



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM

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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique  
Option : **Systèmes d'Information Géographique**

THEME :

**Conception et développement de certaines fonctionnalités  
d'un SIG pour la préparation des Inputs pour les méthodes  
d'analyse multicritère**

Etudiantes : **Benturki rekia**

**Bouyakoub noor el imene**

# Résumé

L'intégration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de l'analyse multicritère (AMC) constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision. L'approche d'intégration SIG-AMC repose sur l'exploitation des potentialités des SIG pour la visualisation et d'autres fonctionnalités pour préparer les Inputs nécessaires à l'application des méthodes d'agrégation multicritères. Notre objectif est de concevoir et développer certaines fonctionnalités SIG pour étendre un noyau de SIG (SIGZI) qui a été développé pour la visualisation des zones industrielles programmées en Algérie.

## **Mots clefs :**

Système d'Information Géographique, Analyse multicritère, Rangement des zones industrielles.

# Table des matières

<b>Résumé</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Remerciement</b>	
<b>Table des matières</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Introduction général</b> .....	1
<b>Chapitre I: Analyse multicritères</b> .....	4
1. Introduction .....	5
2. Définitions.....	5
3. Les étapes d'aide à la décision multicritère .....	6
3.1. Identification des alternatives potentielles .....	6
3.2. Modélisation des préférences du décideur .....	6
3.3 La procédure d'agrégation .....	6
4. Les méthodes .....	7
4.1. Agrégation complètes (top-down approach).....	7
4.2. Agrégation partielle (bottom-up approach) .....	7
4.3. Agrégation locale .....	10
4.4. Choix de la méthode.....	10
5. Les avantages et les limites de l'analyse multicritères .....	10
5.1. Les avantages .....	10
5.2. Les limites .....	11
6. Conclusion .....	12
<b>Chapitre 2 : Système d'Information Géographique</b> .....	13
1. Introduction.....	14
2. Définitions.....	14
3. Principe général .....	15
3.1. Un affichage sous forme de couches d'information .....	15
3.2. Modes de représentation .....	15
3.3 La géométrie des objets .....	16

3.4 La description des objets sémantiques .....	16
4. Fonctionnalités d'un SIG .....	16
5. Les composantes d'un SIG .....	17
5.1. Les logiciels .....	17
5.2 Les données .....	17
5.3 Le matériel informatique .....	18
5.4. Les savoir-faire .....	18
5.5. Les utilisateurs .....	18
6. Utilisations .....	18
7. SIG et analyse spatiale .....	19
8. Conclusion .....	19
<b>Chapitre3 : SIG et Analyse multicritères .....</b>	<b>20</b>
1. Introduction.....	21
2. Facteurs de complexité des problèmes spatiaux .....	21
2.1. Complexité liée aux données .....	21
2.2. Complexité conceptuelle.....	21
2.3. Complexité ontologique et sémantique .....	21
2.4. Complexité technique .....	22
3. Capacités analytiques des SIG .....	22
3.1. Opérations sur les attributs descriptifs.....	22
3.2. Techniques de superposition de couches (overlay) .....	22
3.3. Opérations métriques .....	22
3.4. Opérations sur les surfaces et le plus proche voisin .....	23
3.5. Opérations avancées.....	23
4. Limites du SIG en aide à la décision spatiale .....	23
4.1. Manque de fonctionnalités analytiques.....	23
4.2. Limites des techniques d'overlay .....	24
4.3. Difficultés d'intégration de l'analyse spatiale aux SIG .....	24

4.4. Discrétisation de l'espace .....	24
4.5. Modélisation et théorie des données à référence spatiale .....	24
4.6. Une situation riche de données et pauvre en théorie.....	25
4.7. Des critères d'admissibilité et non des critères d'évaluation .....	25
5. Nécessité de l'intégration SIG-AMC .....	25
6. Schéma conceptuel, modes et directions d'intégration .....	26
6.1 .Schéma conceptuel d'intégration.....	26
6.2. Les modes d'intégration SIG – AMC .....	27
6.3. Directions d'interaction .....	28
7. Problématique .....	28
7.1. Intégration indirecte ou encastrée .....	28
7.2. Intégration d'une seule ou un nombre limité de méthodes dans le SIG .....	28
7.3. Choix de la méthode multicritère à appliquer.....	29
7.4. Intégration des méthodes du critère unique de synthèse.....	29
7.5. Connaissance approfondie du SIG et de l'AMC.....	29
8. Conclusion .....	29
<b>Chapitre 4 : Conception et Implémentation .....</b>	<b>30</b>
1. Introduction .....	31
2. Cas d'application .....	31
3. Approche proposée .....	32
3.1. Etude de cas .....	32
3.1.1. L'ensemble des actions .....	33
3.1.2. Les critères .....	33
3.1.3 .Contraintes naturelles .....	34
4. Résultats.....	41
4.1. Visualisation .....	41
5. Conclusion .....	42
Conclusion générale.....	43
Bibliographies .....	45

## Liste des Tableaux

Tableaux 1 : C'est avec le fournisseur 1 qu'il faut traiter malgré une qualité « déplorable ».....	5
Table 2 : Evaluation des actions selon le critère de « Sismicité » .....	35
Table 3 : Evaluation des actions selon les deux critères : « Pluviométrie et température ». ....	36
Table 4 : Évaluation selon le « cout d'aménagement, la superficie et la proximité de réseaux de transport » .....	37
Table 5 : Contraintes bioclimatiques des zones et Proximité aux centres urbains .....	39
Table 6 : Table des poids intra critères .....	40
Table 7 : Table des performances .....	40
Table 8 : Seuils d'indifférence et de préférence de tous les critères .....	41
Table 9 : Le rangement obtenu. ....	41

## Liste des Figures

Figure 1 : Matrice d'évaluation Alternatives/Critères. ....	6
Figure 2 : exemple organisation du SIG en trois couches d'information: les villages, les routes et les cultures .....	15
Figure 3 : Représentation des points, lignes et polygones en modes raster et vecteur.	16
Figure 4 : Exemple de représentation des données. ....	16
Figure 5 : Taille/dimension de la représentation de la donnée .....	17
Figure 6: Cycle de vie des SIG .....	19
Figure 7 : Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC .....	27
Figure 8 : Architecture générale du système RPRO4SIGZI.....	32
Figure 9 : Hiérarchie des critères de jugement .....	34
Figure 10 : Classification par rapport à la « sismicité ». . ....	35
Figure 11 : Classification par rapport à la « Pluviométrie et température » .....	36
Figure 12 : Classification par rapport à la « superficie » .....	37
Figure 13 : Classification par rapport à la « proximité de réseaux de transport » .....	38
Figure 14 : Etages Bioclimatiques des wilayas d'Algérie. (ANIREF, 2013) .....	38
Figure 15 : Classification par rapport à la « description » .....	39
Figure 16 : Classification par rapport à la « Proximité centre urbain d'habitation » ..	39
Figure 17 : Carte administrative avec rangement aléatoire des zones .....	41
Figure 18 : Visualisation des zones rangées après l'analyse .....	42

# **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 Multicritères (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 dans l'analyse des problèmes décisionnels où la composante géographique des données est prise en considération. Les SIG, stockent des données géo-référencées dans des bases de données géographiques, ouvrant ainsi de grandes potentialités en termes d'exploitation, notamment par leur capacité dans le stockage, la gestion, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale. Ils se présentent comme l'outil le plus adéquat pour appréhender les problèmes de décision à référence spatiale. Cependant, la technologie SIG actuelle souffre encore de plusieurs lacunes dues en grande partie à un manque de capacités analytiques capables de supporter les problèmes spatiaux. La solution est de les coupler avec d'autres outils en particulier avec l'analyse multicritère (AMC).

Les deux domaines de recherche SIG et AMC, quoi qu'ils sont distincts, ils s'entraident pour arriver aux meilleures solutions des problèmes géo-décisionnels. 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 des zones industrielles candidates à une exploitation en utilisant une méthode de surclassement. L'objectif affiché est essentiellement un objectif de synthèse, permettant à la fois la gestion des données en aide à la décision.

L'approche d'intégration SIG-AMC repose sur l'exploitation des potentialités des SIG pour la visualisation et d'autres fonctionnalités pour préparer les inputs nécessaires à l'application des méthodes d'agrégation multicritères. L'objectif de notre travail est de concevoir et développer certaines fonctionnalités SIG pour étendre un noyau de SIG (SIGZI) qui a été développé pour la visualisation des zones industrielles programmées en Algérie. Pour ce fait, un état de l'art sur l'AMC et son intégration avec les SIG a été élaboré est présenté, ainsi qu'une étude sur les solutions informatiques qui mènent à cette fin.

Notre objectif est d'apporter le pouvoir explicatif issue de la visualisation des données en amont et en aval de la méthode de décision pour soutenir le décideur dans ces choix, avant, pendant, et après chaque étape du processus décisionnel.

Pour ce fait, notre rapport sera organisé comme suit :

- Un premier chapitre qui introduit l'analyse multicritère, ses étapes, et ses principales méthodes ainsi que le processus d'aide à la décision.
- Un deuxième chapitre qui rappelle les notions de base des SIG, leurs fonctionnalités, leurs composants, ainsi que leur capacité en analyse spatiale.

- Un troisième chapitre qui traite de l'intégration SIG-AMC et ses différents modes. D'abord les limites de SIG en termes d'aide à la décision spatiale, ensuite le schéma conceptuel, les modes et les directions d'intégration.
- Enfin, une conclusion qui récapitule notre travail à faire et expose les perspectives envisagées.

# **Chapitre 1 :**

# **Analyse multicritères**

## 1. Introduction :

La prise de décision constitue l'activité principale et essentielle des gestionnaires dans les organisations. Cette activité devient de plus en plus complexe, car ces gestionnaires (décideurs) cherchent à intégrer dans leurs décisions plusieurs facteurs de nature assez diversifiée. Les situations de choix sont nombreuses où les actions potentielles sont évaluées sur la base de plusieurs objectifs où critères.

L'aide multicritère à la décision est un nouveau monde de concepts, d'approches, de modèles et de méthodes qui visent à aider le gestionnaire (le décideur) à décrire, évaluer, ranger, choisir ou rejeter un ensemble d'actions, pouvant être exercées sur des candidats, des produits ou des projets. Cet exercice est basé sur l'évaluation à l'aide de notes (scores), de valeurs, d'intensité de préférence, et ce, en fonction d'un ensemble de critères. Ces derniers peuvent représenter divers aspects tels que: les objectifs, les buts, les cibles, les valeurs de préférence, les degrés d'aspiration et les fonctions d'utilité.

## 2. Définitions :

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) [1]. Il s'agit donc d'un outil d'aide à la décision.

On commence par identifier quels sont les critères sur lesquels sera basée l'analyse, puis est affecté 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.

**Exemple :** Utilisation d'une grille multicritères pour choisir entre deux fournisseurs :

Critères	Pondération	Fournisseur 1		Fournisseur 2	
		Note	Note pondérée	Note	Note pondérée
Tarifs	0.5	4	2	6	3
Qualité	0.3	8	2.4	3	0.9
Solidité financière	0.2	6	1.2	6	1.2
<b>Totaux</b>	<b>1</b>		<b>5.6/10</b>		<b>5.1/10</b>

**Table 1 :** C'est avec le fournisseur 1 qu'il faut traiter malgré une qualité « déplorable ».

### 3. Les étapes d'aide à la décision multicritère :

#### 3.1. Identification des alternatives potentielles :

L'identification des alternatives potentielles consiste à définir l'ensemble des alternatives qui doivent être examinées. Cet ensemble d'alternatives n'est pas toujours définitivement délimité. Il peut être soumis à des révisions. Des alternatives peuvent apparaître ou disparaître [2].

#### 3.2. Modélisation des préférences du décideur :

La comparaison des alternatives à partir de leurs conséquences est souvent rendue difficile à cause de l'imprécision, de l'incertitude et de la mauvaise détermination de ces conséquences. C'est pourquoi la notion de critère est introduite. Les critères permettent de comparer les alternatives entre elles. Un critère est une fonction  $C$  à valeurs réelles définie sur l'ensemble des alternatives potentielles. Cette fonction est définie de telle sorte que deux alternatives  $a$  et  $a'$  puissent être comparées en se basant sur les nombres  $C(a)$  et  $C(a')$ . Les préférences du décideur peuvent ainsi être représentées par un ensemble de critères. Un poids peut aussi être associé à chaque critère, selon l'importance du critère par rapport aux autres.

Pour garantir une bonne représentation de ces préférences, l'ensemble des critères doit répondre à des exigences d'exhaustivité, de cohésion et de non redondance. Lorsque ces exigences sont vérifiées, la famille de critères est dite cohérente. L'évaluation des alternatives se fait sur la famille des critères. Un tableau de performances qui présente les résultats de cette évaluation sur chaque critère donne une vue de l'ensemble des alternatives. Les critères sont sur les colonnes et les alternatives sont sur les lignes. La case  $C_j(a_i)$  donne la performance de l'alternative  $a_i$  selon le critère  $C_j$  [2].

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

Figure 1 : Matrice d'évaluation Alternatives / Critères [2]

#### 3.3. La procédure d'agrégation :

Une procédure d'agrégation multicritère doit être définie afin de répondre à la problématique de décision posée en s'appuyant sur le tableau des performances qui caractérise les alternatives potentielles à évaluer [2].

## 4. Les méthodes :

Les approches peuvent être divisées en trois catégories selon la façon dont les jugements seront agrégés [3].

### 4.1. Agrégation complètes (top-down approach) :

On cherche à agréger les  $n$  critères afin de les réduire en un critère unique. On suppose que les jugements sont transitifs. Exemple :  $a > b$ ,  $b > c$  alors  $a > c$  [3].

#### 4.1.1. La méthode WSM (Weight Sum Method ou Somme de notes) :

On utilise ici une échelle de 0 à 6 (excellent = 6, très bon = 5, bon = 4, moyen = 3, passable = 2, Pas bon = 1, médiocre = 0). Voici les résultats :

Action 1 : 1 5 4 4 4 ; la somme est 18 et Action 2 : 4 3 4 3 3 ; la somme est 17

Selon la somme des évaluations des critères, l'action 1 serait la meilleure, pourtant elle est loin de satisfaire le critère 1[3].

$$\max \text{ ou } \min \sum_{j=1}^m e_{ij} * p_j \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n .$$

#### 4.1.2. La méthode WPM (Weight Product Method ou Multiplication de ratios)

Cette méthode pénalise fortement les actions très mauvaises pour un critère. Voici par exemple 2 actions potentielles et 3 critères :

Action 1 : 1 5 4 4 4  $e_1 = (1/5)*(5/8)*(4/8)*(4/7)*(4/7)=0,0204$

Action 2 : 4 3 4 3 3  $e_2 = (4/5)*(3/8)*(4/8)*(3/7)*(3/7)=0,0276$

Avec cette méthode, l'action 2 serait ici la meilleure.

$$\max \text{ ou } \min \prod_{j=1}^m (a_{ij} / a_{lj})^{p_{ij}} \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n [3].$$

#### 4.1.3. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) [3] :

- Décomposer le problème complexe en une structure hiérarchique (niveaux).
- Effectuer les combinaisons binaires.
- Déterminer les priorités.
- Synthétiser les priorités.
- Cohérence des jugements.

### 4.2. Agrégation partielle (bottom-up approach) :

On cherche à comparer des actions potentielles ou des classements les uns aux autres et à établir entre ces éléments des relations de sur classement (respecter l'incomparabilité) [3].

### 4.2.1. ELECTRE :

Famille de méthodes dites de surclassement conçues par Bernard Roy et basées sur la comparaison d'actions. Première méthode de la famille, ELECTRE I, publiée en 1968 [3].

#### ELECTRE I :

Dans cette méthode une action en surclasse une autre si elle est au moins aussi bonne que l'autre relativement à une majorité de critères, sans être nettement plus mauvaise que cette autre relativement aux autres critères. On s'intéresse donc à chaque action de l'ensemble et on la compare à toutes les autres. La comparaison se fait par paire ordonnée ( $a$  p/r  $b \neq b$  p/r  $a$ ) et on se demande alors si l'action  $a$  surclasse ou non l'action  $b$  [3].

#### ELECTRE II :

La méthode ELECTRE II vise à ranger les actions de la meilleure à la moins bonne (problématique du rangement). Concordance et discordance :

- sont définies comme dans ELECTRE I
- on fixe deux seuils  $\hat{c}1$  et  $\hat{c}2$  tels que  $\hat{c}1 > \hat{c}2$ .

On construit deux relations de surclassement :

- Une relation de surclassement fort  $S^F$
- Une relation de surclassement faible  $S^f$

$$aS^F b \leftrightarrow \begin{cases} c(a, b) \geq \hat{c}1 \\ \sum_{j/g_j(a) > g_j(b)} P_j > \sum_{j/g_j(a) < g_j(b)} P_j \\ (g_j(a), g_j(b)) \notin D_j, \forall_j \end{cases}$$

$$aS^f b \leftrightarrow \begin{cases} c(a, b) \geq \hat{c}2 \\ \sum_{j/g_j(a) > g_j(b)} P_j > \sum_{j/g_j(a) < g_j(b)} P_j \\ (g_j(a), g_j(b)) \notin D_j, \forall_j \end{cases}$$

La discordance peut aussi donner lieu à deux niveaux de sévérité en construisant, pour chaque critère  $j$ , deux ensembles  $D_j^1$  et  $D_j^2$  tels que  $D_j^2 \subset D_j^1$  [4].

#### ELECTRE III :

Elle utilise une relation de surclassement vallée et une procédure d'exploitation du graphe valeur utilisant des techniques proches de celles de manipulation des nombres flous pour modéliser les pseudo-critères. ELECTRE III a perdu de la simplicité des méthodes originelles et elle ne rencontre plus guère de succès vu sa grande complexité et un recours important aux valeurs numériques qui la rapproche des méthodes d'utilité [5].

## ELECTRE IV :

A l'opposé, elle est très (trop) simple et suppose que tous les critères (en fait des pseudo-critères) sont de même importance. Elle comporte deux relations de surclassement comme ELECTRE II mais un seul jeu de seuils de veto et la notion de concordance est traduite par une notion de majorité de critères en l'absence de toute pondération [5].

### 4.2.2. PROMETHEE :

Les méthodes PROMETHEE sont des méthodes d'analyse multicritère de surclassement qui permettent de définir des relations de surclassement, d'indifférence et d'incomparabilité entre deux scénarios du meilleur au moins bon. Pour chaque scénario, une note et un poids sont attribués à chaque critère, afin d'évaluer l'indice de préférence d'un scénario sur l'autre. Cet indice est ensuite utilisé pour calculer l'attractivité d'un scénario sur l'autre, définie comme différence entre la dominance des scénarios par rapport à tous les autres, et la soumission de ce scénario par rapport à tous les autres [6].

### PROMETHEE I et II :

Ces méthodes se présentent comme suit :

- **Etape 1 :** On fixe pour chaque critère, une des six formes de courbes proposées dans PROMETHEE ainsi que les paramètres qui lui sont associés.
- **Etape 2 :** Pour chaque couple d'actions  $(a_i, a_k)$ ; on calcule la préférence globale (degré de surclassement) de la manière suivante :

$$P(a_i, a_k) = \sum_{j=1}^n \pi_j \cdot F_j(a_i, a_k) .$$

- **Etape 3 :** Calculer les flux entrant et sortant pour chaque action  $a_i$ .

$\Phi^+(a_i) = \sum_{a_k \in A, a_i - a_k} P(a_i, a_k)$ . Flux positif qui exprime la force de  $a_i$  flux sortant.

$\Phi^-(a_i) = \sum_{a_k \in A, a_i - a_k} P(a_k, a_i)$ . Flux négatif qui exprime la faiblesse de  $a_i$  flux entrant.

- **Etape 4 :** Déterminer les 2 pré-ordres totaux et procéder au rangement des actions :

Le premier pré-ordre consiste à ranger les actions dans l'ordre décroissant des  $\Phi^+$ .

Le second pré-ordre consiste à ranger les actions dans l'ordre croissant des  $\Phi^-$ .

L'intersection des deux pré-ordres totaux fournit le pré-ordre partiel de la méthode PROMETHEE I.

L'intersection des deux pré-ordres totaux fournit le pré-ordre total de la méthode PROMETHEE II. Cette méthode consiste à ranger les actions selon l'ordre décroissant des scores  $\Phi(a_i)$  définis comme suit :  $\Phi(a_i) = \Phi^+(a_i) - \Phi^-(a_i)$  .

PROMETHEE III conduit à un ordre d'intervalle.

PROMETHEE IV est utilisée lorsque l'ensemble des solutions admissibles est un continuum.

PROMETHEE V a été conçue pour des choix multicritères avec contraintes de segmentation.

### **4.3. Agrégation locale :**

On cherche en premier lieu une solution de départ. Par la suite, on procède à une recherche itérative pour trouver une meilleure solution [3].

#### **4.3.1. La méthode des cônes d'amélioration :**

- On a  $V$ , un ensemble de vecteurs correspondant à des actions potentielles
- On choisit un point  $v_i$  dans  $V$
- On sélectionne les points préférables à  $v_i$  dans  $V$ , ce qui forme un cône
- On choisit un point dans ce cône et on recommence la procédure jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'amélioration possible [3].

#### **4.3.2. Goal Programming :**

- On fixe d'abord pour chaque critère la valeur de l'évaluation que l'on désire avoir
- Pour chaque action, on détermine pour quel critère l'évaluation est la plus éloignée de la cible (donc le critère le moins respecté)
- L'action étant la moins à l'écart est la meilleure. [3].

### **4.4. Choix de la méthode :**

Il est souvent plus difficile de choisir la bonne méthode que de résoudre le problème :

- Très nombreuses
- École française vs américaine
- Pas de méthode parfaite

On suggère de prendre en considération :

- Le nombre de décideurs
- Une méthode qui va dans le sens de la vision de la problématique du décideur
- L'information disponible et qui sera traitée adéquatement par la méthode
- Le degré « compensatoire » de la méthode
- Les hypothèses sur lesquelles repose la méthode
- Le système de support à la décision qui accompagne la méthode [3].

## **5. Les avantages et les limites de l'analyse multicritères :**

### **5.1. Les 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. Il est en effet admis qu'au-delà de quelques critères, 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 [2].

**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 [2].

**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 [2].

**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 [2].

**5.2. Les 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. Par exemple, il faut que les acteurs soient d'accord sur la nécessité d'améliorer la circulation automobile dans un secteur pour envisager de les faire travailler sur les variantes d'un projet routier [2].

**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 [2].

**Disponibilité des données :**

Le manque de données fiables, sur une durée suffisante pour mettre en place et valider les méthodes peut se révéler être un handicap dans certaines situations [2].

**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 [2].

#### **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 [2].

#### **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 [2].

### **6. Conclusion :**

Le but de l'analyse multicritère est de fournir au décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution de problèmes décisionnels en faisant intervenir plusieurs points de vue généralement contradictoires. Il n'est dès lors plus question de découvrir des solutions optimales, 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, 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.

# **Chapitre 2 :**

# **Systeme d'Information**

# **Géographique**

## 1. Introduction :

Presque dans tous les domaines relatifs à l'appréhension d'un territoire (urbain, télécom, navigation, transport...), on se retrouve dans le besoin de la mise en place d'un système numérique pour représenter, manipuler et gérer les informations relatives à la caractérisation et gestion du territoire. Ces informations sont naturellement géographiques et ont des références spatiales. Le recours aux systèmes d'informations géographiques est inévitable.

## 2. Définitions :

Un SIG a pour but d'informer sur la géographie d'un espace donné. Il s'appuie donc sur un certain nombre de bases de données géographiques, qu'il permet d'intégrer, de gérer, de traiter et de représenter sous forme de cartes. Plusieurs définitions des SIG existent mais toutes incluent l'ensemble de ces différentes fonctions.

La définition américaine émane du comité fédéral de coordination inter-agences pour la cartographie numérique :

« Un système d'information géographique est un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion ».

La définition française est due à l'économiste Michel Didier (1990), dans une étude réalisée à la demande du CNIG :

« Un SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision ».

Les questions de base auxquelles un SIG doit pouvoir répondre [7] :

- **Où ?** Où cet objet, ce phénomène se trouve-t-il ? ou 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 ?

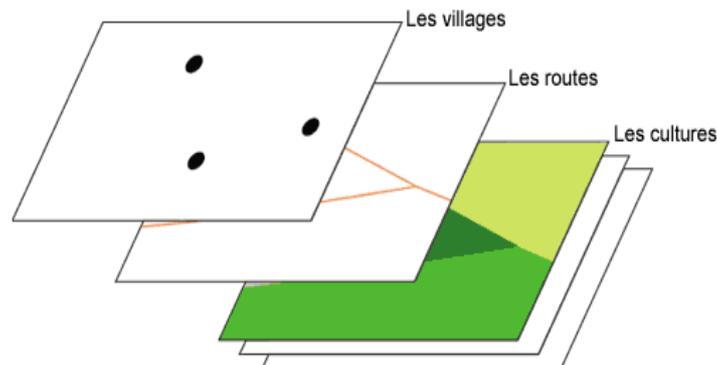
C'est la problématique de l'analyse temporelle.

- **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 ?

### 3. Principe général :

#### 3.1. 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, ...). Chaque objet est constitué d'une forme (géométrie de l'objet) et d'une description, appelé aussi sémantique [7]



**Figure 2 :** Exemple d'organisation d'un SIG en trois couches d'information: les villages, les routes et les cultures [7]

#### 3.2. Modes de représentation :

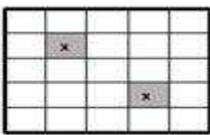
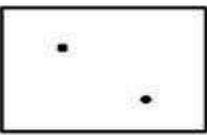
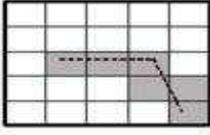
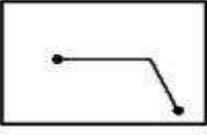
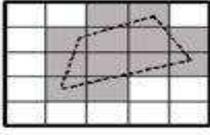
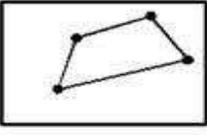
Nous décrivons brièvement les deux modes de repérage et de représentation des objets dans l'espace qui existent spécialement : discret (en anglais, raster) ou vecteur (en anglais, vector) :

##### 3.2.1. 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, 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 [8].

##### 3.2.2. Mode vecteur :

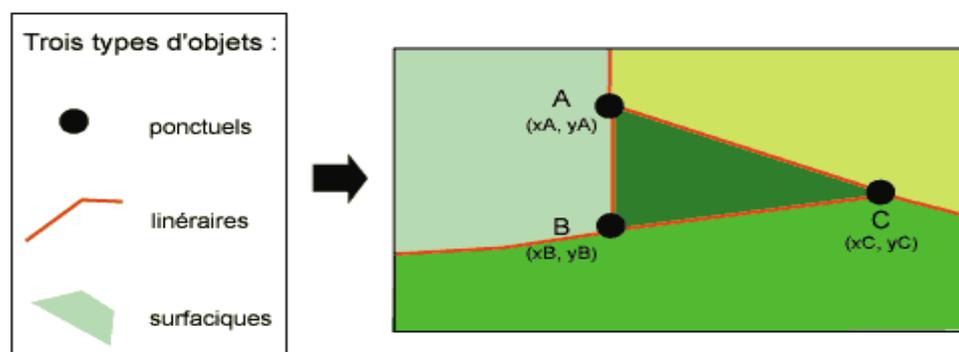
Le mode vecteur permet une représentation de la géométrie des objets peu coûteuse en place mémoire : un point est représenté par ses coordonnées, une ligne est représentée par une liste de points et un polygone par la liste des lignes constituant sa frontière (Figure ci-dessous). Cette géométrie est 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 [8].

	Mode raster	Mode vecteur
Point		
Ligne		
Polygone		

**Figure 3 :** Représentation des points, lignes et polygones en modes raster et vecteur [8]

### 3.3. 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. Les objets peuvent être identifiés sous forme de points (villes, entreprises, exploitations agricoles,...), d'arcs ou de lignes (routes, chemins de fer) et de polygones ou de surfaces (communes, occupation du sol).



**Figure 4 :** Exemple de représentation des données [7].

### 3.4. La description des objets sémantiques :

A chaque objet est attribuée une fiche contenant des informations de type alphanumérique. Ces informations décrivent l'objet (nom de la ville, numéro INSEE de la commune, type de l'occupation du sol,...). Ces fiches permettent de stocker des informations qui décrivent les objets : le contenu dépend des besoins du projet. [7].

## 4. Fonctionnalités d'un SIG :

### 4.1. 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 [7].

#### 4.2. 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 [7].

#### 4.3. Archiver :

Consiste à transférer les données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage [7].

#### 4.4. Analyser :

Permet de répondre aux questions que l'on se pose [7].

#### 4.5. 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 [7].

### 5. Les composants d'un SIG :

Un système d'information géographique est constitué de cinq composants majeurs :

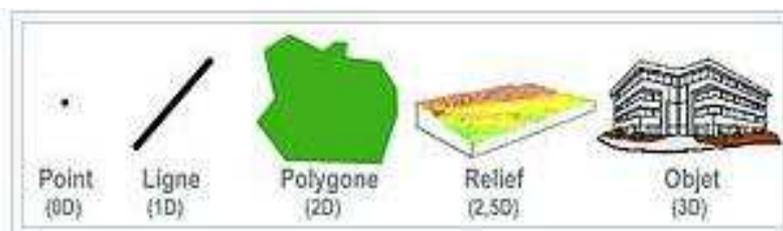
#### 5.1. Les logiciels :

Ils assurent les six fonctions suivantes (parfois regroupées sous le terme des « 6A ») :

- saisie des informations géographiques sous forme numérique (Acquisition)
- gestion de base de données (Archivage)
- manipulation et interrogation des données géographiques (Analyse)
- mise en forme et visualisation (Affichage)
- représentation du monde réel (Abstraction)
- la prospective (Anticipation). [9]

#### 5.2. Les données :

Les données géographiques sont importées à partir de fichiers ou saisies par un opérateur. Une donnée est dite « géographique » lorsqu'elle fait référence à un (ou plusieurs) objet(s) localisé(s) à la surface de la terre. Ses coordonnées sont définies par un système géodésique (ou système de référence spatiale) [9].



**Figure 5 :** Taille / dimension de la représentation de la donnée [9]

### **5.3. Le matériel informatique :**

Le traitement des données se fait à l'aide des logiciels sur un ordinateur de bureau ou sur un ordinateur durci directement sur le terrain. L'ordinateur de terrain avec GPS et laser télémètre permet la cartographie et la collecte des données. La construction de la carte en temps réel et la visualisation de la carte sur le terrain augmente la productivité et la qualité du résultat.

La tendance depuis les années 2000 est à une cartographie précise et interactive, où l'analyse des données se fait de plus en plus in situ, sur le terrain, de même que la validation. Des systèmes client-serveur en intranet, extranet voire via Internet facilitent ensuite, et de plus en plus, la diffusion des résultats [9].

### **5.4. Les savoir-faire :**

Un système d'information géographique fait appel à une connaissance technique et à divers savoir-faire, et donc divers métiers, qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes. Le spécialiste doit mobiliser des compétences en géodésie (connaissance des concepts de système de référence et de système de projection), en analyse des données, des processus et de modélisation, en traitement statistique, en sémiologie graphique et cartographique, en traitement graphique. Il doit savoir traduire en requêtes informatiques les questions qu'on lui pose. Toutes les compétences techniques se retrouvent dans le métier de géomaticien, compétences auxquelles viennent se greffer des compétences « métiers » thématiques [9].

### **5.5. Les utilisateurs :**

Comme tous les utilisateurs de systèmes d'information géographique ne sont pas forcément des spécialistes, un tel système propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet. N'importe qui peut, un jour ou l'autre, être amené à utiliser un SIG. Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques, est généralement celui de technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels. Enfin, des spécialistes sont parfois amenés à intervenir sur des aspects techniques précis [9].

## **6. Utilisations :**

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

- 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 [8].

## 7. 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 » [10].

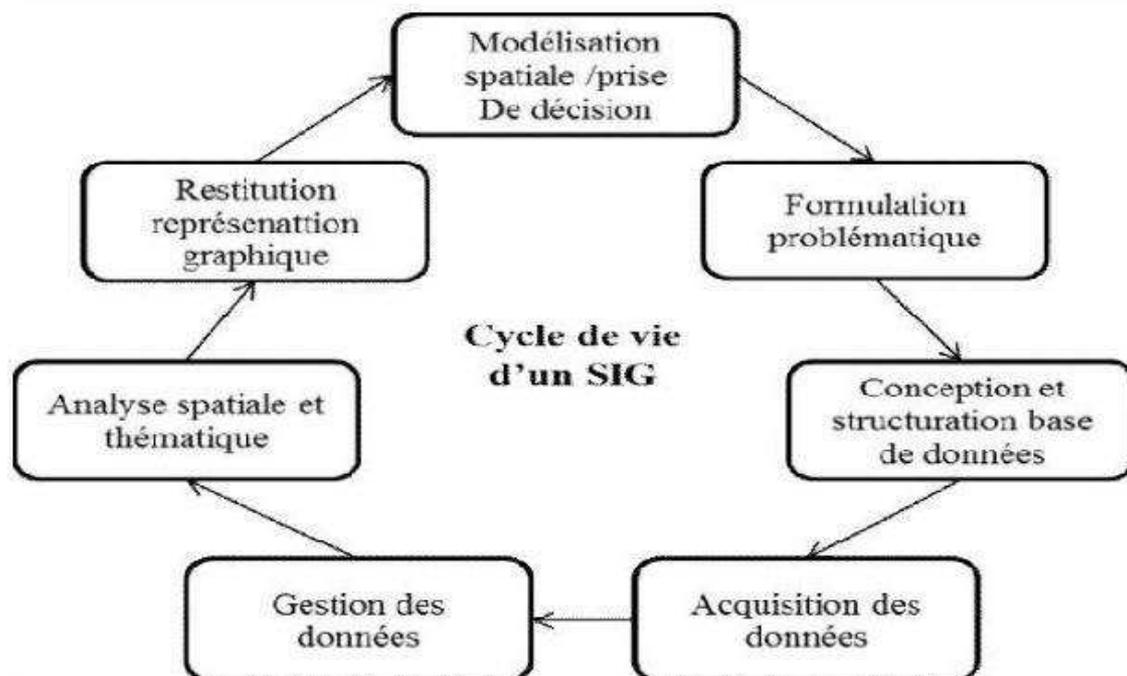


Figure 6 : Cycle de vie des SIG [10].

## 8. Conclusion :

On a vu dans ce chapitre la conception des SIG comme un système pour gérer l'information dont la nature est spatiale. Le chapitre suivant explique comment bénéficier toute une fois de l'apport de l'analyse multicritères pour les SIG afin de créer un système décisionnel cohérent.

# **Chapitre 3 :**

## **SIG et Analyse multicritères**

## **1. Introduction :**

Les SIG, systèmes d'information géographiques, stockent des données géo-référencées dans des bases de données géographiques, ouvrant ainsi de grandes potentialités en termes d'exploitation. Une utilisation fréquente des SIG concerne la prise de décision à référence spatiale. En effet, les SIG, par leur capacité dans le stockage, la gestion, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale, se présentent comme l'outil le plus adéquat pour appréhender les problèmes de décision à référence spatiale. Néanmoins, la technologie SIG actuelle souffre encore de plusieurs lacunes dues en grande partie à un manque de capacités analytiques capables de supporter les problèmes spatiaux. La solution la plus diffusée pour faire évoluer les SIG vers un vrai outil d'aide à la décision est de les coupler avec d'autres outils en particulier avec l'analyse multicritère (AMC). En effet, l'AMC offre à l'évidence plusieurs avantages au niveau de la prise de décision lorsque l'on doit prendre en compte des intérêts conflictuels. Elle apporte le support nécessaire pour combler ces lacunes. Cette solution est également adoptée dans le cadre de notre travail.

## **2. Facteurs de complexité des problèmes spatiaux :**

Nous pouvons distinguer quatre types de complexité qui caractérisent les problèmes de décision à référence spatiale [11] :

### **2.1. Complexité liée aux données :**

Les phénomènes géographiques sont caractérisés par leurs positions, leurs formes, leurs attributs descriptifs et par les relations topologiques qu'ils entretiennent entre eux. De ce fait, les données associées à ces entités et phénomènes sont hétérogènes, non-linéaire et caractérisées par une dépendance spatiale et temporelle leur conférant une nature différente de données non spatiales conventionnelles. Pour être utilisable en pratique, ces données doivent généralement subir une série de transformations, plus au moins automatiques, dont l'objectif est d'en extraire des informations plus utiles dans le processus de prise de décision.

### **2.2. Complexité conceptuelle :**

Les problèmes décisionnels à référence spatiale impliquent des entités et phénomènes (naturels ou artificiels) définis dans un espace de nature continue sous-jacente incitant à des confusions et à des chevauchements dans la définition des concepts et entités spatiaux.

Par conséquent, il est souvent difficile de pouvoir diviser le monde réel en un ensemble de classes d'objets définis de manière exacte. En pratique, la conceptualisation de l'espace est largement gouvernée par la catégorie socioéconomique à laquelle appartient le concepteur et dépend des objectifs de l'étude et du niveau de résolution souhaitée, compliquant ainsi le développement d'outils d'aide à la décision spatiale.

### **2.3. Complexité ontologique et sémantique :**

Un autre aspect caractérisant les applications territoriales c'est le fait qu'elles font, de plus en plus, recourt à des données multi-sources dispersées géographiquement et généralement définies séparément sur des systèmes de coordonnées différents. Cette tendance, renforcée depuis l'avènement d'Internet et qui permet de réduire la redondance de l'information géographique, se confronte, néanmoins, à l'absence d'une base ontologique commune.

En effet, l'absence de cette ontologie complexifie l'intégration des données, l'interopérabilité et limite les possibilités d'interaction et d'échanges de données et de résultats entre des applications conçues séparément.

À cela s'ajoute une complexité sémantique due aux interprétations différentes qu'un objet ou un phénomène peut avoir : un point, un polygone, ou un ensemble de polygones sont autant des possibilités des représentations conceptuelles d'une ville.

#### **2.4. Complexité technique :**

La complexité des problèmes décisionnels à référence spatiale peut découler aussi d'une mauvaise compréhension de la relation entre le problème décisionnel et son espace de solution. Cette complexité technique, comme nommée dans [11], se manifeste, selon lui, lorsque par exemple il n'est pas clair quels sont les critères relevant dans le problème, la manière dont ces critères sont combinés, quelles sont les mesures possibles, et comment les différentes alternatives d'action sont évaluées et comparées.

### **3. Capacités analytiques des SIG :**

#### **3.1. Opérations sur les attributs descriptifs :**

Il s'agit généralement d'opérateurs mathématiques ou ensemblistes qui transforment les valeurs existantes en de nouvelles valeurs. Exemples: classification, agrégation, changement d'échelle, etc. Certaines opérations de ce groupe peuvent également engendrer, de façon indirecte, des changements sur la composante spatiale comme par exemple l'opération d'agrégation qui peut nécessiter l'élimination des frontières communes des entités polygonales appartenant à la même catégorie [11].

#### **3.2. Techniques de superposition de couches (overlay) :**

Ce groupe contient un ensemble d'opération booléenne qui permet à des entités géographiques, avec un ensemble de caractéristiques communes, d'être identifiées et affichées. Exemples : identifier toutes les propriétés à l'intérieur d'une zone d'affectation, toutes les zones inférieures à 200 mètres d'altitude avec une utilisation agricole du sol, etc.

#### **3.3. Opérations métriques :**

Ces opérations se basent sur la notion de distance. Trois types d'opérations métriques peuvent être distingués [11] :

1. Création des zones tampons relatives à des objets isolés (e.g. recherche d'une zone tampon relative à tous les bâtiments situés à 1000 mètres de l'aéroport),
2. Mesure de distance entre objets (e.g. recherche de tous les bâtiments situés à moins de 150 mètres d'une borne d'incendie) et construction des champs de distance pour les données raster.
3. Construction de diagramme de Voronoi « étendu » : où la notion de zone de proximité concerne aussi bien les points que les lignes ; et où chaque zone représente la partie de l'espace qui est la plus proche d'un objet particulier que les autres.

### **3.4. Opérations sur les surfaces et le plus proche voisin :**

Les opérations de ce groupe portent sur une description continue de l'espace. Le calcul de la pente (i.e. inclinaison d'un terrain ou d'une surface par rapport au plan de l'horizon), du gradient (taux de variation en fonction de l'angle du plan tangent à la surface en un point donné), et l'aspect (direction de la pente) sont des exemples typiques de cette famille d'opérations. Les opérations de voisinage nécessitent deux composantes : un voisinage (neighborhoods) et une règle de combinaison (e.g. une règle de dominance qui sélectionne une valeur sur certains critères). Le voisinage peut être défini sur la base de la distance Euclidienne ou sur la base des relations entre objets [11].

### **3.5. Opérations avancées :**

Trois types d'opérations avancées peuvent être distingués [11] :

#### **3.5.1. Les opérations itératives :**

Généralisent les opérations de voisinage. Exemple: calcul de zones de visibilité (viewshed). Les modèles d'allocation-affectation : cherchent à optimiser une fonction objective afin de localiser, par exemple, des écoles, des points de service, etc. Dans un problème de distribution des marchandises, la fonction objective peut être par exemple, la minimisation de la distance totale entre les points de demande et les points de service.

#### **3.5.2. Les opérations statistiques :**

Permettent d'effectuer un ensemble de manipulations statistiques sur les attributs comme par exemple l'analyse de régression ou l'analyse par clusters (cluster analysis).

#### **3.5.3. Opérations de transformation :**

Ces opérations, les plus complexes, impliquent des conversions d'une forme de données à une autre. En effet, les données en entrée peuvent être de différentes formes : semi de points, des courbes de niveaux, carte thématique, des Modèles Numériques de Terrain (MNT), etc. Pour le besoin de l'analyse, il est parfois nécessaire de convertir un semi de points en un TIN, des courbes de niveaux en un semi de points ou un TIN, un MNT en une carte thématique, etc. L'interpolation, la triangulation sont deux exemples d'opérations de transformation.

## **4. Limites du SIG en aide à la décision spatiale :**

Malgré ces nombreuses fonctionnalités analytiques, les SIG souffrent encore de plusieurs lacunes dans le domaine de l'aide à la décision à référence spatiale [11] :

### **4.1. Manque de fonctionnalités analytiques :**

Malgré la grande variété des méthodes d'analyse incluses dans les SIG standards, ces derniers souffrent particulièrement encore de leur manque de traitement de la notion du temps (e.g. il n'est pas possible de faire une interpolation entre deux cartes à des dates différentes) et de la multi dimensionnalité (pas de véritables 3D, image aérienne souvent drapée sur un MNT) et le peu de performance dans le traitement des aspects multi-échelles (difficulté à travailler sur de petites échelles, études de cas locales, à moyenne ou à grande échelle) et multi-sources.

#### **4.2. Limites des techniques d'overlay :**

Les techniques d'overlay, un exemple typique des techniques analytiques des SIG, sont remarquables pour des opérations de superposition afin de combiner et corrélérer différentes variables en vue de fournir de l'information thématique. Cependant, elles sont limitées pour des tâches plus sophistiquées à cause de facteurs identifiés par plusieurs auteurs :

- Les résultats de l'opération d'overlay deviennent rapidement inextricables et donc difficiles à comprendre quand le nombre de facteurs impliqués dépasse quatre.
- La plupart des procédures overlay dans les SIG ne tiennent pas compte du fait que les variables peuvent être d'inégale importance c'est-à-dire que l'on pourrait leur attribuer des poids différents afin de pondérer les informations entre elles.
- Un problème se pose lorsqu'on saisit des variables pour des analyses en overlay : comment furent définies les valeurs de seuil qui ont été alors utilisées.
- L'utilisation de valeurs de seuil pour cartographier des variables continues, comme par exemple la densité de la population, va inévitablement mener à une perte substantielle de la qualité de l'information.

#### **4.3. Difficultés d'intégration de l'analyse spatiale aux SIG :**

L'analyse spatiale a émergé et connu un développement bien avant l'avènement des SIG. Pour un certain temps, les deux domaines ont évolué indépendamment l'un de l'autre. Ils ont œuvré à fournir, chacun de son côté, un éclairage opérationnel aux problèmes complexes spatialisés comme le besoin de données à référence spatiale et la capacité analytique pour traiter ces données, les différences demeurent cependant nombreuses.

La plupart de ces différences sont généralement inhérentes aux approches suivies : un modèle d'analyse spatiale tend à mettre l'accent sur les traitements de phénomènes de la réalité spatiale qu'illustrent les fonctions d'analyse effectuées sur des mesures et par des calculs, alors qu'un SIG se préoccupe beaucoup plus de la structure du système, c'est-à-dire des composantes ou des éléments qui représentent cette réalité. C'est ce qui explique, en bonne partie, les difficultés d'intégration de l'analyse spatiale et des SIG.

#### **4.4. Discrétisation de l'espace :**

Un autre problème s'ajoute aux difficultés d'intégration des SIG et de l'analyse spatiale : il concerne la discrétisation des phénomènes spatiaux. Cette discrétisation de l'espace est explicite dans les SIG alors qu'elle est implicite ou non spécifiée dans la plupart des formes d'analyse spatiale. En effet, plusieurs fonctions d'analyse spatiale sont conçues pour des phénomènes continus sur l'espace. Elles ne parviennent pas, par conséquent, à traiter ces phénomènes à cause des incertitudes introduites par le processus de discrétisation (par exemple, les iso-lignes relatives aux pentes).

#### **4.5. Modélisation et théorie des données à référence spatiale :**

Un problème pratique surgit quand on effectue des analyses spatiales avec les SIG : c'est l'absence d'une démarche systématique qui permettrait d'utiliser des séquences d'opérations pour obtenir la réponse désirée. Pour répondre à une requête spatiale simple ou complexe,

chaque utilisateur se fie à son intuition et emprunte un chemin personnel, pour aboutir finalement aux mêmes résultats. Alors manque de clarté qui entoure l'analyse spatiale, perçue comme un ensemble de techniques développées dans des domaines différents sans aucune codification claire ni un cadre conceptuel reposant sur une assise théorique robuste.

#### **4.6. Une situation riche de données et pauvre en théorie :**

Plusieurs études, qui se sont livrées à l'analyse des SIG existants, sont concordantes : on se trouve dans une situation caractérisée par un état riche en données et en progression croissante par rapport à un état pauvre en théorie.

#### **4.7. Des critères d'admissibilité et non des critères d'évaluation :**

Les fonctionnalités analytiques du SIG ne permettent pas d'aborder des problèmes à référence spatiale lorsqu'un ensemble de critères conflictuels et d'objectifs multiples sont en jeu. En effet, si l'analyse spatiale des SIG utilise plusieurs critères de sélection appliqués sur plusieurs attributs d'un ou de plusieurs objets de la base de données, de telles analyses s'avèrent limitées en matière d'aide à la décision et ce pour les raisons suivantes :

- Les critères qui sont pris en compte pour l'analyse ne sont pas considérés comme conflictuels
- Les critères sont généralement considérés d'égale importance ;
- La solution obtenue doit répondre à tous les critères ; ainsi, comme on applique critère après critère et qu'il s'agit de critères d'admissibilité et non de critères d'évaluation, tout se passe comme s'il s'agissait d'une recherche monocritère itérative.

Pour combler ces lacunes, la plupart des chercheurs supportent l'idée d'intégrer dans le SIG des outils informatiques (computing tools) et de recherche opérationnelle : programmation linéaire, statistique, réseaux de neurones artificiels, algorithmes génétiques, automate cellulaire, logique floue. et d'autres travaux se sont focalisés sur la définition des langages de spécification et de modélisation. Ces travaux ont permis d'améliorer les potentialités analytiques des SIG et de répondre aux limites mentionnées plus haut. Cependant, ils échouent lorsqu'il s'agit de tenir compte des aspects multicritères des problèmes de décision à référence spatiale. L'AMC semble être la mieux placée pour faire face à ces insuffisances.

### **5. Nécessité de l'intégration SIG-AMC :**

Les arguments en faveur d'une intégration entre SIG et AMC sont nombreux [11] :

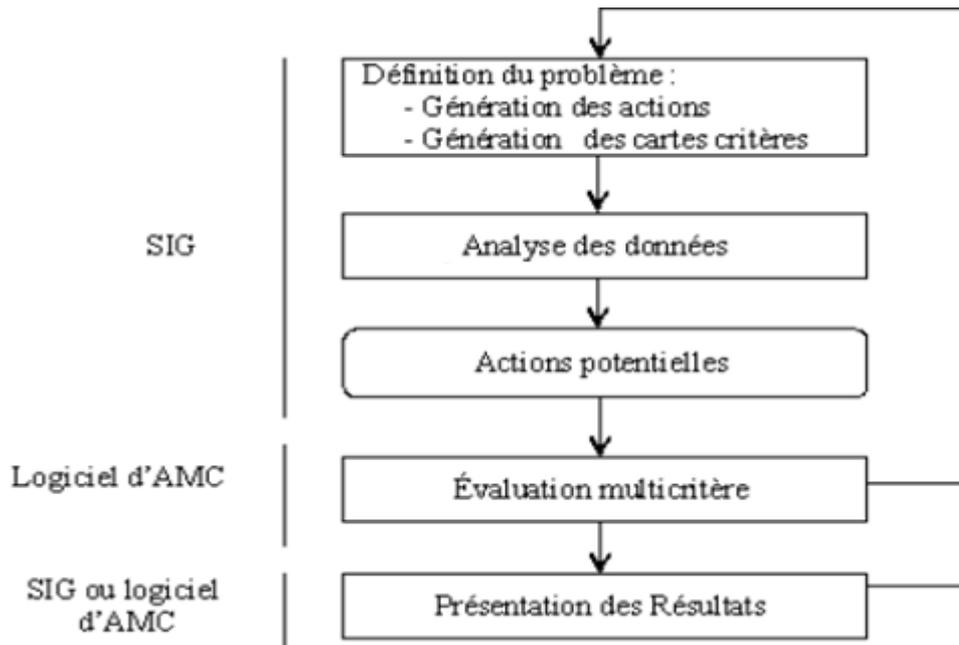
1. Les SIG ont atteint une certaine maturité en tant qu'outils de gestion de données pour traiter et analyser un ensemble, de plus en plus grandissant, de problèmes à référence spatiale. Néanmoins, ils ne sont qu'à leurs premiers balbutiements en tant qu'outils d'aide à la décision. Or les problèmes décisionnels à référence spatiale, de plus en plus appréhendés dans toutes leurs dimensions, présentent toutes les caractéristiques des problèmes multicritères et, en tant que tels, leur traitement par analyse multicritère trouve sa raison d'être.

2. L'approche SIG permet de définir des solutions potentielles, d'aider à construire des critères d'admissibilité et d'évaluer automatiquement ces solutions pour un certain nombre des critères quantitatifs (par exemple, surface aménagée de chacune des zones d'un bassin versant, coût total de l'aménagement de chaque zone, etc.).
3. Les capacités analytiques des SIG et notamment les techniques d'overlay permettent l'application d'un ensemble de critères afin de générer les solutions potentielles. Cependant, les solutions obtenues répondent simultanément à tous les critères. En toute rigueur, les critères utilisés par le SIG sont en réalité des contraintes d'admissibilité qui sont de nature à transformer l'ensemble des solutions possibles de départ en un ensemble réduit de solutions qui peuvent facilement être évaluées et comparées par une méthode multicritère.
4. Les SIG, comme les modèles monocritères d'optimisation, définissent les actions et les contraintes pour le design de la solution alors que l'analyse multicritère, du moins dans son aspect agrégation, met plus l'accent sur la sélection que sur le design ; de tels intérêts sont évidemment complémentaires.
5. Les différentes lois exigeant des approches multicritères pour les problèmes de planification et d'aménagement du territoire ont, en quelques sortes, incité les différentes organisations et entreprises impliquées dans ce type de problèmes à renforcer les SIG qu'elles détiennent avec les fonctionnalités de l'analyse multicritère [11].

## **6. Schéma conceptuel, modes et directions d'intégration :**

### **6.1. Schéma conceptuel d'intégration**

L'idée conceptuelle sur laquelle se base les travaux d'intégration SIG-AMC est donnée en figure ci-dessous. Elle consiste à utiliser les fonctionnalités du SIG pour préparer les entrées (inputs) nécessaires à l'application d'une méthode multicritère [11]. Opérationnellement, un système SIG-AMC intégré commence par la définition du problème, où les capacités analytiques du SIG sont utilisées pour générer l'ensemble d'actions potentielles et l'ensemble des critères. Ensuite, la procédure de superposition (overlay) est utilisée pour réduire un nombre initialement très grand (voir infini) d'actions en un nombre limité qui peuvent facilement être évaluées et comparées par une méthode d'analyse multicritère. Finalement, les potentialités de présentation du SIG sont utilisées pour visualiser les résultats de l'analyse.



**Figure 7 :** Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC.

## 6.2. Les modes d'intégration SIG – AMC :

De nombreux arguments identifiés dans la littérature jouent en faveur d'un couplage entre SIG et AMC, qui permette de combler leurs lacunes respectives : d'une part la difficulté pour les SIG à prendre en compte la dimension multicritère inhérente des problèmes à caractère décisionnel, d'autre part les limites de l'AMC lorsqu'il s'agit de représenter la dimension spatiale des problèmes spatiaux. Les chercheurs et les spécialistes s'accordent sur l'intérêt de conjuguer les potentialités des deux outils pour créer des systèmes d'aide à la décision spatiale plus poussés. L'intégration SIG-AMC constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision. Selon [11], trois types d'intégration dessinent essentiellement le panorama des conjonctures informatiques et spatiales, l'intégration directe, encastrée et complète :

### 6.2.1. L'intégration indirecte :

Les deux outils, un SIG et un 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, via le système intermédiaire, vers le SIG pour les visualiser ou les stocker (début des années 90) [12].

### 6.2.2. L'intégration encastrée :

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 (fin des années 90) [12].

### **6.2.3. L'intégration complète :**

On obtient 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 [12].

### **6.3. Directions d'interaction :**

Nous pouvons y distinguer quatre directions d'interaction SIG-AMC [11] :

- 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.

## **7. Problématique :**

De nombreux travaux d'intégration SIG-AMC ont été publiés depuis le début des années 1990. Cependant, et à partir de la littérature, plusieurs limites dans ces travaux ont pu être identifiées, ce qui les empêche d'être diffusés au-delà du cadre académique [12].

### **7.1. Intégration indirecte ou encastrée:**

La plupart de ces travaux procèdent soit par une intégration indirecte, où deux outils, un SIG et un logiciel d'AMC, échangent données et résultats via un système intermédiaire, soit par une intégration encastrée où les deux logiciels restent indépendants mais une seule interface le plus souvent celle du SIG) est utilisée. Ce dernier mode est une première étape vers une intégration efficace où l'utilisation des fonctionnalités d'analyse multicritère est plus facile que le mode indirecte. Cependant, le fait que les données soient stockées indépendamment, la souplesse d'exploitation et l'interactivité restent toujours problématiques [12].

### **7.2. Intégration d'une seule ou un nombre limité de méthodes dans le SIG :**

C'est le cas de la majorité des travaux d'intégration SIG-AMC. Cependant chaque méthode multicritère possède ses avantages et ses inconvénients de telle sorte qu'une méthode peut être appliquée dans un type particulier de problèmes mais pas dans d'autres. De ce fait, la nécessité d'incorporer un grand nombre de méthodes d'analyse multicritère dans le SIG

semble être une nécessité, vu la « démocratisation » de la technologie SIG et la diversité des problèmes auxquels cette technologie devra faire face dans le futur [12].

### **7.3. Choix de la méthode multicritère à appliquer :**

Dans la plupart des applications de l'AMC, le choix de la méthode à utiliser se fait de manière assez arbitraire : on opte pour celle maîtrisée par l'analyste, celle développée de manière ad hoc ou encore tout simplement celle disponible sous forme d'un logiciel. Malgré l'existence de plusieurs travaux concernant le problème du choix de la méthode à utiliser dans un problème particulier, il n'existe que très peu de recherches qui ont été accomplies dans une perspective d'intégration dans un SIG [12].

### **7.4. Intégration des méthodes du critère unique de synthèse :**

Comparativement aux méthodes du critère unique de synthèse, les méthodes de surclassement de synthèse ont reçu peu d'attention dans les travaux d'intégration SIG-AMC. Or, ces méthodes sont généralement mieux adaptées aux problèmes de décision sur le territoire dans le sens où elles permettent de prendre en compte l'aspect ordinal de ces problèmes [12].

### **7.5. 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 au moins aux deux raisons suivantes : l'utilisation de tels outils exige une bonne connaissance du SIG et de l'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 [12].

## **8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons introduit les deux champs d'étude le SIG et l'AMC et présenté quelques travaux d'intégration SIG-AMC. Nous avons également établi une liste de quelques limites concernant ces travaux. Dans la suite de ce document, nous proposons des solutions conceptuelles, méthodologiques et informatiques permettant de répondre à ces limites.

# **Chapitre 4 :**

# **Conception et**

# **implémentation**

## **1. Introduction :**

L'étude géo-décisionnelle d'aptitude zonale 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. 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. L'intégration des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de l'analyse multicritère constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision. Le système RPRO4SIGZI proposé dans [13] 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 le module RPRO (Ranking PROMETHEE) du système pour le rangement des zones industrielles candidates 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.

Notre travail consiste à concevoir et à développer certaines fonctionnalités SIG pour étendre le noyau de SIGZI qui a été développé pour la visualisation des zones industrielles. Plus précisément, nous intéressons à la présentation des inputs de la méthode multicritère à leurs différentes natures, pour en suite passer au résultat fourni par cette même méthode.

## **2. Cas d'application :**

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 causer une mutation épidémiologique et une détérioration de la santé des citoyens. Le modèle linéaire de Simon et ses extensions sont insuffisantes pour répondre à la complexité de ce type de problèmes.

Les 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. Les travaux d'intégration SIG-AMC se sont multipliés depuis 1990. La plus part de ces travaux depuis 1990 jusqu'à 2004 sont recensés et catégorisés dans [13]. Dans [13], il y a constatation de la variété et la complexité des méthodes d'analyse multicritère des problèmes spatiaux, et pour remédier à cela les auteurs ont fait un balayage et une classification de toutes les méthodes. La classification a abouti aux classes suivantes :

- Méthodes d'agrégation non compensatoires
- Méthodes de pondération

- Méthodes d'agrégation compensatoire
- Méthodes de sur classement (ELECTRE, PROMETHEE ...)
- Méthodes de programmation mathématique
- Méthodes heuristiques (MOLA, GA, SA...)

Notre travail s'inscrit dans cette orientation d'intégration SIG-AMC, et sa partie applicative consiste à ranger les zones industrielles en utilisant la méthode de surclassement PROMETHEE. En effet plusieurs offres possibles peuvent être recensées. D'une part, les différentes zones industrielles requises pour l'étude sont considérées comme des actions, et d'autre part, différents critères d'évaluation sont pris en considération avec leurs poids respectifs. Le projet enchaine 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.

### 3. Approche proposée :

Comme indiqué, notre contribution sera dans le système RPRO4SIGZI proposé dans [13] 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 est affiné par une visualisation SIGZI (SIG 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.

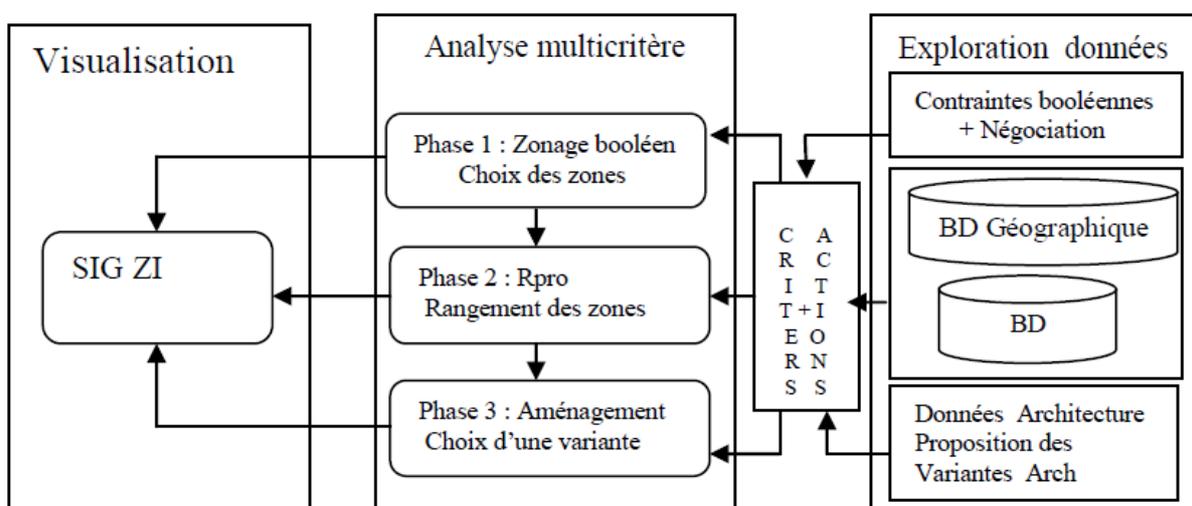


Figure 8 : Architecture générale du système RPRO4SIGZI.

Le système global est composé de trois modules :

Le module « **Visualisation** » : SIGZI assure l’affichage des actions (zones industrielles) sur la carte géographique de l’Algérie avant et après chaque phase décisionnelle. Pour accomplir cette tâche le mode vecteur est adopté initialement : chaque zone est une entité géographique du type abstrait spatial « POINT » et elle est implémentée à l’aide de ces deux composantes de position géographique (latitude et longitude).

Le module « **Exploration des données** » : Les critères et les actions sont les principales entités de la démarche décisionnelle multicritère. Les données qui les caractérisent sont recueillies à partir des bases de données géographiques, socioéconomiques et de climat ainsi que les archives des régions. L’utilisation des données qui modélisent les préférences des décideurs et les poids octroyés sont assuré aussi par ce module.

Le module « **Analyse multicritère** » : C’est le module principal. Il agit pour la solution du problème décisionnel globale en trois phases : 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.

### **3.1. Etude de cas :**

#### **3.1.1. L’ensemble des actions :**

Sur les 39 zones industrielles créés a travers l’ensemble du territoire nationale par ANIREF (2013), cette étude s’est portée sur les zones industrielles de l’ouest Algérien. Chaque zone constitue une action :

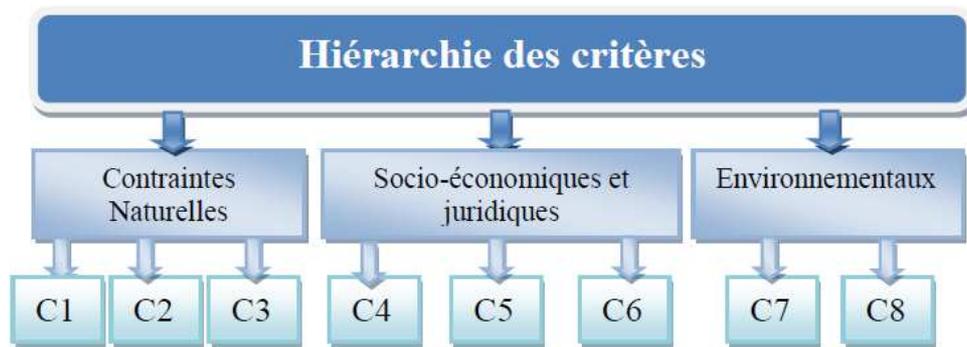
- **A1** : Maghnia, Tlemcen.
- **A2** : Sidi Bel Abbès.
- **A3**: Ras Elma, Sidi Bel Abbès.
- **A4**: Sidi Ahmed, Saida.
- **A5** : Horchaia, Naama.
- **A6** : Tamazzoura, Ain Témouchent.
- **A7** : Oggas, Mascara.
- **A8** : El Haciane, Mostaganem.
- **A9** : Sidi khettab, Relizane.

#### **3.1.2. Les critères :**

Les critères utilisés dans cette étude sont classés en trois catégories :

- Les contraintes naturelles
- Les critères socio-économiques et juridiques
- Les contraintes environnementales.

Selon ces catégories, 8 critères d’évaluation différents sont définis. La figure ci-dessous présente la hiérarchie de ces critères de jugement :



**Figure 9 :** *Hiérarchie des critères de jugement.*

- **Critère (C1) :** Sismicité.
- **Critère (C2) :** Contrainte climatique : Pluviométrie.
- **Critère (C3) :** Contrainte climatique : Température.
- **Critère (C4) :** Superficie.
- **Critère (C5) :** Cout d'aménagement.
- **Critère (C6) :** Proximité des réseaux de transport.
- **Critère (C7) :** Contrainte bioclimatique
- **Critère (C8) :** Proximité au centre urbain d'habitation.

Pour évaluer les différentes zones à ranger sur la base des critères qualitatives, on a associé à chaque critère qualitatif un barème de notation (échelle de 1 à 5) de façon à en faire une dimension mesurable.

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,...).

### **3.1.3. Contraintes naturelles :**

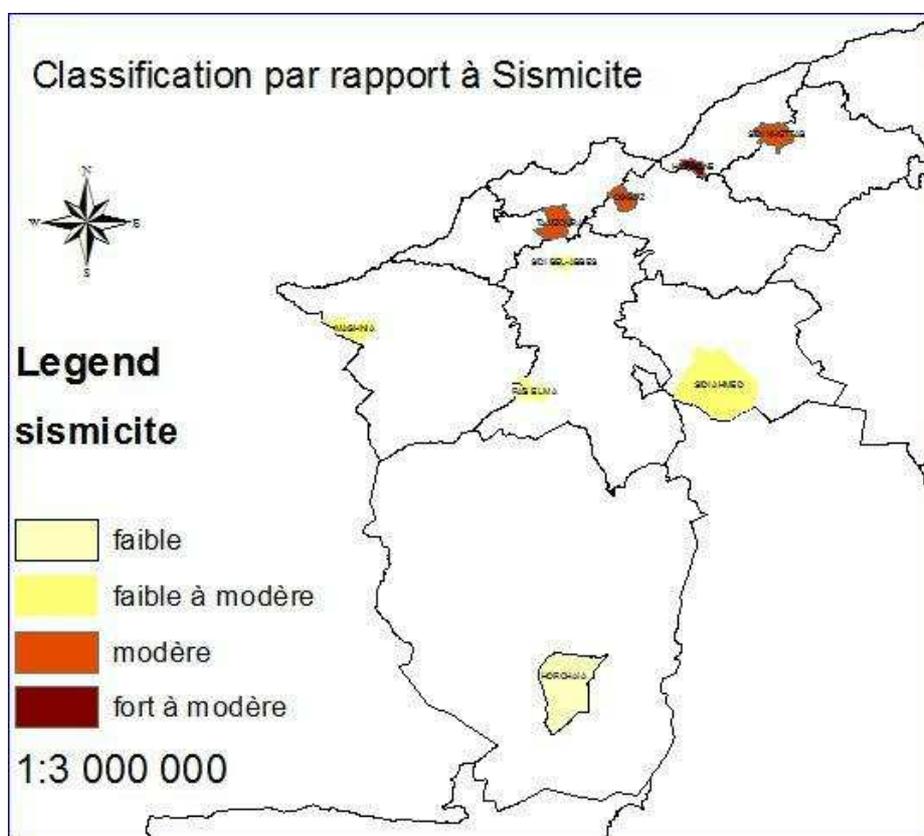
#### **C1 - Sismicité :**

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 :

Les actions	Sismicité	Valeur Numérique
A1	faible à modère	2
A2	faible à modère	2
A3	faible à modère	2
A4	faible à modère	2
A5	Faible	1
A6	Modère	3
A7	Modère	3
A8	fort à modère	2
A9	Modère	2

**Table 2 :** Evaluation des actions selon le critère de « Sismicité »

Voici la représentation qu'offre notre module pour ce critère :

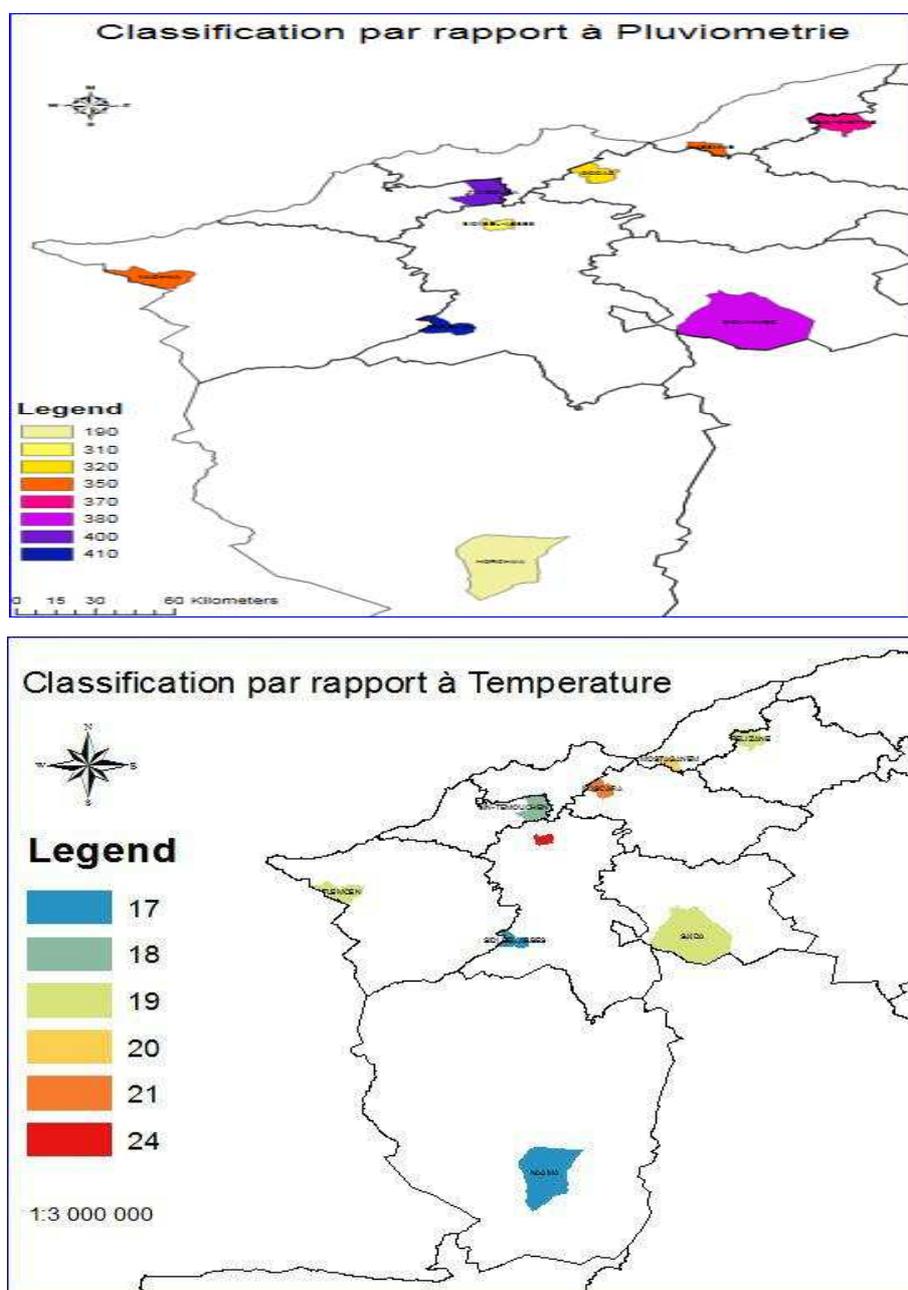


**Figure 10 :** Classification par rapport à la « sismicité ».

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

Les actions	Pluviométrie (mm)	température C°
A1	350	19
A2	310	24
A3	410	17
A4	380	19
A5	190	17
A6	400	18
A7	320	21
A8	350	20
A9	370	19

**Table 3 :** Evaluation des actions selon les deux critères : « Pluviométrie et température ».



**Figure 11 :** Classification par rapport à la « Pluviométrie et température »

### Critères socio-économique et juridique :

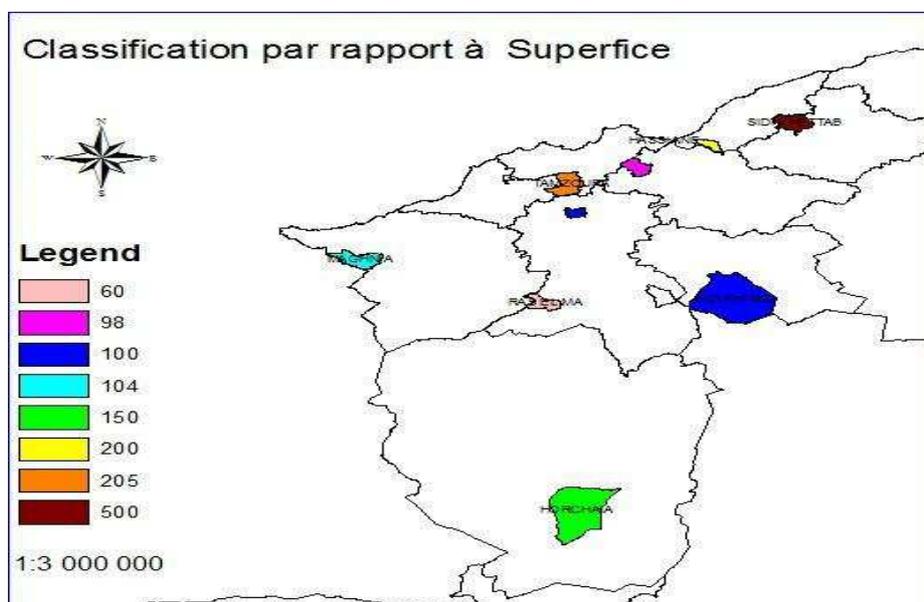
**C4 - Superficie** : C'est une information quantitative représentant la superficie des zones industrielles.

**C5 - Cout d'aménagement** : C'est une information quantitative représentant le cout d'aménagement. Il faut remarquer que 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 (ANIREF, 2013)

Les Actions	Coutd'aménagement (DA)	Superficie(Ha)	Proximité
A1	900592576	104	2500
A2	867750000	100	4100
A3	523765223	60	5000
A4	867750000	100	6500
A5	1301625000	150	3500
A6	1778911797	205	3000
A7	851772119	98	8100
A8	1735585907	200	6500
A9	4338750000	500	3000

**Table 4** : Évaluation selon le « cout d'aménagement, la superficie et la proximité de réseaux de transport ».



**Figure 12** : Classification par rapport à la « superficie »

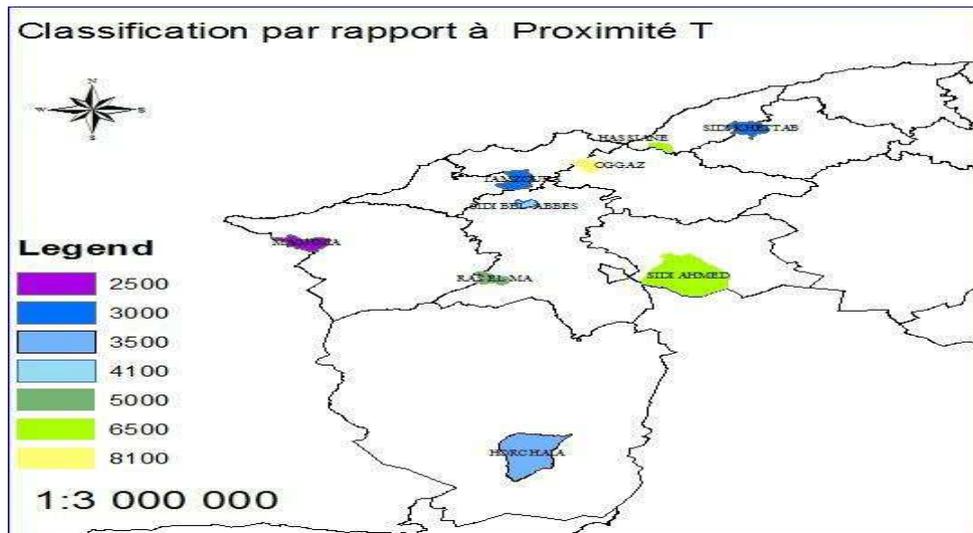


Figure 13 : Classification par rapport à la « proximité de réseaux de transport »

### Critères environnementaux :

La carte si dessous présente les étages bioclimatiques de l'Algérie :

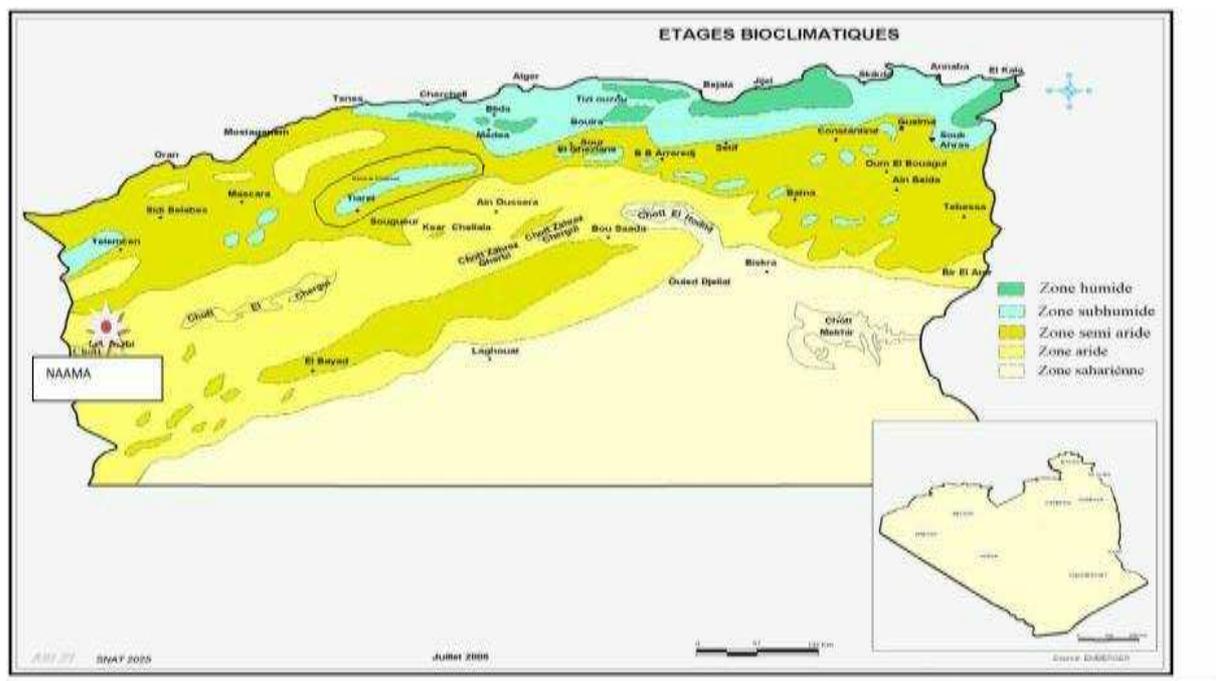


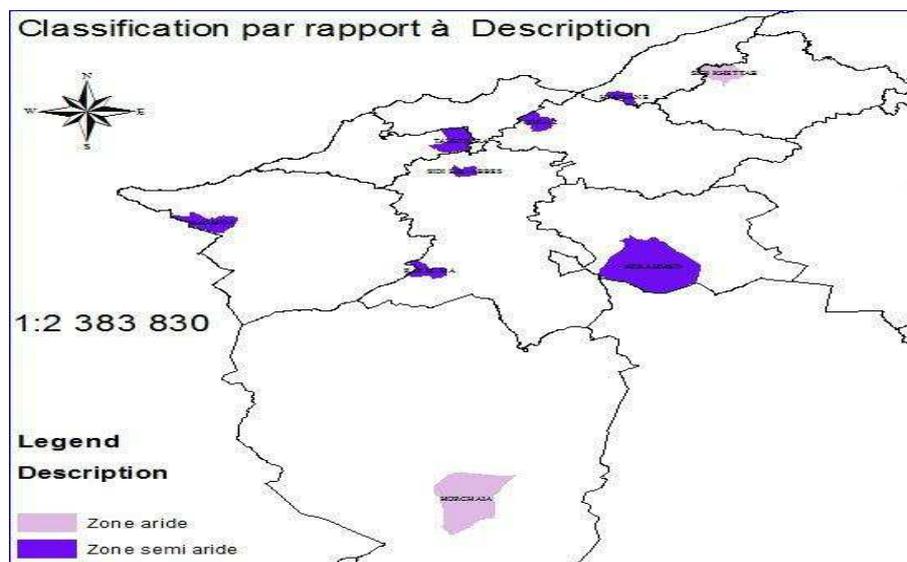
Figure 14 : Etages Bioclimatiques des wilayas d'Algérie. (ANIREF, 2013).

### C7 - Contrainte bioclimatique Description :

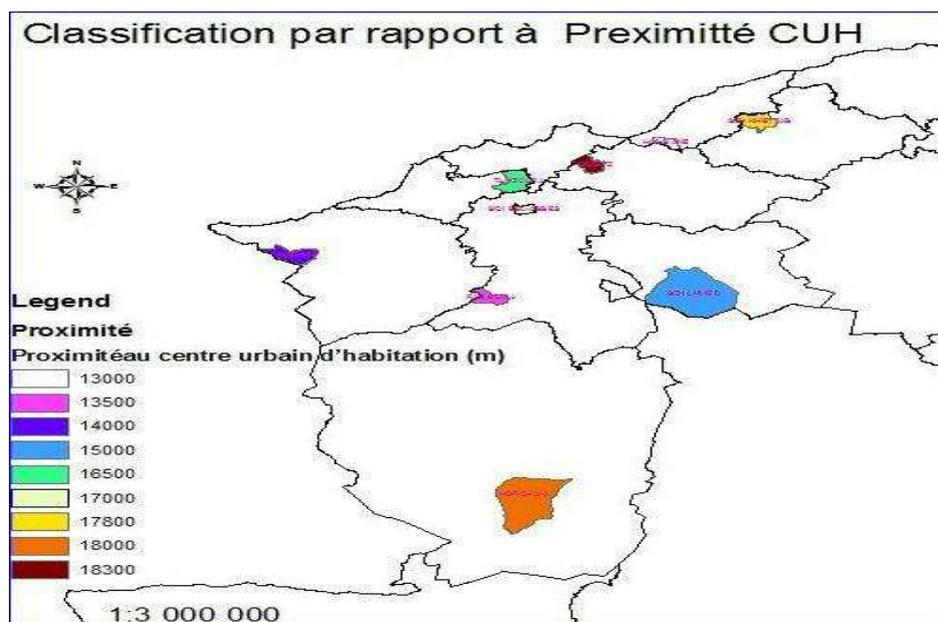
**C8 - Proximité aux centre urbain d'habitation :** C'est la cause des nuisances sonores liées à l'intensification des flux de circulation notamment des poids lourds, de propagations des gazes nocives pour la santé respiratoire des citoyens et des rejets industriels liquides et solides.

Les actions	Description(V Num)	Proximité (m)
A1	Zone semi aride (2)	14000
A2	Zone semi aride (2)	17000
A3	Zone semi aride (2)	13500
A4	Zone semi aride (2)	15000
A5	Zone aride (1)	18000
A6	Zone semi aride (2)	16500
A7	Zone semi aride (2)	18300
A8	Zone semi aride (2)	13000
A9	Zone aride (3)	17800

**Table 5 :** Contraintes bioclimatiques des zones et Proximité aux centres urbains



**Figure 15 :** Classification par rapport à la « description »



**Figure 16 :** Classification par rapport à la « Proximité centre urbain d'habitation »

Les poids des critères sont définies par l'équipe technique de la direction générale de l'ANIREF qui a procédé selon les étapes suivantes :

- Classement des huit critères par ordre d'importance décroissant selon un jugement unanime issu d'une consultation entre tous les membres de l'équipe (ingénieurs, techniciens et gestionnaires).
- La deuxième étape consiste à répartir un ensemble de 100 points entre les différents critères. Les valeurs des poids finaux sont données dans le tableau (Table 5) :

Critère	Description de Critère	Poids (%)	Poids (point)
C1	Sismicité.	10 %	10
C2	Contraintes climatiques : Pluviométrie	05 %	5
C3	Contraintes climatiques : Température	05 %	5
C4	Superficie	20 %	20
C5	Coût d'aménagement	15 %	15
C6	Proximité des réseaux de transport	20 %	20
C7	Contraintes bioclimatiques	05 %	5
C8	Proximité au centre urbain d'habitation	20 %	20
<b>Somme</b>		100%	100

**Table 6 :** Table des poids intra critères.

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 selon l'avis de l'expert (Table 6).

Après l'évaluation des zones par rapport aux différents critères, la pondération intra critère et la détermination du sens de chaque critère, nous avons obtenu la table de performance suivante :

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

**Table 7 :** Table des performances

### 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 tandis que le seuil de préférence est fixé à 10% de la même différence :

Critère	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Préférence	2	22	2	44	134503680	560	2
Indifférence	1	11	1	22	67251384	280	1

**Table 8 :** Seuils d'indifférence et de préférence de tous les critères.

#### 4. Résultats

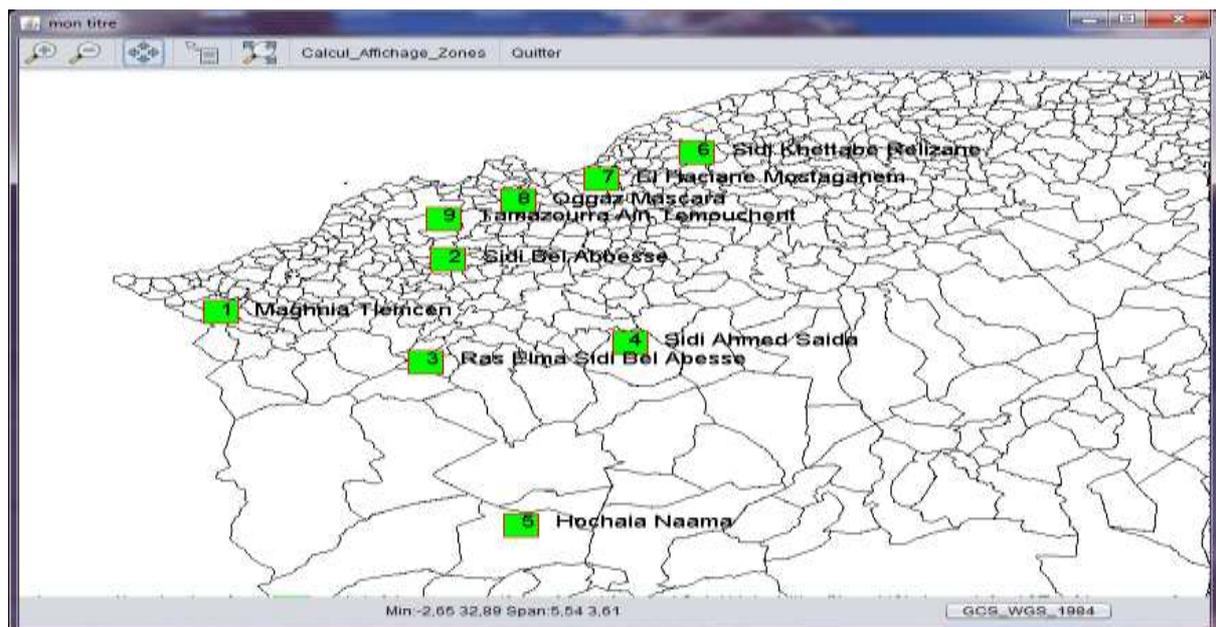
Quoique la signification signalée du résultat provienne de l'utilisation d'une méthode validée et d'un noyau de SIG spécifique aux données réelles de ce cas d'étude, reste une analyse de sensibilité sur les seuils de préférences et d'indifférences pour valider la stabilité de la solution. La table 8 ci dessous présente le rangement des zones obtenu :

Les Zones	Flux positif ( $\varphi^+$ )	Flux négatif ( $\varphi^-$ )	Flux Globale ( $\varphi$ )	Rang
A1	0.38531917	0.3-	0.08531916	4
A2	0.2971698	0.5250107	-0.2278409	8
A3	0.36762434	0.35000002	0.017624319	5
A4	0.23181818	0.4375	-0.20568182	7
A5	0.59375	0.2363376	0.3574124	1
A6	0.4321429	0.3094263	0.122716606	3
A7	0.3124035	0.37500003	-0.06259653	6
A8	0.22386363	0.58466977	-0.36080614	9
A9	0.5196429	0.24578992	0.27385297	2

**Table 9 :** Le rangement obtenu.

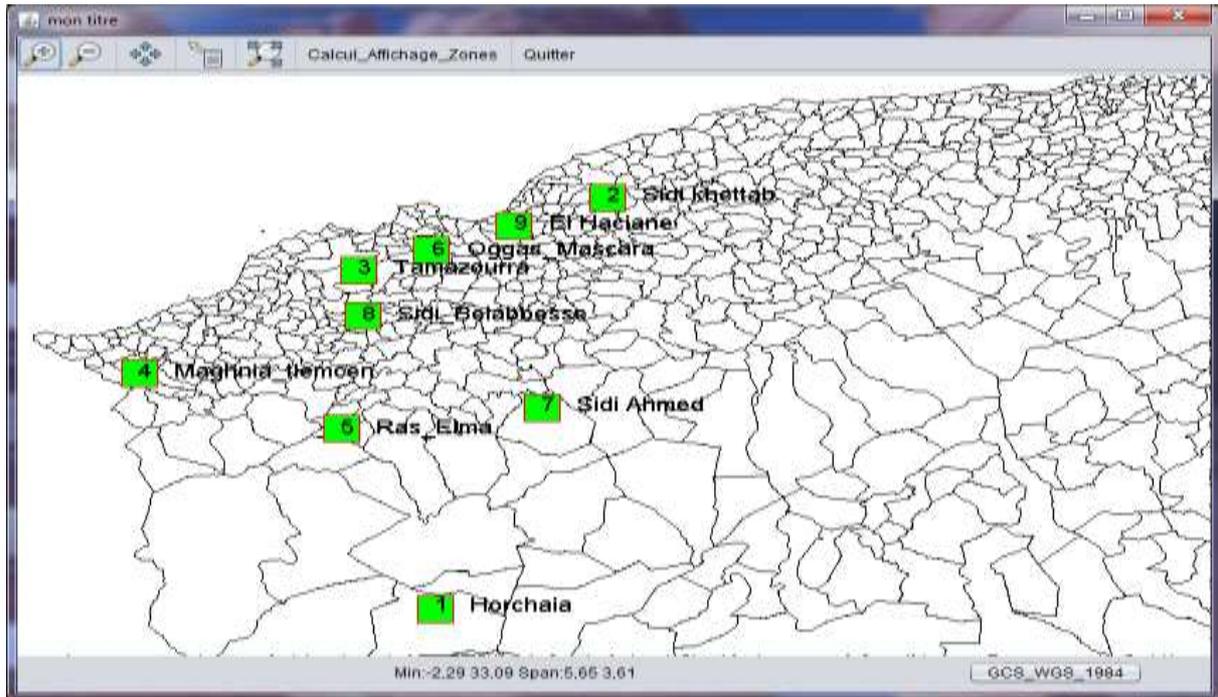
##### 4.1. Visualisation :

**Prévisualisation :** Visualisation des ZI sur la carte géographique de l'Algérie avant l'analyse décisionnelle multicritère, les rangs sont affectés aléatoirement (Figure) :



**Figure 17 :** Carte administrative avec rangement aléatoire des zones

**Post visualisation** : Visualisation des ZI sur la carte géographique de l'Algérie après l'analyse décisionnelle multicritère avec des rangs issus de l'analyse (Figure) :



**Figure 18** : Visualisation des zones rangées après l'analyse

## 5. Conclusion :

Ce travail enchaîne une analyse d'aptitude zonale basée sur des méthodes multicritères non compensatoires booléenne. Les contraintes de choix des zones ont été fixées par négociation et par la législation en vigueur. La proposition faite dans ce travail est d'entamer une deuxième phase décisionnelle multicritère pour consolider ces choix. Le caractère quantitatifs et qualitatif des informations recueillis concernant chaque zone a réconforté le décideur et a instauré 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 ou la décision est importante et dangereuse et se croise avec la géographie et même avec l'histoire.

# **Conclusion générale**

Les SIG, systèmes d'information géographiques, stockent des données géo-référencées dans des bases de données géographiques, ouvrant ainsi de grandes potentialités en terme d'exploitation. Une utilisation fréquente des SIG concerne la prise de décision à référence spatiale. Néanmoins, la technologie SIG actuelle souffre encore de plusieurs lacunes, dues en grande partie à un manque de capacités analytiques capables de supporter la nature multicritère des problèmes spatiaux. La solution la plus diffusée pour faire évoluer les SIG vers un vrai outil d'aide à la décision à référence spatiale est l'analyse multicritère (AMC).

Notre travail s'inscrit dans cette orientation d'intégration de SIG et d'AMC, et sa partie applicative consiste à ranger des zones industrielles candidates à l'implantation d'installation industrielles en utilisant la méthode de surclassement 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. L'objectif affiché était essentiellement un objectif de synthèse, permettant à la fois la gestion des données comme l'aide à la décision. L'entrée de la méthode PROMETHEE 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. 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.

Plus précisément, notre objectif était d'apporter le pouvoir explicatif issue de la visualisation des données en amont et en aval de la méthode de décision pour soutenir le décideur dans ces choix, avant, pendant, et après chaque étape du processus décisionnel. L'objectif était de concevoir et développer certaines fonctionnalités SIG pour étendre un noyau de SIG (SIGZI) qui a été développé pour la visualisation des zones industrielles.

Pour arriver à cette fin, nous avons dressé un état de l'art sur les travaux d'intégration SIG-AMC pour pouvoir se situer par rapport à cette problématique. Ensuite, nous avons exposé les composantes principales du système dans lequel nous avons apporté notre contribution, ainsi que son architecture générale, pour enfin détailler le cas d'application.

Comme perspectives à ce travail, nous pouvons envisager l'utilisation de formes plus sophistiquées de visualisation des données, comme les histogrammes, les courbes, ou encore les camembères. Ces formes offrent de grande possibilité de choix aux décideurs quant aux paramètres des méthodes d'aide à la décision. La même remarque s'applique aux résultats de ces méthodes et la manière de les présenter.

## Bibliographies

### Sites Web :

[1] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode\\_math%C3%A9matique\\_d'analyse\\_multicrit%C3%A8re#D.C3.A9finitions](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_math%C3%A9matique_d'analyse_multicrit%C3%A8re#D.C3.A9finitions) .

[5] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/ELECTRE> . .

[7] : <http://seig.ensg.ign.fr/fichchap.php?NOFICHE=FP15&NOCHEM=CHEMS005&NOLISTE=0&N=4&RCO=&RCH=&RF=&RPF=>

[9] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me\\_d'information\\_g%C3%A9ographique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_d'information_g%C3%A9ographique).

[12] : <http://www.lamsade.dauphine.fr/~chakhar/phd/phd-intro.pdf>.

### Référence Bibliographique :

[2] : Taibi Boumedyen.Omar Belkheir Djaoued.Ayad Sidi Mohamed," L'approche multicritère et la prise de décision ", Université de Saida et Tlemcen .PDF

[3] : Nadia Lehoux , Pascale Vallée, "ANALYSE MULTICRITÈRE" , novembre 2004 ,PDF.

[4] : Philippe Lenca, "Aide multicritère à la décision Méthodes de surclassement", Bretagne Department lussi, September 2004 PDF.

[6] : Dorra Ayadi. OPTIMISATION MULTICRITERE DE LA FIABILITE : APPLICATION DU MODELE DE GOAL PROGRAMMING AVEC LES FONCTIONS DE SATISFACTIONS DANS L'INDUSTRIE DE TRAITEMENT DE GAZ. Autre. Universit\_e d'Angers, 2010. Français.PDF.

[8] : S. Chakhar. "Cartographie décisionnelle multicritère : Formalisation et implémentation Informatique". PhD thesis, Université Paris Dauphine, Paris, France, (2006) PDF.

[10] : R. Balzarini, P.A Davoine et M. Ney. "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 (2012).pdf.

[11] : Salem Chakhar. CARTOGRAPHIE DECISIONNELLE MULTICRITERE FORMALISATION ET IMPLEMENTATION INFORMATIQUE. Autre [cs.OH]. Université Paris Dauphine - Paris IX, 2006. Français. PDF.

[13] : Aissa Taibi, Baghdad Atmani, Système d'Aide à la Décision Multicritères pour le Rangement des Zones Industrielles (RPRO4SIGZI), Laboratoire d'Informatique d'Oran.