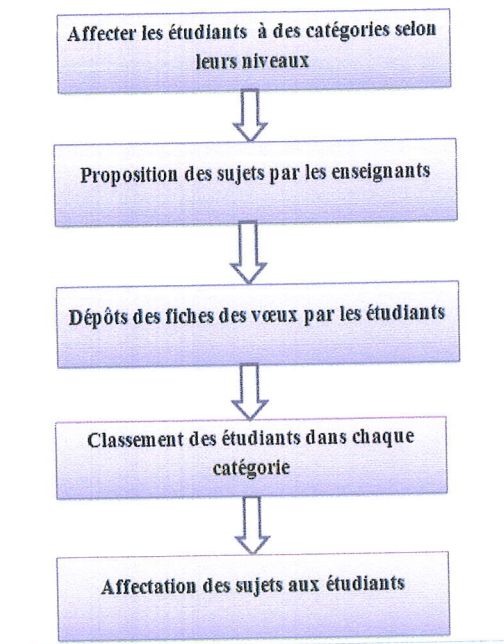


FIGURE 3.1 – Schéma global du processus proposé

### 3.3.1 Affectation des étudiants à des catégories

Tout d'abord, nous répartissons les étudiants en des catégories selon leur niveau ce qui coïncide avec une problématique de tri dans le domaine d'AMCD. Pour résoudre cette problématique la méthode ELECTRE-TRI est utilisée.

#### Modélisation de catégories

Pour notre problème, nous proposons trois catégories d'étudiants à savoir :

- Catégorie 1 (C1) : Les étudiants capables de prendre des sujets d'application.
- Catégorie 2 (C2) : Les étudiants capables de prendre des sujets de recherche orienté application (et donc d'application).
- Catégorie 3 (C3) : Les étudiants capables de prendre des sujets de recherche orienté théorie (et donc tous les autres sujets).

Dans ce cas, on a deux bornes  $b_1$  et  $b_2$  comme le montre la figure ci-dessous :

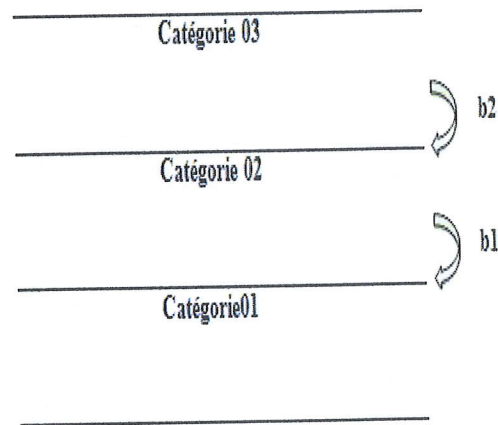


FIGURE 3.2 – Catégories-Bornes

### Modélisation des critères

Les critères utilisés sont fixés suite à une discussion avec plusieurs enseignants dans notre département. Dans cette phase, nous avons utilisé les quatre critères suivants :

- ✓ **Connaissance Théorique** : La connaissance théorique reflète le bagage scientifique de l'étudiant sur le plan théorique et non pas pratique. Afin de mesurer ce critère nous calculons la moyenne des notes obtenues, en master 1, durant le premier et le deuxième semestre. Nous ne prenons en considération que les notes dans les contrôles : nous ignorons les notes des travaux dirigés et des travaux pratiques.

$$MG = \frac{Mg1 + Mg2}{2} \quad (3.4)$$

et

$$Mg1 = \frac{\sum_{i=1}^N Note_i}{N} \quad (3.5)$$

Tel que :

- MG : Moyenne Générale de Semestre 1 et Semestre 2.
- Mg1 : Moyenne générale de Semestre 1.
- Mg2 : Moyenne générale de Semestre 2.
- Note<sub>i</sub> : Note obtenu dans le Module i.
- N : Le nombre des modules dans le semestre .

- ✓ **Compétence en programmation** : La programmation est l'ensemble des activités qui permettent l'écriture des programmes informatiques à l'aide des langages spécifiques. Afin de quantifier le critère compétence en programmation, nous calculons la moyenne des notes des travaux pratiques durant le premier et le deuxième semestre.

$$Pg = \frac{\sum_{i=1}^N NTp_i}{P} \quad (3.6)$$

Tel que :

- $P_g$  : Note moyenne en programmation
  - $NTp_i$  : la Note obtenu dans le  $Tp_i$ .
  - $P$  : le nombre de  $Tp$  réalisé durant le Semestre 1 et 2 .
- ✓ **Niveau en anglais** : les sujets de recherche requièrent une bonne maitrise de l'anglais. On prend la moyenne des notes d'anglais obtenues en semestre 1 et semestre 2.

$$Ag = \frac{NotAg_1 + NotAg_2}{2} \quad (3.7)$$

Tel que :

- $Ag$  : Note moyenne en anglais .
  - $NotAg_1$  : note d'anglais en 1<sup>er</sup> semestre.
  - $NotAg_2$  : note d'anglais en 2<sup>ème</sup> semestre.
- ✓ **Créativité** : La créativité décrit de façon générale la capacité d'un individu ou d'un groupe à imaginer ou construire et mettre en œuvre un concept neuf, un objet nouveau ou à découvrir une solution originale à un problème[3]. Ce critère est très important pour les sujets de recherche et surtout pour ceux orientés théorie où l'étudiant est censé proposer de nouvelles idées. Nous représentons la créativité d'un étudiant par une échelle sémantique de 1 à 5. Nous supposons que les enseignants peuvent évaluer la créativité des étudiants (dans le cursus, il y a toujours des modules qui permettent de découvrir la créativité chez l'étudiant). L'échelle sémantique proposée est comme suit :
- 5  $\mapsto$  Très bien.
  - 4  $\mapsto$  Bien.
  - 3  $\mapsto$  Assez bien.
  - 2  $\mapsto$  Moyen.
  - 1  $\mapsto$  Faible.



### Fixation des seuils et des actions de référence pour ELECTRE-TRI

Dans cette étape, les contraintes suivantes sont respectées [16]

**condition 1** :  $\forall j \in F, \forall h = 1, \dots, p-1, g_j(b_{h+1}) \geq g_j(b_h)$

**condition 2** :  $\forall j \in F, \forall h = 1, \dots, p-1, g_j(b_{h+1}) - p_j(b_{h+1}) \geq g_j(b_h) + p_j(b_h)$

**condition 3** :  $v_j \geq p_j \geq q_j \geq 0$ .

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous, les seuils de préférence stricte et faible, le seuil d'incomparabilité et le seuil de véto ainsi que les poids retenus pour chaque critère. Il est clair que nous avons donné la même importance à tous les critères.



Critère \ Seuils	$q_j$	$q_j$	$v_j$	$w_j$	$g(b_1)$	$g(b_2)$
Créativité	1	0.5	4	0.25	2	4
Connaissance Théorique	1	0.5	3	0.25	12	14
Compétence en programmation	2.5	1.25	5	0.25	11.5	16.5
Niveau en anglais	2	1	8	0.25	13	17

TABLE 3.1 – Paramètres utilisés dans ELECTRE-TRI

### Affectation

Nous avons utilisé la procédure optimiste.

### 3.3.2 Proposition des sujets PFE par les enseignants

Une fois les étudiants sont affectés aux différentes catégories selon leurs niveaux grâce à la méthode ELECTRE-TRI, les enseignants sont invités à proposer leurs sujets. L'idée est qu'il y aura autant de sujets de recherche orientée théorie que des étudiants dans la catégorie C3, autant de sujets de recherche orientée application que des étudiants dans cette catégorie et autant des sujets d'application que des étudiants dans cette catégorie aussi.

### 3.3.3 Dépôts des fiche de vœux par les étudiants

Dans notre processus, chaque sujet doit être pris par un et un seul étudiant. Donc chaque étudiant dépose sa propre fiche de vœux.

### 3.3.4 Classement des étudiants

Dans cette étape, nous sommes confrontés à une problématique de rangement que nous résolvons par la méthode TOPSIS. Il faut souligner que le classement des étudiants se fait pour chaque catégorie séparément.

En effet, les enseignements en LMD [4] sont organisés en unités d'enseignements (UE). Une (UE) est constituée d'une ou plusieurs matières dispensées sous toute forme d'enseignement (cours, travaux pratiques, travaux dirigés, séminaires, conférences, projets, stages ...) organisées d'une manière pédagogique et cohérente et selon une logique de progression en vue de l'acquisition des compétences. Une (UE) peut être fondamentale, méthodologique, de découverte ou transversale. L'unité d'enseignement et ses matières constitutives sont affectées d'un coefficient et d'une valeur en crédits.

Dans la formation en master 2 informatique, et pour toute les spécialités, l'unité fondamentale est divisé en deux sous unités chacune contient deux modules. L'unité méthodologie



est composée de deux modules. La même chose pour l'unité transversale. Alors, nous avons retenu trois critères : la moyenne de l'unité fondamentale, la moyenne dans l'unité méthodologie et enfin la moyenne dans l'unité transversale.

Le poids associé a chaque critère (Unité d'enseignement) est représenté par la somme des coefficients des modules appartenant à chaque unité.

Les poids associés a chaque unité sont comme suit :

- Unité fondamentales : 9.
- Unité méthodologie : 5.
- Unité transversale : 3.

On fait la normalisation des poids de l'unité par la division de poids d'unité sur la somme des poids. On obtient le résultat suivant :

- Unité fondamentales : 0.53.
- Unité méthodologie : 0.29.
- Unité transversale : 0.18.

Après l'application de la méthode TOPOSIS, les étudiants dans chaque catégorie, sont classés selon leurs indices de similarité (de maximum au minimum).

### 3.3.5 Affectation des sujets aux étudiants

Dans cette étape, nous traitons les étudiants par catégorie, c'est à dire C3 ensuite C2 ensuite C1. Dans chaque catégorie, nous parcourons les étudiants à partir de celui classé premier jusqu'au dernier.

Par exemple, pour la catégorie C3 on procède comme suit :

**Répéter** si l'étudiant est dans C3 alors lui affecter le sujet de recherche orienté théorie classé premier dans sa fiche de vœux

**Jusqu'à** ce que tous les sujets de cette catégorie soient affectés.

Nous faisons de même pour C2 et C1.

En cas d'égalité entre étudiants(ont le même classement plus ont les même vœux )affecter le sujet à celui qui a la note maximale dans le module en relation avec le sujet.

### 3.3.6 Exemple numérique

On prend en considération les cinq étudiants suivants :etud3,etud8,etud9,etud10,etud17. Les performances de ces étudiants sont données dans le tableau suivant :

Identifiant \ Critère	Connaissance	Compétence	Niveau	Créativité
	Théorique	en programmation	en anglais	
etud3	10.75	14	10	2
etud8	14	16	14	4
etud9	11.75	10	10	2
etud10	12	16	14.5	4
etud17	13	10	10	3

TABLE 3.2 – Matrice des performances des étudiants

### 3.3.6.1 Affectation des étudiants aux catégories

On prend en considération les cinq étudiants suivants : etud3, etud8, etud9, etud10, etud17.

➤ Calcul de l'indice Concordance

Identifiant \ Critère	Connaissance	Compétence	Niveau	Créativité
	Théorique	en programmation	en anglais	
etud3,b1	0.0	1.0	0.0	1.0
b1,etud3	1.0	0.0	1.0	1.0
etud3,b2	0.0	0.0	0.0	0.0
b2,etud3	1.0	1.0	1.0	1.0
etud8,b1	1.0	1.0	1.0	1.0
b1,etud8	0.0	0.0	1.0	0.0
etud8,b2	1.0	1.0	0.0	1.0
b2,etud8	1.0	1.0	1.0	1.0
etud9,b1	0.0	0.097	0.0	1.0
b1,etud9	1.0	1.0	1.0	1.0
etud9,b2	0.0	0.0	0.0	0.0
b2,etud9	1.0	1.0	1.0	1.0
etud10,b1	1.0	1.0	1.0	1.0
b1,etud10	1.0	0.0	1.0	0.0
etud10,b2	0.0	1.0	0.0	1.0
b2,etud10	1.0	1.0	1.0	1.0
etud17,b1	1.0	0.097	0.0	1.0
b1,etud17	0.0	1.0	1.0	0.0
etud17,b2	0.0	0.0	0.0	0.0
b2,etud17	1.0	1.0	1.0	1.0

TABLE 3.3 – Tableau d'indice de concordance

➤ Calcul de l'indice ConcordanceGlobale

Identifiant \ Critère	Indice concordance globale
etud3,b1	0.5
b1,etud3	0.75
etud3,b2	0.0
b2,etud3	1.0
etud8,b1	1.0
b1,etud8	0.25
etud8,b2	0.75
b2,etud8	1.0
etud9,b1	0.27
b1,etud9	1.0
etud9,b2	0.0
b2,etud9	1.0
etud10,b1	1.0
b1,etud10	0.5
etud10,b2	0.5
b2,etud10	1.0
etud17,b1	0.52
b1,etud17	0.5
etud17,b2	0.0
b2,etud17	1.0

TABLE 3.4 – Tableau d'indice de concordanceGlobale

## ➤ Calcul de l'indice Disconcordance

Identifiant \ Critère	Connaissance	Compétence	Niveau	Créativité
	Théorique	en programmation	en anglais	
etud3,b1	0.5	0.0	0.167	0.0
b1,etud3	0.0	0.0	0.0	0.0
etud3,b2	1.0	0.0	0.833	0.333
b2,etud3	0.0	0.0	0.0	0.0
etud8,b1	0.0	0.0	0.0	0.0
b1,etud8	0.5	0.8	0.0	0.333
etud8,b2	0.0	0.0	0.167	0.0
b2,etud8	0.0	0.0	0.0	0.0
etud9,b1	0.0	0.0	0.167	0.0
b1,etud9	0.0	0.0	0.0	0.0
etud9,b2	1.0	1.0	0.833	0.333
b2,etud9	0.0	0.0	0.0	0.0
etud10,b1	0.0	0.0	0.0	0.0
b1,etud10	0.0	0.8	0.0	0.333
etud10,b2	0.5	0.0	0.167	0.0
b2,etud10	0.0	0.0	0.0	0.0
etud17,b1	0.0	0.0	0.167	0.0
b1,etud17	0.0	1.0	1.0	0.0
etud17,b2	0.0	0.0	0.833	0.0
b2,etud17	0.0	0.0	0.0	0.0

TABLE 3.5 – Tableau de l'indice de disconcordance



➤ Calcul de l'indice de crédibilité

Identifiant \ Critère	Indice de crédibilité
etud3,b1	0.5
b1,etud3	0.75
etud3,b2	0.0
b2,etud3	1.0
etud8,b1	1.0
b1,etud8	0.04
etud8,b2	0.75
b2,etud8	1.0
etud9,b1	0.274
b1,etud9	1.0
etud9,b2	0.0
b2,etud9	1.0
etud10,b1	1.0
b1,etud10	0.2
etud10,b2	0.5
b2,etud10	1.0
etud17,b1	0.524
b1,etud17	0.5
etud17,b2	0.0
b2,etud17	1.0

TABLE 3.6 – Tableau de l'indice de crédibilité

➤ Existence de relation de surclassement

Dans ce cas nous avons appliqué la procédure optimiste. Donc, nous nous intéressons aux relations de type  $aSb_h$

Identifiant \ Critère	Indice concordance globale
etud3,b1	existe
etud3,b2	Non
etud8,b1	existe
etud8,b2	existe
etud9,b1	Non
etud9,b2	Non
etud10,b1	existe
etud10,b2	existe
etud17,b1	existe
etud17,b2	Non

TABLE 3.7 – Existence de relation de surclassement

### 3.3.6.2 Classement des étudiants dans chaque catégorie

Nous prenons en considération les cinq étudiants suivants : etud3, etud8, etud9, etud10, etud17.

➤ Matrice des performances

Identifiant \ Critère	Moyenne dans l'unité fondamentale	Moyenne dans l'unité méthodologie	Moyenne dans l'unité transversale
etud3	11	13	16
etud8	11	15	14
etud9	13	17	12
etud10	10	13	17
etud17	10	12	11

TABLE 3.8 – Matrice des performances

➤ Calcul des préférences normalisées

Identifiant \ Critère	Moyenne dans l'unité fondamentale	Moyenne dans l'unité méthodologie	Moyenne dans l'unité transversale
etud3	0.203	0.215	0.28
etud8	0.203	0.249	0.245
etud9	0.24	0.282	0.211
etud10	0.185	0.215	0.299
etud17	0.185	0.199	0.192

TABLE 3.9 – Calcul des préférences normalisées

➤ Multiplication des préférences normalisées par les poids.

Identifiant \ Critère	Moyenne dans l'unité fondamentale	Moyenne dans l'unité méthodologie	Moyenne dans l'unité transversale
etud3	0.108	0.062	0.05
etud8	0.108	0.072	0.044
etud9	0.127	0.082	0.038
etud10	0.098	0.062	0.054
etud17	0.098	0.058	0.035

TABLE 3.10 – Multiplication des préférences normalisées par les poids

➤ Calcul de la distance par rapport à la solution idéale et anti-idéale, respectivement.

Identifiant	Distance	Distance par rapport à la solution idéale	Distance par rapport à la solution anti-idéale
	etud3		0.0224
etud8		0.0265	0.0721
etud9		0.049	0.0933
etud10		0.0141	0.0583
etud17		0.01	0.0566

TABLE 3.11 – Calcul de la distance par rapport à la solution idéale et anti-idéale

➤ Calcul de l'indice de similarité

Identifiant	Indice de similarité
etud3	0.7497
etud8	0.7321
etud9	0.6557
etud10	0.8052
etud17	0.8498

TABLE 3.12 – Calcul de l'indice de similarité

Après tous ces calculs on obtient le résultat suivant :

Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
etud9	etud17	etud10
	etud3	etud8

TABLE 3.13 – Classement et affectations des étudiants dans les catégories

### Affectation des sujets aux étudiants

Considérons les cinq fiches de vœux des étudiants de tableau 3.14. Le résultat de l'affectation est donné dans le tableau 3.15. A' savoir dans cette exemple :

- SIAD01 : est un sujet de recherche orientée application.
- SIAD02 : est un sujet d' application.
- SIAD03 : est un sujet de recherche orientée théorie.
- SIAD04 : est un sujet de recherche orientée théorie.
- SIAD05 : est un sujet de recherche orientée application.

Fiche vœux
Nom et prenom :etud9
Spécialité :SIAD
code
SIAD01
SIAD02
SIAD05
SIAD04
SIAD03

Fiche vœux
Nom et prenom : etud17
Spécialité :SIAD
code
SIAD03
SIAD05
SIAD01
SIAD04
SIAD02

Fiche vœux
Nom et prenom :etud3
Spécialité :SIAD
code
SIAD05
SIAD04
SIAD03
SIAD01
SIAD02

Fiche vœux
Nom et prenom :etud10
Spécialité :SIAD
code
SIAD03
SIAD02
SIAD04
SIAD01
SIAD05

Fiche vœux
Nom et prenom :etud8
Spécialité :SIAD
code
SIAD01
SIAD02
SIAD03
SIAD04
SIAD05

TABLE 3.14 – Exemple de cinq fiches de vœux



Code de l'étudiant	Code de sujet
etud10	SIAD03
etud08	SIAD04
etud17	SIAD05
etud03	SIAD01
etud09	SIAD02

TABLE 3.15 – Affectation des sujets aux étudiants

### 3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la procédure actuellement utilisée dans l'affectation des sujets PFE aux étudiants. Pour surmonter les limitations de cette procédure, nous avons proposé un nouveau processus d'AMCD. Premièrement, nous trions les étudiants en des catégories selon leur capacité à prendre des sujets de recherche ou d'application. Deuxièmement, les enseignants proposent des sujets selon le nombre des étudiants dans chaque catégorie. Troisièmement, les étudiants dans chaque catégorie sont classés selon leurs résultats au Semestre 3. Enfin, les sujets appartenant à chaque catégorie sont affectés aux étudiants concernés selon leurs classements. Dans le chapitre suivant, nous décrivons l'application qui implémente le processus proposé.

# Implémentation

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous commençons par la présentation de l'environnement de développement matériel et logiciel que nous avons utilisé pour l'implémentation du processus d'AMCD déjà détaillé dans le chapitre précédent.

Ensuite, nous allons décrire les interfaces graphiques de l'application Client-Serveur développée.

## 4.2 L'environnement de développement

### 4.2.1 L'environnement matériel

L'environnement matériel que nous avons utilisé pour développer notre application est une machine qui a les caractéristiques suivantes :

- ❖ Processeur :Intel(R) Core(TM)i3-4005U @ 1.70GHz.
- ❖ Mémoire installer(RAM) :4.00Go.
- ❖ Disque dur : 270 Go.
- ❖ Type du système :Système d'exploitation Windows 7 Édition Intégrale N 64 bits .

### 4.2.2 L'environnement Logiciel

Les outils logiciel que nous avons utilisé sont :

- ❖ Oracle 11g Expresse Edition.
- ❖ Java comme langage de programmation.
- ❖ Netbeans comme environnement de développement intégré(EDI).

#### 4.2.2.1 NetBeans

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI) pour Java, placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL et GPLv2 (Common Développment and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents

autres langages, comme Python, C, C++, XML, Ruby, PHP et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web). Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Il constitue par ailleurs une plateforme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java))[2].

La version de netbeans utilisé est NetBeans IDE 8.0.1.

#### 4.2.2.2 Oracle

La base de données Oracle (Oracle DB) est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) d'Oracle Corporation. Développé à l'origine en 1977 par Lawrence Ellison et d'autres développeurs, Oracle DB est l'un des moteurs de base de données relationnelle les plus fiables et les plus utilisés.

Le système est construit autour d'une infrastructure de base de données relationnelle dans laquelle les utilisateurs peuvent accéder directement aux objets de données (ou à une application frontale) via un langage de requête structuré (SQL). Oracle est une architecture de base de données relationnelle entièrement évolutive et est souvent utilisée par les entreprises mondiales, qui gèrent et traitent les données sur des réseaux étendus et locaux. La base de données Oracle possède son propre composant réseau pour permettre les communications à travers les réseaux [1].

◆ Nous avons ajouté la bibliothèque ojdbc7.jar pour relier notre application avec notre base de données sous Oracle.

### 4.3 Présentation de l'application

Notre application de rangement et d'affectation des étudiantes pour la répartition des sujets PFE est développée selon une architecture client/serveur. Elle contient les interfaces suivantes :

#### 4.3.1 Coté serveur

Coté serveur on trouve : une interface pour démarrer le serveur, une interface pour ELECTRE-TRI et une autre pour TOPSIS.

##### √Interface Serveur

Il s'agit de d'interface principale qui permet de démarrer la communication entre le serveur et les client.

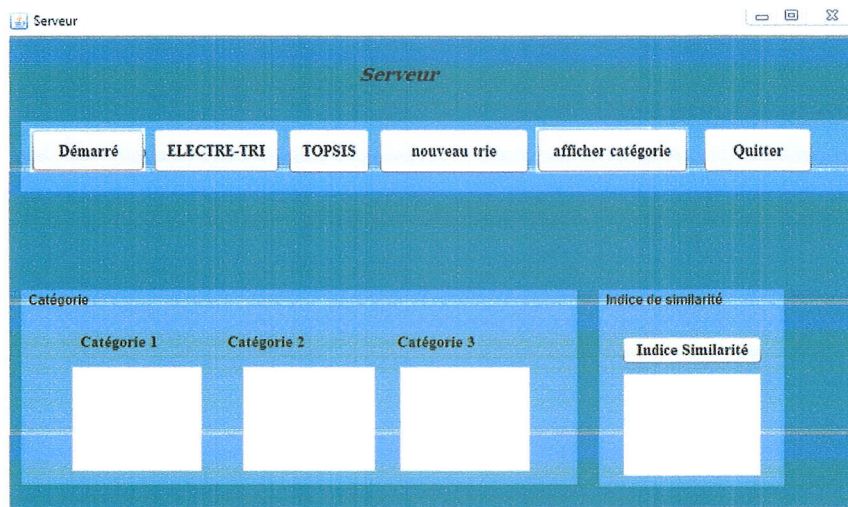


FIGURE 4.1 – Interface principale du Serveur

Cette interface contient plusieurs boutons :

- ❖ Bouton **Démarrer** qui permet de lancer le serveur.
- ❖ Bouton **ELECTRE-TRI** qui permet d'accéder aux détails du calcul de cette méthode.
- ❖ Bouton **TOPSIS** qui permet d'accéder aux détails du calcul de cette méthode.
- ❖ Bouton **Nouveau Tri** qui permet de ré-exécuter TOPSIS et ELECTRE-TRI ensemble.
- ❖ Bouton **Afficher Catégorie** qui permet de consulter le résultat de TOPSIS et ELECTRE-TRI ensemble.
- ❖ Bouton **Indice de Similarité** qui permet d'afficher le classement de tous les étudiants.



## √Interface ELECTRE-TRI

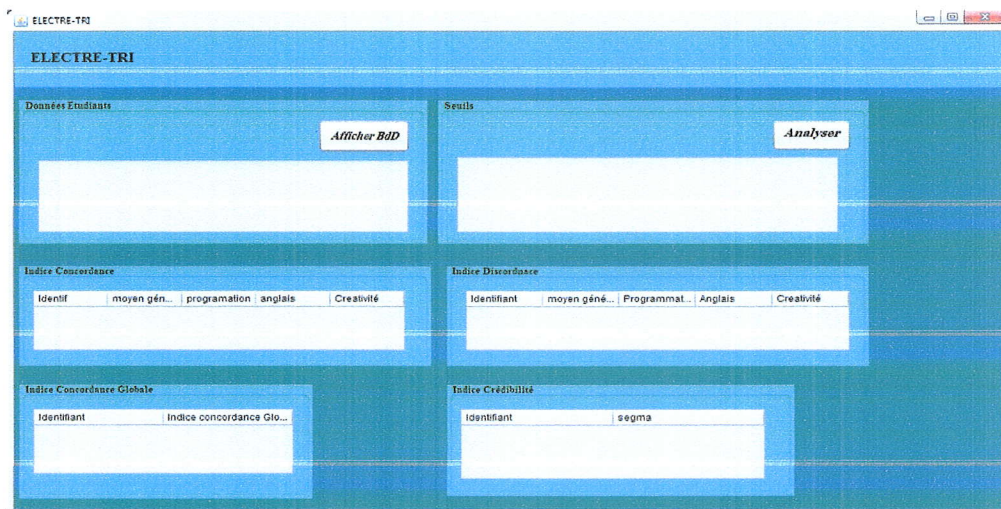


FIGURE 4.2 – Interface ELECTRE-TRI

Cette interface composée de six onglets : l'onglet Données étudiant, l'onglet seuils, l'onglet indice concordance, l'onglet indice discordance, l'onglet indice concordance globale et l'onglet d'indice de crédibilité. Plus deux bouton .

- ❖ L'onglet Données étudiant.
- ❖ L'onglet seuils.
- ❖ L'onglet indice concordance permet d'afficher le résultat de calcul d'indice de concordance pour chaque étudiants .
- ❖ L'onglet indice discordance permet d'afficher le résultat de calcul d'indice discordance pour chaque étudiant.
- ❖ L'onglet indice concordance globale permet d'afficher le résultat de calcul d'indice de concordance globale pour chaque étudiant .
- ❖ Et l'onglet indice crédibilité permet d'afficher le résultat de calcul d'indice crédibilité .

Cette interface contient également deux boutons :

- ❖ Bouton **Afficher Bdd** permet d'afficher, dans l'onglet Données étudiant, les données relatives aux étudiants nécessaires pour l'application de la méthode ELECTRE-TRI.
- ❖ Bouton **Analyser** permet d'afficher, dans l'onglet seuils, les seuils et les poids utilisés dans ELECTRE-TRI. Aussi, il permet d'afficher le calcul détaillé des indices de la méthode ELECTRE-TRI.

## √ Interface TOPSIS

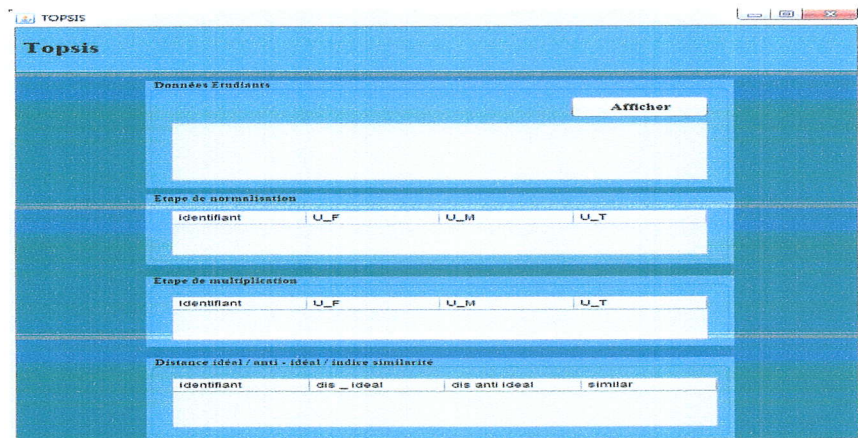


FIGURE 4.3 – Interface Topsis

Cette interface contient un bouton **Afficher** qui permet de visualiser tous les calculs associés à la méthode TOPSIS : En premier lieu on affiche, dans l'onglet **Données Etudiants**, les données nécessaires pour appliquer TOPSIS. Les onglets **Étape Normalisation**, **Étape Multiplication** et l'onglet « distance idéal / anti-idéal / indice similarité » permettent d'afficher le calcul associé à chaque étape dans la méthode TOPSIS.

## √ Affectation de sujets

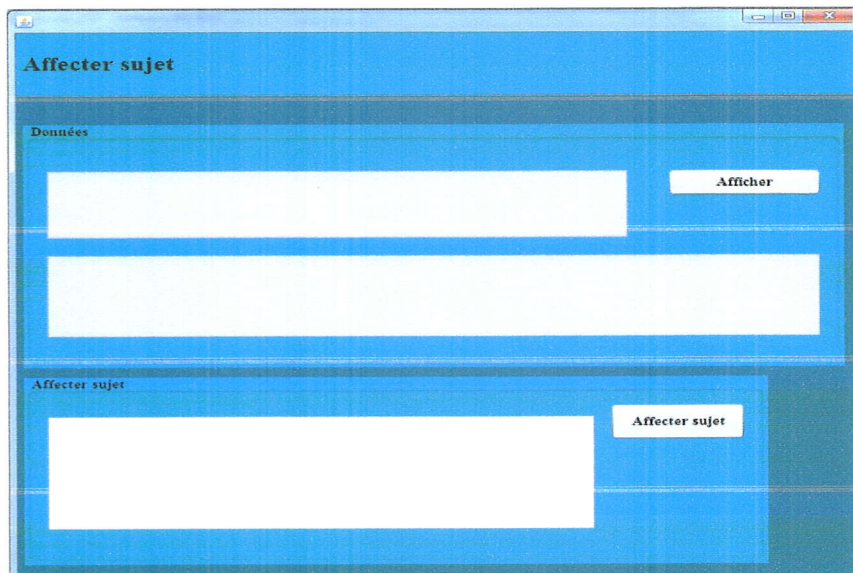


FIGURE 4.4 – Interface affectation des sujets

Cette interface contient un bouton **Afficher** et un autre **Affecter sujet**. Dans l'onglet **Données**, on affiche les données nécessaires pour affecter les sujets aux étudiants, et l'onglet



Affecter sujet permet de visualisé le résultat d'affectation de chaque sujet.

### 4.3.2 Coté client

Coté Client on trouve : une interface Accueil, une interface d'authentification pour les enseignants et les étudiants, une interface d'authentification pour l'administrateur, une interface d'espace étudiants, une interface d'espace enseignant et une autre interface d'espace administrateur.

#### √Interface Accueil



FIGURE 4.5 – Interface Accueil

C'est la première interface qui est composée de trois boutons :

- Espace admin : permet d'accéder à l'espace d'administrateur
- Enseignant : permet d'accéder à l'espace d'enseignant.
- Étudiant : permet d'accéder à l'espace d'étudiant

## √ Espace d'authentification

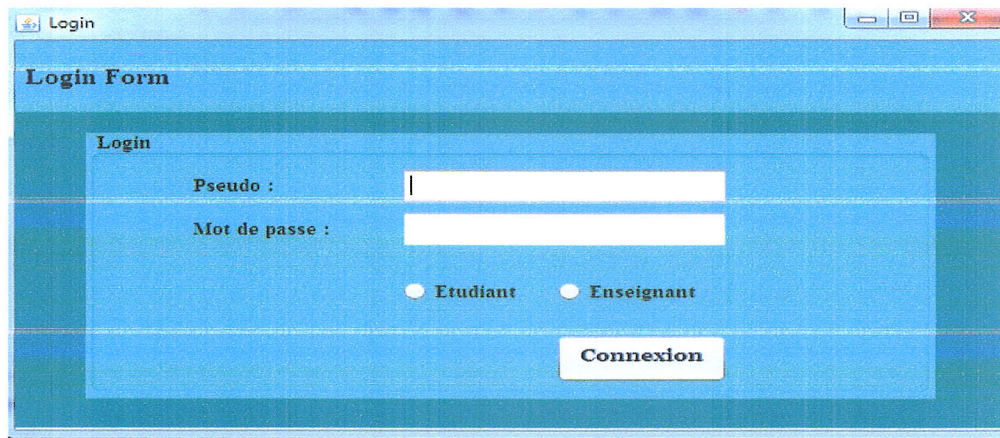
The image shows a screenshot of a web browser window titled "Login". Inside the window, there is a "Login Form" with a blue background. The form contains the following elements: a label "Login" at the top left; a "Pseudo :" label followed by a text input field; a "Mot de passe :" label followed by a password input field; two radio buttons labeled "Etudiant" and "Enseignant"; and a "Connexion" button at the bottom right.

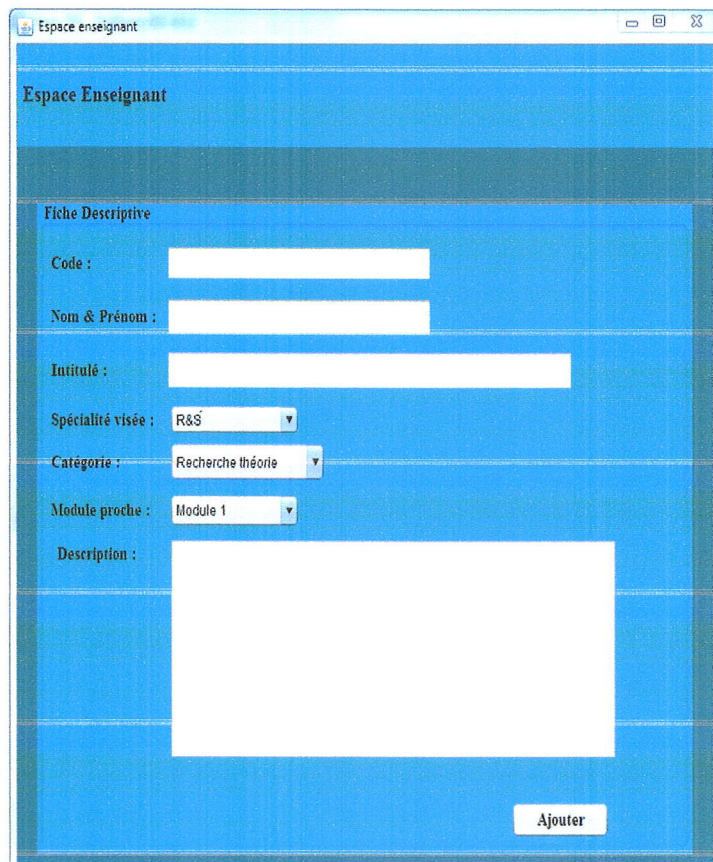
FIGURE 4.6 – Interface d'authentification

A partir de la page d'accueil et les deux boutons Enseignant et Étudiant on peut accéder à cette interface.

Cette interface permet l'authentification d'enseignant ou d'étudiant en entrant le pseudo et le mot de passe associé à l'utilisateur.



## √Espace Enseignant



The screenshot shows a web browser window titled "Espace enseignant". The page has a blue header with the text "Espace Enseignant". Below the header is a section titled "Fiche Descriptive" containing several form fields:

- Code :** A text input field.
- Nom & Prénom :** A text input field.
- Intitulé :** A text input field.
- Spécialité visée :** A dropdown menu with "R&S" selected.
- Catégorie :** A dropdown menu with "Recherche théorie" selected.
- Module proche :** A dropdown menu with "Module 1" selected.
- Description :** A large text area for entering a description.

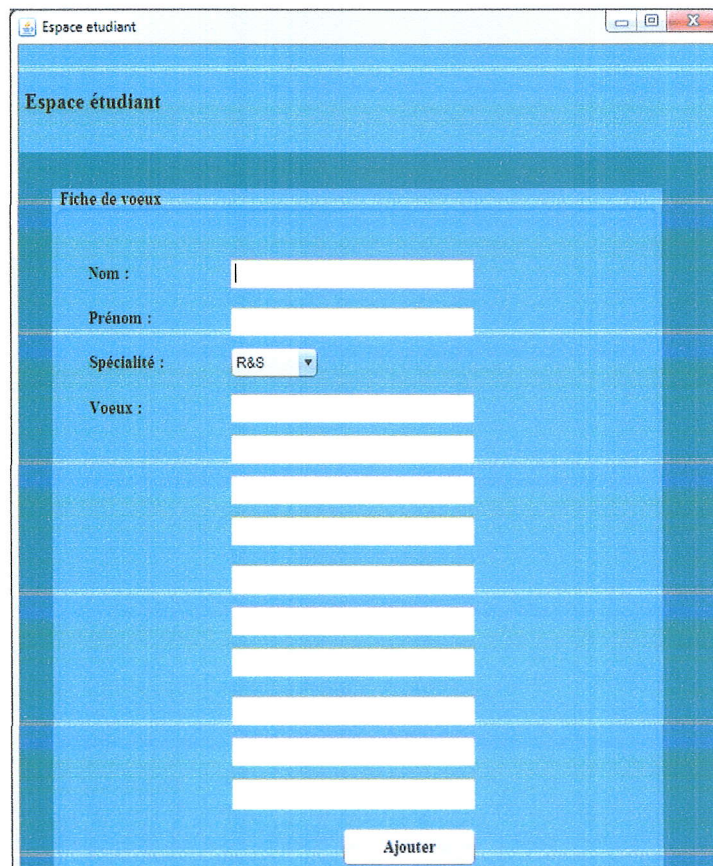
At the bottom right of the form is a button labeled "Ajouter".

FIGURE 4.7 – Interface Espace Enseignant

Cette interface permet à l'enseignant d'ajouter un thème en remplissant les champs de texte : code, nom, prénom, intitulé, spécialité visée, catégorie de sujet et la zone de texte : description. L'enseignant doit aussi sélectionner le module le plus proche à son thème dans une liste déroulante.

En cliquant sur le bouton **Ajouter**, l'enseignant valide les informations saisies.

## √ Espace Étudiant



Espace étudiant

Espace étudiant

Fiche de vœux

Nom :

Prénom :

Spécialité : R&S ▼

Vœux :

Ajouter

FIGURE 4.8 – Interface Espace Étudiant

Cette interface permet aux étudiants de remplir leurs fiches de vœux en ordonnant les codes des thèmes selon leurs choix.

## √ Espace Administrateur

Après l'étape d'authentification (voir la figure 4.9), l'administrateur passe à la fenêtre «Visualisation des données» (voir la figure 4.10).

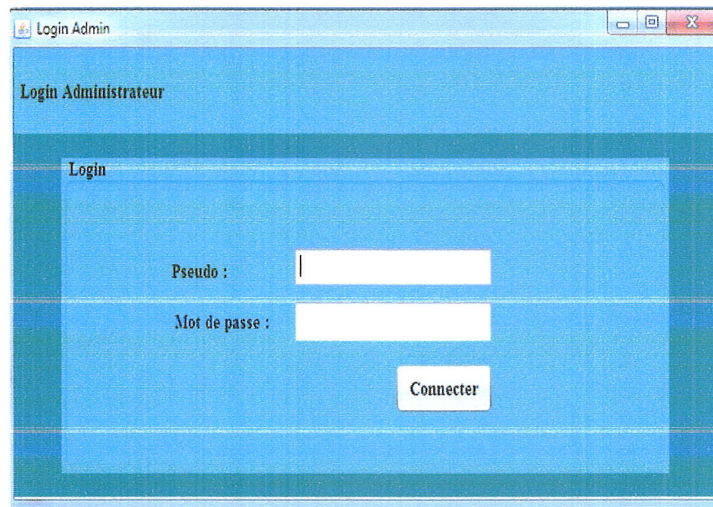


FIGURE 4.9 – Interface Espace authentification Admin

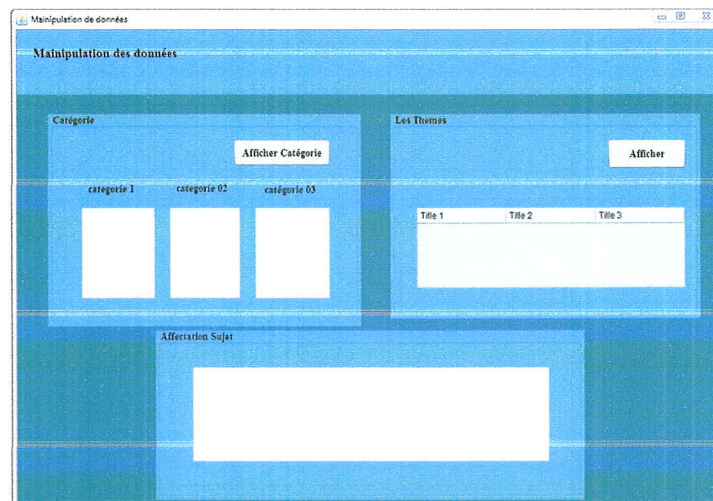


FIGURE 4.10 – Interface Visualisation des données

Cette interface contient deux boutons :

- ❖ Bouton **Afficher** dans l'onglet **Catégories** : permet d'afficher les étudiants triés.
- ❖ Bouton **Afficher** dans l'onglet **Thème** permet d'afficher le code, le titre de thème et l'enseignant qui l'a proposé.

Sous l'onglet Affectation Sujet, le résultat final des sujets affectés aux étudiants est affiché.

## 4.4 Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre l'environnement utilisé pour la réalisation de notre application. Puis, nous avons donné une description détaillée des interfaces graphiques de l'application.



## Conclusion générale

La problématique posée au début de ce projet était de proposer un processus décisionnel permettant la répartition des thèmes des mémoires de master en utilisant les méthodes d'aide multicritère à la décision. L'objectif étant de surmonter les inconvénients de la procédure actuellement utilisée.

Pour résoudre ce problème, nous avons joué le rôle de l'**analyste**. En réalité, la première problématique qu'il fallait résoudre est celle de description P.γ où nous avons modélisé le problème en proposant les critères à utiliser dans l'évaluation des étudiants et les étapes à suivre pour résoudre le problème.

Dans un premier temps, nous avons utilisé la méthode ELECTRE-TRI pour affecter les étudiants à des catégories selon leurs capacités à prendre des sujets d'application ou de recherche. Pour ce faire nous avons utilisé les critères suivants : Connaissance Théorique, Compétence en programmation, Niveau en anglais et Créativité .

Ensuite, nous avons exploité la méthode TOPSIS pour classer les étudiants au sein de chaque catégorie. Pour ce faire, nous avons utilisé les critères suivants : la moyenne dans l'unité d'enseignement fondamentale, la moyenne dans l'unité d'enseignement méthodologie et la moyenne dans l'unité d'enseignement transversale.

Le classement des étudiants est exploité lors de l'affectation des sujets de chaque catégorie. En cas d'égalité, le sujet est affecté à l'étudiant qui a la note la plus élevée dans le module le plus proche au sujet.

Le travail présenté dans ce mémoire ouvre plusieurs perspectives, nous citons quelques unes :

- Incorporer les préférences des enseignants dans l'affectation des sujets.
- L'application peut être enrichie en proposant une nouvelle méthode pour l'évaluation des mémoires : une activité qui requiert quant à elle une aide multicritère à la décision de groupe (le groupe étant les membres de jury).
- Exploiter l'approche multicritère dans l'orientation des étudiants de licence en master.



## Bibliographie

- [1] <https://www.techopedia.com/definition/8711/oracle-database>.
- [2] <https://netbeans.org/about/>.
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Créativité>.
- [4] <http://www.univ-jijel.dz/fsei/index.php/formations/les-offres-de-formation/master>
- [5] B. Roy and D. Bouyssou, Aide multicritère à la décision. Paris : Economica, 1993.
- [6] Maystre, L., Pictet, J. and Simos, J. (1994). Méthodes multicritères ELECTRE. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [7] Aissouni, F. (2012). Décision multicritères dans les réseaux télécommunications autonomes.
- [8] KAZI TANI, A. (2008). La modélisation des préférences du décideur dans le modèle du goal programming.
- [9] TAIBI, B. (2010). L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision : Application de la méthode prom thee.
- [10] Vincke, P. and Bouyssou, D. (2003). Relations binaires et modélisation des préférences.
- [11] El-Santawy, M. (2012). A VIKOR Method for Solving Personnel Training Selection Problem. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTING SCIENCE.
- [12] Duarte Neto, J. Soares Machado, M. Monteiro Gomes, L., Caldeira, A. and Valentim Sallum, F. (2017). Investments in a New Technological Infrastructure : Decision Making Using the ELECTRE-TRI Methodology. Procedia Computer Science, 122, pp.194-199.
- [13] Souici, I. (2012). Modélisation en aide à la décision Souici Ismahane.
- [14] Lenka, P. (n.d.). Aide multicritère à la décision, méthode de surclassement. [https://perso.univ-rennes1.fr/pierre.nerzic/Projets2A/Décision/Lenka/- Aide multicritère à la décision - Méthodes desurclassement.pdf](https://perso.univ-rennes1.fr/pierre.nerzic/Projets2A/Décision/Lenka/-Aide%20multicrit re%20 %20la%20d cision%20-%20M thodes%20desurclassement.pdf).
- [15] Lounes MAMMERI, M. (2013). Une approche d'aide multicritère à la décision pour l'évaluation du confort dans les trains : construction d'un modèle d'évaluation.
- [16] MOUSSEAU, V. and SLOWINSKI, R. (1998). Inferring An ELECTRE TRI Model from assignment Examples. Journal of Global Optimization.
- [17] GHALEM, M. (2015). Systeme d aide à la décision en aménagement du territoire :

Approche du tri multicritère, integrale de choquet et sig.

[18] Krohling, R. and Pacheco, A. (2015). A-TOPSIS à“ An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*, 55, pp.308-317.

[19] Ben mina, s. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Genamics JournalSeek*.

[20] Collette, Y. and Siarry, P. (2002). *Optimisation multiobjectif*. Paris : Eyrolles.

[21] DINEDANE, M. (2011). Vers une approche d'aide à la décision pour la maintenance des systèmes à objet.

