

Table des matières

Résumé	
Remerciement	
Dédicace	
Table des matières	i
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
Introduction Générale	1
Système d'information Géographique SIG	4
I.1 Introduction	5
I.2 Domaines d'utilisations des SIG	5
I.3 Définition et caractéristiques des SIG	6
I.4 La géométrie des objets	7
I.5 Un affichage sous forme de couches d'information	8
I.6 Modes de représentation	8
I.6.1 Mode raster	8
I.6.2 Mode vecteur	9
I.7 Les principales fonctions d'un SIG	9
I.8 Les composants d'un SIG	9
I.9 SIG et analyse spatiale	10
I.10 Conclusion	11
Analyse Multicritères AMC	12
II.1 Introduction	13
II.2 Définitions	13
II.3 Analyse Multicritères Décisionnel (AMCD)	15
II.3.1 Les étapes du processus de prise de décision:	16
II.3.2 Les acteurs impliqués dans le processus de décision:	16
II.4 Démarche multicritère	16
II.5 Méthodes Multicritères	18
II.5.1 Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse	18
II.5.2 Les méthodes de sur-classement selon l'approche de synthèse	18
II.5.3 Les méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif	19
II.6 Les avantages et les limites de l'analyse multicritères	19
II.6.1 Avantages	19
II.6.2 Limites	20
II.7 Conclusion	21

SIG et Analyse Multicritères	22
III.1 Introduction.....	23
III.2 Description conceptuelle de MCD-GIS.....	23
III.3 La nécessité d'intégration SIG-AMC.....	25
III.4 Différents modes d'intégration.....	26
III.5 Directions d'interaction :.....	27
III.6 Limite des travaux d'intégration SIG-AMC.....	28
III.7 Aperçu général sur les méthodes d'analyse multicritère.....	29
III.8 Conclusion.....	30
Conception et Implémentation	31
IV.1 Introduction.....	32
IV.2 Problématique.....	32
IV.3 Approche proposée.....	33
IV.3.1 Le module « Exploration des données » :.....	33
IV.3.2 Le module « Analyse multicritère » :.....	33
IV.3.3 Le module « visualisation » :.....	34
IV.4 Etude de cas.....	34
IV.4.1 L'ensemble des actions :.....	34
IV.4.2 Les critères :.....	34
IV.4.3 Table de performances : regroupement des données.....	42
IV.4.4 Les poids des critères.....	43
IV.4.5 Seuils d'indifférence et de préférence.....	44
IV.5 Implémentation informatique.....	44
IV.5.1 Définitions.....	44
IV.6 Application de la méthode PROMETHEE.....	45
IV.6.1 Introduction.....	45
IV.6.2 Tableau de performance.....	45
IV.6.3 Le principe de la méthode PROMETHEE:.....	47
IV.6.4 La relation de surclassement.....	50
IV.6.5 Exploitation (construction) de la relation de préférence.....	51
IV.6.6 PROMETHEE I : rangement partiel.....	51
IV.6.7 Avantages de la méthode Prométhée.....	55
IV.7 Visualisation.....	55
IV.7.1 Définitions.....	55
IV.8 Conclusion.....	57
Conclusion Générale	58
Liste des Abréviations	60
Référence Bibliographique	61

Liste des Tableaux

Tableau 1 : fonctions d'évaluation multicritères	24
Tableau 2 : Analyse comparée des SIG et de l'AMC	26
Tableau 3 : évaluation des actions selon le critère de Sismicité.	35
Tableau 4 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Sismicité »	35
Tableau 5 : évaluation des actions selon les deux critères, Pluviométrie et Température.	36
Tableau 6 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Pluviométrie »	36
Tableau 7 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Température »	37
Tableau 8 : évaluation des actions selon les trois critères, cout d'aménagement, Superf, Proxim.	37
Tableau 9 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Cout d'Aménagement »	38
Tableau 10 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Proximité »	38
Tableau 11 : Tableaux des Indifférences/Préférences pour « Superficie »	39
Tableau 12 : évaluation des actions selon le critère « Contrainte bioclimatique »	40
Tableau 13 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Contrainte bioclimatique »	41
Tableau 14 : évaluation des actions selon le critère « Proximité »	41
Tableau 15 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Proximité aux C.U.H »	42
Tableau 16 : Table de performances	42
Tableau 17 : critères favorable et défavorable pour chaque zone	43
Tableau 18 : Poids des critères	43
Tableau 19 : Seuil de préférence et d'indifférence des critères quantitatifs	44
Tableau 20 : Structure du tableau de performance	45
Tableau 21 : Les six fonctions de préférence de PROMETHEE	49

Liste des Figures

Figure 1 : Structure d'un SIG	6
Figure 2 : Représentation des données	8
Figure 3 : Représentation des couches d'information.....	8
Figure 4 : Représentation des points, lignes et polygones en modes raster et vecteur.....	9
Figure 5 : Cycle de vie des SIG.....	10
Figure 6 : Démarche top-down de Kenney (Haut) et bottom-up de Roy (Bas)	17
Figure 7 : Démarche intermédiaire de Laaribi.	17
Figure 8 : Architecture de MCD-GIS	23
Figure 9 : Architecture générale du système	33
Figure 10 : classification sismique des wilayas d'Algérie.	34
Figure 11 : Etages Bioclimatiques des wilayas d'Algérie.	40
Figure 12 : Table de performance implémentée.....	46
Figure 13 : Les flux de surclassement.....	51
Figure 14 : PROMETHEE I (Rangement Partiel).....	53
Figure 15 : PROMETHEE II (Rangement Complet)	54
Figure 16 : Visualisation des zones rangées après l'analyse (Ponctuel « altitude, longitude »)	56
Figure 17 : Visualisation des zones rangées après l'analyse (Surfacique).....	56
Figure 18 : Rangement proposé des zones industrielles	57

Introduction Générale

Aide à la décision multicritère pour le rangement des zones industrielles

Introduction Générale

L'analyse multicritère est un outil d'aide à la décision développé pour résoudre des problèmes multicritères complexes qui incluent plusieurs aspects qualitatifs et quantitatifs dans le processus décisionnel. Le domaine de l'optimisation multicritère connaît une évolution importante qui s'est traduite par le développement d'un grand nombre de méthodes multicritères. L'Analyse Multicritère (AMC) repose sur un ensemble de procédures permettant de détailler un problème décisionnel portant sur des situations complexes. Dans l'AMC, on cherche un domaine de résolution pouvant tenir compte de l'ensemble des critères susceptibles d'influencer la décision. Le critère se définit comme un facteur à prendre en considération pour évaluer un scénario donné ou pour apprécier une occasion d'action.

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) jouent un rôle important pour l'analyse des problèmes décisionnels où la composante géographique des données est prise en considération. Les deux domaines de recherche SIG et AMCD, quoi qu'ils sont distincts, ils s'entraident pour arriver aux meilleures solutions des problèmes géo-décisionnels [7].

Les travaux d'intégration SIG-AMC se sont multipliés depuis les années 1990 et notre travail s'inscrit dans cette orientation, et sa finalité consiste à ranger les zones industrielles de l'ouest Algérien en utilisant une méthode de sur-classement. L'objectif affiché est essentiellement un objectif de synthèse, permettant à la fois la gestion des données et l'aide à la décision. L'entrée de la méthode de sur-classement est une table des performances qui regroupe les valeurs de chaque action (zone industrielle) par rapport à l'ensemble des critères. L'évaluation des actions par rapport aux critères géographiques se base sur une importante fonctionnalité des SIG : la cartographie. Cette discipline constitue la première étape de l'analyse spatiale. Une carte est un modèle de la réalité contenant la représentation géométrique des objets et des catégories d'objets avec une logique graphique et sémiologique.

Le but de ce mémoire est d'étudier l'une des méthodes de rangement les plus connues. C'est la méthode PROMETHEE qui a été développée à l'université de Bruxelles par Jean Pierre Brans, et qui fait partie de la famille des méthodes de surclassement. Le principe général de cette méthode se base sur la comparaison des valeurs de flux (positifs, négatifs ou nets) de profils de préférence avec ceux d'une action à classer. Pour montrer l'efficacité de cette méthode nous formulons la problématique suivante : « Comment la méthodologie PROMETHEE peut-elle aider à la prise de décision multicritère ? ». Pour ce fait, ce mémoire est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous donnons d'abord un aperçu sur les systèmes d'informations géographiques en général, leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications, puis nous donnons les niveaux et les typologies des décisions qu'ils contiennent.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons quelques notions fondamentales sur l'analyse multicritère, les différentes problématiques multicritères, les principales méthodes multicritères, les avantages et les limites de l'analyse multicritère ainsi que la prise de décision et les étapes impliqués dans un processus de décision.

Aide à la décision multicritère pour le rangement des zones industrielles

- Dans le troisième chapitre nous parlons de l'intégration ou la relation entre les systèmes d'information géographiques et l'analyse multicritère décisionnelle, passons par quelque travail réalisé dans cette approche.
- Dans le quatrième chapitre, nous détaillons la méthodologie proposée, en présentant les principes de base des méthodes PROMETHEE et plusieurs propriétés intéressantes. Par la suite, nous présentons une application pratique de la méthode Prométhée I et II pour le rangement des zones industrielles de l'ouest algérien.

Chapitre I :
Systeme d'Information
Géographique SIG

I.1 Introduction

Différentes définitions ont été proposées pour le terme SIG dans la littérature spécialisée, chacune reflète une perspective déférente et renvoi à un aspect particulier. Certaines se focalisent sur ses fonctions technologiques alors que d'autres insistent sur sa finalité. De façon pratique, « un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent. Il représente l'outil idéal pour les chercheurs intéressés par la gestion du territoire. Grâce à lui, ils peuvent modéliser le monde réel, classer et observer des phénomènes et prévoir les changements à venir » [30].

Historiquement, la première application SIG, souvent citée en épidémiologie, est l'étude menée avec succès par le docteur John Snow. Il s'agit de l'épidémie de choléra dans le quartier de Soho à Londres en 1854 : ayant représenté sur un plan la localisation des malades et l'endroit où ils puisaient leur eau, il parvint à déterminer que c'était l'eau d'un certain puits qui était le foyer de contamination [33]. Le terme GIS (Geographic Information System) a été utilisé pour la première fois par Roger Tomlinson en 1963, alors que le premier SIG a été développé au début des années 1960 par Howard T. Fisher de l'Université Harvard. Depuis leurs apparitions au début des années soixante, différents systèmes SIG, de plus en plus sophistiqués, ont vu le jour [23].

I.2 Domaines d'utilisations des SIG

Les SIG sont utilisés de façon croissante dans des domaines très variés [23] :

- Urbanisme (établissement de schémas directeurs, aménagement et gestion des plans d'occupation du sol (POS)).
- Études économiques et socio-économiques (population, emploi, logement, etc.).
- Planification et aménagement du territoire.
- Gestion des ressources naturelles.
- Protection de l'environnement (gestion des déchets et de la pollution ainsi que des espaces naturels).
- Sciences de la terre (géologie, géodésie, pédologie, etc.).
- Applications militaires.
- Gestion de réseaux de transports, de télécommunications et de distribution (eau, gaz).
- Agriculture (maîtrise des pollutions agricoles, prévention des incendies et des inondations).
- Environnement, gestion des risques naturels ou technologiques et de la sécurité civile (la lutte contre les risques majeurs et la gestion des moyens d'intervention en cas de crise font de plus en plus appel à la technologie SIG).
- Hydrographie et l'océanographie.

I.3 Définition et caractéristiques des SIG

Un Système d'information géographique est un système de matériel, logiciels, données, personnes, organisations et arrangements institutionnels pour la collecte, le stockage, l'analyse et la diffusion sur des zones de la terre [17]. Selon cette définition, un SIG est un ensemble de sous-systèmes qui devra inclure les composantes (voir Figure 1) nécessaires à l'acquisition des données d'entrée (données issues des cartes, données de recensement, données terrain, etc.) ; au stockage, à la représentation et à la gestion de base de données ; à la manipulation et à l'analyse des données ; à l'affichage et à la génération de produits (rapports, cartes statistiques, etc.) et au dialogue avec l'utilisateur [23].

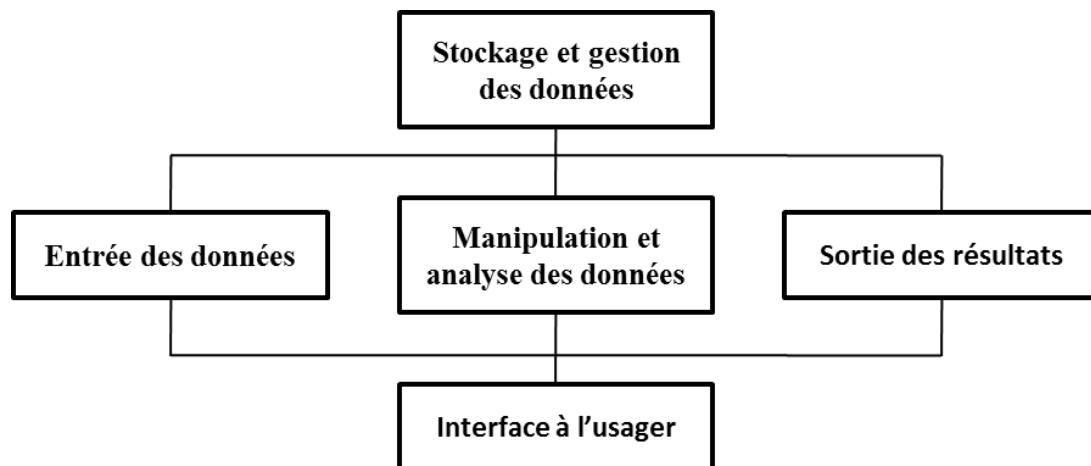


Figure 1 : Structure d'un SIG

Les questions de base auxquelles un SIG doit pouvoir répondre sont [9]:

Où ? Quoi ? Comment ? Quand ? et Si ?

- **Où :** Où cet objet ou ce phénomène se trouve-t-il ? Plus généralement, où se trouvent tous les objets d'un même type ? Cette interrogation permet de mettre en évidence la répartition spatiale d'un objet.
- **Quoi :** Que trouve-t-on à cet endroit ? Il s'agit de mettre en évidence tous les objets ou phénomènes présents sur un territoire donné.
- **Comment :** Quelles relations existent ou non entre les objets et les phénomènes ? C'est la problématique de l'analyse spatiale.
- **Quand :** A quel moment des changements sont intervenus ? Quels sont l'âge et l'évolution de tel objet ou phénomène ? C'est la problématique de l'analyse temporelle.
- **Si :** Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait ? Quelles conséquences affecteraient les objets ou phénomènes concernés du fait de leur localisation ? Modélisation et représentation des objets géographiques

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre I : Système d'Information Géographique

Au niveau conceptuel, il est important de distinguer entre les termes « entité géographique » et « objet géographique ». Le terme entité géographique est utilisé pour désigner un élément du monde réel, i.e., les entités sont contenues dans l'espace géographique.

Le terme objet géographique est une représentation dans le SIG d'une entité géographique. Par exemple, les entités géographiques « ville », « autoroute » et « pays » sont représentées dans la base de données du SIG sous forme d'objets « point », « ligne » et « polygone » que nous définissons ci-après. Généralement un objet géographique possède deux types de propriétés (ou des caractéristiques) souvent nommées attributs [12]:

- Des attributs descriptifs (alphanumériques ou spatiaux), qui constituent sa description. Par exemple, le nom et la population d'une ville sont des attributs de ce type.
- Un attribut spatial, qui correspond souvent à la géométrie de l'objet géographique, sa position dans l'espace.

Nous parlons d'objets géographiques atomiques ou complexes (composés d'autres objets géographiques). L'objet géographique d'une ville, par exemple, est constitué d'objets géographiques atomiques représentant ses différentes communes.

L'attribut spatial d'un objet géographique est représenté par des objets spatiaux. A ce niveau, les trois objets spatiaux de base suivants sont généralement distingués :

- **Point** : Il représente un objet géographique de dimension 0 (zéro). Il est dit également d'un point qu'il s'agit d'un objet spatial ponctuel. Par exemple, l'objet spatial associé à une ville est un point.
- **Ligne** : Il représente un objet géographique de dimension 1. Il est dit également d'une ligne qu'il s'agit d'un objet spatial linéaire. Par exemple, l'objet géographique associé à une rivière est une ligne.
- **Polygone** : Il représente un objet géographique de dimension 2. Il est dit également d'un polygone qu'il s'agit d'un objet spatial polygonal ou surfacique. Par exemple, l'objet géographique associé à une commune est un polygone. Certains auteurs, utilisent le terme zone et parfois région pour désigner l'objet spatial polygone.

I.4 La géométrie des objets

Le niveau géométrique est la description de la position et de la forme des objets. La position peut s'exprimer par la latitude et les longitudes des objets (ou des points qui composent ces objets) ou par des coordonnées x, y dans un système de projection [32] :

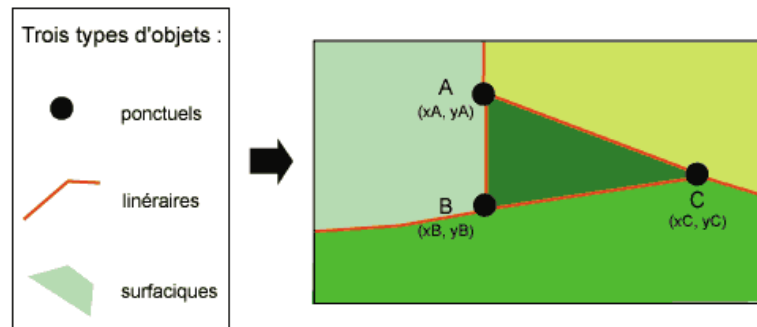


Figure 2 : Représentation des données

I.5 Un affichage sous forme de couches d'information

Un SIG contient généralement plusieurs sortes d'objets géographiques qui sont organisés en thèmes que l'on affiche souvent sous forme de couches. Chaque couche contient des objets de même type (routes, bâtiments, cours d'eau, limites de communes, entreprises,...). Chaque objet est constitué d'une forme (géométrie de l'objet) et d'une description, appelée aussi sémantique [32].

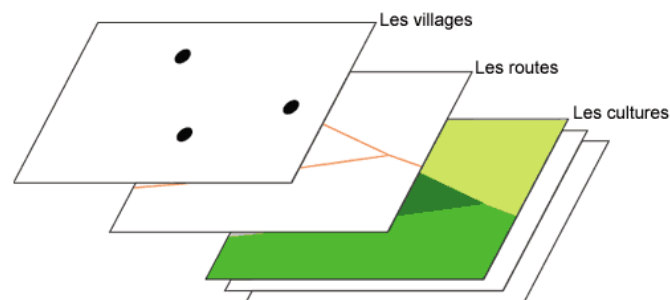


Figure 3 : Représentation des couches d'information

I.6 Modes de représentation

Nous décrivons brièvement les deux modes de repérage et de représentation des objets dans l'espace qui existent spécialement : discret (en anglais, raster) ou vecteur (en anglais, vector) :

I.6.1 Mode raster

L'espace est régulièrement découpé en cellules élémentaires. Le cas le plus simple et le plus courant correspond à une discrétisation du plan en carrés élémentaires ou pixels. Dans ce type d'espace appelé raster ou encore maille, trame, matriciel, etc., de résolution le pixel, un point est représenté par les coordonnées (l'adresse) du pixel où « il se trouve ». Une variante appelée grille ne représente qu'un ensemble fini de points à l'intersection de droites parallèles aux axes à égale distance les unes des autres (colonnes et rangées). Les coordonnées d'un point sont alors un numéro de colonne et un numéro de rangée. Un point est localisé par le pixel dont l'intersection avec ce point est non nulle. La géométrie d'un polygone ou d'une ligne est représentée par l'ensemble des pixels dont l'intersection avec le polygone ou la ligne est non nulle (voir Figure 4).

I.6.2 Mode vecteur

Le mode vecteur permet une représentation de la géométrie des objets peu coûteuse en place mémoire : un point est représenté par ses coordonnées, une ligne est représentée par une liste de points et un polygone par la liste des lignes constituant sa frontière (Figure 4). Cette géométrie est obtenue soit par « vectorisation » de données déjà numérisées en mode raster, soit par « digitalisation » de documents préexistants. Les lignes sont généralement représentées de manière approximative par des séquences de segments de droite.

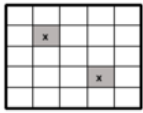
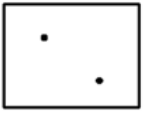
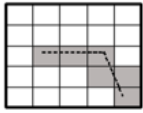
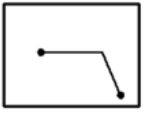
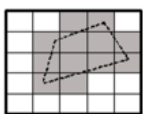
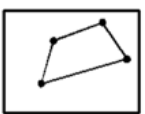
	Mode raster	Mode vecteur
Point		
Ligne		
Polygone		

Figure 4 : Représentation des points, lignes et polygones en modes raster et vecteur [23]

I.7 Les principales fonctions d'un SIG

- **Abstraire** : revient à concevoir un modèle qui organise les données par composants géométriques et par attributs descriptifs ainsi qu'à établir des relations entre les objets.
- **Acquérir** : revient à alimenter le SIG en données. Les fonctions d'acquisition consistent à entrer d'une part la forme des objets géographiques et d'autre part leurs attributs et relations.
- **Archiver** : consiste à transférer les données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage (disque dur).
- **Analyser** : permet de répondre aux questions que l'on se pose.
- **Afficher** : pour produire des cartes de façon automatique, pour percevoir les relations spatiales entre les objets, pour visualiser les données sur les écrans des ordinateurs.

I.8 Les composants d'un SIG

Un SIG est constitué de cinq composants majeurs [31]:

- **Matériel** : Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre I : Système d'Information Géographique

- **Logiciels** : Les logiciels SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Les principaux composants logiciels d'un SIG sont les outils pour saisir et manipuler les informations géographiques, le système de gestion de base de données, les outils géographiques de requête, d'analyse et de visualisation, et l'interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.
- **Données** : Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.
- **Utilisateurs** : Un SIG étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.
- **Méthodes** : La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.

I.9 SIG et analyse spatiale

L'analyse spatiale, fonctionnalité fondamentale du SIG, représente une part importante, voire la plus importante de l'exploitation d'un SIG. Explicitement plusieurs définitions ponctuent cette fonctionnalité des SIG, mais son fondement reste le même. Si les contenus qui se retrouvent dans bon nombre de définitions présentes dans la littérature sont réunis, le concept d'analyse spatiale se comprend comme : « Les méthodes et les opérateurs, associés aux SIG, exploités pour modéliser l'espace géographique en base de données, extraire des informations pour dériver des informations synthétiques et pour identifier les relations fonctionnelles entre entités ou phénomènes » [21].

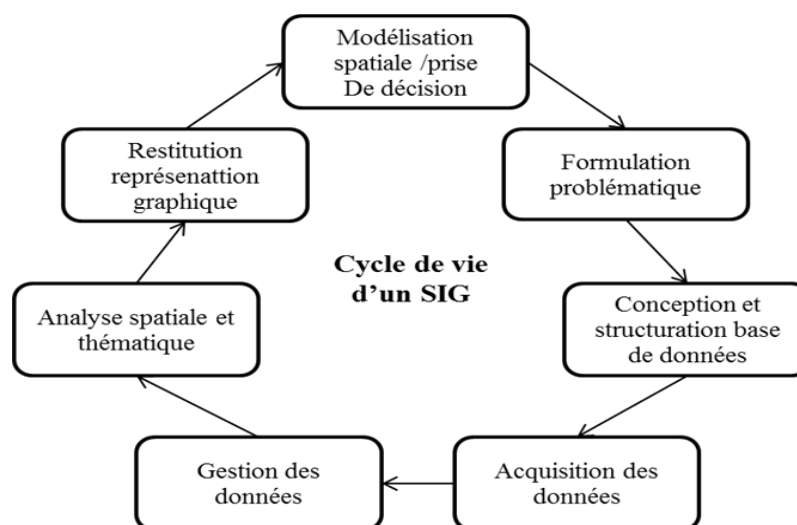


Figure 5 : Cycle de vie des SIG

I.10 Conclusion

Les SIG permettent d'acquérir, de gérer, de manipuler et de transmettre de l'information géographique. L'acquisition de données et les capacités de gestion associées vont ainsi faciliter l'intégration et l'organisation d'un modèle observé de la réalité d'un territoire. Dans un second temps, les SIG vont pouvoir servir de support à différentes analyses spatiales conduisant à une compréhension de ce territoire modélisé et permettre la production de documents, sous différentes formes, rendant compte de ces analyses. L'information ainsi conduite va conduire le ou les gestionnaires à prendre des décisions sur ce territoire, décisions qui vont pouvoir le modifier.

Les aspects matériels et logiciels ne sont plus une limite au développement des SIG. Ils accompagnent au contraire le développement exponentiel de cet outil. En effet, l'accélération des performances des ordinateurs (processeurs et capacités de stockage) permet au plus grand nombre de bénéficier de ces outils et permet également d'envisager le développement important de nouvelles technologies dans ce domaine...

Chapitre II :

Analyse Multicritères

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre II : Analyse Multicritère

II.1 Introduction

L'analyse multicritères permet d'effectuer un choix entre plusieurs solutions en décomposant une grille d'analyse en plusieurs critères chacun pondéré d'un coefficient (poids relatif). Il s'agit donc d'un outil d'aide à la décision. D'abord, sont identifiés les critères sur lesquels sera basée l'analyse, puis on affecte à chaque critère un coefficient selon son importance relative. Chaque solution envisagée est ensuite comparée en utilisant cette grille d'analyse multicritères. En face de chaque critère retenu, on donne une note aux différentes solutions. Cette note est ensuite pondérée en fonction du coefficient affecté au critère. A la fin des notations, une simple somme de l'ensemble des critères permet de connaître la meilleure solution. La pondération des critères est donc prépondérante dans cette méthode : elle influe directement sur la qualité du choix effectué [29].

II.2 Définitions

Décision : choix parmi plusieurs alternatives

L'alternative peut représenter une suite d'actions, des hypothèses, un ensemble d'objet.

Actions : Une action est une représentation de l'élément de solution qui contribue à la décision par exemple (une région, un site, un investissement, une offre...)

Critère : élément de base d'une décision. Peut être évalué ou mesuré. Il en existe deux sortes : les facteurs et les contraintes.

- **Facteurs** : aussi appelés variables décisionnelles ou variables structurelles. Un facteur renforce ou réduit la pertinence d'une alternative. Il est exprimé par une échelle de mesures continues. Exemple : plus la pente est faible, mieux c'est !
- **Contraintes** : aussi appelées buts ou cibles. Une contrainte permet, elle aussi, de limiter les alternatives considérées. Elles sont souvent exprimées sous forme booléenne (couches binaires en 0 et 1) par une échelle de mesures discrètes. Exemple : si la pente est inférieure à 30° , elle satisfait la contrainte (on lui affecte la valeur 1).

Le facteur agit de façon progressive, la contrainte est un facteur limitant.

Règle de décision : est une procédure qui combine des critères pour arriver à une évaluation. Une règle de décision peut être un simple seuil appliqué à un seul critère (Exemple : aptitudes des régions à pente inférieure à 30° pour un aménagement forestier), ou être multicritères.

Objectif : à la base de l'organisation des règles de décision. Il est fonction de l'état d'esprit du décideur dont dépends Le choix des critères à prendre en compte et de leur pondération. Les objectifs sont fortement conditionnés par les motivations et considérations sociales.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre II : Analyse Multicritère

Évaluation : consiste à appliquer une règle de décision. Deux types se distinguent :

- **Évaluation multicritères (MCE)** : pour satisfaire un objectif particulier, on a souvent recours à l'analyse de plusieurs critères. Deux procédures sont souvent combinées dans une évaluation multicritères : La première implique une superposition booléenne avec des opérateurs d'intersection (ET, AND) ou d'union (OU, OR) qui jouent le rôle de contraintes. La deuxième, la combinaison linéaire pondérée, qui joue le rôle de facteur, comporte des coefficients de pondération compris entre 0 et 255 (habituellement). Le résultat est une carte d'aptitudes avec des zones masquées par des contraintes booléennes et finalement seuillées pour permettre la décision finale.
- **Évaluation multi-objectifs** : pour satisfaire un objectif particulier, on a souvent recours à l'analyse de plusieurs critères. Bien que la plupart des décisions prises visent un objectif unique, il arrive parfois de devoir prendre les décisions qui satisfont plusieurs objectifs. Ces objectifs peuvent être complémentaires ou conflictuels.
 - **Objectifs Complémentaires** : objectifs non divergents. Les pixels peuvent satisfaire à plusieurs objectifs. Les décisions multi-objectifs peuvent souvent être résolues par une extension à caractère hiérarchique du processus d'évaluation multicritères.
 - **Objectifs Contradictaires** : chaque pixel ne peut remplir qu'un des objectifs. La coexistence est impossible. L'affectation dépendra de la règle de décision utilisée. Avec des objectifs contradictoires, il est parfois possible de les ordonner statistiquement pour atteindre une solution devenue prioritaire. Dans ce contexte, les objectifs à pondération élevée sont satisfaits avant ceux à pondération faible.

Incertitude et risque : L'information est un élément clef du processus de décision, mais cette information est rarement parfaite. Il existe deux sources d'incertitude :

- **Incertitude de la base de données** : L'erreur sur les mesures est la source principale de cette incertitude. Cette incertitude est contrôlée par la théorie des probabilités.
- **Incertitude de la règle de décision** : L'incertitude liée à la règle de décision est fonction de la manière dont les critères sont combinés et évalués pour obtenir une décision.

Risque : le risque exprime la possibilité que la décision prise soit fausse. Il convient d'estimer toutes les incertitudes (erreurs) accumulées en amont (bases de données, procédures et règles de décision). La théorie des probabilités bayésiennes permet cette estimation.

Note : Les facteurs de l'approche multicritères sont souvent des fonctions à caractères flous alors que les contraintes sont des fonctions rigides.

II.3 Analyse Multicritères Décisionnel (AMCD)

Les principes de l'AMCD témoignent autant d'une évolution des pratiques des utilisateurs que d'un changement profond dans les modalités du processus décisionnel. L'AMCD permet de composer avec la multiplicité, la divergence et la nature (quantitative ou qualitative) des critères en vue d'aboutir à des compromis acceptables. La combinaison de critères aboutit à un indice (index) qui permet de comparer différentes alternatives entre elles. Sur le plan opérationnel, l'AMCD compare des scénarios d'actions ou des variantes en fonction de problématiques générales :

- de choix, quand le résultat recherché découle d'une procédure de sélection; par exemple, pour établir une priorité entre un projet de bibliothèque, un centre sportif, un parc et une piste cyclable.
- de tri, pour une procédure d'affectation; par exemple, pour catégoriser les différents lots de la zone verte.
- de classement, pour établir des classes de priorité; par exemple, pour classer divers scénarios d'intervention du moins au plus intéressant.
- de description, pour améliorer la compréhension d'ensemble de différentes actions afin de mettre en contexte les conséquences possibles des interventions.

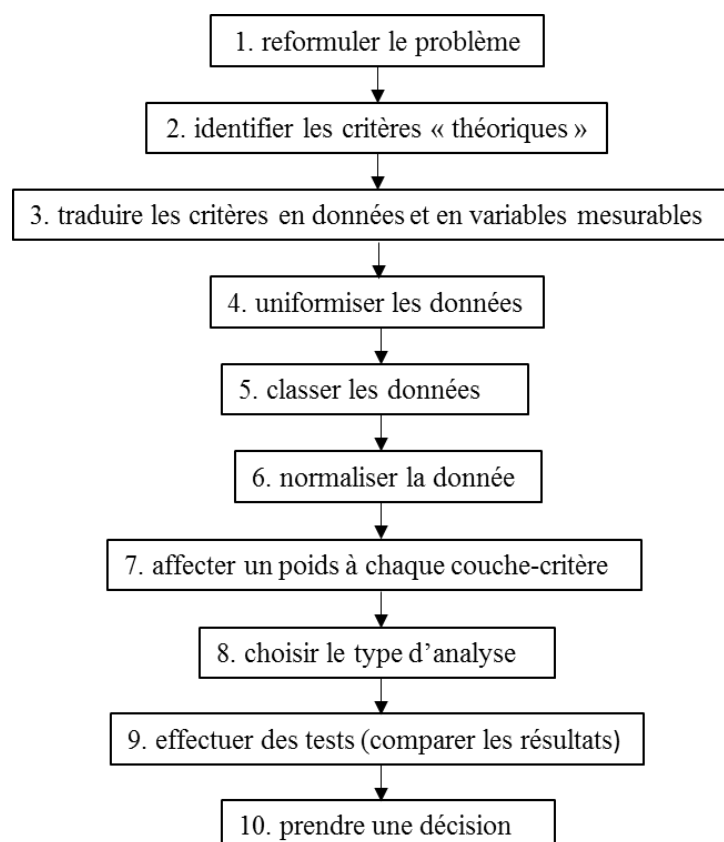


Figure 6 : Les étapes de la procédure de mise en œuvre d'une analyse multicritère

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre II : Analyse Multicritère

II.3.1 Les étapes du processus de prise de décision:

On distingue généralement plusieurs étapes dans le processus de décision. Les auteurs sont cependant partagés sur le nombre de ces étapes ainsi que les objectifs qui leur sont attribués. Le processus de prise de décision passe par trois étapes essentielles [14]:

- 1- La reconnaissance du problème objet d'une décision.
- 2- La recherche et la collecte des données nécessaires à la résolution du problème (qu'on peut interpréter comme la recherche d'alternatives qui naturellement ne peut s'opérer qu'à l'aide du maximum de données sur le problème).
- 3- Le choix enfin de la solution la plus appropriée au problème.

II.3.2 Les acteurs impliqués dans le processus de décision:

- Le décideur (D).
- L'homme d'étude (HE) ou l'analyste, ou ingénieur de la décision.
- Le personnel opérationnel et technique du système (T).
- Les agis, qui bénéficient ou subissent les décisions prises (A).

II.4 Démarche multicritère

Il existe différentes démarches pour faire face à la situation de décision multicritère. Chacune met l'accent sur certains aspects aux dépens d'autres et, par conséquent, chacune a ses avantages et ses inconvénients. Roy se base sur une approche de « bas vers le haut » (bottom-up) qui consiste à identifier toutes les conséquences pouvant résulter de la mise en œuvre des actions, que l'on structure en dimensions puis en axes de signification autour desquels sont construits les critères. Keeney se base sur l'approche du « haut vers le bas » (top-down) qui consiste à construire une structure hiérarchique ayant à son premier niveau l'objectif global qui est éclaté en sous-objectifs jusqu'à ce que l'on atteigne un niveau mesurable que l'on qualifie d'attributs. Laaribi [1] a proposé une approche intermédiaire qui, selon lui, est de portée générale. Il décrit son approche comme suit : « Partant d'une situation de décision quelconque (perception d'un problème de décision), il y a lieu de tenter de dégager au départ les objectifs qu'on cherche à atteindre. En tenant compte de ces objectifs, un faisceau de points de vue pourrait se dégager, exprimant en quelque sorte des classes de critères. Aussi, les objectifs permettraient de définir des actions (globales) ou des scénarios (ensemble d'actions fragmentées), tandis que la famille de points de vue se traduit généralement en un ensemble de critères qui permettent de procéder à une évaluation des actions ou des scénarios. Une fois l'évaluation effectuée, on procédera à l'investigation par une procédure d'agrégation multicritère appropriée afin de parvenir à une recommandation ».

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre II : Analyse Multicritère

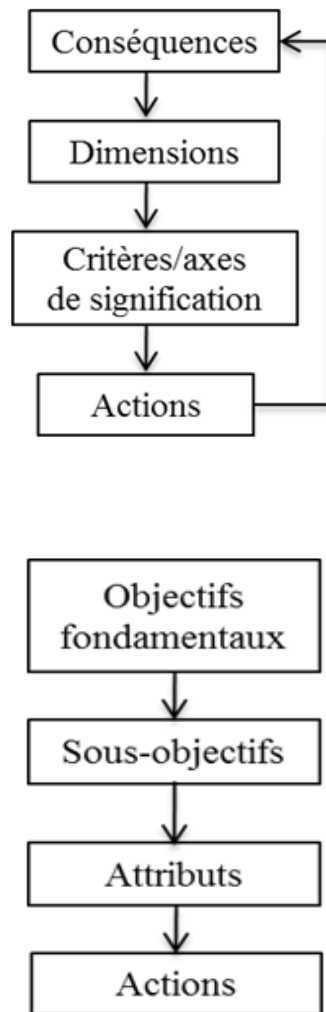


Figure 6 : Démarche top-down de Kenney (Haut) et bottom-up de Roy (Bas)

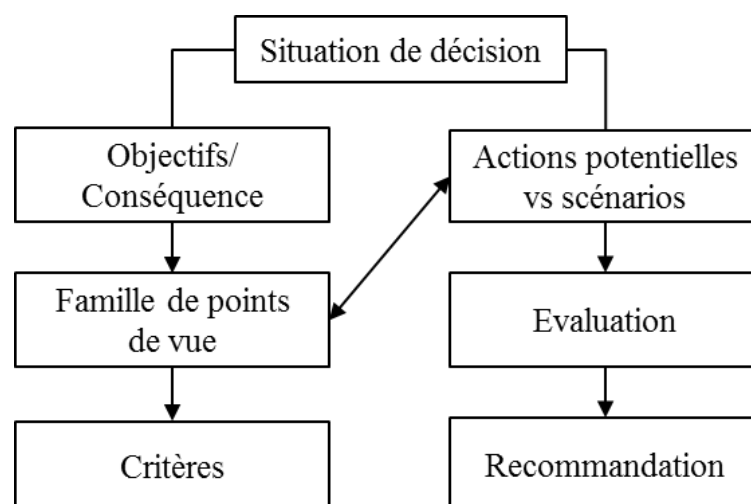


Figure 7 : Démarche intermédiaire de Laaribi.

II.5 Méthodes Multicritères

Plusieurs modèles et algorithmes d'AMCD ont été proposés par les chercheurs, La littérature en aide multicritère à la décision renferme de nombreuses méthodes. Ces dernières ont été regroupées dans trois catégories principales représentant chacune d'entre elles des approches différentes. Ces catégories se présentent comme suit [2]:

II.5.1 Méthodes d'agrégation selon l'approche du critère unique de synthèse

Selon [2], cette approche est la plus classique. Les méthodes appartenant à cette catégorie sont généralement désignées sous le nom des méthodes d'agrégation complète. Elles consistent à agréger l'ensemble des critères, de manière à obtenir une fonction critère unique qui synthétise cet ensemble. Ainsi, cette fonction à optimiser, qui peut être par exemple une fonction d'utilité ou de valeur, agrège les préférences locales, au niveau de chaque critère ou attribut. En d'autres termes, ceci revient à convertir un problème multicritère en un problème monocritère. Cependant, il est important de ne pas confondre analyse multicritère et analyse monocritère. A ce sujet, même lorsqu'une analyse multicritère s'achève par l'agrégation des critères en un critère unique, celle-ci diffère d'une analyse monocritère. Cette dernière est considérée prendre à priori comme référence un critère unique en faisant l'économie de la détermination de l'ensemble des critères pertinents au égard au contexte décisionnel en présence.

Il est à souligner que les termes fonction d'utilité et fonction de valeur sont parfois utilisés indifféremment dans la littérature relative à ce domaine pour désigner l'utilisation d'une fonction à des fins de modélisation des préférences du décideur. Elles renvoient généralement aux préférences du décideur en rapport avec les degrés d'atteinte d'un critère. Admis, tel qu'il est souligné dans, que les fonctions d'utilité (multi-attribut) correspondent à un environnement incertain tandis que les fonctions de valeur sont utilisées dans les contextes décisionnels où l'information est déterministe. Ces méthodes qui se basent sur la construction d'une fonction d'utilité/de valeur ont été parmi les premières à être utilisées dans le domaine de l'aide multicritère à la décision. Avec l'évolution de la recherche relative à l'analyse multicritère, d'autres méthodes plus récentes sont apparues.

II.5.2 Les méthodes de sur-classement selon l'approche de synthèse

Cette classe accepte l'incomparabilité entre les différentes actions. Les méthodes appartenant à cette approche, sont appelées également les méthodes d'agrégation partielle. Cette appellation est due au fait que ces méthodes procèdent, généralement, par paires d'actions. En effet, les actions sont comparées deux à deux pour pouvoir vérifier l'existence d'une relation de sur-classement 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. Il est à souligner qu'en général, ce type de méthodes s'applique aux cas où l'ensemble des actions est fini. Parmi les méthodes de sur-classement les plus connues, nous retrouvons la méthode ELECTRE ainsi que les divers développements qu'elle a connue, et la méthode PROMETHEE.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre II : Analyse Multicritère

II.5.3 Les méthodes interactives selon l'approche du jugement local interactif

Les méthodes interactives 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. Depuis leur apparition aux alentours des années 70, plusieurs méthodes interactives ont été développées. Nous pouvons en citer quelques-unes: la méthode STEM, la méthode GDF, et la méthode du point de référence.

II.6 Les avantages et les limites de l'analyse multicritères

II.6.1 Avantages

Trouver une solution dans des situations complexes : L'avantage le plus important de l'analyse multicritère est sa capacité à pouvoir simplifier des situations complexes. La plupart des décideurs ne sont plus capables d'intégrer la totalité de l'information dans leur jugement. L'analyse multicritère permet alors en décomposant et en structurant l'analyse de procéder pas à pas à la recherche d'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 mis au point par le groupe qui conduit l'analyse. De ce fait, les acteurs impliqués dans le processus ont une bonne visibilité de la démarche et des choix opérés successivement.

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 : Du fait de ses avantages, l'analyse multicritère est devenue un outil très utilisé dans la résolution de problèmes complexes, dans des contextes conflictuels comme l'aménagement du territoire par exemple. La clarté de la méthode permet de « dépassionner » le débat et de surcroît, de développer la communication entre les acteurs. Elle constitue ainsi un outil de négociation utile aux débats entre les usagers.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre II : Analyse Multicritère

II.6.2 Limites

Conditions préalables : Un minimum de points d'accord entre les acteurs est un préalable indispensable à l'analyse. Ainsi, par exemple, une analyse multicritère des objectifs opérationnels d'un programme ne peut être conduite que si les acteurs sont d'accord avec l'objectif global et si possible l'objectif spécifique du programme.

Lourdeurs des débats : Les difficultés opérationnelles pour choisir des actions ou des variantes à étudier, pour définir des critères de comparaison et pour produire des grilles de notation, ne sont pas à sous-estimer. Les débats pour résoudre ces points essentiels à la réussite de l'exercice peuvent parfois être très longs et compliqués.

Disponibilité des données : Le manque de données fiables, sur une durée suffisante pour mettre en place et valider les méthodes peut être un handicap dans certaines situations.

Facteur temps : La durée de réalisation des analyses (et leur coût) est souvent le facteur le plus limitant dans le cadre d'une évaluation. Les analyses multicritères sont souvent basées sur des processus lents et itératifs, qui peuvent nécessiter une part de négociation importante et de longue durée. Dans le cadre de l'évaluation, ce besoin de temps peut s'avérer être une limite.

Technicité de la méthode : La technicité nécessaire à une bonne conduite de la démarche est évidente. Outre les outils informatiques qu'il faut savoir manier, les concepts ainsi que les méthodes mathématiques d'agrégation des données nécessitent un savoir-faire de haut niveau pour ne pas produire des conclusions erronées ou conduire l'analyse dans la confusion.

Dimension subjective de l'analyse : Enfin, bien que l'analyse multicritère rationalise sans contester l'approche des problèmes complexes, incluant des données objectives et subjectives, il n'en demeure pas moins qu'elle peut être considérée, par ses détracteurs, comme une approche subjective.

II.7 Conclusion

Le but de l'analyse multicritère est de fournir au décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution de problèmes décisionnels faisant intervenir plusieurs points de vue généralement contradictoires. Il n'est dès lors plus question de découvrir des solutions optimales, des décisions les meilleures selon chacun des points de vue, mais d'aider le décideur à dégager une ou plusieurs solutions de compromis, en accord avec son propre système de valeurs.

Les méthodes d'aide multicritère à la décision sont des techniques assez récentes et en plein développement. Par leur manière d'intégrer tout type de critères, ces procédures semblent mieux permettre de se diriger vers un compromis judicieux plutôt qu'un optimum souvent désuet.

Nous aurons à développer dans le chapitre suivant l'une des méthodes qui répond de manière objective à notre objectif à savoir la méthode PROMETHEE.

Chapitre III :

SIG et Analyse multicritères

III.1 Introduction

L'intégration des SIG et de l'analyse multicritère constitue une voie privilégiée incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision. SIG et analyse multicritère mettent à la portée des non-spécialistes les concepts d'aide à la décision à référence spatiale. Cette partie clarifie les notions relatives aux SIG et à l'analyse multicritère et présente un ensemble de solutions conceptuelles et méthodologiques permettant d'en réaliser l'intégration et les outils d'aide à la décision à référence spatiale.

III.2 Description conceptuelle de MCD-GIS

Le schéma général de MCD-GIS est donné dans la Figure 10 où nous distinguons :

- Un module d'évaluation multicritère.
- Un module de génération des actions potentielles.
- Un module de génération de la carte décisionnelle.
- Un module d'inférence de paramètres de préférence.
- Un module du choix de la méthode multicritère à utiliser dans un problème donné.
- Un module de modélisation spatial multicritère.

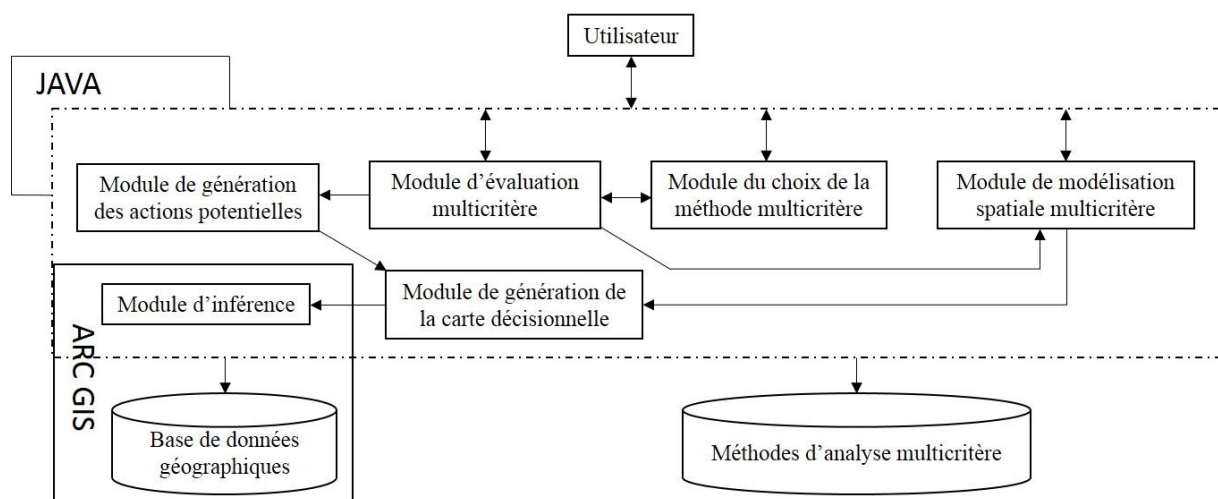


Figure 8 : Architecture de MCD-GIS [24]

Dans cette partie, nous présentons une brève description du prototype utilisé. Le schéma général de ce prototype est donné dans la Figure 8. Il comporte 4 modules principaux :

Module d'évaluation multicritère

Les fonctions d'EMC représentent les opérations de base nécessaires à implémenter les méthodes d'analyse multicritère. Ces fonctions, au nombre de quinze, sont identifiées en se

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre III : SIG et Analyse Multicritère

basant sur les schémas généraux des méthodes d'AMC. Les fonctions d'évaluation multicritère considérées dans le cadre de cette stratégie sont données dans le Tableau 1.

N°	Fonction d'EMC
F 1	Définition/Génération des actions
F 2	Construction des cartes critères
F 3	Construction des cartes attributs
F 4	Définition d'un programme mathématique
F 5	Résolution d'un programme mathématique
F 6	Génération du tableau de performance
F 7	Quantification
F 8	Normalisation
F 9	Préanalyse de dominance
F 10	Génération des actions "acceptables"
F 11	Elicitation des préférences
F 12	Pondération des critères d'évaluation
F 13	Analyse de sensibilité/de robustesse
F 14	Agrégation
F 15	Construction de la prescription

Tableau 1 : fonctions d'évaluation multicritère [24]

Cette liste couvre la majorité des méthodes multicritères et une décomposition plus fine peut aller à l'encontre de notre objectif principal, celui de fournir un ensemble de fonctions aussi restreint que possible tout en s'assurant que ces fonctions permettent d'implémenter la plupart des méthodes d'analyse multicritère.

Modules de génération des actions potentielles

La modélisation des actions potentielles spatiales introduite peut générer un grand nombre d'actions. Cela est pénalisant essentiellement pour les méthodes multicritères de surclassement de synthèse, En effet, ces méthodes procèdent par comparaison par paire et atteignent ainsi rapidement leur « limitations informatiques ».

L'idée de base pour la génération des actions potentielles consiste à utiliser le concept de la carte décisionnelle pour « émuler » les actions ponctuelles, linéaires et surfaciques par une ou plusieurs unités spatiales en respectant quelques relations spatiales (topologiques ou autres) additionnelles. Plus spécifiquement, les actions potentielles seront construites comme suit :

- **Actions ponctuelles** : chaque action est représentée par une unité spatiale individuelle.
- **Actions linéaires** : chaque action est représentée par une collection d'unités spatiales linéairement adjacentes.
- **Actions surfaciques** : chaque action est représentée par une collection d'unités spatiales contiguës.

Module du choix de la méthode

Les facteurs influençant le choix de la méthode d'AMC peuvent se divisés en trois groupes :

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre III : SIG et Analyse Multicritère

(i) facteurs relatifs au problème de décision à référence spatiale considéré.

(ii) facteurs relatifs au décideur.

iii) facteurs relatifs aux méthodes d'AMC.

De ce fait, la recherche de la méthode d'AMC la plus appropriée peut être considérée comme une recherche des meilleurs arguments supportant la correspondance entre les caractéristiques.

Module de génération de la carte décisionnelle

C'est le module qui porte l'interface d'affichage des données.

III.3 La nécessité d'intégration SIG-AMC

Les SIG sont des outils de gestion, de traitement et d'analyse des données, mais limités en tant que de véritables outils d'aide à la décision, notamment lorsque plusieurs critères et/ou objectifs parfois contradictoires se trouvent en jeu. Selon [1], ils n'étaient qu'à leur « première balbutiements » en matière de véritables outils d'aide à la décision et nous pouvons dire que même si depuis une dizaine d'années, beaucoup d'efforts ont été fournis par les concepteurs des logiciels de SIG pour les faire évoluer, il n'en demeure pas moins que des améliorations restent à faire. Aujourd'hui, les problèmes décisionnels à référence spatiale présentent toutes les caractéristiques des problèmes multicritères ce qui veut dire que le traitement par l'évaluation multicritère devient incontournable. Selon [23], il a existé des AMC à référence spatiale sans utilisation des SIG dont quelques applications sont :

- Cas d'une localisation.
- Aménagement et utilisation du sol.
- Implantation d'infrastructures.
- Calcul du plus court chemin.
- Planification urbaine et régionale ; zonage.
- Environnement.
- Agriculture.
- Gestion et conservation des ressources en eau.
- Planification du transport.

Cependant, les méthodes d'AMC, toutes seules, sont incapables de tenir compte de tous les aspects des problèmes de décision à référence spatiale. Elles ne disposent pas de capacités nécessaires pour la gestion des données à référence spatiale et ils manquent d'outils pour la représentation cartographique des résultats qui peuvent améliorer leur compréhension et arriver à une meilleure maîtrise du processus décisionnel.

La table 2 met en relief de façon synthétique l'intérêt de l'association des SIG et de l'AMC dans les cas d'études de phénomènes spatialisés :

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre III : SIG et Analyse Multicritère

SIG	AMC
Avantages Gestion et traitement des données (accès à l'information, cohérence, maintenance) Fonctions d'analyses spatiales (localisation, distribution, évolution, répartition, modélisation, optimisation ...) -Vision globale du problème (améliore le processus de description du contexte)	Avantages - Hiérarchisation des solutions -Hétérogénéité acceptée et notion de préférence -Analyse de robustesse et de sensibilité -Automatisation des agrégations -Amélioration du processus décisionnel
Inconvénients -Environnement statique -Ne hiérarchise pas les solutions étudiées	Inconvénients -Pas de spatialisation des données -Evaluation d'un nombre restreint d'actions -Méthodes complexes

Tableau 2 : Analyse comparée des SIG et de l'AMC [9]

III.4 Différents modes d'intégration

Nous pouvons distinguer quatre modes d'intégration SIG-AMC [23]:

Pas d'intégration : Il n'y a pas une intégration entre les deux outils. C'est le cas de tous les travaux réalisés jusqu'à la fin des années 1980.

Intégration indirecte : Les deux outils, un SIG et logiciel d'AMC, restent indépendants et le dialogue entre eux se fait à travers un système intermédiaire. Ce dernier permet de reformuler et restructurer les données obtenues suite à l'opération de superposition dans le SIG en une forme convenable pour le logiciel d'AMC. Les autres paramètres nécessaires à l'analyse sont introduits directement via le logiciel d'AMC. Les résultats de l'analyse (complètement effectuée par le logiciel d'AMC) peuvent être visualisés par le logiciel d'AMC ou exportés vers le SIG pour les visualiser ou les stocker ou pour d'autres traitements.

Dans ce mode d'intégration, les deux logiciels restent complètement indépendants mais les fonctionnalités d'analyse multicritère sont utilisables. Cependant, son emploi reste lourd et l'interactivité complexe rend ce mode d'intégration peu exploitable en pratique. Ce mode a été adopté surtout par les premiers travaux d'intégration SIG-AMC au début des années 1990 mais plusieurs travaux récents ont également suivi ce mode d'intégration.

Intégration encadrée : Les deux logiciels restent indépendants mais une seule interface (le plus souvent celle du SIG) est utilisée. Le dialogue entre les deux systèmes se fait toujours via un système intermédiaire mais pour l'utilisateur l'intégration est apparemment réalisée puisque les échanges de données lui sont transparents. Ce mode est une première étape vers une intégration effective et l'utilisation des fonctionnalités d'analyse multicritère est plus facile que le mode précédent. Cependant, le fait que les données soient stockées indépendamment, la souplesse d'exploitation et l'interactivité restent toujours problématiques. Ce mode d'intégration été adopté surtout à la fin des années 1990.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre III : SIG et Analyse Multicritère

Intégration complète : Une intégration complète permet d'avoir un système SIG-AMC intégré possédant une interface unique et une base de données commune. Dans ce mode, les fonctionnalités de l'analyse multicritère sont activées directement comme toute autre fonction de base du SIG. La base de données du SIG est renforcée afin qu'elle supporte aussi bien les données à référence spatiale que les paramètres nécessaires à l'application des techniques d'analyse multicritère. Les algorithmes multicritères sont reprogrammés dans le macro-langage du SIG (e.g. AML d'Arc/Info ou PLL d'Intergraph ou encore Avenue d'Arc-View) ou un langage procédural supporté par le SIG (e.g. comme le SIG ArcGIS d'ESRI qui supporte VBA et JAVA) ou un langage de script.

III.5 Directions d'interaction :

Nous pouvons y distinguer cinq directions d'interaction SIG-AMC :

- Pas d'interaction
- Interaction à sens unique : ne permet qu'un seul sens de transfert de données et d'information. Le transfert peut ainsi être déclenché soit par le SIG comme logiciel principal, soit par le logiciel d'AMC comme logiciel principal.
- Interaction à double sens : le transfert de données et d'information peut se faire dans un sens ou dans l'autre. Néanmoins, avec ce type d'interaction, le transfert n'est effectué qu'une seule fois.
- Interaction dynamique : L'interaction dynamique est comme la précédente sauf que dans ce cas le transfert entre les deux logiciels peut se faire selon le besoin de l'utilisateur.

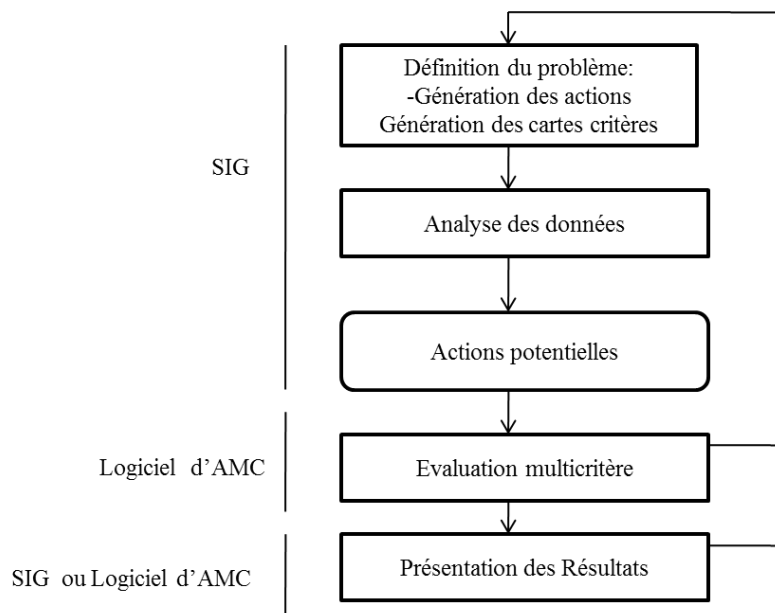


Figure 10 : Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC [23]

III.6 Limite des travaux d'intégration SIG-AMC

Malgré le nombre important des travaux d'intégration SIG-AMC, seulement 11% [12] d'entre eux procèdent par intégration complète. Mais même avec les travaux d'intégration complète, plusieurs limites persistent encore. Dans ce qui suit, nous dressons la liste des limites des travaux d'intégration SIG-AMC.

Modes d'intégration indirecte ou encastrée

- simplicité de ces deux modes d'intégration.
- par rapport à l'approche par intégration complète, ces deux approches ne demandent pas ou peu d'effort de programmation additionnelle.
- l'existence des logiciels commerciaux pour la plupart des méthodes multicritère.
- les deux outils sont relativement récents et une intégration complète, qui nécessite un effort considérable, aussi bien conceptuel que technique, n'est motivée que par une reconnaissance de la plus-value d'une telle intégration de la part des praticiens.
- manque d'échanges entre les chercheurs de deux domaines de recherche.

Intégration d'une seule (ou un nombre limité) de méthode(s) d'AMC

La plupart des travaux d'intégration proposent l'incorporation d'une seule ou d'un nombre limité de(s) méthode(s) d'AMC dans le SIG. Cependant, il est bien établi que chaque méthode multicritère possède ses avantages et ses inconvénients de telle sorte qu'une méthode peut être appliquée dans un type particulier des problèmes et pas dans un autre type. De plus, les problèmes de décision à référence spatiale sont très différents et il n'est pas possible qu'une seule méthode peut être appliquée avec succès à tous ces problèmes.

Choix de la méthode multicritère

Dans la plupart des applications de l'AMC, le choix de la méthode à utiliser se fait de manière assez arbitraire : soit que l'analyste est familiarisée avec une méthode particulière, ou tout simplement parce qu'elle est disponible sous forme de logiciel. Malgré l'existence de quelques travaux de recherche concernant le choix de la méthode multicritère à appliquer dans des problèmes sur le territoire il n'existe que très peu de travaux qui ont été accomplis dans une perspective d'intégration dans un SIG.

Intégration des méthodes du critère unique de synthèse

Selon les chiffres reportés dans [12], 58.3 % de travaux qui utilisent les méthodes du critère unique de synthèse (méthodes discrètes). Les méthodes de sur-classement de synthèse ont reçu peu d'attention dans les travaux d'intégration SIG-AMC. Néanmoins, les méthodes de

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre III : SIG et Analyse Multicritère

sur-classement de synthèse sont généralement mieux adaptées aux problèmes de décision sur le territoire. Cette situation a au moins deux explications :

- les méthodes de sur-classement de synthèse sont mathématiquement plus complexes et difficiles à expliquer aux décideurs,
- elles sont sujettes à des « limitations informatiques » par rapport au nombre d'actions.

Connaissance approfondie du SIG et de l'AMC :

Malgré le nombre relativement important de travaux d'intégration SIG-AMC, leur utilisation en pratique reste limitée et le plus souvent ne dépasse pas le cadre de la recherche universitaire. Cette situation est due aux deux raisons suivantes :

- l'utilisation de tels outils exige une bonne connaissance du SIG et d'AMC
- la spécificité de chaque problème de décision fait qu'il n'est pas possible de « transporter » un système développé pour un problème donné pour être exploité dans un autre problème.

III.7 Aperçu général sur les méthodes d'analyse multicritère

Les méthodes d'analyse multicritère sont souvent classées sur la base de l'ensemble des actions A en deux catégories : méthodes discrètes et méthodes continues [18].

Les méthodes appartenant aux méthodes discrètes impliquent un ensemble fini (ou dénombrable) d'actions : $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$; où n est le nombre d'actions. Les actions sont évaluées et comparées sur la base d'un ensemble des critères d'évaluation g_1, g_2, \dots, g_m où m est le nombre de critères. L'évaluation d'une action a selon un critère g_j est notée $g_j(a)$. Pour comparer les actions dans A , il est nécessaire d'agréger les évaluations partielles (par rapport à chaque critère) en une évaluation globale en utilisant un mécanisme d'agrégation donné.

Dans la catégorie discrète, l'ensemble des méthodes multicritères actuelles peut se subdiviser en trois groupes, chaque groupe représentant un type d'approche particulier. on distingue:

- Les méthodes d'agrégation.
- Les méthodes interactives.
- Les méthodes de sur-classement.

Nous nous sommes intéressés que pour la troisième méthode (sur-classement), elle utilise des fonctions d'agrégation partielle. En effet, les critères sont agrégés en utilisant une relation binaire partielle S , tel que aSb veut dire « a est au moins aussi bonne que b ». La relation binaire S est appelée relation de sur-classement. Le concept de sur-classement est défini comme suit:

« La relation de sur-classement 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 donné la qualité des évaluations

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre III : SIG et Analyse Multicritère

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 ».

Pour construire la relation de sur-classement S , on calcule pour chaque paire d'actions (a, b) , d'une part, un indice de concordance $C(a, b) \in [0, 1]$ qui mesure la force des critères en faveur de l'assertion aSb , et d'autre part un indice de discordance $ND(a, b) \in [0; 1]$ mesurant la force des critères s'opposant à l'assertion aSb .

III.8 Conclusion

Les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) jouent un rôle important pour l'analyse des problèmes décisionnels où la composante géographique des données est prise en considération (la majorité des critères de jugement ont un caractère géographique). Les spécificités de ce genre de problème est en faveur d'une intégration entre SIG et Analyse Multicritères AMC d'où l'adoption de cette approche. L'adoption de l'approche SIG-AMC nous confronte à plusieurs problématiques telles que le choix de la méthode adéquate et la subjectivité des préférences du décideur. Les décideurs doivent agir précocement en se basant sur des analyses approfondies des critères (facteurs, contraintes) environnementaux, socioéconomiques et autres pour mener soigneusement leurs décisions à fin de diminuer les risques par la modélisation des préférences et la génération des tables de performances.

Les deux domaines de recherche SIG et AMCD quoi qu'ils sont distincts ils s'entraident pour arriver aux meilleures solutions des problèmes géo-décisionnels [7]. L'étude géo-décisionnelle d'aptitude zonales pour le choix et l'évolution de l'emplacement géographique de nouveaux sites d'habitations, d'industries et de services s'avère primordiale et constitue un vrai problème plus vaste de décision à référence spatiale.

Chapitre IV : Conception et Implémentation

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.1 Introduction

Les problèmes liés à l'évolution des tissus urbains, à la construction de nouvelles villes, et à la création de nouvelles zones industrielles sont des problèmes d'analyse d'aptitudes zonales dans un contexte plus vaste d'aide à la décision. L'étude géo-décisionnelle d'aptitude zonales pour le choix de l'emplacement géographique de nouveaux sites d'habitations, d'industries et de services s'avère primordiale et constitue un vrai problème de décision à référence spatiale. Un zonage anarchique pour résoudre de tels problèmes peut, par exemple, causer une mutation épidémiologique et une détérioration de la santé des citoyens. Le décideur est donc tenu d'étudier les conditions de choix d'une zone par-rapport aux autres pour en tirer les avantages et les inconvénients de chacune, et ainsi sélectionner la meilleure parmi d'elles. Les spécificités de ce genre de problèmes est en faveur d'une intégration entre SIG et AMC.

Les SIG jouent un rôle important pour l'analyse des problèmes décisionnels où la composante géographique des données est prise en considération (la majorité des critères de jugement ont un caractère géographique). Les deux domaines de recherche SIG et AMCD quoi qu'ils sont distincts, s'entraident pour arriver aux meilleures solutions des problèmes géo-décisionnels. L'intégration SIG-AMC nous confronte à plusieurs problématiques telles que le choix de la méthode adéquate et la subjectivité des préférences du décideur. Les décideurs doivent agir précocement en se basant sur des analyses approfondies des critères (facteurs, contraintes) pour mener soigneusement leurs décisions à fin de diminuer les risques par la modélisation des préférences et la génération des tables de performances.

IV.2 Problématique

Notre travail s'inscrit dans cette orientation d'intégration SIG-AMC, et sa partie applicative consiste à ranger les zones industrielles de l'ouest Algérien en utilisant la méthode de sur-classement PROMETHEE. En effet neuf offres possibles ont été recensées, et d'une part, les différentes zones industrielles requises pour la présente étude sont considérées comme les actions, et d'autre part, cinq critères d'évaluation sont pris en considération avec leurs poids respectifs. Il enchaîne un choix préliminaire basé sur une analyse d'aptitude zonale. Chaque zone est une action spatiale puisqu'une action à prendre est spatiale si elle est définie par sa localisation géographique, sa forme et/ou ses relations spatiales [21].

L'objectif affiché est essentiellement un objectif de synthèse, permettant à la fois la gestion des données et l'aide à la décision. L'entrée de la méthode PROMETHEE (INPUT) est une table des performances qui regroupe les valeurs de chaque action (zone industrielle) par rapport à l'ensemble des critères. L'évaluation des actions par rapport aux critères géographiques se base sur une importante fonctionnalité des SIG : la cartographie. Cette discipline constitue la première étape de l'analyse spatiale. Une carte est un modèle de la réalité contenant la représentation géométrique des objets et des catégories d'objets avec une logique graphique et sémiologique [22].

IV.3 Approche proposée

Notre contribution sera dans le système RPRO4SIGZI proposé dans [4] qui permet, à partir d'une étude détaillée des critères géographiques, environnementaux et socioéconomiques, de faire coopérer un SIG et une méthode d'analyse multicritère pour le choix géographique du site adéquat pour l'aménagement et l'installation d'un projet industriel. Le résultat obtenu par RPRO (Ranking PROMETHEE) pour le rangement des zones industrielles candidates de l'ouest Algérien est affiné par une visualisation SIGZI (Système d'Information Géographique pour les Zones Industrielles). Le module RPRO procède au rangement des zones industrielles candidates en utilisant la méthode de sur classement PROMETHEE et le module SIGZI à la visualisation de ces zones sur la carte géographique. Le système RPRO4SIGZI a été conçu pour l'évaluation d'une nouvelle méthodologie d'analyse multicritères guidée par la modélisation des préférences du décideur et la génération des tables de performances.

Le principe utilisé est d'évaluer les zones (actions) par rapport aux critères sur la base de la cartographie. Le procédé d'évaluation consiste à analyser la position géographique des zones industrielles sur les cartes thématiques correspondantes à chaque critère géographique (Sismicité, humide,...).

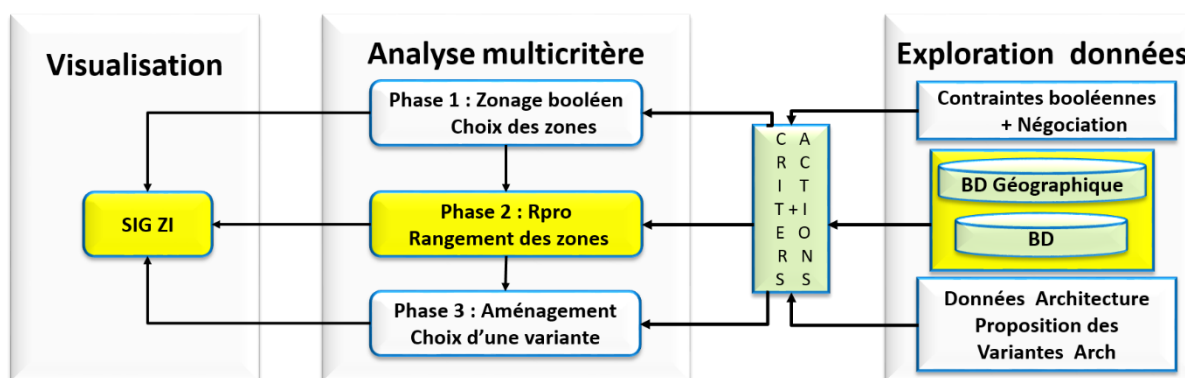


Figure 9 : Architecture générale du système [4]

Le système global est composé de trois modules :

IV.3.1 Le module « Exploration des données » :

Les principales entités de notre démarche décisionnelle multicritère sont les critères et les actions, les données qui les caractérisent sont recueillies à partir des bases de données géographiques, socioéconomiques et de climat ainsi que les archives des régions, les cartes critères sont construites. L'utilisation des données qui modélisent les préférences des décideurs et les poids octroyés sont assuré aussi par ce module.

IV.3.2 Le module « Analyse multicritère » :

C'est le module principal, il agit pour la solution du problème décisionnel globale en trois phases qui sont : l'étude d'aptitude et le choix géographique de la zone, le rangement des zones choisies, le choix d'une variante en matière d'aménagement. La deuxième étape qui est le rangement total des zones en utilisant les valeurs qualitatives et quantitatives des critères retenus. La méthode de sur classement PROMETHEE est utilisée, le comportement de chaque action par rapport aux autres est apprécié par trois flux situé dans (p48) :

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

➤ Pour ce critère une échelle (qualitative) a été définie.

Remarque : Pour évaluer les différentes zones à ranger sur la base des critères qualitatifs, on a associé à chaque critère qualitatif un barème de notation (échelle de 1 à 5) de façon à en faire une dimension mesurable. La table ci-dessous regroupe les différentes valeurs utilisées pour l'évaluation des actions selon le critère de sismicité à partir de la carte sismique des wilayas d'Algérie, selon l'échelle de mesure proposée :

	Sismicité	Valeur Numérique
Maghnia, Tlemcen	faible à modérée	2
Sidi Bel Abbes	faible à modérée	2
Ras Elma, Sidi Bel Abbes	faible à modérée	2
Sidi Ahmed, Saida	faible à modérée	2
Horchaia, Naama	faible	1
Tamazoura, Ain Témouchent	modérée	3
Oggas, Mascara	modérée	3
El Haciane, Mostaganem	fort à modérée	4
Sidi khattab, Relizane	modérée	3

Tableau 3 : évaluation des actions selon le critère de Sismicité.

- Les valeurs de ce critère se situent dans l'intervalle [1,4].
- La fonction de préférence du type I « usuel » est celle qui convient le mieux à ce critère.
- On va **minimiser** ce critère.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1		I	I	I		P	P	P	P	4	3	1
A2	I		I	I		P	P	P	P	4	3	1
A3	I	I		I		P	P	P	P	4	3	1
A4	I	I	I			P	P	P	P	4	3	1
A5	P	P	P	P		P	P	P	P	8	0	0
A6							I	P		1	1	6
A7						I		P		1	1	6
A8										0	0	8
A9						I	I	P		1	2	5

Tableau 4 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Sismicité »

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Horchaia, Naama
2. Maghnia, Tlemcen ; Sidi Bel Abbes ; Ras Elma, Sidi Bel Abbes ; Sidi Ahmed, Saida
3. Tamazoura, Ain Témouchent ; Oggas, Mascara ; Sidi khattab, Relizane
4. El Haciane, Mostaganem

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

(C2, C3) **Contraintes climatiques (Pluviométrie, Température)** : Les valeurs numériques de ces deux critères sont issues des stations climatiques installées sur le territoire national.

	Pluviométrie	Température
Maghnia, Tlemcen	350	19
Sidi Bel Abbas	310	24
Ras Elma, Sidi Bel Abbas	410	17
Sidi Ahmed, Saida	380	19
Horchaia, Naama	190	17
Tamazoura, Ain Témouchent	400	18
Oggas, Mascara	320	21
El Haciane, Mostaganem	350	20
Sidi khattab, Relizane	370	19

Tableau 5 : évaluation des actions selon les deux critères, Pluviométrie et Température.

- Les valeurs de critère Pluviométrie se situent dans l'intervalle [410,190].
- Les valeurs de critère Température se situent dans l'intervalle [24,17].
- La fonction de préférence du **type V** « Linéaire » est le meilleur choix.
- On va **minimiser** ces deux critères.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1			P	P		P		I	P	4	1	3
A2	P		P	P		P	P	P	P	7	0	1
A3										0	0	8
A4			P			P				2	6	0
A5	P	P	P	P		P	P	P	P	8	0	0
A6			P							1	0	7
A7	P		P	P		P		P	P	6	0	2
A8	I		P	P		P			P	4	1	3
A9			P	P		P				3	0	5

Tableau 6 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Pluviométrie »

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Horchaia, Naama
2. Sidi Bel Abbas
3. Oggas, Mascara
4. Maghnia, Tlemcen ; El Haciane, Mostaganem
5. Sidi khattab, Relizane
6. Sidi Ahmed, Saida
7. Tamazoura, Ain Témouchent
8. Ras Elma, Sidi Bel Abbas

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1		P		I			P	P	I	3	2	3
A2										0	0	8
A3	P	P		P	I	P	P	P	P	7	1	0
A4	I	P					P	P	I	3	2	3
A5	P	P	I	P		P	P	P	P	7	1	0
A6	P	P		P			P	P	P	6	0	2
A7		P								1	0	7
A8		P					P			2	0	6
A9	I	P		I			P	P		3	2	3

Tableau 7 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Température »

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Ras Elma, Sidi Bel Abbes ; Horchaia, Naama
2. Tamazzoura, Ain Témouchent
3. Maghnia, Tlemcen ; Sidi khattab, Relizane ; Sidi Ahmed, Saida
4. El Haciane, Mostaganem
5. Oggas, Mascara
6. Sidi Bel Abbes

Les critères socio-économiques et juridiques :

(C4) Superficie : C'est une information quantitative représentant la superficie des zones industrielles.

(C5) Cout d'aménagement : C'est une information quantitative représentant le cout d'aménagement. La situation géographique du site (sol, pente, altitude ...) influe directement sur le montant et indirectement sur le poids de ce critère.

(C6) Proximité des réseaux de transport : (routes, chemin de fer, aéroport) : l'évaluation de ce critère se fait par une analyse spatiale qui consiste à comparer cartographiquement les deux cartes thématiques, celle de la situation géographique des zones en question avec celle des réseaux de transport de proximité.

	Cout d'Aménagement (DA)	Superficie(Ha)	Proximité
Maghnia, Tlemcen	900592576	104	2500
Sidi Bel Abbes	867750000	100	4100
Ras Elma, Sidi Bel Abbes	523765223	60	5000
Sidi Ahmed, Saida	867750000	100	6500
Horchaia, Naama	1301625000	150	3500
Tamazzoura, Ain Témouchent	1778911797	205	3000
Oggas, Mascara	851772119	98	8100
El Haciane, Mostaganem	1735585907	200	6500
Sidi khattab, Relizane	4338750000	500	3000

Tableau 8 : évaluation des actions selon les trois critères, cout d'aménagement, Superf, Proxim.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

- Les valeurs de critère Cout d'Aménagement se situent dans l'intervalle [523765223, 4338750000].
- Les valeurs de critère Proximité se situent dans l'intervalle [2500,8100].
- La fonction de préférence du **type V** « Linéaire » est le meilleur choix.
- On va **minimiser** ces deux critères.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1					P	P		P	P	4	0	4
A2	P			I	P	P		P	P	5	1	2
A3	P	P		P	P	P	P	P	P	8	0	0
A4	P	I			P	P		P	P	5	1	2
A5						P		P	P	3	0	5
A6									P	1	0	7
A7	P	P		P	P	P		P	P	7	0	1
A8							P		P	2	0	6
A9										0	0	8

Tableau 9 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Cout d'Aménagement »

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Ras Elma, Sidi Bel Abbes
2. Sidi Bel Abbes ; Sidi Ahmed, Saida
3. Maghnia, Tlemcen
4. Horchaia, Naama
5. Oggas, Mascara
6. El Haciane, Mostaganem
7. Tamazzoura, Ain Témouchent
8. Sidi khettab, Relizane

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1		P	P	P	P	P	P	P	P	8	0	0
A2			P	P			P	P		4	0	4
A3				P			P	P		3	0	5
A4							P	I		1	1	6
A5		P	P	P			P	P		5	0	3
A6		P	P	P	P		P	P	I	6	1	1
A7										0	0	8
A8				I			P			1	1	6
A9		P	P	P	P	I	P	P		6	1	1

Tableau 10 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Proximité »

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Maghnia, Tlemcen
2. Tamazzoura, Ain Témouchent ; Sidi khettab, Relizane
3. Horchaia, Naama
4. Sidi Bel Abbes
5. Ras Elma, Sidi Bel Abbes
6. Sidi Ahmed, Saida ; El Haciane, Mostaganem
7. Oggas, Mascara

➤ Les valeurs de critère Superficie se situent dans l'intervalle [60,500].

➤ La fonction de préférence du **type V** « Linéaire » est le meilleur choix.

➤ On va **maximiser** ce critère.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1		P	P	P			P			4	0	4
A2			P	I			P			2	1	5
A3										0	0	8
A4		I	P				P			2	1	5
A5	P	P	P	P			P			5	0	3
A6	P	P	P	P	P		P	P		7	0	1
A7			P							1	0	7
A8	P	P	P	P	P		P			6	0	2
A9	P	P	P	P	P	P	P	P		8	0	0

Tableau 11 : Tableaux des Indifférences/Préférences pour « Superficie »

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Sidi khettab, Relizane
2. Tamazzoura, Ain Témouchent
3. El Haciane, Mostaganem
4. Horchaia, Naama
5. Maghnia, Tlemcen
6. Sidi Bel Abbes ; Sidi Ahmed, Saida
7. Oggas, Mascara
8. Ras Elma, Sidi Bel Abbes

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

Les contraintes environnementales :

(C7) **Contrainte bioclimatique** : La carte si dessous présente les étages bioclimatiques de l'Algérie.

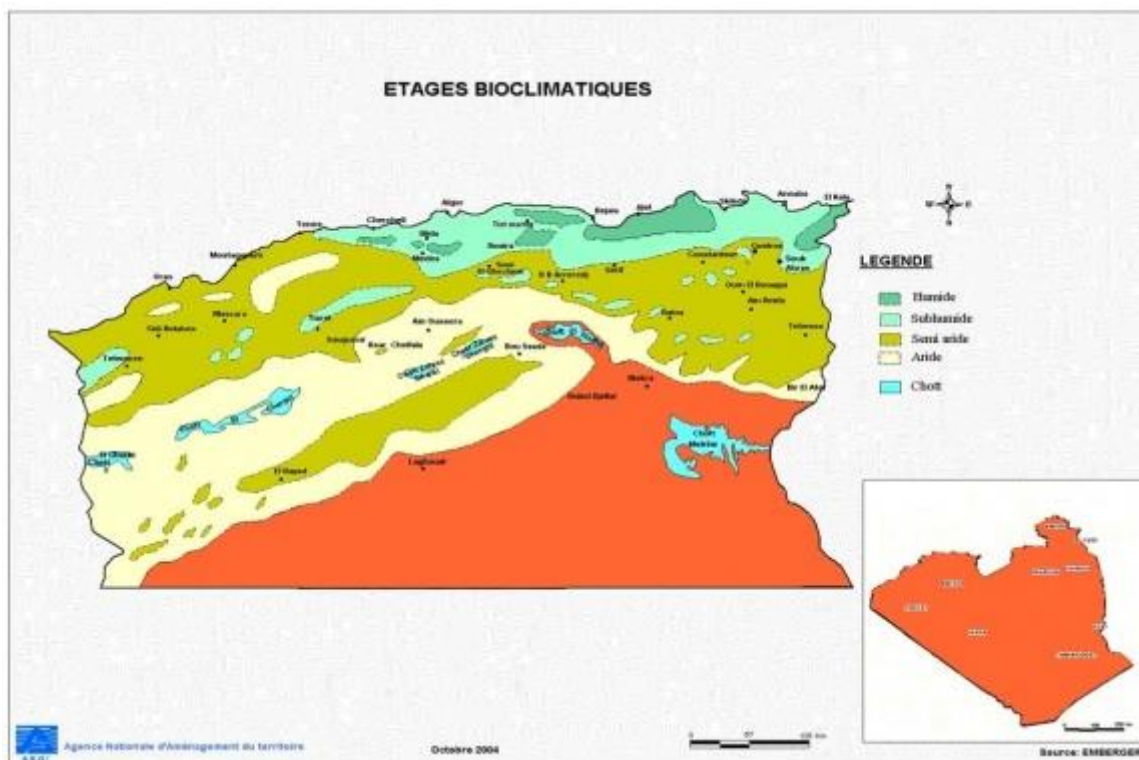


Figure 11 : Etages Bioclimatiques des wilayas d'Algérie [28].

➤ Pour ce critère une échelle (qualitative) a été définie

La table si dessous regroupe les différentes valeurs utilisées pour l'évaluation des actions selon le critère de Contrainte bioclimatique à partir de la carte étages bioclimatiques des wilayas d'Algérie, selon l'échelle de mesure proposée.

	Contrainte bioclimatique	Valeur Numérique
Maghnia, Tlemcen	Zone semi-aride	3
Sidi Bel Abbes	Zone semi-aride	3
Ras Elma, Sidi Bel Abbes	Zone semi-aride	3
Sidi Ahmed, Saida	Zone semi-aride	3
Horchaia, Naama	Zone aride	2
Tamazoura, Ain Témouchent	Zone semi-aride	3
Oggas, Mascara	Zone semi-aride	3
El Haciane, Mostaganem	Zone semi-aride	3
Sidi khettab, Relizane	Zone aride	2

Tableau 12 : évaluation des actions selon le critère « Contrainte bioclimatique »

- Les valeurs de ce critère se situent dans l'intervalle [2,3].
- La fonction de préférence du type I « usuel » est celle qui convient le mieux à ce critère.
- On va **minimiser** ce critère.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1		I	I	I		I	I	I		0	6	2
A2	I		I	I		I	I	I		0	6	2
A3	I	I		I		I	I	I		0	6	2
A4	I	I	I			I	I	I		0	6	2
A5	P	P	P	P		P	P	P	I	7	1	0
A6	I	I	I	I			I	I		0	6	2
A7	I	I	I	I		I		I		0	6	2
A8	I	I	I	I		I	I			0	6	2
A9	P	P	P	P	I	P	P	P		7	1	0

Tableau 13 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Contrainte bioclimatique »

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Horchaia, Naama ; Sidi khettab, Relizane
2. Maghnia, Tlemcen ; Tamazzoura, Ain Témouchent ; El Haciane, Mostaganem ; Sidi Bel Abbes ; Sidi Ahmed, Saida ; Oggas, Mascara ; Ras Elma, Sidi Bel Abbes

(C8) Proximité aux centre urbain d'habitation : C'est la cause des nuisances sonores liées à l'intensification des flux de circulation notamment des poids lourds, de propagations des gazes nocives pour la santé respiratoires des citoyens et des rejets industrielles.

	Proximité (m)
Maghnia, Tlemcen	14000
Sidi Bel Abbes	17000
Ras Elma, Sidi Bel Abbes	13500
Sidi Ahmed, Saida	15000
Horchaia, Naama	18000
Tamazzoura, Ain Témouchent	16500
Oggas, Mascara	18300
El Haciane, Mostaganem	13000
Sidi khettab, Relizane	17800

Tableau 14 : évaluation des actions selon le critère « Proximité »

- Les valeurs de ce critère se situent dans l'intervalle [13000,18300].
- La fonction de préférence du type V « Linéaire » est celle qui convient le mieux à ce critère.
- On va **maximiser** ce critère.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	P	I	D.p
A1			P					P		2	0	6
A2	P		P	P		P		P		5	0	3
A3								P		1	0	7
A4	P		P					P		3	0	5

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

A5	P	P	P	P		P		P	P	7	0	1
A6	P		P	P				P		4	0	4
A7	P	P	P	P	P	P		P	P	8	0	0
A8										0	0	8
A9	P	P	P	P		P		P		6	0	2

Tableau 15 : Tableau des Indifférences/Préférences pour « Proximité aux C.U.H»

Classement des actions en fonction des préférences :

1. Oggas, Mascara
2. Horchaia, Naama
3. Sidi khattab, Relizane
4. Sidi Bel Abbes
5. Tamazzoura, Ain Témouchent
6. Sidi Ahmed, Saida
7. Maghnia, Tlemcen
8. Ras Elma, Sidi Bel Abbes
9. El Haciane, Mostaganem

IV.4.3 Table de performances : regroupement des données

Après l'évaluation des zones par rapport aux différents critères, la pondération intra critère et la détermination du sens de chaque critère, Les données et les évaluations ont été regroupées dans le tableau suivant :

Action/Critère	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	2	350	19	104	900592576	2500	3	14000
A2	2	310	24	100	867750000	4100	3	17000
A3	2	410	17	60	523765223	5000	3	13500
A4	2	380	19	100	867750000	6500	3	15000
A5	1	190	17	150	1301625000	3500	2	18000
A6	3	400	18	205	1778911797	3000	3	16500
A7	3	320	21	98	851772119	8100	3	18300
A8	4	350	20	200	1735585907	6500	3	13000
A9	3	370	19	500	4338750000	3000	2	17800
Sens de critère	Min	Min	Min	Max	Min	Min	Min	Max

Tableau 16 : Table de performances

- ❖ Notons qu'un critère peut être un facteur à maximiser pour converger vers l'optimisation de la décision ou une contrainte à minimiser. Le sens de chaque critère a été adopté librement.
- ❖ Nous pouvons obtenir, pour chaque action, le nombre de critères pour lesquels elle détient la meilleure (en vert) ou la pire (en rouge) valeur.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

	nombre de critères favorables	nombre de critères défavorables
Maghnia, Tlemcen	1	1
Sidi Bel Abbes	0	2
Ras Elma, Sidi Bel Abbes	2	3
Sidi Ahmed, Saida	0	1
Horchaia, Naama	4	0
Tamazoura, Ain Témouchent	0	1
Oggas, Mascara	1	2
El Haciane, Mostaganem	0	3
Sidi khettab, Relizane	2	1

Tableau 17 : critères favorable et défavorable pour chaque zone

➤ Sur la base de ces 2 nombres nous pouvons réaliser un classement global ne tenant compte **ni des poids ni des seuils** :

1. Horchaia, Naama
2. Sidi khettab, Relizane
3. Ras Elma, Sidi Bel Abbes
4. Maghnia, Tlemcen
5. Oggas, Mascara
6. Sidi Ahmed, Saida ; Tamazoura, Ain Témouchent
7. Sidi Bel Abbes
8. El Haciane, Mostaganem

IV.4.4 Les poids des critères

Sont définis par L'équipe technique de la direction générale de L'ANIREF [3], consiste à répartir un ensemble de 100 points entre les différents critères selon leur importance et un jugement unanime issu d'une consultation entre tous les membres de l'équipe (ingénieurs, techniciens et gestionnaires).

Critère	Description de Critère	Poids (point)
C1	Sismicité.	10
C2	Contraintes climatiques : Pluviométrie	5
C3	Contraintes climatiques : Température.	5
C4	Superficie	20
C5	Cout d'aménagent	15
C6	Proximité des réseaux de transport	20
C7	Contraintes bioclimatiques	5
C8	Proximité au centre urbain d'habitation	20
	TOTAL	100

Tableau 18 : Poids des critères

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.4.4.1 Analyse de sensibilité sur les poids de critères

L'attribution de poids aux critères est le problème essentiel de toute méthode multicritère. Il n'existe pas de méthode permettant de les fixer de façon définitive et absolue. La répartition des poids reste toujours soumise à l'appréciation du décideur. C'est son espace de liberté.

IV.4.5 Seuils d'indifférence et de préférence

Le seuil d'indifférence est fixé à 5% de la différence entre le plus haut score et le plus bas de chaque critère quantitative.

Le seuil de préférence est fixé à 10% de la même différence.

Exemple : pour le critère C4 « Superficie » :

Seuil de préférence : $SP = 10\%(\max(a_i) - \min(a_i))$

$$SP = 10\%(500 - 60) = 44$$

Seuils d'indifférence : $SI = 5\%(\max(a_i) - \min(a_i))$

$$SI = 5\%(500 - 60) = 22$$

Critère	C2	C3	C4	C5	C6	C8
Seuil de Préférence	22	2	44	134503680	560	530
Seuils d'indifférence	11	1	22	67251384	280	265

Tableau 19 : Seuil de préférence et d'indifférence des critères quantitatifs

Pour les deux critères C1 et C7 On a choisi la fonction de type I « usuel » (critère particulier) critère qualitatif ordinal, la valeur des deux seuils est négligeable.

Résultat :

L'optimisation monocritère a été réalisée dans un premier temps pour obtenir la valeur de la meilleure solution pour chacun des critères pris séparément. Par ailleurs, cette première étape permet d'avoir une bonne connaissance du problème avant d'aborder l'aspect multicritère.

IV.5 Implémentation informatique

Pour le développement de ce prototype, nous avons utilisé JAVA plus précisément le logiciel Netbeans comme langage de programmation principal pour la méthode PROMETHEE I et II et une bibliothèque qui s'appelle « géotools » d'ArcGIS d'ESRI plus précisément son module ArcMap pour la création de la carte de l'Algérie et pour afficher et visualiser et partager le résultat obtenue après le rangement des zones industrielle candidates.

L'intégration du ce module de choix (la Carte Décisionnelle) dans JAVA ne pose aucun problème technique. Cela revient au fait que JAVA supporte Plusieurs extensions d'ArcGIS.

IV.5.1 Définitions

NetBeans IDE est un environnement basé sur des standards modulaires, développement intégré (IDE). Le projet NetBeans est constitué d'un IDE open source complet écrit dans le langage de programmation Java et une riche plateforme d'application client, qui peut être utilisé comme un cadre générique pour construire tout type d'application [34].

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

GéoTools est une bibliothèque open source de code (LGPL) Java qui fournit des méthodes conformes aux normes pour la manipulation de données géo spatiales, par exemple pour mettre en œuvre des systèmes d'informations géographiques (SIG). La bibliothèque géotools implémente l'Open géo spatial Consortium (OGC) spécifications car ils sont développés, en étroite collaboration avec le projet GeoAPI, géotools est utilisé par un certain nombre de projets, y compris Feature Serveurs Web, Web Map Servers, et les applications de bureau[36].

CSV To Shape est un outil programmé pour convertir des fichiers texte délimité de format CSV « Comma Separated Value » où chaque ligne comporte le même nombre de valeurs qui sont séparées par une virgule, au format ESRI Shapefiles afin de stocker les entités géographiques (c'est le format utilisé par ArcMap et MapWindow), pour permettre l'affichage des résultats obtenu après le rangement des zones au-dessus de la carte d'Algérie [35].

IV.6 Application de la méthode PROMETHEE

IV.6.1 Introduction

La méthode PROMETHEE (Preference Ranking Organisation METHods for Enrichement Evaluation) a été proposée pour la première fois en 1982 par Jean Pierre Brans⁹⁷. Elle fait partie de la famille des méthodes de surclassement value, 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). Ces méthodes s'adressent à tout problème multicritère du type:

$$Opt \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) / x \in A\}$$

Où A est un ensemble fini de n actions potentielles, et $f_j(\cdot), j=1 \dots k$ sont k critères qui sont des applications de A sur l'ensemble des nombres réels. Les données relatives à un tel problème peuvent être représentées dans un tableau ($n \times k$) de dimension [19].

IV.6.2 Tableau de performance

Dans un problème multicritère, les données sont les valeurs des actions par rapport aux critères. Ces valeurs constituent le tableau de performance dont la structure est la suivante:

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

Tableau 20 : Structure du tableau de performance

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

Un tableau de performance comporte les éléments suivants :

- Les actions (A_i): les actions qui sont considérées et que nous voulons classer.
- Les critères ($f_j(x)$) : les critères utilisés pour évaluer et classer les actions.
- Les évaluations (val_{ij}): la valeur de l'action i pour le critère j .
- Les poids : la pondération de chaque critère (son importance).

Les valeurs incluses dans ce tableau correspondent aux valeurs concrètes du problème. Ces valeurs sont variées et représentent des configurations quantitatives telles que le prix, la surface, les frais, etc.

Voici le tableau de données (Tableau de performance) :

Action_Critère	Sismicité	Pluviométrie	Température	Superficie	Cout d'aménag...	Prox_Z_Transp...	Zone Humides	Prox_Z_Habitat...
Maghnia_temcen	2	350	19	104	900592576	2500	3	14000
Ras_Elma	2	310	24	100	867750000	4100	3	17000
Sidi_Belabbesse	2	410	17	60	523765223	5000	3	13500
Sidi_Ahmed	2	380	19	100	867750000	6500	3	15000
Horchaia	1	190	17	150	1301625000	3500	2	18000
Tamazouza	3	400	18	205	1778911797	3000	3	16500
Oggas_Mascara	3	320	21	98	851772119	8100	3	18300
El_Haciane	4	350	20	200	1735585907	6500	3	13000
Sdi_khettab	3	370	19	500	4338750000	3000	2	17800

Sens Critère	Min	Min	Min	Max	Min	Min	Min	Max
Poids	10	5	5	20	15	20	5	20

préférence	2	22	2	44	134503680	560	2	530
Indifférence	1	11	1	22	67251384	280	1	265

Figure 12 : Table de performance implémentée

D'après Brans, les méthodes PROMETHEE appartiennent à la classe des méthodes de surclassement et reposent sur les trois étapes suivantes:

- **Enrichissement de la structure de préférence** Nous allons définir une nouvelle notion, celle de critère généralisé, qui sera définie à partir d'une fonction de préférence. Cette notion est introduite afin de tenir compte des amplitudes des écarts entre les évaluations sur les différents critères, et également afin d'éliminer tous les effets d'échelle liés aux unités dans lesquelles les critères sont exprimés.
- **Enrichissement de la relation de dominance** Une relation de la valeur de surclassement tenant compte de l'ensemble des critères est proposée et pour chaque paire d'actions, un degré de préférence globale d'une action sur l'autre sera établi.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

- **Aide à la décision** La relation de surclassement est exploitée en vue d'éclairer le décideur. Prométhée I fournira un rangement partiel des actions, tandis que Prométhée II fournit un rangement total.

IV.6.3 Le principe de la méthode PROMETHEE:

IV.6.3.1 Les trois phases de la méthode PROMETHEE

Le principe de la méthode PROMETHEE consiste à établir un processus de comparaison numérique de chaque action par rapport à toutes les autres actions. Ainsi, il est possible de calculer le plus (mérite) ou le moins (démérite) de chaque action par rapport à toutes les autres. Le résultat de cette comparaison permet le classement ordonné des actions [5].

La mise en œuvre de la méthode peut être ramenée à l'exécution des trois étapes suivantes:

- **Choix de critère généralisés :** A chaque critère C_1, C_2, \dots, C_n sera associé un critère généralisé choisi sur base d'une fonction de préférence et les effets d'échelle seront éliminés.
- **Détermination d'une relation de surclassement :** Dans une deuxième phase, il convient de déterminer une relation de surclassement par le biais d'un indice de préférence (par exemple : l'écart maximum entre 2 actions) qui quantifiera les préférences du décideur.
- **Evaluation des préférences :** L'évaluation de la préférence du décideur par la prise en compte des flux entrant et sortant.

Le cheminement commun aux deux méthodes est le suivant :

- a) On commence par attribuer un poids et un type à chaque critère. Le type de ce critère est en quelque sorte une fonction de préférence.
- b) PROMETHEE compare les actions deux à deux et mesure l'intensité de préférence $P(a,b)$ de l'une par rapport à l'autre sur chaque critère au moyen d'une fonction $p(d)$ où d représente la différence des évaluations $g(a) - g(b)$ sur le critère. Les six types de critères sont disponibles et présentés dans le Tableau 21 (p46).

Les méthodes PROMETHEE requièrent des évaluations numériques. Dans le cas où les différentes évaluations s'expriment comme des évaluations qualitatives, on devra associer aux niveaux d'une telle échelle des valeurs numériques afin de pouvoir choisir un type de critère généralisé. Ainsi, deux degrés de liberté importants sont laissés au choix du décideur: le type de critère généralisé et les seuils qui interviennent dans la définition de ce critère.

Voici quelques lignes directrices afin de faire ces choix le plus efficacement possible:

IV.6.3.2 Détermination des poids de chaque critère

Une fois les critères fixés, on détermine les poids qui doivent être associés, selon l'importance et l'influence de chaque critère sur la phase décisionnel.

IV.6.3.3 Choix des seuils

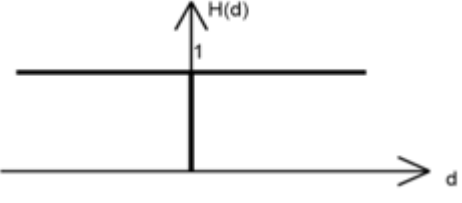
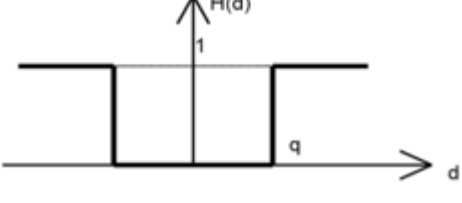
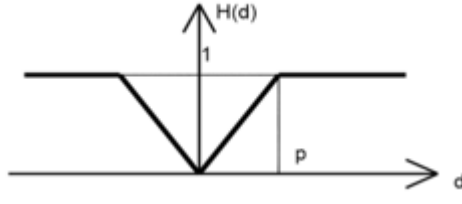
Les significations des seuils d'indifférence q et de préférence stricte p ont une signification claire et ils sont en général choisis assez facilement par le décideur.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.6.3.4 Choix du type de critère généralisé

PROMETHEE se démarque par le fait qu'elle prend appui sur une extension de la notion du critère, en effet, elle tient compte un peu différemment des seuils d'indifférence et de préférence par l'introduction d'une fonction de préférence qui prend ses valeurs entre 0 et 1 et se présente sous six formes. Ces six formes ne sont pas limitatives, mais relativement exhaustives pour couvrir tous les cas susceptibles d'être rencontrés dans les applications. La table 21 illustre les six formes proposées, d'où PROMETHEE a été construite pour assister au mieux et pour simplifier son utilisation à l'acteur-décideur. Les poids utilisés par cette méthode dépendant de son expérience, de l'environnement dans lequel il évolue et de ses préférences [1].

<p>Type I - Vrai critère</p>	<p>La fonction type I est généralement employée lorsque les données présentent un caractère discret tel un classement ou ordinal ou encore une valeur de type tout ou rien. Dans ce cas, dès qu'il y a un écart, il y a préférence stricte pour l'action ayant l'évaluation la plus élevée. Si le décideur choisi le type I pour un critère particulier, il ne doit fixer aucun paramètre.</p>	 <p><u>Vrai critère</u> : $p(d) = 0$ si $d < 0$ et $p(d) = 1$.</p>
<p>Type II- quasi- critère</p>	<p>La fonction type II est employée lorsque les seuils d'indifférence sont clairement apparents dans les données du problème posé. Les actions a1 et a2 sont dans ce cas indifférentes aussi longtemps que l'écart $d_j(a_1, a_2)$ ne dépasse pas un seuil q_j, et au-delà de ce seuil, la préférence est stricte. Ici, il faut fixer le seuil d'indifférence q_j. Ce type de critère provient de la notion de quasi-ordre introduit par Luce D.</p>	 <p><u>quasi-critère</u> : $p(d) = 0$ si $d < q$ et sinon $p(d) = 1$; q est le seuil d'indifférence.</p>
<p>Type III - critère à préféren ce linéaire</p>	<p>La fonction type III est généralement employée lorsque les données sont telles que les écarts entre elles présentent un caractère continu, ou encore lorsque toutes les valeurs intermédiaires entre les valeurs maximales et minimales de ces écarts sont possibles. Un tel critère permet au décideur de préférer progressivement a1 à a2 en fonction de l'écart observé entre $f_j(a_1)$ et $f_j(a_2)$. Le degré de préférence croît alors jusqu'à ce que le seuil P soit atteint, et au-dessus</p>	 <p><u>Critère à préférence linéaire</u> : $p(d) = 0$ si $d < 0$, $p(d) = \min(d/p, 1)$. Sinon p est le seuil de préférence stricte.</p>

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

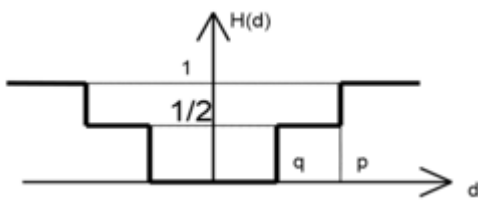
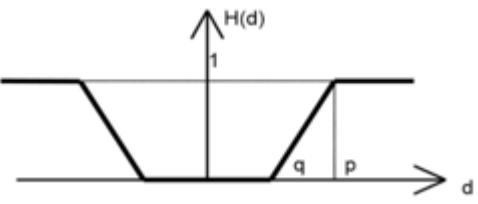
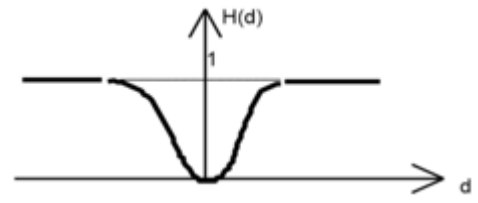
	de ce seuil, la préférence est stricte. Dans ce cas, le seul paramètre à fixer est le seuil de préférence stricte.	
Type IV : critère à paliers	La fonction type IV est parfois employée dans des cas d'espèce, en particulier lorsqu'on peut affirmer qu'un candidat n'est à la fois ni strictement préféré à un autre, ni indifférent. Ce candidat caractérisé par un écart donné par rapport à un autre se verra attribuer 1/2 point. Deux actions a1 et a2 sont ici considérées comme indifférentes aussi longtemps que l'écart entre $f_j(a1)$ et $f_j(a2)$ ne dépasse pas q_j ; entre q_j et p_j , le degré de préférence est faible, et au-delà de p_j , la préférence devient stricte. Il y a donc ici deux paramètres à fixer.	 <p><u>Critère à paliers :</u> $p(d) = 0$ si $d < q$, $p(d) = 1/2$ si $q < d < p$ et $p(d) = 1$ sinon; q et p sont les seuils classiques</p>
Type V : critère préférence linéaire avec zone d'indifférence	La fonction type V est employée lorsque les seuils d'indifférence et de préférence stricte sont clairement apparents dans les données du problème multicritère posé. Dans ce cas-ci comme dans le précédent, a1 et a2 sont considérées comme indifférentes aussi longtemps que l'écart entre $f_j(a1)$ et $f_j(a2)$ ne dépasse pas q_j ; au-delà de ce seuil, le degré de préférence croît linéairement avec d_j jusqu'à atteindre un seuil de préférence stricte à partir de p_j . Ici encore, deux paramètres doivent être fixés.	 <p><u>Critère mixte:</u> $p(d) = 0$ si $d < q$, $p(d) = (d-q)/(p-q)$ si $q < d < p$ et $p(d) = 1$ sinon on combine les deux précédents.</p>
Type VI : critère (inverse) gaussien	La fonction type VI (distribution gaussienne) est la fonction la plus employée dans les applications pratiques et est particulièrement indiquée en cas d'un nombre de candidats suffisamment élevé (en principe minimum 30). Dans ce cas il convient de calculer l'écart type σ de cette distribution. Dans ce cas, le degré de préférence croît de façon continue en fonction de d_j , un seul paramètre S_j doit être fixé. Pour un écart égal à S_j , on obtient une préférence moyenne (0.39).	 <p><u>Critère gaussien :</u> $p(d) = 1 - \exp(-d^2/2\sigma^2)$ où σ est un paramètre analogue à la variance d'une distribution normale.</p>

Tableau 21 : Les six fonctions de préférence de PROMETHEE [1]

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.6.4 La relation de surclassement

Brans fait d'ailleurs remarquer que l'information obtenue grâce à cette relation de surclassement évaluée est particulièrement réaliste. En effet, lorsque deux actions a_1 et a_2 sont comparées, a_1 est préférée à a_2 avec un certain degré $\pi(a_1, a_2)$, car a_1 est meilleure que a_2 sur certains critères; et inversement, a_2 est préférée à a_1 avec un certain degré $\pi(a_2, a_1)$ car en général a_2 sera également meilleur que a_1 sur d'autres critères [5].

Afin d'apprécier comment chaque action de A se comporte face aux $(n - 1)$ autres actions, nous introduisons ici trois flux de surclassement:

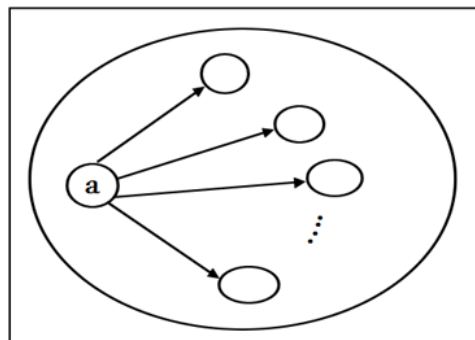
IV.6.4.1 Les flux de surclassement

Pour une problématique de rangement, les actions de A doivent être rangées de la meilleure à la moins bonne. Pour ce faire, comme dans bien d'autres méthodes, on construit deux préordres totaux :

IV.6.4.1.1 Le flux de surclassement sortant

Consiste à ranger les actions dans l'ordre décroissant des nombres, Ce flux exprime le caractère surclassant de l'action a face aux $(n - 1)$ autres actions, c'est à dire sa puissance. $\varphi^+(a)$ est d'autant plus grand que a surclasse fortement les autres actions.

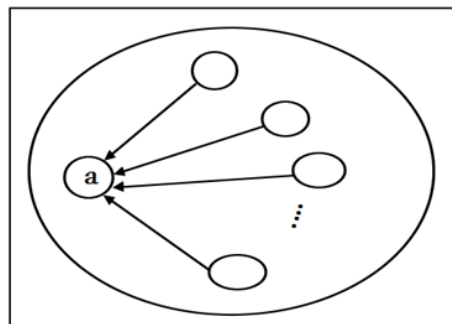
$$\varphi^+ = \sum_{x \in A} \pi(x, a)$$



IV.6.4.1.2 Le flux de surclassement entrant

Consiste à ranger les actions dans l'ordre croissant des nombres, Ce flux exprime le caractère surclassé de l'action a face aux $(n - 1)$ autres actions, c'est à dire sa faiblesse. $\varphi^-(a)$ est d'autant moins grand que a est peu surclassé.

$$\varphi^- = \sum_{x \in A} \pi(a, x)$$



Ce rangement des actions est celui de la méthode PROMETHEE I.

Ainsi, on pourrait construire sur A un préordre total qui est l'intersection des deux préordres totaux définis précédemment :

IV.6.4.1.3 Le flux de surclassement global (Net)

C'est le rangement des actions dans l'ordre décroissant des nombres, qui est le bilan des flux, fournissant ainsi un préordre total unique. En effet, la meilleure action est celle ayant obtenu le plus fort bilan positif Plus $\varphi(a)$ le plus grand. Ce rangement est celui de la méthode PROMETHEE II.

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.6.5 Exploitation (construction) de la relation de préférence

L'indice (degré) de préférence d'une action **a** par rapport à une autre **b**

A chaque critère C_i associons l'une des six formes des fonctions de préférence.

Pour chaque couple d'action (a_1, a_2) définissons:

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

Nous avons évidemment : $0 \leq \pi(a_1, a_2) \leq 1$

De plus : Si $\pi(a_1, a_2) \approx 0 \leftrightarrow$ faible préférence de "a1" par rapport "a2".

Si $\pi(a_1, a_2) \approx 1 \leftrightarrow$ forte préférence de "a1" par rapport "a2".

A : ensemble des actions,

m : nombre de critères,

$P_j(a, b)$: fonction de préférence de l'action **a** par rapport à **b** vis-à-vis du critère **j**.

w_j : Poids du critère **j**.

La valeur du flux global détermine le rang d'une action.

Action	Flux +	Flux -	Flux G
Maghnia_tlemcen	0.56314933	0.122169815	0.4409795
Ras_Elma	0.399999998	0.31762436	0.082375616
Sidi_Belabbesse	0.6312607	0.1909198	0.44034088
Sidi_Ahmed	0.36136365	0.30795455	0.0534091
Horchaia	0.3970519	0.4330357	-0.0359838
Tamazourra	0.30431268	0.4372565	-0.13294381
Oggas_Mascara	0.21875	0.4686535	-0.2499035
El_Haciane	0.29603344	0.5125	-0.21646655
Sdi_khettab	0.19181266	0.57362014	-0.38180748

Figure 13 : Les flux de surclassement

IV.6.6 PROMETHEE I : rangement partiel

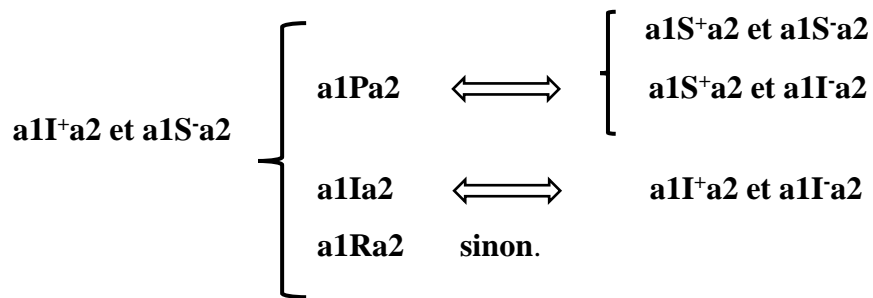
Les flux sortant et entrant permettent de ranger les actions de **A** de façon naturelle. Désignons par (S^+, I^+) et (S^-, I^-) les deux préordres induits par ces flux. On sait qu'une action est d'autant meilleure que son flux sortant est élevé, et que son flux entrant est faible :

$$\left\{ \begin{array}{l} a1 S^+ a2 \iff \Phi^+(a1) > \Phi^+(a2) \\ a1 I^+ a2 \iff \Phi^+(a1) = \Phi^+(a2) \\ a1 S^- a2 \iff \Phi^-(a1) < \Phi^-(a2) \\ a1 I^- a2 \iff \Phi^-(a1) = \Phi^-(a2) \end{array} \right.$$

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

Prométhée I construit un rangement partiel en prenant l'intersection de ces deux préordres.



Où (P, I, R) désignent respectivement la préférence, l'indifférence et l'incomparabilité dans Prométhée I. Ainsi, avec ce rangement partiel, certaines actions restent incomparables. Les résultats possibles de la comparaison de deux actions seront donc les suivants :

a1Pa2 : a1 est préférée à a2. a1 est dans ce cas plus «puissante» et moins «faible» que a2. L'information fournie par les flux de surclassement va dans le même sens et peut être considérée comme sûre. Il est dans ce cas réaliste de déclarer a1 préférée à a2.

a1Ia2 : a1 et a2 sont indifférentes. La puissance et la faiblesse de a1 et a2 sont égales donc rien ne permet de départager objectivement a1 et a2.

a1Ra2 : a1 et a2 sont incomparables. Ici, une plus grande puissance d'une des actions est assortie d'une faiblesse moindre de l'autre et l'information fournie par les deux flux est alors contradictoire. On rencontre généralement cette situation lorsque l'action a1 est nettement meilleure que a2 sur un sous ensemble de critères et que a2 est meilleure que a1 sur un autre sous-ensemble de critères. Il est dans ce cas raisonnable d'interdire au modèle de se prononcer en faveur d'une des actions et il appartient dans ce cas au décideur de trancher en faveur d'une des deux actions.

IV.6.6.1.1 Analyse des résultats

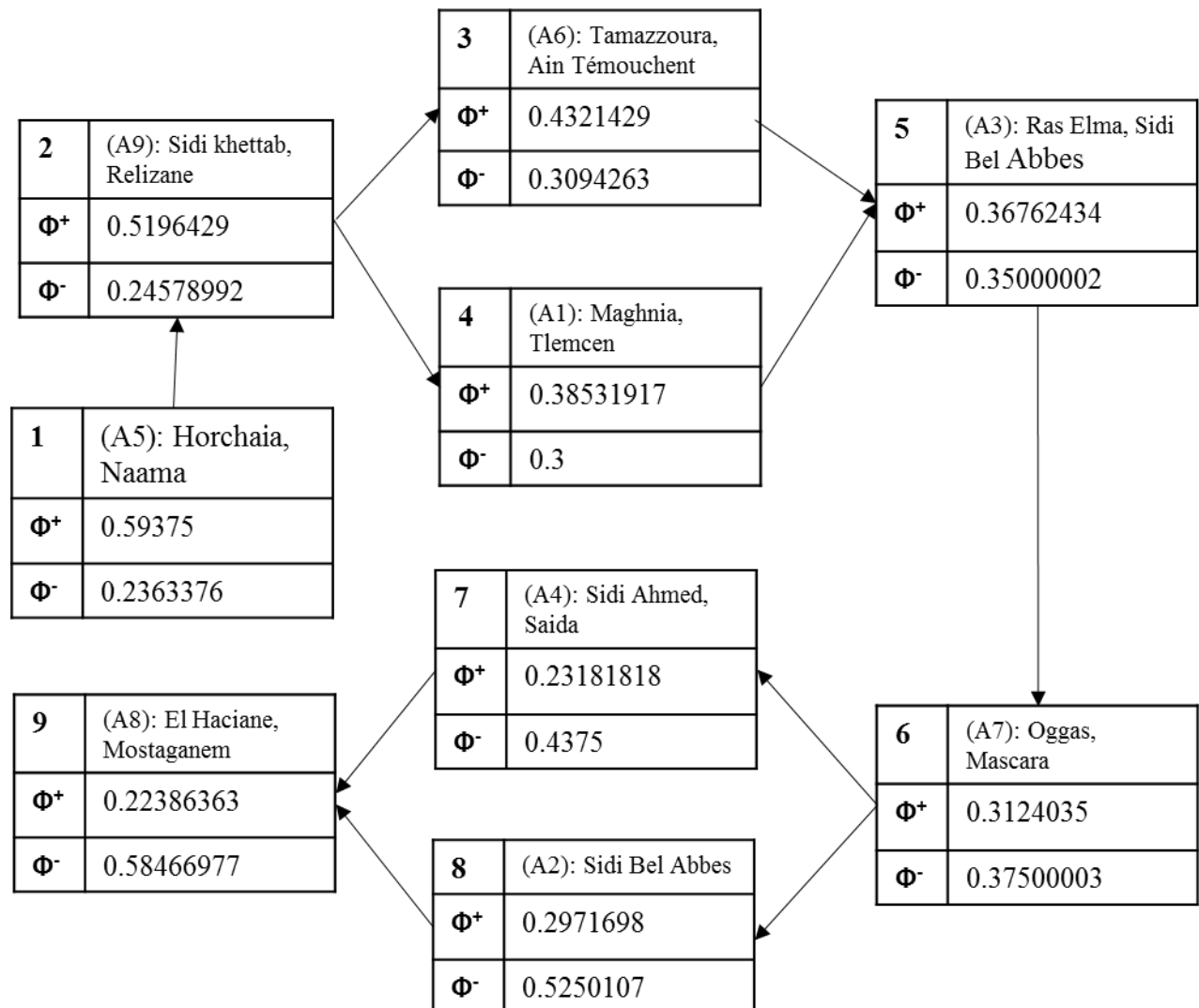


Figure 14 : PROMETHEE I (Rangement Partiel)

- « Horchaia, Naama » est l'action privilégiée par le classement des flux entrant/sortant.
- « Horchaia, Naama » a le flux sortant (Φ^+) le plus élevé et aussi le flux entrant (Φ^-) le plus bas.
- On remarque des incomparabilités entre plusieurs actions : « Maghnia, Tlemcen », « Tamazzoura, Ain Témouchent », « Sidi Bel Abbes » et « Sidi Ahmed, Saida » sont incomparables.

D'après nos résultats, Prométhée I décrit un classement final par l'effet d'intersection des deux préordres partiels induits par le vecteur des puissances d'une part, et par le vecteur des faiblesses d'autre part. Étant entendu que les deux actions sont déclarées incomparables du fait que la méthode Prométhée I n'est pas concluante en matière de classement final contrairement à la méthode Prométhée II que nous avons adoptée.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.6.6.2 PROMETHEE II : rangement complet

On utilisera Prométhée II si on souhaite disposer d'un rangement complet de toutes les actions. Ce rangement est obtenu en rangeant les actions dans l'ordre décroissant des Φ .

On aura alors:

$$\left\{ \begin{array}{l} a1Pa2 \iff \Phi(a1) > \Phi(a2) \\ a1Ia2 \iff \Phi(a1) = \Phi(a2) \end{array} \right.$$

Où P et I désignent respectivement la préférence et l'indifférence au sens de Prométhée II. Remarquons que Prométhée II ne laisse pas de place à l'incomparabilité. L'information fournie par le préordre complet est plus simple à interpréter, mais est moins riche que celle fournie par Prométhée I. En effet, dans Prométhée II, une partie de l'information disparaît dans la différence entre les flux et le résultat obtenu peut donc être plus discutable.

IV.6.6.2.1 Analyse des résultats

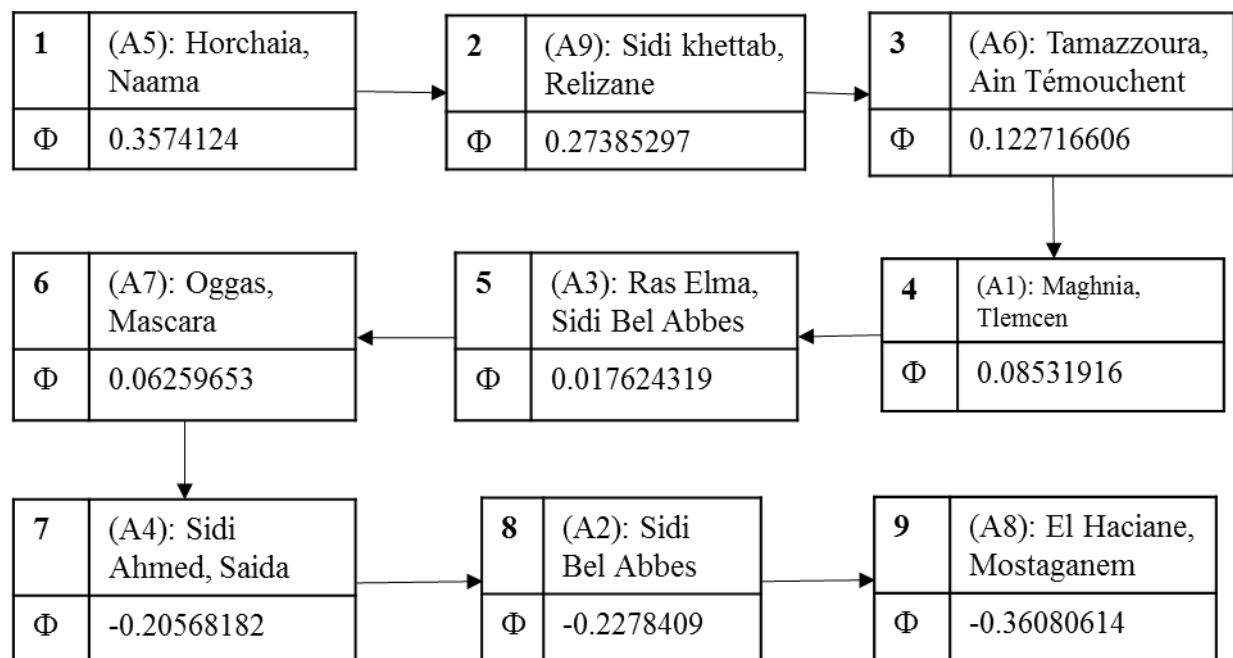


Figure 15 : PROMETHEE II (Rangement Complet)

Le début du classement partiel Prométhée I met en évidence quatre actions incomparables, ce que n'existe pas dans le classement complet de Prométhée II.

$\Phi(\text{Horchaia, Naama}) > \Phi(\text{Sidi khattab, Relizane}) > \Phi(\text{Tamazzoura, Ain Témouchent}) > \Phi(\text{Maghnia, Tlemcen}) > \Phi(\text{Ras Elma, Sidi Bel Abbes}) > \Phi(\text{Oggas, Mascara}) > \Phi(\text{Sidi Ahmed, Saida}) > \Phi(\text{Sidi Bel Abbes}) > \Phi(\text{El Haciane, Mostaganem})$.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

IV.6.6.3 La différence entre Prométhée I et II

La différence entre les méthodes Prométhée I et II se trouve dans les différences de rangement des actions. Les deux méthodes ont le même cheminement initial, mais leurs buts sont différents. Prométhée I permet de dégager des relations partielles de classement; alors que Prométhée II fournit un classement de toutes les actions.

IV.6.7 Avantages de la méthode Prométhée

Les méthodes Prométhée sont parmi les méthodes les plus utilisées dans la catégorie des méthodes de surclassement. Ceci est dû à un certain nombre d'avantages offerts par ces méthodes. C'est une méthode qui est simple par rapport aux autres, ce qui la rend facilement compréhensible par le décideur. Cette méthode est parvenue à intégrer de façon simple les développements récents dans la modélisation des préférences. La simplicité de PROMETHEE la place sur une bonne position pour être utilisée si on cherche à ranger des actions potentielles et que le décideur ne trouve pas beaucoup de peine à déterminer les poids des critères. Bien souvent, cette méthode est sujette à des modifications ou des extensions.

IV.7 Visualisation :

C'est le module de génération de la carte décisionnelle, déjà cité (p32), Visualisation des zones industrielles sur la carte géographique de l'Algérie après l'analyse décisionnelle multicritère avec des rangs issus de l'analyse.

IV.7.1 Définitions :

La Cartographie désigne la réalisation et l'étude des cartes géographique et géologique dont le principe majeur est la représentation des données sur un support réduit (échelle).

La Carte est une représentation géométrique plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface de terrestre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle échelle.

L'objectif de la carte c'est la représentation efficace et la simplification du phénomène complexe tel que : politique, économique, social.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation

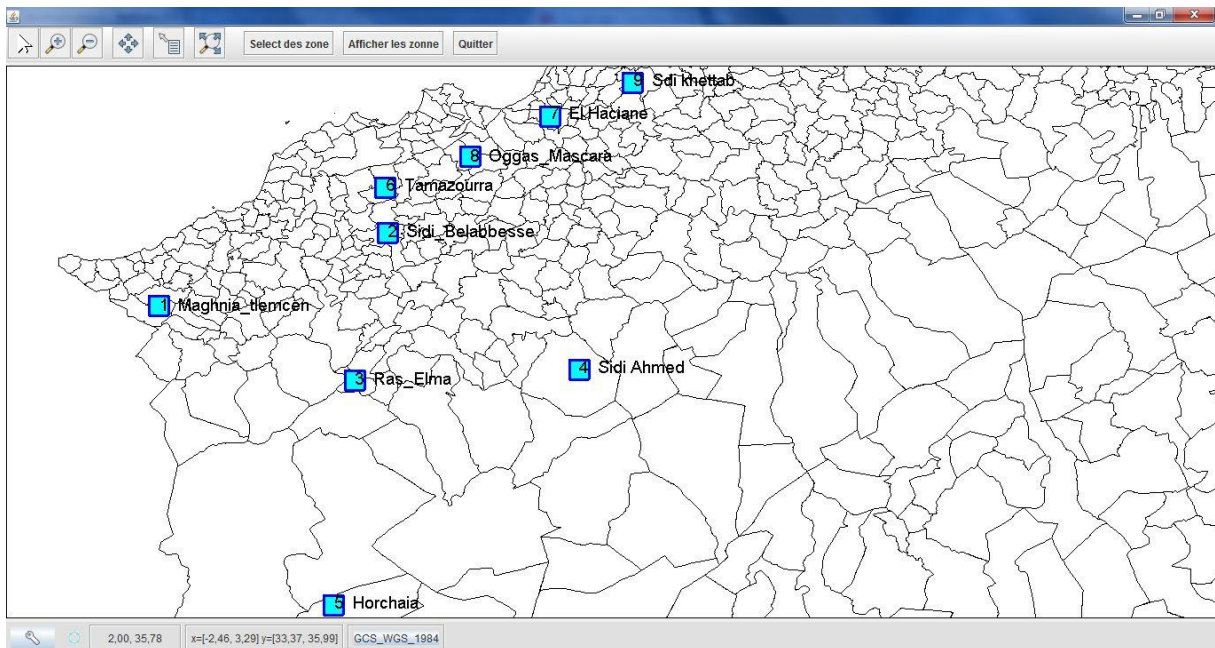


Figure 16 : Visualisation des zones rangées après l'analyse (Ponctuel « altitude, longitude »)

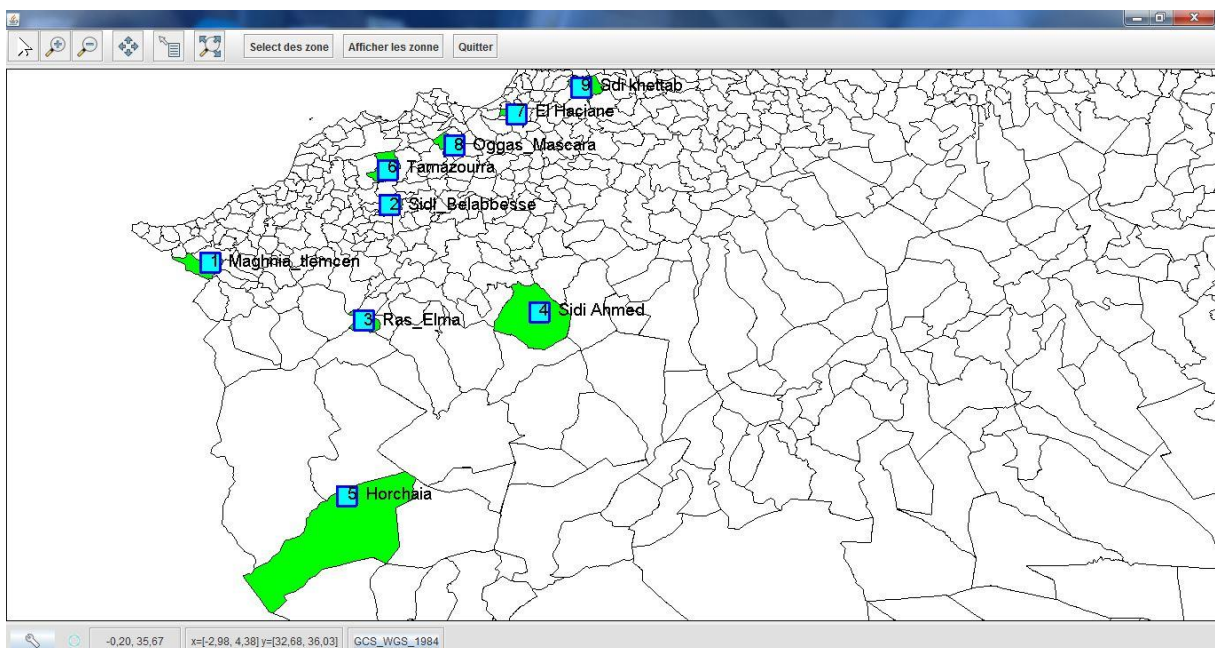


Figure 17 : Visualisation des zones rangées après l'analyse (Surfacique)

Remarque : Quoique la signification signalée du résultat provienne de l'utilisation d'une méthode validée et d'un noyau de SIG spécifique aux données réelles de ce cas d'étude, reste une analyse de sensibilité sur les seuils de préférences et d'indifférences pour valider la stabilité de la solution.

Recommandation : Selon l'analyse des résultats de la méthode multicritère PROMETHEE I et II, et aussi selon l'analyse de sensibilité de différents paramètres qui démontrent la stabilité des résultats obtenus en général sauf dans quelque cas, nous conseillons de prendre en considération le classement suivant :

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Chapitre IV : Conception et Implémentation



Latitude	Longitude	Zone	Rangement
34.8534	-1.735	Maghnia_tlemcen	5
34.5003	-0.8056	Ras_Elma	4
35.2	-0.65	Sidi_Belabbesse	1
34.5497948	0.259657	Sidi_Ahmed	2
33.4351	-0.9057	Horchaia	7
35.4133773	-0.6607039	Tamazourra	8
35.5614	-0.2584	Oggas_Mascara	3
35.7529118	0.1202541	El Haciane	6
35.9113	0.5139	Sdi_khettab	9

Figure 18 : Rangement proposé des zones industrielles

IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié un cas d'application, ayant pour but d'utiliser la méthode multicritère PROMETHEE dans le cadre de données réelles. Nous avons disposé des évaluations de neuf actions sur huit critères déterminés par l'ANIREF [3]. Brièvement, la méthodologie Prométhée n'a pas l'ambition de décider : elle éclaire, elle aide le décideur à mieux comprendre son problème. Elle lui laisse un large espace de liberté, structuré quantitativement, dans lequel il est amené à préciser progressivement ses préférences et finalement sa décision.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les deux domaines de recherche SIG et AMCD quoi qu'ils sont distincts ils s'entraident pour arriver aux meilleures solutions des problèmes géo-décisionnels. L'étude géo-décisionnelle d'aptitude zonale pour le choix et l'évolution de l'emplacement géographique de nouveaux sites d'habitations, d'industries et de services s'avère primordiale et constitue un vrai problème plus vaste de décision à référence spatiale. Notre travail s'inscrit dans cette orientation d'intégration de SIG et d'AMC, et sa partie applicative consiste à ranger les zones industrielles de l'ouest Algérien en utilisant la méthode de sur-classement PROMETHE. Il enchaîne un choix préliminaire basé sur une analyse d'aptitude zonale. Chaque zone est une action spatiale puisqu'une action à prendre est spatiale si elle est définie par sa localisation géographique, sa forme et/ou ses relations spatiales.

Les contraintes de choix des zones ont été fixées par négociation et par la législation en vigueur. La proposition faite dans cette mémoire est d'entamer une deuxième phase décisionnelle multicritère pour consolider ces choix. Le caractère quantitatif et qualitatif des informations recueillis concernant chaque zone peut reconforter le décideur et instaurer chez lui une confiance à l'approche d'intégration SIG-AMCD. Cette étude nous a permis de constater l'utilité de l'approche pour beaucoup de secteur où la décision est importante et dangereuse et se croise avec la géographie et même avec l'histoire. Le rang d'une zone industrielle ainsi obtenu est un indice qui peut :

- Remettre en cause le choix de cette zone.
- Alerter les aménagistes et les constructeurs de la zone.
- Affecter la zone au projet d'investissement adéquat.

Notre perspective est de prolonger l'étude sur toutes les zones industrielles à l'échelle nationale ce qui nous amène à revoir le choix de la méthode multicritère à utiliser. Le choix de la méthode est une étape cruciale surtout dans notre cas d'étude. Quatre approches peuvent être utilisés : Ad hoc, arbre de classification, méthode multicritère ou les systèmes experts.

Liste des Abréviations

[AMCD] Analyse Multicritère Décisionnelle

[EMC] Evaluation Multicritère

[CSV] Comma-Separated Values

[PROMETHEE] Preference Ranking Organisation METHods for Enrichement Evaluation

[RPRO4SIGZI] Ranking PROMETHEE for Système d'Information Géographique pour les Zones Industrielles

[Shp] Shapefile

[SIG] Système d'Information Géographique

Référence Bibliographique

- [1] A. LAARIBI, (2000). "SIG et analyse multicritère". Éd. Hermes Science Publications Paris.
- [2] A. Kazi Tani, (2009). "La modélisation des préférences du décideur dans le modèle du goal programming", Thèse de doctorat en science de gestion, Université de Tlemcen, p31-33.
- [3] ANIREF (2013) : Agence Nationale d'Intermédiation et de REgulation Foncière. "Etude préliminaire d'aménagement du parc industriel". Alger.
- [4] A. Taibi, B. Atmani, (2015). Système d'Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles (RPRO4SIGZI). Laboratoire d'Informatique d'Oran – LIO, Université d'Oran 1 Ahmed Benbella.
- [5] B. Taibi, (2010). L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision Application de la methode PROMETHEE etude de cas:l'entreprise SEROR. These de Magister, Université de Tlemcen,Algerie.
- [6] Carlo.Prévil, Marius.Thériault et Joël.Rouffignat, (2003). Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire : vers une amélioration du processus décisionnel. Les Cahiers de géographie du Québec : p. 35-61. - n° 130 : Vol. 47. DOI: 10.7202/007968ar
- [7] C. Prévil, M. Thériault et J. Rouffignat, (avril 2003). "Analyse multicritère et SIG pour faciliter la concertation en aménagement du territoire: vers une amélioration du processus décisionnel ?", Cahiers de géographie du Québec, p. 35-61.
- [8] Deliverable 4B, (2010). Multi-criteria analysis and ranking of alternative waste technologie/management system. Rapport de recherché, Faculté des sciences Eljadida, National technical university of Athens, Municipality of the urban community of Azemmour, Maroc.
- [9] E. Duret et B. Bordin, (2008). "Introduction aux Systèmes d'Information Géographiques", SEIG / ENSG ; Serveur éducatif de l'IGN et de l'Education Nationale sur l'information géographique.
- [10] Fatima Zohra Younsi, Djamila Hamdadou, Bouziane Beldjilali (2012). Proposition d'un Système Interactif d'Aide à la Décision Spatiale : Télédétection, SIG et Analyse Multicritère, Université d'Oran Es-Senia.
- [11] Gregory A. Kiker, Todd S. Bridges, Arun Varghese, Thomas P. Seager, and Igor Linkov (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making, Integrated Environmental Assessment and Management - Volume 1, Number 2 - pp. 95-108.
- [12] J. Malczewski, (2006). A GIS-based multicriteria decision analysis : A survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, p703–726.
- [13] J.M. Harventg, (2005). Article:"Les méthodes de surclassement", L'université libre de Bruxelles, Belgique, p 10.
- [14] K. Boutaleb, (2006). "Theories de la décision", 1er Ed, OPU, Alger, p31.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

- [15] L. Pugno a, E.Maillé, (2013). Analyse multicritères pour l'évaluation de la vulnérabilité des interfaces habitat-foret, international conference on forest « fire risk modelling and mapping » Aix en Provence, France.
- [16] Michel grabisc (2004). Une approche constructive de la décision multicritère, manuscrit Université Paris I.
- [17] N. Chrisman, 2002. "Exploring geographic information systems". John Wiley & Sons, NY, 2nd edition.
- [18] N. Molines, 2007. "SIG et Analyse Multicritère : des outils au service de l'amélioration du processus décisionnel des projets autoroutiers", CRENAM U. St-Etienne / CRG U. Laval (Québec).
- [19] Pugno L. et E.Maillé, (2013). La modélisation et la cartographie des risques de forêts, International conférence on Forest risk modelling and mapping.
- [20] Randal Greene, RodolpheDevilleers, Joan E.Luther and BriaG.Eddy (2011). Gis-Based Multiple-Criteria Decision Analysis Department of geography, Memorial University of New-foundland, Canadian Forest service, Natural resources Canada. Geography_mpass 5/6.
- [21] R. Balzarini, P.A Davoine et M. Ney, (2012). "Evolution et développement des méthodes d'Analyse spatiale multicritère pour des modèles d'aptitude: L'exemple des applications en Géosciences". Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG) équipes Steamer et Metah.ESRI France, Département Education et Recherche.
- [22] R. Caloz et C. Collet, (2011). "Analyse spatiale de l'information géographique", Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, collection Ingénierie de l'Environnement, 383 p.
- [23] S. Chakhar, (2006). "Cartographie décisionnelle multicritère: Formalisation et implémentation informatique". PhD thesis, Université Paris Dauphine, Paris, France, 300p.
- [24] S. Chakhar et V. Mousseau, (2007). "MCD-GIS : Un SIAD pour l'Aide Multicritère à la Décision à Référence Spatiale", LAMSADE, Université Paris Dauphine.
- [25] S'habou R ,Zairi M , Kallel A, Neji J. Ben Dhia H, (2011). Intégration du SIG et des méthodes d'analyse multicritère pour la gestion de la pollution: cas de stockage des margines Sfax Tunisie, Séminaire International, Innovation & Valorisation en Genie civil & Matériaux de construction, Rabat Maroc: INVACO2 N° : 50-309,
- [26] Vazquez, Maria de L. WAAUB, Jean-Philippe CHAUMEL, Jean-Louis, (2011). Analyse spatiale et approche d'aide multicritères et multi-acteurs à la négociation pour évaluer des scénarios d'implantation des parcs éoliens, publié dans "1ère Conférence Intercontinentale d'Intelligence Territoriale " Interdisciplinarité dans l'aménagement et développement des territoires", Gatineau : Canada.
- [27] V. Godard, (2007). "Aide à la décision et SIG", Département de Géographie, cours de Master, Université Paris 8.

Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles

Sites Internet

- [28] “Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière”, www.aniref.dz, Date d'accès: 15/03/2016.
- [29] “Analyse Multicritères”, <http://www.faq-logistique.com/Multicriteres.htm>, Date d'accès 12/01/2016.
- [30] “Les SIG”, <http://www.esrifrance.fr/LesSIG.aspx>, Date d'accès: 28/12/2015.
- [31] “Le Système d'information géographique (SIG)”, <http://adnene-kassebi.hautetfort.com/sig/>, Date d'accès: 27/12/2015.
- [32] “Serveur éducatif dédié à l'information géographique”, <http://www.seig.ensg.ign.fr/>, Date d'accès: 20/12/2015.
- [33] “SIG ou Système d'Information Géographique”, <http://www.sig-geomatique.fr/sig-sig.html>, Date d'accès: 27/12/2015.
- [34] “Netbeans Community”, <https://netbeans.org/about/>, Date d'accès: 02/03/2016.
- [35] “CSV to Shapefile Converter”, <http://www.mapwindow.org/>, Date d'accès: 06/03/2016.
- [36] “GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit”, <http://www.geotools.org/>, Date d'accès: 18/03/2016.