



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université ABDELHAMID IBN BADIS de Mostaganem  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département d'Agronomie



# THÈSE

DE DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Écosystèmes Méditerranéens et Géomatique appliquée

Présentée par

Mr HAMADOUCHE Mohamed Amine

Sous le thème :

**Outils spatiaux et analyse multicritère : Application à la gestion des parcs nationaux de l'Ahaggar et Tassili (Algérie)**

*Composition du jury de soutenance*

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
LOTMANI Brahim	Professeur	Président du jury	Université de Mostaganem
BELKHODJA Moulay	Professeur	Examineur	Université d'Oran Es-Sénia
MENDAS Abdelkader	Directeur de Recherche	Examineur	Centre des Techniques Spatiales d'Arzew
LARID Mohamed	MCA,	Examineur	Université de Mostaganem
MEDERBAL Khaladi	Professeur	Directeur de thèse	Université de Tiaret
KOURI Lakhdar	Professeur	Co-Directeur de thèse	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2014-2015



# Remerciements

Mes vifs remerciements vont d'abord à mes directeurs de thèse, les professeurs MEDERBAL Khaladi et KOURI Lakhdar, pour leur suivi, soutien et conseils judicieux tout au long de cette thèse.

Mes meilleurs remerciements vont au professeur LOTMANI Brahim (Université de Mostaganem) d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance

Mes meilleurs remerciements vont aux professeurs : BELKHODJA Moulay (Université d'Oran Es-Sénia), LARID Mohamed (Université de Mostaganem) et Mendas Abdelkader (Directeur de Recherche, CTS d'Arzew), d'avoir accepté de rapporter ce travail de recherche.

Le Dr. MENDAS, était mon encadreur de Magister (ex CNTS), c'est grâce à lui que j'ai entamé l'approche d'analyse multicritère et ces grâce à ces encouragements et ces conseils pertinents que j'ai pris un bagage important dans cette discipline.

Mes meilleurs remerciements vont également aux collègues FEKIR Youcef, ANTEUR Djamel qui sont membre de notre équipe de recherche sur l'analyse des données de l'environnement et l'apport de la géomatique qui m'a apporté beaucoup de choses.

Mes meilleurs remerciements vont aux collègues doctorants Driss Miloud, Oulha Ramdhane qui sont membre de l'équipe de recherche sur la sécurité routière, pour leurs collaborations intimes dans les travaux de recherche et encadrement.

Mes remerciement s'adresse au docteur CHOUIEB (Université de Mostaganem), professeur BRAHIMI Kouider pour leurs encouragements à chaque rencontre.

Les enseignantes de la langue Anglaise, Mme MAZOUZI Hassiba, Mlle Moukadem, à l'Université de Mascara sont également sollicitées par mes vifs remerciements pour l'aide apportée à la rédaction de mon article.

Mes remerciements vont également aux professeurs RUDANT Jeu-paul, Dr. FRISON Pierre-Louis (université Marne-La-Vallée Paris, France), JOSA Ramon, (université polytechnique de Catalogne, Barcelone, Espagne) pour l'accueil au niveau de ses laboratoires.

Je remercie aussi l'ensemble des personelles du centre bibliographique au niveau de l'institut Méditerranéenne d'Agronomie de Montpellier, notamment Mme FERRIER, Mme ADAMOLLE Cécile, SARRADE Rafaèle, POUTAILLEAU Dominique pour leur chaleureux accueil et soutien durant mon séjour.

Je remercie infiniment mes collègues les doctorants BENABIZA Dahou, BENKHALAF ALLAH Adda, BOUHAFSE Mustapha, YAKOUR Ahmed pour ses encouragements et soutien morale durant toute la période de la réalisation de ce travail de recherche.

Il se peut que j'ai oublié quelques personnes qui m'ont aidé toute au long de ce travail de recherche. Qu'ils retrouvent ici mes meilleures reconnaissances et mes sincères et profondes excuses.

## Résumé

La diminution de la diversité biologique menace notre sécurité alimentaire, nos ressources en bois, en médicaments et en énergie, notre santé ainsi que les activités de loisirs et de tourisme. Vers une crise majeure, le rythme de la disparition des espèces ne cesse de s'accroître, malgré les mesures de protection mises en œuvre. Ainsi, ces menaces sont largement attribuées à la pression que l'homme exerce sur son environnement à travers ses activités.

Le formidable héritage en art rupestre, les nombreux sites archéologiques et la richesse biologique sont la preuve que les régions de l'Ahaggar et du Tassili n'Azjer ont été occupées depuis très longtemps. L'importance de ce patrimoine naturel et culturel pour l'humanité a été révélée par la promulgation des textes créant les Parcs culturels du Tassili et de l'Ahaggar. Elles recèlent, également, des richesses architecturales qui attestent l'existence d'une civilisation citadine à Djanet, Iherir, Silet, Abalessa, etc.

La géomatique offre des outils puissants de traitement de l'information géographique dans le temps et dans l'espace. La géomatique vient ainsi appuyer le processus de décision et pave la voie à une gestion plus efficace et plus éclairée.

Les systèmes d'information géographique (SIG) actuels fournissent des informations insuffisantes, particulièrement au niveau stratégique. L'analyse multicritère (AMC) est adaptée à l'évaluation des différents impacts, quantitatifs ou qualitatifs, relatifs à des projets d'envergures ; elle est également appropriée aux processus décisionnels correspondant à des choix collectifs où les points de vue sont contradictoires. C'est pourquoi l'intégration des SIG et d'analyse multicritère constitue l'une des solutions optimales pour faire combler les insuffisances des SIG en tant qu'outil d'aide à la décision.

La présente recherche vise globalement à démontrer l'efficacité de l'utilisation des différents outils de la géomatique (outils spatiaux) notamment les SIG, les BDG (base de données géographique) et les approches de la télédétection et d'autre part les méthodes d'AMC au profil de la gestion et le suivi de la biodiversité dans les deux parcs culturels de l'Ahaggar et du Tassili (Algérie)

**Mots clés :** Géomatique, analyse multicritère, préservation de la biodiversité, Ahaggar, Tassili.

## Abstract

The decrease of biodiversity threatens our food safety, our wood resources, in medicines and energy uses, our health as well as the spare-time activities and tourism. Toward a major crisis, the rate of species extinction keeps getting accelerate, despite the protective measures implemented. So these threats are broadly caused by pressure that man exerted on its environment through its activities.

The formidable heritage in rupestral art, the many archeological sites and the biological richness are the proof that the areas of the Ahaggar and Tassili were occupied for so long time. The importance of this natural and cultural heritage for humanity has been revealed by the promulgation of the texts creating cropping Parks Tassili and the Ahaggar. They contain, also, architectural treasures that attest the existence of civilization in Djanet, Iherir, Silet, Abalessa, etc.

Geomatic provides powerful tools for processing of geographic information in time and space, it supports the decision-making process and paves the way for a more effective and enlightened management.

Geographic information systems (GIS) provide insufficient information, particularly at the strategic level. Multi-criteria analysis (MCA) is adapted to evaluate the different impacts, quantitative or qualitative, relating to major projects; it is also appropriate to decision-making in collective choices corresponding to where the points of views are contradictory. This is why the integration of GIS and multi-criteria analysis is one of the optimal solutions to make fill insufficient of GIS as a tool for decision-making aid.

Present research aims overall at showing the effectiveness of the use of the various geomatic's tools (spatial tools) in particular the GIS technology, the Geographical database (GDB) and the remote sensing technics, and in addition the multicriteria analysis methods to the profile of management and the monitoring the biodiversity in the two famous parks of Ahaggar and the Tassili (Algeria).

**Keys words:** Geomatic, Multicriteria analysis, biodiversity preservation, Ahaggar, tassili.

## ملخص

يوفر التنوع البيولوجي الأساس للحياة على الأرض. إذ تساهم الأنواع البرية والحيوانات داخلها مساهمات كبيرة في تطور الزراعة والطب والصناعة. ان تدهور التنوع البيولوجي يهدد الأمن الغذائي، وكذا الموارد المختلفة من الأخشاب، الأدوية، الطاقة، والسلامة الصحية للأفراد، إضافة الى الوسائل الترفيهية والسياحة. فعلى الرغم من التدابير الوقائية المتنوعة التي اتخذتها معظم دول العالم من أجل صون هذه الثروة البيولوجية، فإن معدل انقراض الأنواع المختلفة من الكائنات يستمر بوتيرة متسارعة تؤدي حتما الى وقوع كوارث و أزمات كبيرة. هذا و أن معظم التهديدات سببها الاستغلال و الاستعمال المفرط لهذه الثروة من خرف الانسان بأنشطته المختلفة.

ان التراث عظيم في فن النقش على الصخور، والعديد من المواقع الأثرية وكذا التنوع البيولوجي الهائل لأعظم دليل على أن مناخق الهقار والتاسيلي قد عمرت منذ آلاف السنين. ونظرا لأهمية هذا التراث الطبيعي والثقافي للانسان و عامة لحياة مختلف الكائنات، فقد صدرت نصوص قانونية لإنشاء و تسيير الحظائر الثقافية لتاسيلي والهقار. و تحتوي هذه الحظائر، أيضا، كنوز معمارية و أثرية ذات أهمية عالمية و التي تثبت وجود حضارات مدنية عبر التاريخ في هذه المناخق كجانت، ايهيرير، سيلات و أبالسة، الخ تعتبر الجيوماتيك كنظام يتوفر على أدوات قوية لمعالجة المعلومات الجغرافية في الزمان والمكان. وبالتالي فإن استعمال تقنيات الجيوماتيك يدعم عملية اتخاذ القرار ويمهد الطريق لإدارة أكثر فعالية ووضوح.

تعتبر نظم المعلومات الجغرافية كأداة قوية لتخزين و تحليل مجموعة هائلة من المعلومات الجغرافية، إلا أنها لا توفر أدوات كافية، لحل المشكلات لا سيما على المستوى الاستراتيجي. في هذا السياق، تستعمل تقنية التحليل المتعدد معايير لتقييم التأثيرات الكمية و النوعية في مشاريع رئيسية لاتخاذ القرار؛ بل هي شائعة الاستعمال صنع القرارات ذات الاختيارات الجماعية و التي تتصف عادة بوجهات النظر المتناقضة.لهذه المميزات الدافع الرئيسي لضرورة الاستعمال المتكامل بين نظم المعلومات الجغرافية و خرق التحليل تحت معايير متعددة لأجل معالجة النقائص الملحوظة لنظم المعلومات الجغرافية كأداة لدعم اتخاذ القرار.

تهدف هذه الدراسة إلى إثبات فعالية استخدام الأدوات المختلفة التي توفرها الجيوماتيك بما في ذلك نظم المعلومات الجغرافية، قواعد البيانات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد وتقنيات أخرى كطرق التحليل المتعدد المعايير و هذا لغرض دراسة و متابعة التنوع البيولوجي في حظيرتي الهقار و التاسيلي بالجنوب الجزائري.

**كلمات مفتاحية:** جيوماتيك، التحليل المتعدد المعايير، حماية التنوع البيولوجي، الهقار، التاسيلي.

## Tables des matières

Table des figures .....	x
Liste des tableaux.....	xii
Liste des acronymes .....	xiii
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Biodiversité et gestion du territoire.....</b>	<b>5</b>
1.1 Introduction.....	5
1.2 La biodiversité ; c'est quoi ? .....	6
1.2.1 De quoi est constitué le Patrimoine Biologique ?.....	6
1.2.2 La biodiversité est-elle menacée ?.....	7
1.2.3 Les causes d'extinction .....	7
1.2.4 Liste Rouge de l'UICN .....	8
1.3 L'utilité de la biodiversité.....	9
1.4 Problématique et enjeux.....	13
1.4.1 De notre vision du monde.....	13
1.4.2 Des enjeux territoriaux complexes.....	13
1.4.3 Vers une meilleure Gestion du territoire .....	14
1.4.3.1 Développement durable.....	15
1.4.3.2 Convention de Rio .....	15
1.4.3.3 Convention sur la diversité biologique .....	16
1.4.3.4 Sites Ramsar.....	17
1.5 Conservation de la biodiversité.....	18
1.6 Apport des nouvelles technologies.....	19
1.7 Un besoin en information .....	19
1.8 Le choix du meilleur (la négociation).....	20
1.9 Conclusion.....	21
<b>2 Apport possible de l'outil géomatique.....</b>	<b>22</b>
2.1 Introduction.....	22
2.2 Géomatique.....	23
2.2.1 Définitions et typologie.....	23
2.2.2 Notions de base.....	23
2.2.3 Métiers de la géomatique .....	24
2.2.4 Domaines d'application (utilisation).....	24
2.2.4.1 Prévention des risques.....	25
2.2.4.2 Environnement et développement durable.....	25
2.2.4.3 Aménagement de territoire .....	25
2.2.4.4 Géolocalisation .....	25

2.2.4.5	Aide à la prise de décision .....	26
2.3	Bases de données à référence spatiales .....	26
2.3.1	Définitions .....	26
2.3.2	Caractéristiques des BDG .....	27
2.3.3	Information géographique.....	27
2.3.4	Qualité de données .....	28
2.4	Système d'Information Géographique.....	29
2.4.1	Introduction .....	29
2.4.2	Définitions .....	30
2.4.3	Notions de base .....	31
2.4.4	Fonctionnalités d'un SIG .....	31
2.4.4.1	Abstraction.....	31
2.4.4.2	Acquisition des données .....	32
2.4.4.3	Archivage .....	34
2.4.4.4	Analyse .....	34
2.4.4.5	Affichage.....	35
2.4.5	Structuration de l'information géographique .....	37
2.4.5.1	Les données graphiques.....	37
2.4.5.2	Comparaison entre le mode vecteur et raster .....	39
2.4.6	Les SIG ; outil d'aide à la prise de décision .....	40
2.5	Télédétection.....	41
2.5.1	Introduction .....	41
2.5.2	Définition.....	42
2.5.3	Acquisition de données .....	42
2.5.3.1	Spectre électromagnétique .....	42
2.5.3.2	Images de Télédétection.....	44
2.5.4	Traitements d'images .....	45
2.5.4.1	Corrections géométriques.....	45
2.5.4.2	Corrections radiométriques .....	45
2.5.4.3	Améliorations de contraste.....	46
2.5.4.4	Filtrages.....	46
2.5.4.5	Composition colorée .....	46
2.5.4.6	Classification .....	47
2.5.4.7	Interprétation visuelle.....	47
2.5.4.8	Rapports spectraux.....	48
2.5.4.9	Analyse en composantes principales.....	51
2.5.4.10	Combinaison des images.....	52
2.6	Produits dérivés .....	52
2.6.1	Modèle Numérique de Terrain.....	52
2.6.1.1	MNT raster.....	53
2.6.1.2	MNT vecteur.....	54

2.6.1.3	Précision d'un MNT .....	54
2.6.1.4	Informations dérivées.....	54
2.6.2	Spatiocarte.....	54
2.6.2.1	Introduction.....	54
2.6.2.2	Définition .....	54
2.6.2.3	Étapes de fabrication de spatiocarte.....	55
2.6.2.4	Objectifs des spatiocartes.....	55
2.7	Conclusion.....	57
<b>3</b>	<b>Processus d'aide à la décision .....</b>	<b>58</b>
3.1	Introduction.....	58
3.2	Évolution historique .....	59
3.3	Fondements et éléments méthodologiques de l'aide à la décision .....	59
3.3.1	Décision.....	59
3.3.2	Types de décision.....	60
3.3.3	Déroulement du processus de décision.....	62
3.3.3.1	Étape de la recherche d'information (intelligence en anglais).....	62
3.3.3.2	Étapes de la conception (design).....	63
3.3.3.3	Étape du choix d'une solution .....	63
3.3.3.4	Étape d'implantation .....	64
3.3.4	Sources de prise de décision.....	64
3.4	Aide à la décision .....	66
3.4.1	Définition.....	66
3.4.2	Subjectivité de la décision .....	66
3.4.3	Optimisation d'une solution .....	66
3.5	Approches multicritères d'aide à la décision .....	68
3.5.1	Définition.....	69
3.5.2	Problématiques des approches multicritères.....	69
3.5.2.1	Problématique $\alpha$ (alpha).....	70
3.5.2.2	Problématique $\beta$ (bêta) .....	71
3.5.2.3	Problématique $\gamma$ (gamma).....	71
3.5.2.4	Problématique $\delta$ (delta).....	72
3.5.3	Formulation multicritère d'un problème de décision .....	72
3.5.4	Objectifs des méthodes d'analyse multicritère.....	73
3.5.5	Méthodes d'analyse multicritère.....	74
3.5.5.1	Méthodes sans compensation.....	74
3.5.5.2	Méthodes par agrégation complète (Top-down approach).....	74
3.5.5.3	Méthodes par agrégation partielle (Bottom-up approach).....	75
3.5.5.4	Méthodes par agrégation locale .....	76
3.6	Choix d'une méthode multicritère d'aide à la décision.....	77
3.7	Méthodes de surclassement.....	77
3.7.1	Définition.....	77

3.7.2	Pourquoi les méthodes de surclassement ? .....	78
3.7.3	Paramètres subjectifs des méthodes de surclassement .....	78
3.7.3.1	Acteurs.....	78
3.7.3.2	Actions.....	79
3.7.3.3	Critères.....	79
3.7.4	Pondération des critères.....	80
3.7.4.1	Méthode de SIMOS .....	81
3.7.4.2	Echelle de Saaty .....	81
3.7.5	Pouvoir discriminant des critères.....	81
3.7.6	Modélisation des préférences.....	84
3.8	Les méthodes ELECTRE.....	85
3.8.1	ELECTRE I.....	85
3.8.1.1	Indice de concordance.....	86
3.8.1.2	Indice de discordance.....	86
3.8.2	ELECTRE Is.....	88
3.8.3	ELECTRE II.....	90
3.8.4	ELECTRE III.....	90
3.8.5	ELECTRE IV.....	92
3.8.6	ELECTRE Tri.....	93
3.8.6.1	Actions de référence .....	94
3.8.6.2	Le tri .....	95
3.8.7	Méthode PROMETHEE.....	99
3.9	Caractéristiques des méthodes de surclassement.....	102
3.10	Quelle méthode ELECTRE pour quelle problématique ?.....	103
3.11	Processus d'aide à la décision.....	104
3.12	Conclusion.....	105
<b>4</b>	<b>Présentation de la zone d'étude .....</b>	<b>106</b>
4.1	Introduction.....	106
4.2	Parc culturel de l'Ahaggar .....	108
4.2.1	Cadre géographique.....	108
4.2.2	Géologie, physiographie, géomorphologie.....	112
4.2.3	Hydrographie .....	113
4.2.4	Milieu socioéconomique.....	114
4.2.5	Population de l'Ahaggar .....	117
4.3	Parc culturel de Tassili .....	118
4.3.1	Cadre géographique.....	118
4.3.2	Historique .....	121
4.3.3	Géologie, physiographie, géomorphologie.....	121
4.3.4	Hydrologie.....	121
4.3.5	Milieu socioéconomique.....	122
4.4	Climat et bioclimat .....	123

4.4.1	Précipitations.....	123
4.4.2	Températures.....	125
4.5	Milieu biotique.....	127
4.6	Présentation des sites d'étude.....	130
4.7	Conclusion.....	135
<b>5</b>	<b>Approche d'intégration SIG-AMC.....</b>	<b>137</b>
5.1	Introduction.....	137
5.2	Spécificités des problèmes spatiaux.....	138
5.3	Capacités des méthodes d'AMC.....	138
5.4	Limites du SIG en aide à la décision spatiale.....	139
5.5	Intérêts de l'intégration SIG-AMC.....	141
5.6	Revue de la littérature.....	143
5.6.1	Travaux publiés.....	144
5.6.2	Modèles développés.....	144
5.7	Schéma conceptuel d'intégration.....	145
5.8	Modes d'intégration.....	146
5.8.1.1	Pas d'intégration.....	146
5.8.1.2	Intégration indirecte.....	147
5.8.1.3	Mise en place d'une plate-forme commune (encastrée).....	148
5.8.1.4	Intégration complète.....	148
5.9	Limites des travaux d'intégration SIG-AMC.....	150
5.10	Domaines d'application.....	151
5.11	Choix de la méthode.....	152
5.12	Approche proposée.....	153
5.13	Conclusion.....	155
<b>6</b>	<b>SIG-AMC, outil pour la préservation de la biodiversité au parc culturel de l'Ahaggar.....</b>	<b>156</b>
6.1	Introduction.....	156
6.2	Spécificités.....	157
6.3	Approches méthodologiques.....	158
6.4	SIG-AMC et la référence spatiale du problème.....	159
6.5	SIG appliqués à la conservation de la biodiversité.....	159
6.6	Description du prototype.....	160
6.6.1	Logiciel utilisé.....	161
6.6.2	De nouvelles fonctionnalités.....	162
6.6.2.1	Fonctionnalité « AMC ».....	162
6.6.2.2	Fonctionnalité « Gestion Biodiversité ».....	163
6.7	Fonctionnement.....	164
6.7.1	Niveau de données.....	164
6.7.2	Niveau de traitement.....	168
6.7.3	Niveau d'interface.....	169
6.8	Étapes de déroulement du processus de traitement.....	169

6.9	Application à la préservation de la biodiversité .....	175
6.9.1	Zone d'étude.....	175
6.9.2	Spécificités environnementales et biodiversité .....	176
6.9.3	Préservation de la biodiversité.....	176
6.9.4	Base de données dédiée à la gestion de la biodiversité.....	177
6.9.5	Actions potentielles.....	179
6.9.6	Éventuelles causes de dégradation (critères).....	180
6.10	Résultats et discussions.....	182
6.11	Analyse de sensibilité .....	189
6.12	Conclusion.....	190
<b>7</b>	<b>SIG et télédétection pour la gestion et le suivi de la biodiversité .....</b>	<b>192</b>
7.1	Introduction.....	192
7.2	Approches méthodologiques.....	193
7.3	Sites d'étude.....	194
7.4	Données utilisées.....	195
7.4.1	Cartes topographiques .....	195
7.4.2	Images satellitaires.....	196
7.4.3	Prétraitement des données brutes.....	198
7.4.3.1	Corrections géométriques.....	198
7.4.3.2	Corrections radiométriques .....	199
7.5	Traitements numériques des images satellitaires.....	201
7.5.1	L'amélioration dynamique.....	201
7.5.2	Cartographie de la végétation.....	203
7.6	Création des néocanaux et traitements .....	205
7.6.1	Site de Tamanrasset.....	205
7.6.1.1	Compositions colorées.....	205
7.6.1.2	Indice de végétation et les indices dérivés.....	206
7.6.1.3	Indice de brillance.....	207
7.6.1.4	Détection des changements.....	208
7.6.1.5	Classification.....	211
7.6.2	Site de Djanet.....	213
7.6.2.1	Suivi de la végétation.....	213
7.6.2.2	Détection des changements.....	213
7.6.2.3	Classification.....	214
7.6.3	Site d'Illizi.....	214
7.6.3.1	Cartographie de la végétation .....	214
7.6.3.2	Classification .....	217
7.7	Conclusion.....	218
	<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>	<b>219</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>224</b>
	Annexes.....	242

## Table des figures

Figure 1-1 Décomposition de la valeur totale de la biodiversité .....	11
Figure 2-1 Modélisation du monde réel.....	32
Figure 2-2 Les fonctions d'un SIG.....	36
Figure 2-3 Modes de représentation de l'information géographique.....	37
Figure 2-4 Primitives élémentaires dans le mode vecteur .....	38
Figure 2-5 Lien dynamique entre objet géométriques et son attribut.....	39
Figure 2-6 Les SIG comme outils d'aide à la prise de décision .....	41
Figure 2-7 Signatures spectrales des objets.....	43
Figure 2-8 Étapes de réalisation d'une spatiocarte.....	56
Figure 3-1 Pyramide de décision .....	61
Figure 3-2 Relation de classification des types de décision .....	61
Figure 3-3 Mécanisme de la prise de décision de Simon.....	65
Figure 3-4 Problématique de choix (alpha).....	70
Figure 3-5 Problématique bêta (tri).....	71
Figure 3-6 Problématique gamma (rangement).....	71
Figure 3-7 Echelle de Saaty.....	81
Figure 3-8 Préférence et indifférence pour un vrai-critère .....	82
Figure 3-9 Préférence et indifférence pour un quasi- critère "seuil constant".....	82
Figure 3-10 Préférence et indifférence pour un quasi-critère "seuil variable".....	82
Figure 3-11 Préférence et indifférence pour un pseudo-critère "seuil variable".....	83
Figure 3-12 Préférence, indifférence et incomparabilité .....	85
Figure 3-13 Détermination du noyau.....	86
Figure 3-14 Exemple d'un graphe des relations de surclassement .....	89
Figure 3-15 ELECTRE IV : une nouvelle relation (meilleur que).....	92
Figure 3-16 Situation des actions de référence pour un exemple de 03 catégories .....	94
Figure 3-17 Pseudo critère, surclassement unicritère, référence floue entre deux catégories.....	95
Figure 3-18 Flux sortant et entrant d'une action .....	101
Figure 3-19 Choix de la méthode ELECTRE suivant la problématique et les critères .....	103
Figure 3-20 Procédures de choix d'une méthode ELECTRE.....	104
Figure 3-21 Déroulement du processus d'aide à la décision.....	105
Figure 4-1 Parc culturel de l'Ahaggar (localisation et MNT).....	110
Figure 4-2 Les subdivisions naturelles du Hoggar selon le Père de Foucauld (Halem, 1990).....	111
Figure 4-3 Les déplacements des différentes tribus Azjer.....	116
Figure 4-4 Parc culturel de Tassili (localisation et MNT).....	119
Figure 4-5 Le Tassili Azjer.....	120
Figure 4-6 Variation interannuelle de la pluviométrie moyenne annuelle à Tamanrasset de 1925 à 1997 <i>Source. ONM</i> .....	123
Figure 4-7 Répartition des précipitations moyennes mensuelles à Tamanrasset (1930 à 1999). <i>Source. ONM</i> .....	124

Figure 4-8 Répartition des températures moyennes annuelles (M et m) à Tamanrasset (1951-1997).	125
Figure 4-9 Répartition des températures moyennes mensuelles (M et m) à Tamanrasset (1951-1999)	126
Figure 4-10 Sites d'étude -Région de Tamanrasset-	132
Figure 5-1 : Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC	145
Figure 5-2 Aucune interaction entre les deux outils	147
Figure 5-3 Intégration indirecte	148
Figure 5-4 Mise en place d'une plate forme commune.	149
Figure 5-5 Intégration complète	149
Figure 5-6 Démarche de prise de décision avec l'approche développée.	154
Figure 6-1 Le Système d'Aide à la Décision A Référence Spatiale	162
Figure 6-2 Modèle conceptuel de la BD décisionnelle	167
Figure 6-3 Primitives de base dans la représentation des données	168
Figure 6-4 Étapes de traitement sous SADARS	170
Figure 6-5 Sites d'étude	175
Figure 6-6 Occupation du sol - région de Tamanrasset-	178
Figure 6-7 la carte des pentes - région de Tamanrasset -	179
Figure 6-8 Affectation optimiste -Electre Tri	185
Figure 6-9 Affectation pessimiste -Electre Tri	186
Figure 6-10 Classement par Electre III	187
Figure 6-11 Classement par Prométhée	188
Figure 6-12 Résultats de l'analyse de sensibilité	190
Figure 7-1 Sites d'étude (Tamanrasset, Djanet, Illizi)	195
Figure 7-2 Mosaique et liaison des images et cartes topographiques	198
Figure 7-3 Amélioration de la dynamique (bande TM4), région de Tamanrasset.	202
Figure 7-4 Méthodologie adoptée	204
Figure 7-5 Composition colorée (TM1, TM4, TM7)	205
Figure 7-6 L'indice de végétation normalisé (1990 et 2010)	206
Figure 7-7 Changements détectés par l'indice NDVI (1990-2010)	208
Figure 7-8 Changements détectés par l'indice MSAVI2 (1990-2010)	209
Figure 7-9 Changements détectés par l'indice SAVI (1990-2010)	210
Figure 7-10 Changements détectés par l'indice TNDVI (1990-2010)	210
Figure 7-11 Analyse comparative des indices de végétation	211
Figure 7-12 Carte d'occupation du sol 2010 (classification non-supervisée)	212
Figure 7-13 Détection des changements 1986-2010 (Djanet)	214
Figure 7-14 Occupation de sol région de Djanet 2010	215
Figure 7-15 Surfaces allouées aux trois classes	216
Figure 7-16 Occupation de sol région d'Illizi 2010	217

## Liste des tableaux

Tableau 2-1 Comparaison entre le mode raster et vecteur.....	40
Tableau 2-2 Résolution spatiale des satellites les plus courants .....	44
Tableau 3-1 <i>Problématiques des approches multicritères</i> .....	70
Tableau 3-2 Différents types de critères .....	83
Tableau 3-3 Modèles de préférence .....	84
Tableau 3-4 Modèles de surclassement.....	84
Tableau 3-5 Différents niveaux de surclassement de la méthode ELECTRE IV.....	93
Tableau 3-6 Fonctions de préférence .....	100
Tableau 3-7 Différentes caractéristiques des méthodes de surclassement.....	102
Tableau 3-8 Résumé des caractéristiques principales des méthodes ELECTRE.....	103
Tableau 4-1 Moyenne annuelle des pluies (mm/an) .....	124
Tableau 4-2 Valeur des températures de quelques stations (en °c).....	127
Tableau 6-1 Composantes du module d'AMC.....	163
Tableau 6-2 Composantes du module GesBiod .....	164
Tableau 6-3 Critères et ses informations subjectives.....	173
Tableau 6-4 Exemple d'évaluation de quatre actions % à six critères .....	173
Tableau 6-5 Valeurs qualitatives et quantitatives.....	174
Tableau 6-6 Échelles utilisées.....	174
Tableau 6-7 Évaluation des actions de référence utilisées .....	174
Tableau 6-8 Liste des critères avec éventuellement les poids associés.....	180
Tableau 6-9 Paramètres subjectives du processus décisionnel et l'évaluation des alternatives et les actions de référence .....	181
Tableau 6-10 Codification des critères qualitatifs.....	181
Tableau 6-11 Affectation des sites par les procédures optimiste et pessimiste, et le classement par les méthodes Prométhée (I et II) et Electre III.....	183
Tableau 7-1 Cartes topographiques utilisées.....	196
Tableau 7-2 Caractéristiques des images satellitaires couvrant la zone d'étude.....	196
Tableau 7-3 Caractéristique spectrales et spatiales dus capteur TM de Landsat .....	197
Tableau 7-4 les néocanaux utilisés .....	203
Tableau 7-5 Formules associées aux indices de végétation utilisés .....	207
Tableau 7-6 Détection des changements par les quatre indices (en %).....	213
Tableau 7-7 Les classes de végétation utilisées .....	215
Tableau 7-8 Caractéristiques du couvert végétal (2010).....	216

## Liste des acronymes

ACP :	Analyse en composantes principales.....	51
AML	Arc Macro Language.....	148
AMC	Analyse Multicritère.....	138
BDG :	Base de Données Géographique.....	165
BDRS :	Base de Données à Référence Spatiale.....	26, 27
CCD :	Charge Coupled Device.....	44
CNRPAH	Centre National de Recherches Préhistoriques, Antropologiques et Historiques.....	21
CRSTRA	Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides.....	21
CVI	Colour Vegetation Index.....	50
DVI	Differential vegetation Index.....	49
ESRI	Environmental Systems Research Intitute.....	148, 156
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus.....	193
GPS	Global Positionning System.....	33
GVI	Green vegetation index.....	50
IB :	Indice brihance.....	50
IG	Information Géographique.....	27
INCT	Institut National de Cartographie et de la Télédétection.....	33
INRF	Institut National de Recherches Forrestieres.....	21
IST	Intensité, Saturation et Teinte.....	52
LANDSAT	Le Système Américain d'observation de la terre.....	193
MCD	Modèle Conceptuel de Données.....	165
MNA	Modèle Numérique d'Altitude.....	52
MNT	Modèle Numérique de Terrain.....	52
MSI	Moisture Stress Index.....	50
MSS	MultiSpectral Scanner.....	193
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index.....	49
NDWI	Normalized Difference Water Index.....	50
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.....	12
PIR	Proche Infrarouge.....	49
PLL	Prelinked Library.....	148
RVB	Composition colorée (Rouge, Vert, Blue).....	52
RVI	Indice foliaire.....	49
SADARS	Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale.....	156
SAVI	Indice de végétation ajusté pour le sol.....	49
SGBD	Système de Gestion de Base de Données.....	34, 165
SIG	Système d'Information Géographique.....	136, 138

SIL	Système d'Information Localisable .....	30
SIRS	Système d'Information à Référence Spatiale.....	30
SIT	Système d'Information Territoriale .....	30
SPOT	Système probatoire d'observation de la Terre ou Satellite pour l'observation de la Terre	193
SRPZD	Station de Recherche sur la Protection des Zones Désertiques à Tamanrasset .....	21
TIN	Triangular Irregular Network .....	54
TM	Thematic Mapper .....	193
UICN	Union Internationale pour la Concervation de la Nature.....	8
VBA	Visual Basic for Applications .....	148

# Introduction générale

## Problématique

Les questions environnementales constituent les préoccupations majeures du monde d'aujourd'hui. L'utilisation que l'homme fait des ressources et du patrimoine légué est de plus en plus remise en question. Les activités humaines font peser sur l'environnement de nombreuses menaces qui se traduisent par la disparition des espèces, de leurs habitats et par la raréfaction et l'épuisement des ressources et la dégradation du patrimoine.

Ces menaces qui pèsent sur les paysages, les écosystèmes, les espèces, et le patrimoine en général, et qui sont identifiées, sont largement attribuées à la pression que l'homme exerce sur son environnement à travers ses activités. La réussite de l'homme en tant qu'espèce risque d'être remise en cause s'il ne parvient pas à assurer une gestion rationnelle des ressources qui constituent le support de sa vie et la source de son bien-être.

La rapidité des changements fait qu'il faut intervenir sans attendre, en priorité sur les actions les plus néfastes et orienter les efforts vers des objectifs à plus long terme. Aussi, des solutions sont recherchées à tous les niveaux de décision. Ainsi donc, pour répondre à ces préoccupations, différentes mesures voient le jour et se mettent en place. Ces mesures peuvent être économiques et/ou juridiques et réglementaires. Parmi celle-ci figurent les aires protégées.

Mais, généralement dans les territoires délimités en aires protégées, vivent des populations humaines. Ces dernières usent des richesses de ces territoires comme ressources dans leurs activités de survie. Or, ces mises en protection de territoires, décidées par des autorités politiques, sont souvent incomprises et mal respectées par les populations locales, voyant en elles des contraintes de plus dans leurs activités.

Aussi, de nouvelles orientations prennent forme, allant de la protection de la nature à la gestion de l'environnement qui concilie les diverses activités de protection, de développement et d'accueil sur un même territoire. La prise en compte de cette réalité complexe où existent plusieurs enjeux, fait des parcs des outils de développement durable et des terrains d'expérimentation privilégiée des mesures sectorielles de protection.

## **Objectif et méthodologie**

Les parcs nationaux constituent le maillon le plus important en matière de conservation in situ du réseau national d'aires protégées. Couvrant une superficie de plus de 50.000.000 d'hectares (Abdelguerfi, et al., 2003), les parcs nationaux qui existent en Algérie sont représentés dans tous les secteurs écologiques des domaines biogéographiques de l'Algérie.

Le formidable héritage en art rupestre, les nombreux sites archéologiques et la richesse biologique sont la preuve que les régions de l'Ahaggar et du Tassili n'Azjer ont été occupées depuis très longtemps. L'importance de ce patrimoine naturel et culturel pour l'humanité a été révélée par la promulgation des textes créant les Parcs Culturels du Tassili et de l'Ahaggar. Elles recèlent, également, des richesses architecturales qui attestent l'existence d'une civilisation citadine à Djanet, Iherir, Silet, Abalessa, etc.

Les problèmes décisionnels à référence spatiale se rapportent généralement à des systèmes hétérogènes où interagissent de nombreux facteurs différents. La maîtrise de la complexité de ces problèmes nécessite l'utilisation de méthodes, de techniques et d'outils d'analyse puissants, qui doivent non seulement gérer mais aussi analyser des données à référence spatiale d'origine et de nature diverses.

Grâce à la géomatique, le traitement de l'information géographique de base ou thématique devient plus convivial. Les techniques informatiques permettent d'analyser l'évolution des données dans le temps et dans l'espace, un avantage que les cartes traditionnelles n'ont pas. La géomatique vient ainsi appuyer le processus de décision et pave la voie à une gestion plus efficace et plus éclairée.

Un SIG peut être utilisé pour effectuer des mesures, de tester différentes hypothèses théoriques, et de développer également des modèles utiles pour essayer de trouver de nouvelles ressources basée sur l'analyse statistique en relation avec les données environnementales et culturelles.

La combinaison des données de différentes sources et de différents types que nous venons de décrire, ne constitue que la pointe de l'iceberg pour l'intégration de données et l'analyse. Dans un environnement numérique, où toutes les sources de données sont géométriquement liées à une base géographique commune, le potentiel pour l'extraction de l'information est très grand. Ceci définit le principe de l'analyse numérique dans un système d'information géographique (SIG). Toutes les données qui peuvent être repérées dans un système de coordonnées géographiques communes sont susceptibles d'être utilisées dans ce type d'environnement.

Plus particulièrement, les systèmes d'information géographique (SIG) actuels fournissent des informations insuffisantes, particulièrement au niveau stratégique. L'analyse multicritère (AMC) est adaptée à l'évaluation des différents impacts, quantitatifs ou qualitatifs, relatifs à des projets d'envergures ; elle est également appropriée aux processus décisionnels correspondant à des choix collectifs où les points de vue sont contradictoires. C'est pourquoi l'intégration des SIG et d'analyse multicritère constitue l'une des solutions optimales pour faire combler les insuffisances des SIG en tant qu'outil d'aide à la décision.

En effet, la fonction d'analyse spatiale du SIG contribue à l'évaluation des variantes selon les critères fixés par le décideur. Quant aux méthodes d'aide à la décision, elles permettent de faire la synthèse de ces informations pour en faciliter l'interprétation en vue d'une prise de décision. Par leurs fonctions d'agrégation spatiale, elles permettent de réduire l'ensemble des variantes pour la sélection des meilleures.

Ainsi le modèle développé (SADARS) basé sur l'utilisation combinée de l'outil SIG et les méthodes d'analyse multicritère a été enrichi par des nouvelles méthodes tel que Electre III, Prométhée I. afin de valider notre choix méthodologique, nous appliqués le modèle ainsi décrit à la problématique de préservation de la biodiversité au niveau du parc culturel de l'Ahaggar (Algérie).

La sélection des sites potentiellement exposés aux risques de dégradation des écosystèmes présente un moyen efficace, parmi plusieurs, pour la préservation de la biodiversité. En effet, cette démarche est basée sur l'évaluation des différents sites sur un ensemble étudié de causes de dégradation appelées critères dans cet optique.

### **Structure du document**

Ce document comporte sept chapitres dont une brève description est ci-après donnée :

*Le chapitre 1. Biodiversité et gestion du territoire.* Dans ce premier chapitre, nous définissons la biodiversité en sens large du terme tout en éclairant les principales causes de sa dégradation. Nous présentons par la suite l'utilité de cette richesse dans notre vie quotidienne et les mesures à prendre au profit de sa préservation notamment l'utilisation de nouvelles technologies.

*Le chapitre 2. Apport possible de l'outil géomatique.* A travers ce chapitre, nous présentons, les différents outils de la géomatique à savoir : les SIG, la télédétection et différents traitements appliqués. On tentera ainsi de procéder à une justification d'utiliser des outils récents comme les

SIG pour une gestion plus facile et organisée d'un volume de données important qui décrivent le territoire.

*Le chapitre 3. Processus d'aide à la décision.* Le troisième chapitre est une description du processus de décision. Nous donnons, ainsi, des définitions fréquemment utilisées dans le domaine de l'AMC tout en assurant de donner au lecteur une vue d'ensemble sur les fondements conceptuels et théoriques de l'aide multicritère à la décision en présentant ainsi les méthodes de surclassement (leurs algorithmes et les données nécessaires pour chaque méthode), l'objectif d'utiliser ces méthodes, les différentes problématiques traitées et justifier le choix de la méthode multicritère.

*Le chapitre 4. Présentation de la zone d'étude.* Dans ce chapitre, nous présentons les différentes caractéristiques de la zone d'étude à savoir : la géographie, la géologie, le climat, la faune, la flore et les données socio-économiques). Nous terminons le chapitre par la présentation des sites d'étude retenus pour le cas de la présente application.

*Le chapitre 5. Approche d'intégration SIG-AMC.* Dans ce chapitre, nous commençons par identifier les spécificités des problèmes de décision à référence spatiale. Puis, nous introduisons les deux champs d'études : les systèmes d'information géographiques et l'analyse multicritère. Nous présentons par la suite un extrait des travaux d'intégration SIG-AMC. Nous terminons ce chapitre par dresser une liste des limites dans ces travaux.

*Le chapitre 6. SIG-AMC, outil pour la préservation de la biodiversité au parc culturel de l'Ahaggar.* Le chapitre 6 est consacré à la réalisation de l'intégration préconisée sous la forme d'un modèle d'aide à la décision qui fonctionnera sous le logiciel SIG ArcView 3.2 d'ESRI. En effet, une application qui porte sur la sélection des sites potentiellement exposés aux risques de dégradation des écosystèmes présente un moyen efficace, parmi plusieurs, pour la préservation de la biodiversité est présentée. Nous terminons par une phase de discussion et interprétation des résultats.

*Le chapitre 7. SIG et Télédétection pour la gestion et le suivi de la biodiversité.* Ce chapitre représente une autre démarche méthodologique basée sur l'apport des données de la télédétection (multi-sources et multi-dates) dans un SIG pour le suivi de la végétation aux parcs de l'Ahaggar et Tassili. Une approche basée sur l'intégration de plusieurs indices pour la détection des changements positifs et négatifs ainsi que le suivi spatiotemporel du couvert végétal.

# Chapitre

# 1

## Biodiversité et gestion du territoire

### Sommaire

1.1	Introduction .....	5
1.2	La biodiversité ; c'est quoi ?.....	6
1.3	L'utilité de la biodiversité.....	9
1.4	Problématique et enjeux .....	13
1.5	Conservation de la biodiversité.....	18
1.6	Apport des nouvelles technologies .....	19
1.7	Un besoin en information.....	19
1.8	Le choix du meilleur (la négociation).....	20
1.9	Conclusion.....	21

### 1.1 Introduction

Vu l'augmentation importante de la population, les demandes multiples de terrains pour l'habitat, le travail et les transports, et le comportement humain, la nature (le territoire) a subi des grandes modifications qui, malheureusement dans plusieurs cas, donnent une mauvaise image au territoire ; dégradation des sites touristiques, implantation des nouvelles infrastructures sans prendre en compte leur impact sur la gestion courante du territoire et l'environnement.

A tous les niveaux de décision, les questions environnementales deviennent de plus en plus préoccupantes. De nombreuses menaces, largement attribuées aux pressions exercées par l'homme à travers ses activités, pèsent sur les paysages, les écosystèmes, les espèces et le patrimoine en général. Des solutions sont recherchées à tous les niveaux de décision pour y remédier.

Durant la dernière décennie, la population et les organes politiques concernés ont pris conscience de la protection de l'environnement, cet aspect de gestion du territoire est ainsi devenu incontournable.

## 1.2 La biodiversité ; c'est quoi ?

C'est la richesse des formes de vie sur terre (plantes, animaux, être humains, champignons, bactéries, virus,...), les communautés formées par ces espèces et les habitats dans lesquels ils vivent, ils sont génétiquement différentes et qui sont à la base de nombreux produits nécessaires à la société humaine (alimentaires, thérapeutiques, économiques,...).

La vie sur terre comprend trois aspects interdépendants : (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Qu-est-ce-que-la-biodiversite,19290.html>)

- la **diversité des espèces** (dont l'espèce humaine). On estime aujourd'hui à plus de 10 millions le nombre d'espèces d'êtres multicellulaires, mais seulement 1,8 millions ont déjà été identifiées,
- la **diversité des individus** (diversité des gènes) au sein de chaque espèce,
- la **diversité des milieux de vie** (écosystèmes) : des océans, prairies, forêts... au contenu des cellules (des parasites peuvent notamment y vivre) en passant par la mare au fond du jardin...

La biodiversité est le produit de plus de 3 milliards d'années d'évolution et constitue un patrimoine naturel et une ressource vitale dont l'humanité dépend de multiples façons.

L'humanité est confrontée à une phase d'extinction des espèces en évolution dont certaines sont sérieusement menacées. De tous les problèmes mondiaux, c'est celui-là qui évolue le plus rapidement et qui aura les répercussions les plus graves parce qu'il est totalement irréversible.

Une collaboration et une solidarité internationales s'imposent en vue de la résolution de problèmes communs comme la menace sur la biodiversité.

### 1.2.1 De quoi est constitué le Patrimoine Biologique ?

- Les milliers d'espèces végétales nord africaines constituent pour la plupart des ressources génétiques dont certaines sont des cas de spéciation à l'échelle planétaire. Certaines sont d'intérêt économique pour être cultivables, oléagineuses, fourragères, aromatiques, médicinales et ornementales.
- La diversité faunistique en Afrique du Nord est remarquable par la représentativité des mammifères, oiseaux, reptiles et poissons parfois menacés d'extinction.
- Les micro-organismes utiles comme ceux qui vivent dans le sol et y favorisent certaines réactions comme la transformation de composés azotés insolubles ou d'autres solubles donc disponibles pour les plantes qui les absorbent avec l'eau.

### 1.2.2 La biodiversité est-elle menacée ?

L'incroyable expansion de l'espèce humaine au cours des derniers siècles a provoqué la disparition de nombreuses espèces animales et végétales. Cette disparition en masse est qualifiée de sixième<sup>1</sup> crise d'extinction. Sa particularité par rapport aux précédentes est sa vitesse 1000 à 10 000 fois plus rapide et qui ne cesse de s'accroître de façon exponentielle, mais aussi qu'elle est due à la réussite d'une seule espèce, l'Homme, qui occasionne la disparition de toutes les autres.

L'altération par les hommes de leur environnement a des effets sans précédent sur la distribution et l'abondance des espèces, sur les écosystèmes et sur la variabilité génétique des organismes.

### 1.2.3 Les causes d'extinction

#### • Les facteurs environnementaux

Les causes primaires de l'érosion de la biodiversité sont des facteurs de nature démographique, économique et institutionnelle, notamment une demande croissante de terres et de ressources biologiques suite à la croissance de la population humaine, de la production, de la consommation et du commercial mondial, associée à l'incapacité des personnes et des marchés à prendre en compte les conséquences à long terme des changements environnementaux et l'ensemble des valeurs de la biodiversité (Déclaration de Paris sur la biodiversité, 2005).

Les principales causes sont la perte et la fragmentation des habitats, les invasions biologiques, la surexploitation des espèces, la pollution et le réchauffement climatique. Ces facteurs agissent soit séparément soit de manière combinée, augmentant leur risque d'extinction. C'est le cas par exemple d'une espèce victime d'une perte d'habitat, donc par conséquent fragilisée, et qui sera exposée à une sur exploitation par l'homme.

L'extinction d'une espèce peut également être due à l'extinction d'une ou plusieurs espèces dont elles dépendent, on appelle ce phénomène la coextinction. Ce phénomène peut être illustré par l'exemple du Lynx ibérique qui s'est spécialisé sur la prédation du Lapin de garenne, et qui est aujourd'hui en danger critique d'extinction à cause de la chute des effectifs de sa proie. Plus de 6300 espèces seraient ainsi co-menacées à court terme et des systèmes écologiques entiers pourraient disparaître.

---

<sup>1</sup> La datation des fossiles nous permet de connaître la durée de vie des espèces passées. Nous savons désormais que depuis l'apparition de la vie il y a 3,8 milliards d'années, la Terre a connu **cinq grandes crises d'extinction** d'espèces, furent la conséquence de catastrophes géologiques (éruptions volcaniques...) ou astronomiques (chutes de météores), généralement suivies et amplifiées par des changements climatiques et, donc, écologiques. Beaucoup de scientifiques considèrent que nous vivons aujourd'hui **la sixième grande crise d'extinction** et qu'elle est due à l'action de l'espèce humaine (crise anthropique) sur son environnement.  
"[http://www.notre-planete.info/environnement/biodiversite/extinctions\\_massives.php](http://www.notre-planete.info/environnement/biodiversite/extinctions_massives.php)"

## • Le facteur humain

L'originalité de cette sixième crise d'extinction est son lien avec les activités humaines, mais également à son incroyable croissance qui occasionne des contraintes fortes sur les écosystèmes et les espèces.

Actuellement la terre abrite 6,6 milliards d'Hommes. Le temps de doublement de la population est actuellement de 35 ans ! S'il continuait sur le même rythme, la population humaine serait dans 900 ans de 60 milliards de personnes, soit 100 habitants par mètre carrés. Ce chiffre ne pourra évidemment pas être atteint mais il démontre que l'impact de l'homme sur le milieu naturel n'est pas prêt de diminuer et qu'il va au contraire s'accroître dans les années à venir si rien n'est fait. Il est donc important d'agir dès maintenant pour limiter cet impact.

### 1.2.4 Liste Rouge de l'UICN

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) établit chaque année une liste rouge des espèces menacées. La Liste rouge de l'UICN constitue l'inventaire mondial le plus complet de l'état de conservation global des espèces végétales et animales. Elle s'appuie sur une série de critères précis pour évaluer le risque d'extinction de milliers d'espèces et sous-espèces. Ces critères s'appliquent à toutes les espèces et à toutes les parties du monde (UICN). C'est ainsi qu'en 2006, 16 118 espèces sont menacées de disparition dans le monde. Ce bilan ne tient compte que des espèces qui ont été évaluées soit seulement un peu plus de 40 000 espèces sur les 1 560 000 décrites. 40 % des espèces évaluées par l'UICN sont donc menacées d'extinction et étant donné le nombre restreint d'espèces évaluées (2,5 %), il est fort probable que le nombre d'espèces menacées soit largement supérieur à 16 118. Les espèces menacées d'extinction sont donc certainement sous estimées, et ceci d'autant plus que la majorité de la biodiversité n'est pas encore connue, seules 1,5 million d'espèces sont connues, sur les 15 à 30 millions existantes (selon les prédictions d'experts).

L'UICN a établi plusieurs critères de gravité : on y apprend notamment que 1 541 espèces sont en danger critique d'extinction (risque extrêmement élevé d'extinction à l'état sauvage, dont 16 en France), 2 258 en danger d'extinction (risque très élevé d'extinction à l'état sauvage, dont 18 en France) et 4 591 espèces sont vulnérables (risque élevé d'extinction à l'état sauvage, dont 99 en France). Rappelons que le livre rouge de l'UICN n'a aucune valeur réglementaire, son but essentiel consiste à mobiliser l'attention du public et des responsables politiques sur l'urgence et l'étendue des problèmes de conservation, ainsi qu'à inciter la communauté internationale à agir en vue de limiter le taux d'extinction des espèces menacées.

On consultant la liste rouge de l'IUCN, voici le statut de quelques espèces animaux qui se vivent sur les deux parcs de l'Ahaggar et Tassili (*source : The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 28 November 2014*) :

- Ammotragus lervia (Aoudad) ; Status: **Vulnerable** C1 ver 3.1 ; Pop. trend: decreasing
- Eudorcas rufina (Red Gazelle) ; Status: **Data Deficient** ver 3.1 ; Pop. trend: unknown
- Gazella cuvieri (Cuvier's Gazelle) ; Status: **Endangered** C2a(i) ver 3.1 ; Pop. trend: unknown
- Gazella dorcas (Dorcas Gazelle) ; Status: **Vulnerable** A2cd ver 3.1 ; Pop. trend: decreasing
- Gazella leptoceros (Slender-horned Gazelle) ; Status: **Endangered** C2a(i) ver 3.1 ; Pop. trend: decreasing
- Acinonyx jubatus (Cheetah) ; Status: **Vulnerable** A2acd; C1 ver 3.1 ; Pop. trend: decreasing

### 1.3 L'utilité de la biodiversité

Les espèces et les écosystèmes apportent, de par leur diversité, de nombreux services directs et indirects à l'humanité, qui en bénéficie gratuitement. La biodiversité a donc une valeur utilitaire, nous en avons besoin, elle nous apporte un bien-être en plus de notre survie. Parfois, elle est aussi à l'origine de nos inspirations et nos innovations technologiques. Mais elle a également une valeur intrinsèque : la biodiversité est importante pour elle-même, sans utilité pour l'espèce humaine.

Donner des valeurs à la biodiversité qui nous environne permet de mieux comprendre à quel point c'est important de la préserver. Voici des arguments en faveur de la conservation de la biodiversité :

#### **Rôle de la biodiversité dans l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes**

Chaque espèce a sa place dans l'écosystème, et va jouer un rôle dans le maintien des écosystèmes. Plus un écosystème contiendra d'espèces, plus il sera diversifié. Et par conséquent, plus il sera apte à supporter la disparition d'espèces du fait de l'impact anthropique.

La majorité des efforts de conservation s'articulent actuellement autour d'espèces emblématiques (ours, pandas,...), ignorant de ce fait des espèces pourtant clés dans le fonctionnement des écosystèmes et qui sont tout autant menacées de disparition que les autres. C'est ainsi qu'aucun programme de conservation ne concerne les insectes pollinisateurs ou encore les animaux qui dispersent les graines pour la reproduction des espèces floristiques ; sans parler des microorganismes du sol qui jouent un rôle indispensable dans le recyclage de la matière organique, la base de la chaîne alimentaire. Les espèces

emblématiques ont pourtant besoin que la flore nécessaire à leur survie soit préservée, et cette préservation passe par la conservation des espèces pollinisatrices et des espèces permettant le recyclage des nutriments dans le sol, même si ces dernières n'attirent pas l'intérêt du public. Il est donc absolument nécessaire de se préoccuper de l'ensemble des espèces vivantes, et de développer des programmes de conservation et de protection.

Nous citerons également le rôle de la biodiversité dans le maintien de la qualité de l'atmosphère et des cycles de régulation du climat, mais aussi dans le contrôle de la qualité de l'eau et de l'intégrité des cycles hydriques. Les forêts non perturbées du bassin amazonien absorberaient près du tiers des émissions mondiales de carbone d'origine anthropique. La réduction d'évapotranspiration causerait un déficit de 20% en précipitation, l'élévation de la température au niveau du sol, et donc un plus grand impact de la saison sèche. Les grandes déforestations engendrent des modifications très sévères du cycle hydraulique et ont souvent des conséquences régionales très marquées.

### **Rôle socio-économique de la biodiversité**

Bien que l'on n'ait pas encore d'idée très précise de la valeur socio-économique de la biodiversité, son rôle est incontestable. Un grand nombre de personnes bénéficient actuellement des services qu'elle offre. Sa préservation permettra ainsi le maintien de cette économie.

En 1992, Lévêque et Glachant ont décrit plusieurs valeurs de la biodiversité (Figure 1-1) :

- La valeur d'usage qui peut être divisée en trois sous catégories :
  - La valeur de consommation : elle suppose une consommation directe des ressources sans transformation. C'est le cas notamment de la cueillette, de la chasse et de la pêche.
  - La valeur productive : les ressources génétiques sont utilisées dans des cycles productifs. On peut citer par exemple les médicaments à base de plantes ou l'exploitation forestière pour le bois.
  - La valeur récréative : la biodiversité est exploitée pour les loisirs sans prélèvement pour la consommation, c'est le cas des promenades dans la nature.
- La valeur écologique est le rôle des organismes dans le bon fonctionnement de l'écosystème et dans la pérennité de la biosphère.
- La valeur d'option est la possibilité d'exploiter différemment dans le futur les ressources génétiques.
- La valeur d'existence est liée à la satisfaction et au bien être que procure la biodiversité.

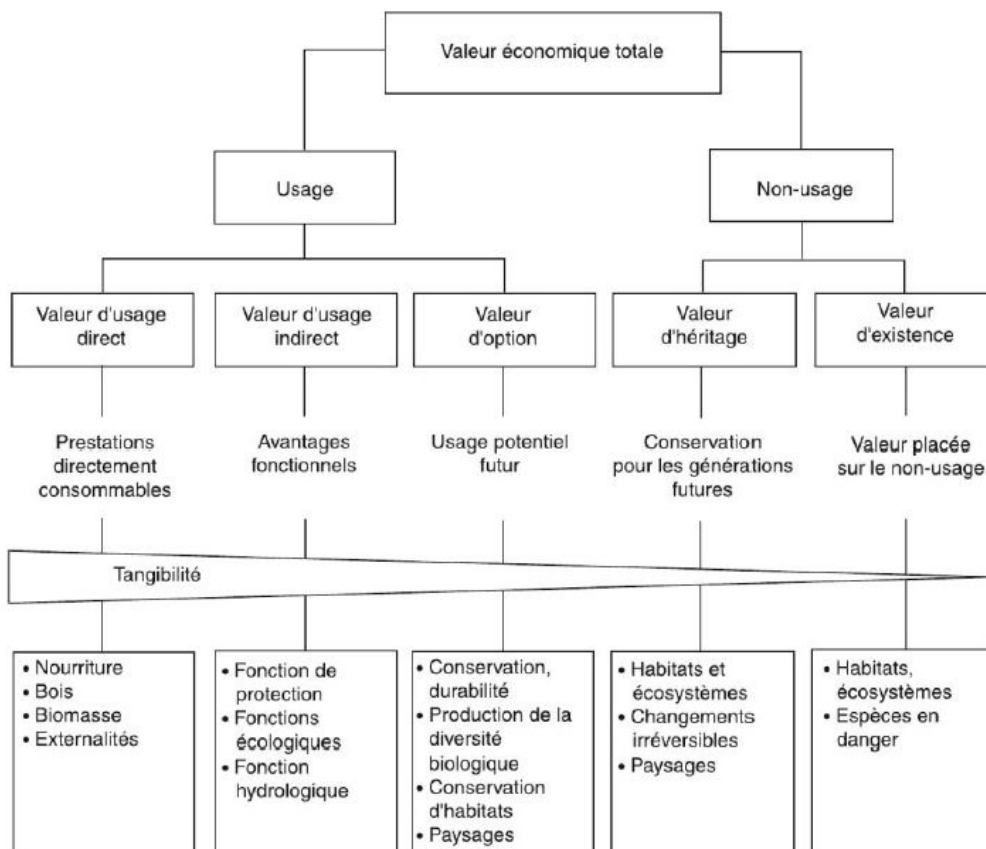


Figure 1-1 Décomposition de la valeur totale de la biodiversité

Source : (Brahic, et al., 2009)

### Rôle alimentaire de la biodiversité

L'homme a été depuis le début de son existence, il y a deux millions d'années, dépendant de la faune et de la flore pour se nourrir. Il prélève ainsi dans le milieu naturel les aliments nécessaires à sa survie : plantes, viande, poissons... Ces ressources dépendent d'un usage modéré respectant leur rythme de renouvellement mais aussi de la conservation des milieux dans lesquels on les trouve.

A ce jour, les cinq plantes les plus cultivées dans le monde (le blé, le riz, le maïs, la pomme de terre et l'orge) représentent la moitié de la production alimentaire mondiale. Lorsqu'une culture est touchée par une maladie, il est souvent possible de la sauver en la croisant avec une espèce sauvage voisine. Ces croisements ont donc des avantages notamment d'améliorer la productivité. 3000 espèces de plantes comestibles ont déjà été découvertes, dont certaines ont un grand potentiel pour être cultivées. Une vingtaine de plantes seulement composent le gros de notre alimentation. Qu'arriverait-il si certaines de ces espèces devaient disparaître ?

Le capital génétique de la biodiversité est un élément clé de la capacité des écosystèmes à répondre aux changements climatiques, aux maladies, aux ravageurs des cultures et à diversifier les espèces domestiques actuelles.

Depuis toujours les organismes vivants favorisent la régénération, la décomposition et l'aération naturelle des sols. Les insectes pollinisateurs nous assurent fruits et légumes. La richesse de la biodiversité est également copiée pour améliorer les pratiques agricoles.

### **Rôle pharmaceutique de la biodiversité**

La biodiversité joue également un rôle dans l'industrie pharmaceutique et par conséquent la santé humaine. En effet, certaines molécules fournies par les espèces végétales ou animales sont utilisées pour la fabrication des médicaments. On estime que près de la moitié des médicaments utilisés (40%) sont issus d'une matière active naturelle extraite du vivant (dans les deux tiers des cas d'une plante).

Les industries pharmaceutiques ont d'ailleurs compris l'importance de la biodiversité puisqu'elles sont très impliquées dans sa connaissance et son maintien. Citons l'exemple du laboratoire Merck qui a passé une convention en 1991 avec l'Institut National de la biodiversité du Costa Rica, elle a rapporté 5 millions de dollars par espèce végétale qui apportait un principe actif.

Les organismes vivants élaborent des molécules dotées de propriétés remarquables. Ainsi l'aspirine, anti-inflammatoire, a été extraite de l'écorce du saule en 1829. D'après l'OMS, 80% de la population mondiale dépend des remèdes traditionnels basés sur des espèces sauvages.

En Chine, sur les 30.000 espèces recensées de plantes supérieures, plus de 5.000 espèces sont utilisées à des fins thérapeutiques.

La nature est détentrice de nombreux médicaments potentiels qui disparaissent en même temps qu'elle. Sur 18 000 substances provenant d'organismes marins, 15 % ont permis l'isolement de nouvelles molécules actives. À ce jour, la composition chimique de 1 % seulement des espèces marines répertoriées a été analysée. L'AZT, dérivé synthétique utilisé contre le virus du SIDA, provient de molécules sécrétées par une éponge des coraux des Caraïbes, aujourd'hui en danger.

Nous pourrions citer par exemple le rôle du Thym qui fournit le thymol utilisé comme antifongique, la Menthe qui fournit le menthol utilisé comme vasodilatateur, la Colchique fournissant la colchicine utilisée comme agent anti tumoral ou encore l'If qui fournit le taxol utilisé dans le traitement de certains cancers.

Toutes ces espèces sont pour l'instant courantes et exploitées de manière plus ou moins intensive, mais il est important de veiller à ne pas effectuer une surexploitation qui pourrait entraîner leur raréfaction – et par conséquent des conséquences non négligeables sur la santé humaine.

## 1.4 Problématique et enjeux

### 1.4.1 De notre vision du monde

En plein milieu du 20<sup>e</sup> siècle, nous avons pu voir pour la première fois notre planète depuis l'espace. Depuis lors, les informations que nous recevons de l'espace ont influencé fortement la pensée humaine. L'Homme a ainsi pris conscience de la fragilité de la terre et de son existence. Depuis l'espace, il voit que son monde, tout convoité qu'il soit, n'est qu'une petite boule dominée par une nébuleuse de nuages, d'océans, de végétation et de sols. L'émergence de la pensée écologique de cette fin de siècle n'est certainement pas étrangère à cette nouvelle vision du monde. Nous reconnaissons aujourd'hui que notre bien-être est fortement dépendant d'équilibres fragiles et de notre capacité à y intégrer nos activités sans les perturber, ni provoquer des dysfonctionnements qui peuvent mettre en péril notre existence même.

L'environnement et le développement sont ainsi au centre des préoccupations de cette fin de siècle. La Conférence mondiale de Rio sur ce thème a bien montré que ces deux notions sont étroitement liées et inséparables du sort de l'humanité. Selon le rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et de Développement (CMED, 1988), l'environnement fait référence au lieu où chacun de nous vit, alors que le développement est ce que nous essayons de faire pour améliorer notre sort à l'intérieur de cet espace. Les questions essentielles et difficiles auxquelles nos sociétés sont confrontées, concernent plus précisément les relations entre les problèmes de population (pression démographique, non respect des droits de la personne, paupérisme, etc.) et les problèmes d'environnement (déboisement, désertification, disparition d'espèce, appauvrissement des ressources en eau, effet de serre, etc.) et de développement (endettement, transport, insalubrité, sous-alimentation, etc.).

Considérer le territoire dans sa globalité, mettre en marche un processus faisant intervenir un grand nombre de partenaires, nécessitent notamment la récolte, la gestion, le traitement et la diffusion d'une masse considérable d'information.

### 1.4.2 Des enjeux territoriaux complexes

Résultat de plusieurs milliards d'années d'évolution du vivant, la biodiversité assure les fonctions indispensables à toutes les formes de vie et nous rend des services essentiels : elle est source d'alimentation, fournit des matières premières, contribue au maintien de la qualité de l'eau, de l'air et des sols, offre un patrimoine culturel inestimable...

**Or de multiples pressions** pèsent aujourd'hui sur elle, dont les cinq principales sont la destruction, la fragmentation et l'altération des habitats naturels ; l'introduction d'espèces exotiques envahissantes ; la pollution de l'environnement ; la surexploitation des espèces et le changement climatique. Ces pressions qui menacent l'équilibre global du système ont pour conséquence un rythme d'extinction des espèces (1.8 million connues en 2010) de 100 à 1000 fois supérieur au rythme de disparition normal !

Dans ce contexte, bien attendu, les territoires eux aussi se développent, les mutations spatiales continuent d'opérer, sans attendre qu'on les observe ou qu'on les analyse. Des enjeux nouveaux apparaissent et sont parfois clairement énoncés : le sol devient une ressource rare à conserver (densification, refus d'une urbanisation diffuse), la qualité de l'air ainsi que la consommation d'énergie sont aussi au cœur des préoccupations (préférences affichées pour développer des systèmes de transport durable, des bâtiments voire des (éco)quartiers peu gourmands énergétiquement), etc. Dès lors, des stratégies sont mises en place.

D'autres défis sont par contre moins clairement identifiés. Dès lors, peut-on penser que les outils géomatiques soient en mesure de révéler ces enjeux territoriaux jusqu'alors insoupçonnés ? Ou, ce qui ne serait pas moins utile, de questionner l'importance de ceux considérés jusqu'alors comme prioritaires ?

Dans un cas comme dans l'autre, décideurs, politiques ou techniciens d'administration, se confrontent à la complexité de l'imbrication de ces enjeux. Afin d'affiner leurs choix, de tenter de prendre de "bonnes" décisions, voire même de tout simplement être en position de prendre une décision, ceux-ci sont avides d'informations, notamment géographiques, pertinentes et organisées. Comment agir –raisonnablement- sur un territoire sans comprendre sa structure et sans saisir les dynamiques qui le caractérisent ?

### **1.4.3 Vers une meilleure Gestion du territoire**

Les parcs culturels du Tassili N'Ajjers et l'Ahaggar, couvrent une superficie importante du territoire national. Les deux constituent ainsi les plus grands sites protégés des écosystèmes africains du Sahara Central et le deuxième au monde. Ces deux parcs ont la grande particularité d'héberger une diversité biologique et des lieux historiques d'intérêt et d'importance mondiaux.

Il s'agit de renforcer les capacités pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité dans les deux parcs nationaux du Tassili et de l'Ahaggar, en soutien de la stratégie nationale sur la biodiversité et des priorités retenues par le gouvernement (PNUD, 2009).

La conservation des biotopes et écosystèmes nationaux en Algérie a été classée comme priorité nationale numéro un dans le Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité.

Beaucoup de zones des aires protégées sont des écosystèmes fragiles soumis aux différentes pressions sociales, économiques et écologiques, en particulier dans les zones arides et semi-arides dans les régions du sud. Les structures et plans de gestion des réserves naturelles et des parcs nationaux ont été jusqu'à présent ponctuels, et pour la plupart d'entre eux, les plans de gestion devront être réorientés ou révisés pour refléter l'objectif de conservation de la biodiversité.

La gestion du territoire est une politique publique, qui est assurée par l'administration. Le but de cette politique est de contribuer à réaliser une meilleure gestion du territoire. *"Avant de connaître des problèmes économiques (chômage...) et environnementaux, en considérant qu'il suffisait que l'état interdise les comportements asociaux, et que pour le reste, il s'abstienne. Dans l'état de pénurie, les ressources communes doivent être exploitées de manière judicieuse et rationnelle. Il faut donc que chacun agisse "dans un certain sens" pour que les ressources communes soient toutes utilisées de manière optimale. Cependant, il n'est pas possible de contraindre généralement les gens à agir : il faudrait un policier derrière chaque citoyen. (...)" (Moor, 1994).*

Souvent, la réalisation d'une politique relie plusieurs intervenants (groupe de décideurs), où chaque membre a son propre point de vue selon ses intérêts. Ses points de vue sont plus ou moins différents.

#### **1.4.3.1 Développement durable**

C'est un concept qui signifie que l'économie contribue à l'amélioration du bien-être des générations actuelles sans compromettre ou hypothéquer la possibilité pour les générations futures, de s'assurer un bien-être au moins semblable au notre (Guillaud, 2007). Cependant cette nouvelle économie sous-tendue par le développement durable fonctionne sous une contrainte, celle de la préservation du patrimoine naturel et culturel qui représente économiquement le capital global de la société. Parmi les mesures à prendre : la conservation, le rétablissement et la protection de l'atmosphère et de l'hydrosphère et le recours aux ressources renouvelables dans le cadre d'une stratégie de développement planétaire durable.

Dès l'origine l'homme a agi sur la nature, et a exercé une action sur la biosphère. Mais jusqu'au siècle dernier, les activités humaines étaient encore assez dispersées et diverses pour affecter globalement les grands équilibres. Tout s'accélère depuis deux siècles, avec la révolution industrielle, le développement des moyens productifs et des techniques étant si rapide et brusque, qu'il a fini par perturber l'équilibre de la biosphère. Ce qu'a créé et ce qu'a produit l'homme durant ces deux siècles, est mille fois plus important que ce qu'a produit l'humanité tout au long de son histoire.

Le concept du développement durable vise à préserver les ressources naturelles aux futures générations en tenant en compte du développement économique et l'utilisation rationnelle de ces ressources.

#### **1.4.3.2 Convention de Rio**

La conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Réunie à Rio de Janeiro lors du sommet de la Terre du 3 au 14 juin 1992, Réaffirmant la Déclaration de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement adaptée à Stockholm le 16 juin 1972 et cherchant à en assurer le prolongement, dans le but d'établir un partenariat mondial sur une base nouvelle et équitable en créant des niveaux de coopération nouveaux entre les États, les

secteurs clefs de la société et les peuples, œuvrant en vue d'accord internationaux qui respectent les intérêts de tous et protègent l'intégrité du système mondial de l'environnement et du développement, reconnaissant que la Terre, foyer de l'humanité, constitue un tout marqué par l'interdépendance.

La convention de Rio vise trois buts principaux :

1. la conservation de la biodiversité ;
2. l'utilisation durable de ses éléments ;
3. le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques.

Son objectif est de développer des stratégies nationales pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Il est considéré comme le document clé concernant le développement durable.

#### **1.4.3.3 Convention sur la diversité biologique**

##### **Législation Internationale**

- Convention de Ramsar relative aux zones humides d'importance internationale (1971).
- Convention de Paris sur la protection du patrimoine mondial culturel et naturel (Mars, 1972).
- Convention Africaine pour la conservation de la nature et des ressources naturelles, 1976.
- Convention de Barcelone pour la protection de la Méditerranée contre la pollution et protocole des aires protégées en Méditerranée, 1975.
- Convention de Bonn sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (Juin, 1979).
- Convention des Nations Unies sur la diversité biologique de Rio de Janeiro (Juin, 1992).
- Convention sur le commerce international des espèces de faune et flore sauvages menacées de disparition (CITES en date du 10/07/1974).

##### **Législation Nationale**

L'Algérie est parmi les pays qui a investi depuis longtemps à la préservation de la biodiversité. En effet, plusieurs lois législatives et décrets ont été adoptés relativement à la gestion et l'utilisation durable des ressources floristique et faunistiques en Algérie, on peut citer quelques uns :

- le décret n° 82-498 du 25 décembre 1982 portant adhésion à la convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction signée à Washington le 3 mars 1973 ;
- le décret n° 83-509 du 20 août 1983 relatif aux espèces animales non domestiques protégées (fixant la liste des espèces non domestiques protégées) (annexe 1) ;

- la loi n° 88-08 du 26 janvier 1988 relative aux activités de médecine vétérinaire et à la protection de la santé animale ;
- la loi n° 01-11 du 11 Rabie Ethani 1422 correspondant au 3 juillet 2001 relative à la pêche et à l'aquaculture ;
- la loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;
- la loi n° 03-01 du 16 Dhou El Hidja 1423 correspondant au 17 février 2003 relative au développement durable du tourisme ;
- la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;
- la loi n° 04-07 du 27 Joumada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004 relative à la chasse ;
- la loi n° 04-20 du 13 Dhou El Kaâda 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable ;
- la loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau. (183 articles) ;
- l'ordonnance n° 06-05 du 19 Joumada Ethania 1427 correspondant au 15 juillet 2006 relative à la protection et la préservation de certaines espèces animales menacées de disparition ;
- et éventuels décrets de création des parcs nationaux (annexe 2).

#### 1.4.3.4 Sites Ramsar

La Convention de Ramsar, officiellement Convention relative aux zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau, aussi couramment appelée convention sur les zones humides, est un traité international adopté le 2 février 1971, à la ville Iranienne Ramsar, pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides, qui vise à enrayer leur dégradation ou disparition,

D'après la liste Ramsar "The List of Wetlands of International Importance", publié<sup>2</sup> le 11 Septembre 2014, les sites Ramsar en Algérie sont au nombre de 50 et couvrent une superficie totale de 2 991 013 hectares.

Il est à remarquer que parmi les 50 sites de Ramsar (2014, annexe3), six (06) sont situés à l'intérieur des limites géographiques de trois parcs nationaux. Il s'agit :

- des sites des lacs Tonga (2.700 ha), Oubeira (2.200 ha) et de la Tourbière du lac Noir (05 ha), dans la wilaya d'El-Tarf, sont situés à l'intérieur du parc national d'El-Kala ;

<sup>2</sup> <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>

- des sites des **gueltates d'Issarakassene** (35.100 ha) et des **gueltates d'Afilal** (20.900 ha), dans la wilaya de Tamanrasset, sont situés à l'intérieur du parc culturel de l'Ahaggar ;
- le site de la **Vallée d'Ihérit** (6.500 ha), dans la wilaya d'Illizi, est situé à l'intérieur du parc culturel du Tassili.

### 1.5 Conservation de la biodiversité

La conservation de la biodiversité a pour objectif de trouver les moyens de faire vivre les êtres humains en équilibre avec leurs ressources. Elle suppose ainsi la relation entre l'Homme et la nature mais surtout la relation de l'Homme avec ses semblables. A mesure que la nature est détruite, les riches deviennent plus riches et les pauvres plus pauvres. Qui en paie le prix ? La conservation ne doit pas être considérée comme d'ordre purement biologique, mais il s'agit de trouver les moyens pour encourager les êtres humains à se comporter de manière compatible avec les objectifs de la conservation.

La conservation concerne les sites, les habitats, les communautés et les écosystèmes. Mais les espèces sont les unités utilisées en matière de conservation parce que ce sont elles que l'on définit le plus facilement. Déterminer les sites qui contiennent une ou plusieurs espèces menacées est un moyen efficace pour orienter les mesures de conservation. De même que les espèces qui ont une aire de répartition très limitée peuvent être un guide utile pour déterminer des sites clés pour la conservation. Enfin il existe des sites qui se distinguent par leur grande richesse et leur diversité en espèces en rapport avec l'écosystème, le paysage et l'habitat dans le cadre de la diversité biologique.

Voici quelques politiques primordiales en vue de la conservation de la richesse biologique de notre planète :

- Les parcs nationaux, culturels et les réserves.
- L'inventaire des aires à protéger et objectifs des opérations.
- L'aménagement du territoire et le contrôle de l'occupation des sols.
- Interventions préventives et curatives.
- Développement de la recherche.
- Programmes et projets de planification écologique (études d'impact).
- Constitution de banques de données géographiques.
- Élimination des sources de nuisance.
- Développement de la sensibilisation et de l'éducation environnementale.
- Entretien du patrimoine.
- Recours à des technologies non polluantes.
- Réduire les rejets, en milieu marin, sans traitements.
- Étude d'impact des grands projets.
- Utilisation à bon escient des engins de pêche avec respect des périodes physiologiques.

## 1.6 Apport des nouvelles technologies

Cette fin de siècle est également marquée par une révolution des communications qui a pour effet que nous sommes capables de gérer et de faire voyager des informations plus efficacement et plus rapidement que jamais. Cette facilité a eu pour effet de multiplier les informations dont nous pouvons disposer. Elle s'accompagne ainsi d'une difficulté de taille consistant à être capable de maîtriser une masse toujours plus grande d'informations. Le développement remarquable de l'informatique a eu pour effet l'apparition et la diffusion d'outils idéalement aptes à supporter l'ensemble de ces mutations. L'utilisation de ces nouvelles technologies s'accompagne de mutations profondes dans nos sociétés. Elle nous apporte une vision nouvelle de notre territoire et de nous-même et nous amène à reconsidérer le monde qui nous entoure. Il s'ensuit une remise en question de la façon dont nous approchons, analysons et gérons les problèmes de son développement, tant au niveau écologique, qu'économique ou politique.

Cette nouvelle technologie s'accompagne ainsi de nouvelles approches dans les domaines de la gestion, de l'aménagement et de la planification du territoire. Les Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD) permettent de gérer un volume toujours plus grand d'information. Le professionnel d'aujourd'hui a ainsi à sa disposition une palette de données que ses prédécesseurs n'ont peut-être jamais imaginé pouvoir réunir ! Les Systèmes d'Information à Référence Spatiale (SIRS) offrent, quant à eux, des méthodes et des instruments pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique (Thériault, 1992). Ils permettent ainsi d'obtenir des informations synthétiques qu'il était difficile voire impossible d'obtenir auparavant, et qui aident les décideurs à prendre des décisions plus éclairées.

Des outils d'analyse spatiale comme les Système d'Information Géographique et sa capacité d'intégrer des données multisources et multitudes à la fois de la télédétection assurent en premier lieu la maîtrise du patrimoine (gestion, L'étendus énorme des deux parcs culturels de l'Ahaggar et du tassili nécessite l'utilisation des outils puissants capables de gérer la masse importante des données, ils représentent le plus grand musée préhistorique du monde avec plus de 15000 œuvres rupestres répertoriées -peintures et gravures-).

## 1.7 Un besoin en information

La plus part des applications, dans le domaine de gestion du territoire, nécessitent une description détaillée de toutes ses parties. Cette description exige la manipulation d'un grand nombre de données à référence spatiale. Cependant, la collecte de ces dernières est coûteuse et prend assez de temps.

Le développement des outils de gestion de ces informations a considérablement modifié les méthodes de travail (traitement, formats des données, rapidité de répondre à des problèmes

assez complexes). Ces outils ont amélioré la gestion, le stockage, l'analyse de gros volumes de données. A l'échelle nationale, la plupart des organisations utilise des systèmes de gestion de base de données (SGBD) gérées par un SIG pour gérer efficacement les données disponibles.

L'existence de l'information gérée par ces outils informatiques améliore sans aucun doute les aspects de la gestion du territoire. Des analyses anciennes longues peuvent devenir rapides et, grâce à l'utilisation des moyens informatiques (des logiciels qui gèrent un volume important de données), des évaluations anciennement grossières ou impossibles peuvent devenir fiables.

On peut conclure que ces outils répondent aux besoins de la gestion du territoire. Par contre, l'existence de l'outil informatique seul ne suffit pas toujours à améliorer les méthodes de travail. En effet, d'après Joerin (1997), l'utilisation du SIG doit être accompagnée d'une réflexion méthodologique. Car, selon le même auteur, face à une base de données géographique, l'utilisateur se trouve désemparé et se contente de reproduire la pratique antérieure, sans tirer partie du potentiel de ces outils.

### **1.8 Le choix du meilleur (la négociation)**

Dans une politique de décision, on se trouve généralement face à une situation participative (multi-acteurs) ce qui justifie la notion de négociation entre acteurs.

D'après Joerin (1997), cette négociation est conditionnée par l'attitude des acteurs et la procédure de décision. Notre travail consiste à l'utilisation combinée des outils SIG et les méthodes d'analyse multicritère pour améliorer la prise de décision sur le territoire.

L'utilisation du SIG facilite les opérations d'évaluation (utilisant l'analyse spatiale, et des requêtes sur les données attributives). De plus, ces outils permettent de décrire un grand nombre de variantes, la raison pour laquelle chaque acteur propose librement les variantes qu'il trouve crédibles. De cette manière, les frustrations des acteurs sont éliminées ainsi que toute sorte de conflit.

La comparaison des variantes en analyse multicritère nécessite l'introduction des paramètres subjectifs pour chaque acteur (exprime son point de vue, ses propres préférences...). Comme les points de vue des acteurs sont différents, il est possible de déterminer, pour chaque acteur la solution préférée, puis de négocier l'approbation d'une solution qui satisfait l'ensemble. La négociation peut aussi porter sur un jeu de paramètres subjectifs communs. Ce qui va aboutir à une solution commune qui satisfait l'ensemble des décideurs.

## 1.9 Conclusion

La gestion du territoire est devenue incontournable à cause de l'utilisation multiple de ses ressources et l'augmentation des besoins de l'homme dans des domaines qui touchent directement l'environnement. En conséquence, La disparition des écosystèmes naturels constitue une des plus graves menaces pour la conservation, elle ne permet pas à des espèces qui ont mis des millions d'années pour y évoluer, de se réadapter à de nouvelles conditions écologiques.

La dégradation de la richesse biologique (sécheresse, inondation, désertification, déforestation, surexploitation des ressources...) présente donc des impacts socio-économiques importants et constitue un frein au développement des pays. Plusieurs mesures ont été prises à ce sujet : plan d'action environnemental, création des aires protégées dont leurs gestion s'effectue à l'aide d'organismes nationaux ou internationaux, création des centre nationaux pour la recherche environnementale ; Institut National de Recherche Forrestières (INRF), Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Centre National de Recherches préhistoriques, anthropologiques et Historiques (CNRPAH), Station de Recherche sur la Protection des Zones Désertiques à Tamanrasset (SRPZD), en conséquence tout développement devrait être basé sur des recherches fondamentales et appliquées. Ainsi, l'introduction progressive des matières environnementales dans les programmes d'éducation constitue un outil efficace pour la sensibilisation de la population future.

## Chapitre

# 2

## Apport possible de l’outil Géomatique

### Sommaire

2.1	Introduction .....	22
2.2	Géomatique .....	23
2.3	Bases de données à référence spatiales.....	26
2.4	Système d'Information Géographique .....	29
2.5	Télédétection .....	41
2.6	Produits dérivés .....	52
2.7	Conclusion.....	57

### 2.1 Introduction

Bien que la géomatique soit un domaine plutôt méconnu du grand public, la population utilise quotidiennement ses applications sans même le savoir. En effet, la géomatique est à la base des applications de localisation installées sur les téléphones portables (Android, IOS, Blackberry...), du géopositionnement par technologies spatiales (GPS) ainsi que du site Google Earth, entre autres.

La géomatique est une discipline qui intègre les technologies de l’informatique aux sciences de la Terre. Elle permet de manipuler et de traiter une foule de données afin de constituer des cartes et des images sur mesure. Ces éléments se composent de différentes couches d’information superposées, établies à partir de préoccupations et de besoins particuliers.

Grâce à la géomatique, le traitement de l’information géographique de base ou thématique devient plus convivial. Les techniques informatiques permettent d’analyser l’évolution des données dans le temps et dans l’espace, un avantage que les cartes traditionnelles n’ont pas. La géomatique vient ainsi appuyer le processus de décision et pave la voie à une gestion plus efficace et plus éclairée.

## 2.2 Géomatique

### 2.2.1 Définitions et typologie

La géomatique est une discipline regroupant les pratiques, méthodes et technologies qui permettent de modéliser, de représenter et d'analyser le territoire pour en faire des représentations virtuelles : géolocalisation, imagerie spatiale, bases de données, systèmes d'information et SIG (Système d'information géographique), systèmes décisionnels, technologies du Web... Dans ses applications, la géomatique est largement ouverte sur l'ensemble des secteurs économiques : développement et aménagement durables du territoire, agriculture, milieux naturels, gestion de ressources, transports, urbanisme, industrie spatiale, gestionnaires de réseaux (routes, télécommunications, etc.), énergie, défense et sécurité civile, commerce et géomarketing...

La Géomatique est maintenant l'un des secteurs de la technologie de l'information les plus dynamiques, elle s'est imposée comme un outil de gestion de l'information indispensable intégré obligatoirement dans le processus décisionnel.

Le terme géomatique provient de la contraction des termes géographie et informatique. La géomatique permet donc de tirer le meilleur parti de chacun de ces deux domaines.

### 2.2.2 Notions de base

Pour fournir aux spécialistes et aux gestionnaires un produit géographique de qualité, offrant des données précises et le plus à jour possible, plusieurs sciences sont mises à contribution.

- **La géodésie** étudie la forme et les dimensions de la Terre, ainsi que la localisation de points à sa surface. Elle est utilisée au début des travaux de cartographie, de télédétection, de génie civil et de navigation terrestre ou spatiale. Elle permet d'assurer le positionnement des bases de données géographiques.
- **La topométrie** sert à collecter et à enregistrer, sur le terrain, des mesures d'angles et de distances.
- **La photogrammétrie** utilise des photographies aériennes et des images satellites pour effectuer l'interprétation, le positionnement et la prise de mesures des détails topographiques visibles.
- **L'arpentage** détermine la position et la limite d'une propriété, d'un bâtiment ou d'un territoire administratif à partir de l'analyse des titres, des lois, des règlements et des arpentages antérieurs. L'opération peut comprendre la création d'une désignation territoriale officielle et l'établissement de repères au sol, afin, entre autres, de reconstituer en tout temps le périmètre du terrain ou du territoire concerné.

- **La télédétection** recueille de l'information sur une cible au sol, et ce, par l'analyse et l'interprétation d'images captées à partir de plates-formes comme les satellites.
- **La cartographie** permet la représentation géographique des éléments naturels et artificiels d'un territoire dans un système de coordonnées terrestres.

### 2.2.3 Métiers de la géomatique

L'approche géomatique est par essence multifacettes et pluridisciplinaire, elle permet d'accéder quatre familles représentatives de métiers [<http://www.ensg.eu/Les-metiers-de-la-geomatique>] :

- *acquisition de données géographiques* : il s'agit de l'ensemble des technologies visant à produire de l'information géographique via des mesures (positionnement, imagerie aérienne ou spatiale, LIDAR, etc.), à caractériser leur qualité et leur fiabilité ;
- *informatique et technologies de l'information* : les données géographiques générées sont très variées dans leur nature et représentent des volumes d'information très importants. Pour les exploiter efficacement et rapidement, il faut recourir aux technologies informatiques. Il est nécessaire de modéliser la connaissance pour structurer et ordonner intelligemment les données géographiques, pour identifier leurs interdépendances et les urbaniser dans le cadre de systèmes d'information complexes. Il faut aussi mettre en place les modalités de diffusion et d'accès à l'information ;
- *utilisation métier dans un domaine applicatif* : les données géographiques et les SIG ainsi produits ont vocation à être utilisés par des professionnels exerçant dans des secteurs économiques variés ; la géomatique doit répondre à leurs besoins en adoptant leur point de vue, tout en restant accessible à ces publics non spécialistes. La géomatique est donc une rencontre entre un expert en géomatique, capable de comprendre les enjeux d'un domaine applicatif, et un professionnel non spécialiste ; le premier doit savoir reformuler les besoins du second et proposer des solutions technologiques exploitables par lui ; le second doit comprendre la plus-value de l'outil géomatique afin de jouer pleinement son rôle d'utilisateur ;
- *sphère décisionnelle* : la rencontre des données géographiques, des technologies de l'information et d'un domaine métier applicatif font de la géomatique un outil incomparable d'aide à la prise de décision (quelle stratégie pour développer un territoire ? Quel plan d'action pour gérer une catastrophe ? Où implanter une structure commerciale pour garantir sa viabilité ?). L'outil géomatique s'adresse donc directement aux décideurs par l'approche intuitive qu'il propose et sa facilité d'emploi. La géomatique est un outil de gouvernance.

### 2.2.4 Domaines d'application (utilisation)

Ces outils de gestion sont utilisables dans plusieurs domaines à savoir : l'agriculture, l'environnement et la gestion des ressources en eau, le transport, la santé, les risques majeurs

et sécurité, les réseaux de distribution (télécommunication, gaz, électricité et mines), géomarketing (localisation de la clientèle et zones de chalandises) et géostratégie...etc.

Ainsi, les domaines d'applications de la géomatique peuvent se regrouper en cinq grands axes:

#### **2.2.4.1 Prévention des risques**

La géomatique est un outil d'étude de risques naturels (inondations, désertification, feux de forêt...). Elle aide d'une part à développer des techniques et des méthodes d'analyse pour une meilleure gestion et compréhension des catastrophes naturelle et d'autre part à mettre en place des plans de prévention et de protection. Elle est particulièrement utile pour gérer les crises.

Dans d'autres domaine comme celui de la santé, l'outil géomatique sert à étudier et à mieux comprendre la propagation de maladies afin de réduire les risques d'épidémies. Enfin, grâce à l'analyse et à la représentation des données qui se caractérisent sa localisation géographique, elle permet d'améliorer l'accessibilité aux soins pour les populations.

#### **2.2.4.2 Environnement et développement durable**

La réalisation de cartes, de plans, d'images numériques à partir des données géographiques et de leur traitement concourt à la protection de l'environnement et contribue au développement durable.

La gestion spatiale des données permet de modéliser le territoire afin de trouver les meilleurs sites pour des nouvelles infrastructures. Elle permet aussi de gérer l'occupation des sols (forêts, végétations, espaces agricoles...), de mieux maîtriser l'expansion de l'urbanisation et ainsi de préserver les espèces et les écosystèmes.

#### **2.2.4.3 Aménagement de territoire**

Les outils géomatiques, et tout particulièrement les Système d'Information Géographique (SIG) sont au cœur de l'aménagement du territoire. Ils sont utilisés pour des tâches telles que la numérisation, le stockage, la mise à jour et la production de plusieurs types de documents, mais aussi pour mieux prévoir le développement des territoires. En effet, ces systèmes permettent de croiser des informations diverses et complémentaires sur le territoire: occupation du sol, populations, réseaux, espaces naturels... Par leur fonction d'analyse spatiale, il est possible de réaliser des études d'impacts ou de déterminer les sites les plus appropriés pour installer des services.

#### **2.2.4.4 Géolocalisation**

La géolocalisation est un outil essentiel permettant de localiser un objet en tout point de la planète, c'est-à-dire d'obtenir ses coordonnées dans un référentiel lié à la Terre. La géolocalisation s'est fortement démocratisée grâce aux systèmes de positionnement par satellite (GPS, Glonass, Galileo) avec une précision allant d'une dizaine de mètres pour les applications grand public à quelques millimètres pour les applications scientifiques.

Les techniques de géolocalisation permettent aussi d'améliorer le fonctionnement des services urbains pour rendre la ville plus intelligente : meilleure prévision des tournées de ramassages des déchets, gestion de l'éclairage urbain, gestion des réseaux d'eau ou d'électricité.

L'utilisation des techniques de localisation a tenu sa part dans des applications biologiques (étude du déplacement des populations animales, la santé de la flore).

#### **2.2.4.5 Aide à la prise de décision**

La rencontre des données géographiques, des technologies de l'information et d'un domaine métier applicatif font de la géomatique un outil incomparable d'aide à la prise de décision. En effet, l'outil géomatique s'adresse directement aux décideurs par l'approche intuitive qu'il propose et sa facilité d'emploi. La géomatique est un outil de gouvernance.

## **2.3 Bases de données à référence spatiales**

### **2.3.1 Définitions**

Des bases de données ont été développées depuis de nombreuses années dans toute une série de domaines, de la gestion des données statistiques ou médicale à celles des entreprises. Selon Laurini et Thompson (Laurini, et al., 1992), une base de données est une collection de données non-redondantes représentant les besoins d'un ensemble d'utilisateurs. De manière générale, le recours à une base de données présente les avantages suivants :

- gestion d'un grand volume de données ;
- organisation et structuration des données ;
- facilité de saisie, de consultation et de mise à jour des données ;
- rapidité d'extraction et de traitement des données ;
- accès facilité aux données au travers d'un langage d'interrogation approprié ;
- consistance, sécurité et protection des données.

L'augmentation considérable des capacités de calcul des systèmes informatiques, accompagnée du développement d'applications graphiques élaborées, comme les SIG, s'est traduit par des besoins nouveaux en matière de gestion de données possédant une référence spatiale. La grande famille des bases de données a ainsi accueilli un nouveau membre : les bases de données géographiques (ou bases de données à référence spatiale BDRS). Ces derniers peuvent se définir comme un ensemble de données géoréférencées organisé en vue de son utilisation par des programmes d'ordinateurs (des applications), pouvant décrire plusieurs thèmes à des échelles différentes pour un même territoire (Federal Geographic Data Committee 1994 ; Commission permanente de la Recherche Géographique 1993). En effet, les **géodatabases** sont des bases de données relationnelles qui contiennent des informations géographiques. Le modèle de géodatabase prend en charge un modèle de données vectorielles **orienté objet**. Avec ce modèle, les entités sont représentées comme des objets avec des

propriétés, un comportement et des relations. Une entité du monde réel est représentée par un objet correspondant à un enregistrement dans une table relationnelle.

### 2.3.2 Caractéristiques des BDG

Les bases de données géographiques se distinguent par les aspects suivants :

- Elles contiennent des données alphanumériques et des données graphiques. Ces dernières permettent de localiser et de définir la forme géométrique des phénomènes représentés.
- Les liens de voisinage, d'adjacence, d'intersection, d'appartenance et d'inclusion qui relient les phénomènes du territoire, nécessitent de prendre en compte la dimension topologique de l'information spatiale.
- L'échelle de perception de la réalité n'est pas unique, ce qui nécessite de disposer de plusieurs niveaux de définition de l'information spatiale.
- L'existence de deux modes de structuration de l'information géographique, à savoir les modes matriciel (raster) et vectoriel, nécessite de les faire cohabiter et de les combiner pour pouvoir intégrer et exploiter l'ensemble des informations spatiales répondant aux besoins des utilisateurs.
- Le besoin de pouvoir accéder aux informations au travers des objets graphiques nécessite le développement de structures de représentation physiques appropriées et l'extension des langages d'interrogation habituellement utilisés.

### 2.3.3 Information géographique

L'information géographique (IG) peut être définie comme l'ensemble de la description d'un objet et de sa position géographique à la surface de la Terre. Il est courant de dire que 80% de l'information que nous traitons possède une dimension géographique. A cette information peut être attachée une ou plusieurs représentations graphiques.

Selon Quodverte, l'information géographique est la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel, localisé dans l'espace à un moment donné (Quodverte, 1994)

En général, l'information géographique est une information ayant une référence au territoire, soit sous la forme de coordonnées, de nom de lieu, d'adresse postale ou autre.

Elle peut être dupliquée sans dégradation,

- circule et s'échange à grande vitesse via les réseaux de communication,
- se combine avec d'autres informations en vue d'en créer de nouvelles.

Les informations géographiques sont acquises, stockées, analysées, visualisées et distribuées à l'aide de systèmes d'information géographique (Coordination de l'information géographique et des systèmes d'information géographique, 2001, Suisse).

On distingue habituellement deux types d'information géographique :

- des informations de base ou de référence (ex.: Référentiel à Grande Echelle),
- des informations thématiques concernant un domaine thématique particulier (environnement, biodiversité, transport, réseaux d'utilités, foncier, etc.) venant enrichir la description d'un espace ou d'un phénomène défini par des informations de base.

Les trois composantes de l'information géographique sont ([Association Française de l'information géographique](#)) :

- l'information relative à un objet décrit par sa nature, son aspect : c'est le niveau **sémantique**. L'ensemble des attributs de l'objet forme ses attributs (ex. : le numéro d'une parcelle cadastrale, le nom d'une route, d'une rivière, d'une commune, etc.).
- les relations éventuelles avec d'autres objets ou phénomènes : c'est le niveau **topologique** (ex. : la contiguïté entre deux communes, l'inclusion d'une parcelle dans une commune, l'adjacence entre les différents nœuds des tronçons constituant des parcelles cadastrales, etc.).
- la forme et la localisation de l'objet sur la surface terrestre, exprimés dans un système de coordonnées explicite c'est le niveau **géométrique** (ex. : coordonnées géographiques polaires ou sphériques de type Longitude-Latitude ou coordonnées cartographiques issues d'une projection cartographique comme la projection Lambert). Un système de coordonnées peut être valable sur tout ou partie de la surface terrestre ou autre (ex. : le système géodésique mondial WGS84).

#### 2.3.4 Qualité de données

Le développement considérable de l'information géographique, que ce soit dans un contexte professionnel ou pour une utilisation « grand public », nous oblige à reconsidérer de plus en plus sérieusement le problème de la qualité des données dont l'impact a une influence directe sur la fiabilité des analyses spatiales produites et des décisions qui en découlent.

On peut traduire la qualité interne de la sorte : « comment puis-je mesurer la qualité de mes données et comment le faire savoir ? ». Elle se mesure au travers de critères (précision géométrique, exhaustivité, précision sémantique, cohérence logique, actualité, etc.) définis dans la norme ISO 19113 qui a été révisée par la norme ISO 19157<sup>3</sup>.

Les principaux éléments de la norme sont les suivants ([Organisation internationale de normalisation](#)):

- Informations concernant l'identification, y compris le titre de l'ensemble de données, la zone couverte, les mots clés, l'objet, le résumé et les restrictions d'accès et d'utilisation ;

<sup>3</sup> La nouvelle norme (ISO 19157) établit en 2013 a remplacé les normes ISO 19113, 19114 et 19138.

- Informations concernant la qualité des données, telles que l'évaluation de l'exactitude horizontale <sup>4</sup>et verticale, la cohérence logique, l'exactitude sélantique, l'information temporelle, la complétude et l'historique des ensembles de données. L'historique inclut les sources de données utilisées pour produire l'ensemble de données, ainsi que les étapes du traitement et les produits intermédiaires ;
- Informations concernant l'organisation des données spatiales qui concernent la façon dont les données sont stockées, par exemple les informations relatives aux points, au mode maillé et mode vectoriel ainsi qu'à la juxtaposition des feuilles de carte numérique ;
- Informations de référence spatiale comprenant les paramètres de projection et tous autres paramètres pertinents définissant le système de coordonnées ;
- Informations relatives aux entités et aux attributs contenant des définition détaillées des attributs de l'ensemble de données, y compris les types de données attributs, les valeurs admissibles et les définitions ;
- Informations sur la distribution des données y compris le distributeur, le format du fichier de données, les types de médias hors ligne, les liaisons en ligne avec les données, la facturation et la procédure de commande ;
- Informations de référence sur les métadonnées, renseignant sur les métadonnées elles-mêmes, et ce qui est important leur auteur et la date de leur élaboration.

## 2.4 Système d'Information Géographique

### 2.4.1 Introduction

L'information géographique est devenue l'instrument indispensable de la gestion rationnelle de l'espace. Il y a quelques années la mise en place de SIG paraissait réservée aux grandes structures. Aujourd'hui les progrès informatiques et les possibilités offertes en matière de gestion et d'analyse, conduisent à la généralisation de l'outil à tous les échelons du territoire. Cependant la mise en place d'un SIG, quelle que soit la taille du territoire, reste un investissement humain et financier important.

Le premier système d'information géographique a été mis en place à la fin des années 60 par le gouvernement fédéral canadien qui avait besoin d'un outil pour effectuer ces activités de cartographie et assurer la gestion et la mise à jour de la base de données territoriales nationales (Roche, 2000).

Le système d'information géographique ou S.I.G. est un véritable instrument de travail, son application permet de représenter sur un écran d'ordinateur (système informatique) une carte ou un plan plus renseigné qu'un document papier ou un fichier d'attribut du faite que, chaque information attributaire est liée directement à un objet géographique.

### 2.4.2 Définitions

Selon la Comité Fédéral de Coordination Inter-agences pour la Cartographie Numérique, 1988,USA., le Système d'Information Géographique est un Système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçu pour permettre: (1) la collecte, (2) la gestion, (3) la manipulation, (4) l'analyse, (5) la modélisation et (6) l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion.

La Société française de Photogrammétrie et de télédétection (1989) a donné la définition suivante : «*Un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement (géoréférencées)* ». Aronoff, le définit<sup>5</sup> comme *un système informatique pour gérer les données géoréférencées, il offre les quatre fonctionnalités: acquisition, gestion des données (archivage de données), la manipulation et l'analyse, et l'affichage de données* (Aronoff, 1989).

L'économiste français M. Didier le définit comme « un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision». (Didier, 1990). À cet ensemble, il faut ajouter les outils informatiques, tant matériels que logiciels, nécessaires à l'exploitation des données.

Selon Randremanana, (Randremanana, et al., 2001), un SIG peut être défini comme "*un ensemble de données de nature diverse, structurées de façon à être gérées facilement et dont le point commun est d'être géoréférencées, c'est-à-dire être repérées dans l'espace, à l'aide de coordonnées géographiques*".

Un SIG. est donc constitué : d'une part, d'un ensemble de données géographiques numériques, accompagnées de leur description détaillée en termes de précision, d'exhaustivité; d'autre part, des moyens informatiques permettant de traiter ces informations, de les gérer et d'en extraire - de la façon la plus efficace et la plus simple possible - des sous-ensembles utiles pour les présenter à l'utilisateur.

Par conséquent, cette diversité de définition des SIG a causée de nombreuses nominations de ces systèmes. Les anglophones utilise le terme GIS (Geographic Information System) sans faire de distinction le logiciel et l'application qui l'utilise (Thériault, 1996) in (Joerin, 1997). Les francophones utilisent les termes SIG, SIRS<sup>6</sup>, SIL, SIT...etc.

---

<sup>5</sup> La définition " A GIS is a computer-based system that provides the following four sets of capabilities to handle georeferenced data: Input, data management (data storage and retrieval), manipulation and analysis, and Output"

<sup>6</sup> SIRS: Système d'Information à Référence Spatiale. Il est formé de deux catégories : les SIT; dédié pour le traitement administratif des données d'échelle cadastrale, et les SIG qui visent l'étude synthétique des milieu et des activités distribuées sur le territoire, tels qu'on les perçoit à l'échelle locale et régionale [Thériault, 1989 in Florent JOERIN 1997].

### 2.4.3 Notions de base

Il est nécessaire de différencier entre deux termes couramment utilisés dans les problématiques qui peuvent être traitées avec les Système d'Information Géographique à savoir la donnée et l'information :

*Donnée* : représentation d'une information sous forme conventionnelle destinée à faciliter son traitement et sa communication. Elle sera plutôt utilisée pour désigner des éléments dans le cadre de leur manipulation informatique, sans référence à leur signification.

*Information* : une information est la signification qui est attachée à une donnée. Une information concerne un utilisateur. Elle devient une donnée quand elle est dans l'ordinateur. L'information sera plutôt utilisée pour désigner des éléments avant et après le traitement informatique.

### 2.4.4 Fonctionnalités d'un SIG

Les SIG présentent un certain nombre de fonctionnalités qui peuvent être rassemblées de différentes manières. Dans ce contexte, on trouve plusieurs typologies<sup>7</sup> qui regroupent d'une façon plus au moins exhaustive l'éventail des potentialités des SIG.

#### 2.4.4.1 Abstraction

Les SIG sont utilisés pour réaliser des descriptions du territoire permettant d'obtenir l'information nécessaire pour répondre à une problématique déterminée. Ils contiennent cette information sous plusieurs formes dont certaines sont des représentations d'éléments ou de phénomènes existants. Ces représentations cherchent à reproduire le plus fidèlement possible la réalité d'une manière compréhensible par les utilisateurs et utilisable informatiquement dans le but de répondre à des objectifs donnés. Il est donc nécessaire de préciser les éléments sur lesquelles on doit disposer d'information et la nature de celle-ci. Le monde réel est ainsi modélisé en fonction des besoins, ce qui permet de définir précisément le contenu du système. (voir figure 2.1).

Les SIG (au sens du logiciel) gèrent plusieurs types de supports d'informations correspondant à plusieurs familles de données : certaines sont dites "vectorielles" (les objets sont représentés ou schématisés par un élément ayant une forme<sup>8</sup> et des propriétés), d'autres sont dites "raster" (appelé aussi mode image ou mode matriciel) telles les photographies, les images satellitaires, images scannées... etc.

<sup>7</sup> Comme par exemple celles des "cinq A", qui comprend les fonctions : "Abstraction", "Acquisition", "Archivage", "Analyse", et "Affichage" [Denègre et al., 1996 in (Molines, 2003)] ou celle de Joliveau [ (Joliveau, 2003)in (Molines, 2003)] qui distingue: "l'intégration", "la structuration", "la visualisation", "les géotraitements", et "la symbolisation/présentation".

<sup>8</sup> Point, ligne, polygone

Le système d'information géographique sera ainsi basé sur une description synthétique du territoire, c'est à dire qu'un choix de contenu a été effectué, un mode de description a été retenu et les relations entre objets et les renseignements attributaires ont été identifiés . Il reprend toutes les fonctionnalités attendues d'un système d'information et prend en compte la dimension supplémentaire imposée par la géométrie

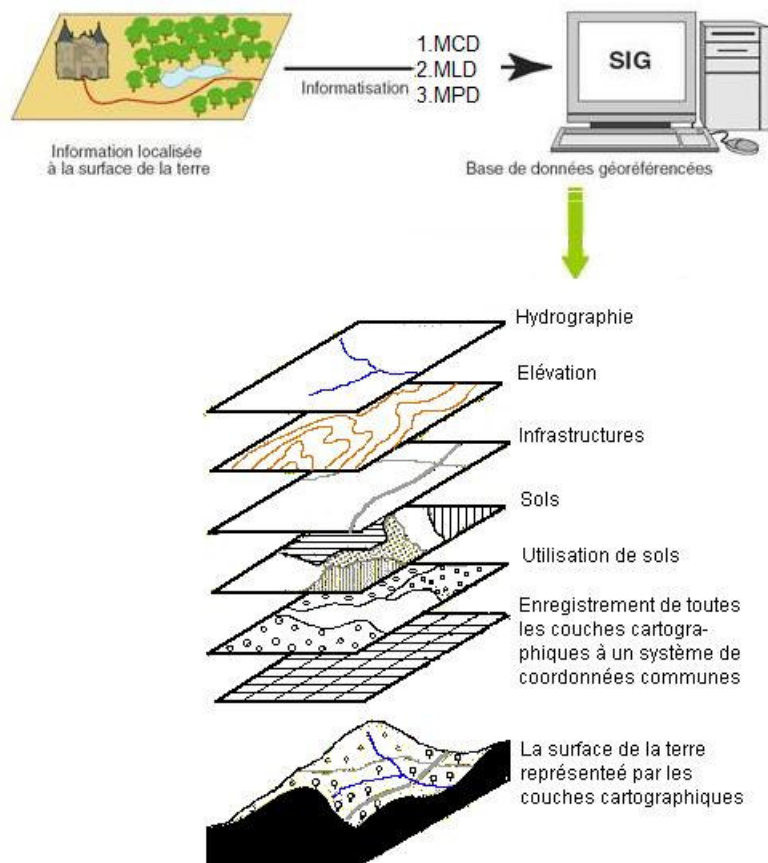


Figure 2-1 Modélisation du monde réel

#### 2.4.4.2 Acquisition des données

Les éléments que doit contenir le système sont connus dès que le modèle conceptuel est établi et les informations géométriques et sémantiques nécessaires sont précisées. Les données doivent ensuite être intégrées et doivent répondre aux exigences de qualité induites par les objectifs à atteindre. Ces données peuvent provenir de fournisseurs extérieurs, de numérisation directe ou de traitements particuliers comme des images satellites par exemple.

## Les techniques d'acquisition

Pour les données vecteurs les sources sont soit indirectes, plan, photo, image satellite, soit directes avec des levés terrains.

- *Acquisition à partir de documents existants*

Du papier (plan carte) au numérique, à partir d'une planche à numériser ou du scannage de la donnée sur l'écran de l'ordinateur, on numérise des objets dessinés sur le plan en données vecteurs. L'inconvénient de cette méthode est la retranscription des erreurs dues au support d'origine (déformation du papier, épaisseur du trait, ...). Si la donnée est scannée et géo-référencée c'est de la donnée « raster »

- *Acquisition à partir de photos*

De la photo (scannée) ortho-rectifiée à la donnée vecteur, c'est une des principales sources pour une numérisation précise sur de grands territoires (la constitution de la donnée topographique de l'INCT (Institut National de Cartographie et de la Télédétection) ou du ANC (Agence National du Cadastre) pour l'ensemble du territoire se fait par photogrammétrie). La précision de la donnée est en relation avec la précision de la photo. Ce type d'acquisition nécessite soit des enquêtes terrain soit des croisements avec d'autres données pour qualifier la donnée ; la photo est une simple collection de pixels.

- *Acquisition à partir d'image satellite*

L'image satellite constitue la principale source d'information pour l'occupation du sol grâce à la télédétection qui regroupe l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci.

- *Acquisition à partir de donnée alphanumérique*

La donnée littérale permet de créer de la donnée (géocodage) ou de l'enrichir.

- *Acquisition à partir du terrain*

Généralement utilisée pour des chantiers de petite taille ou en complément avec d'autres techniques.

- Levé GPS (Global Positionning System) système de positionnement, à l'échelle du Globe, sur un ensemble de satellites artificiels.
- Levé à la planchette.
- Levé avec théodolite (mesure des angles) et/ou distancemètre.

**Remarque :** Il faut clairement distinguer la précision de la localisation et la qualité des données attributaires. On peut dire que la fiabilité résulte d'une combinaison de la précision géométrique et de la présence de métadonnées judicieuses.

La création de donnée géographique rentre dans le cadre de production intellectuelle et donc de la propriété intellectuelle.

L'acquisition de données n'entraîne pas le transfert au profit de l'acquéreur des droits exclusifs de propriété. Leur utilisation peut-être limitée, interdiction ou limitation de reproduction graphique ou numérique de la donnée sur internet ou document papier.

L'achat de données à un producteur autorise le plus souvent à utiliser la donnée mais ne donne pas la propriété de celle-ci.

Le droit de la propriété intellectuelle, droit d'auteur s'applique à des données dont la mise en forme (structuration) doit présenter un caractère d'originalité. L'utilisateur devra s'assurer auprès de l'auteur qu'il est autorisé à reproduire tout ou partie de l'œuvre de celui-ci.

Le droit économique permet de protéger les données en raison de l'investissement substantiel qui a permis de les produire. Ce droit permet de protéger le contenu de la base et non plus sa seule structure. Ces deux protections sont cumulables ou peuvent être indépendamment invoquées.

Toute concession de droits d'utilisation de données géographiques accordée par un fournisseur à un tiers doit faire l'objet d'un écrit (contrat ou licence) prévoyant la nature des droits cédés ainsi qu'une description de la donnée.

#### **2.4.4.3 Archivage**

Le SIG rassemble un volume important d'information afin de permettre son utilisation dans des applications variées, il possède des capacités de traitements spécifiques à la composante géométrique et offre une palette d'outils permettant de travailler avec en particulier dans les calculs de proximité ou dans les recherches basées sur des critères géométriques. C'est une des fonctions les moins visibles pour l'utilisateur. Elle dépend de l'architecture du logiciel avec la présence intégrée ou non d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) relationnel ou orienté objet. Au niveau logique, certains systèmes informatiques gèrent simultanément les données géométriques et les données attributaires alors que d'autres séparent ces deux types de données. Cela entraîne des conséquences car les possibilités de traitements ne sont pas les mêmes. De plus au niveau physique, les bases de données peuvent être réparties sur plusieurs sites, le lien étant réalisé par des serveurs.

#### **2.4.4.4 Analyse**

L'analyse est le mode le plus puissant et le plus riche. On regroupe dans les fonctionnalités d'analyse des opérateurs permettant d'incorporer dans les requêtes des critères géométriques et

certaines possibilités de calculs sur les données géographiques (Henri, 1995). Les différentes relations que l'on peut mettre en œuvre concernent la proximité (trouver les objets proches d'un autre), la topologie (objets jointifs, inclus, partiellement inclus, exclus...etc.) ou la forme (taille, type...etc.). Il est ainsi possible de combiner les propriétés géométriques avec les propriétés sémantiques afin de réaliser une analyse assez complète.

Les autres fonctions d'analyse spatiale sont des opérations mathématiques qui exploitent les propriétés topologiques des données géographiques :

- Création de zones tampons<sup>9</sup> autour de points, lignes, polygones ;
- Croisement de polygones (calcul des polygones résultants de l'intersection de deux ou plusieurs objets surfaciques), et plus généralement opérations booléennes sur des polygones (intersection, union, inclusion, exclusion...etc.) ;
- Analyse de graphes (recherche le plus court chemin suivent la distance ou un autre critère.) ;

Cette liste n'est pas complète, car il faudrait ajouter d'autres fonctionnalités ; notamment celles spécifiques aux données pixels.

La combinaison de toutes ces fonctionnalités de requêtes, d'analyse, sur des données en mode vecteur ou raster, permet de résoudre des problèmes assez complexes.

#### **2.4.4.5 Affichage**

Les SIG permettent l'édition des données et des résultats des traitements sous diverses formes : affichage à l'écran (affichage des différentes couches, résultat des requêtes...etc.), édition sur traceur, imprimante (édition des données sur support papier), ou copie d'écran, mais aussi création de rapports, statistiques, d'histogrammes ou de graphiques diverses.

Les SIG sont principalement caractérisés par leur capacité à traiter numériquement à la fois la composante spatiale et la composante thématique d'un phénomène (Joliveau, 2000).

La Figure 2-2 présente l'ensemble des fonctions d'un Système d'Information Géographique, aussi les relations entre ces différentes fonctions sont exprimées :

---

<sup>9</sup> Ensemble des points situés à moins de telle distance de tel objet ou de tel groupe d'objets.

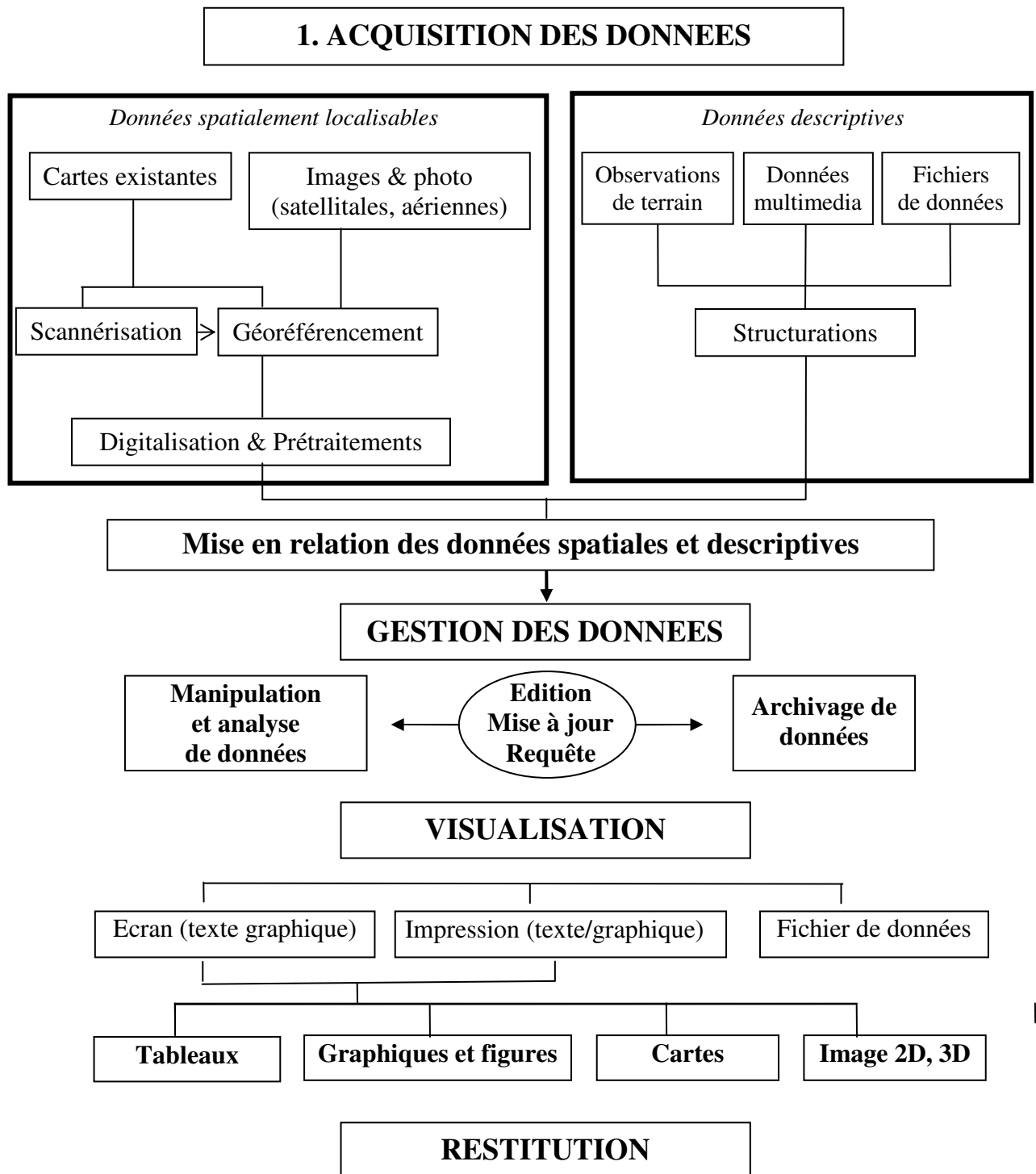


Figure 2-2 Les fonctions d'un SIG

### 2.4.5 Structuration de l'information géographique

L'information dite géographique s'oppose à la donnée brute en ce qu'elle est plus élaborée. L'information géographique comporte deux aspects : une dimension spatiale de type géométrique et une dimension thématique d'ordre sémantique<sup>10</sup>. La première permet de localiser les objets dans un système de coordonnées (latitude et longitude ou coordonnées cartésiennes). La dimension thématique, quand à elle, renseigne sur les qualités de ces derniers à travers des attributs qui les caractérisent (nature, aspect...).

Ces données géographiques sont stockées dans des bases de données spatiales et attributaires. En effet, elles sont structurées sous forme de couches d'informations monothématiques, c'est à dire composées d'entités de même nature, auxquelles correspond une table attributaire. Les couches sont superposables et peuvent respectivement contenir du linéaire, du surfacique ou encore du ponctuel.

#### 2.4.5.1 Les données graphiques

On distingue essentiellement deux modes de représentation de données graphiques : le mode vecteur et le mode raster.

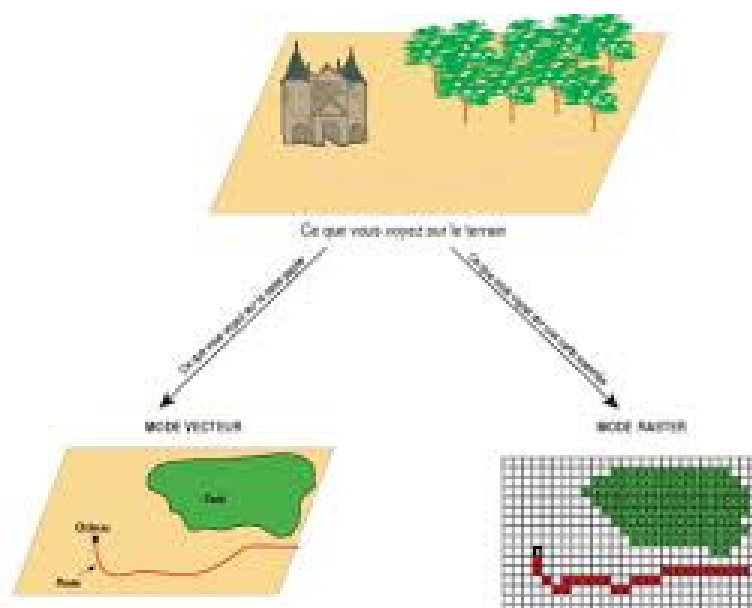


Figure 2-3 Modes de représentation de l'information géographique

<sup>10</sup> Du grec sèmantikos : « signifiant ».

**a. Données vecteurs :** Les données vecteur sont un ensemble d'objets géographique représenté chacun par des primitives graphique : le point et l'arc, Les arcs se connectent à leur extrémité ou nœud pour former des lignes et des polygones.

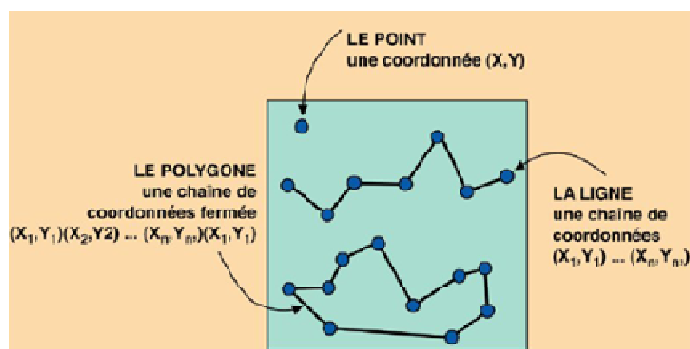


Figure 2-4 Primitives élémentaires dans le mode vecteur

**Les points :** Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés, les puits, les points de sondages, les sièges d'exploitation ...etc.

- **Les lignes :** Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau. Les réseaux techniques, les cours d'eau ou les voies sont des données linéaires.
- **Les polygones :** Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles ou tout autre zonage thématique ; se sont des données surfaciques.

**Remarque :** le choix des primitives élémentaires utilisées dans ce mode dépend aussi de l'échelle de présentation (petite, moyenne et grande).

**b. Données raster:** En mode raster, l'image est composée par un ensemble d'éléments carrés de même dimension, le pixel. Parmi les données graphiques en mode raster, on retrouve, l'image satellitaire, l'ortho photographie, l'orthophotoplan. C'est également un mode de représentation des phénomènes alternatifs au mode vectoriel en ce qu'il permet une représentation homogène et généralisée des processus, phénomènes et des territoires.

La réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La

juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique.

On peut distinguer deux types de données raster :

- **Les images** : utilisées essentiellement pour la représentation graphique (photo aérienne, carte scannée).

L'information contenue dans la matrice de pixel concerne la couleur de représentation de l'information. Cette information n'est pas directement accessible.

- **Les grilles** : utilisé pour du calcul et de la modélisation (modèle numérique du terrain).

L'information contenue dans la matrice de pixel concerne une valeur quantitative (ex. Altitude), cette information peut être vue où modifier dans la table attributaire.

**c. Données alphanumériques** : Les données alphanumériques sont l'ensemble des données qualitatives (nom de la parcelle) et quantitatives (rendement d'une parcelle agricole) associées à chaque entités du fichier de formes.

Le lien dynamique entre donnée alphanumérique et graphique peut se traduire de deux manières :

- à chaque fois que l'on pointe graphiquement sur l'objet d'une couche (une parcelle...) on connaît les propriétés de l'objet pointé.

- à chaque fois que l'on pointe dans une table attributaire sur un objet, on sait immédiatement où se situe cet objet sur la couche d'information associée.

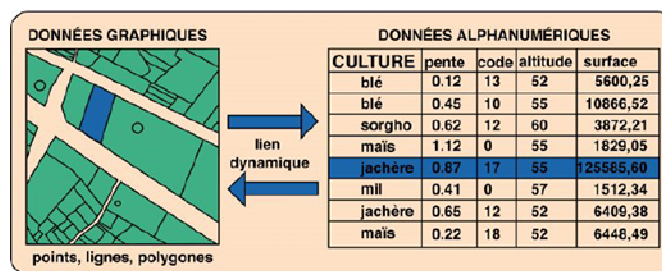


Figure 2-5 Lien dynamique entre objet géométriques et son attribut

#### 2.4.5.2 Comparaison entre le mode vecteur et raster

Les avantages et les inconvénients traditionnels du mode raster vis-à-vis le mode vecteur ont été documentés par Kenndey et Meyers (1997) (REDDY, 2008). Les questions fondamentales incluent le volume de données, l'efficacité de récupération, l'exactitude de données, l'affichage de données, l'exactitude à la perturbation, et la manipulation de données, l'efficacité, et les

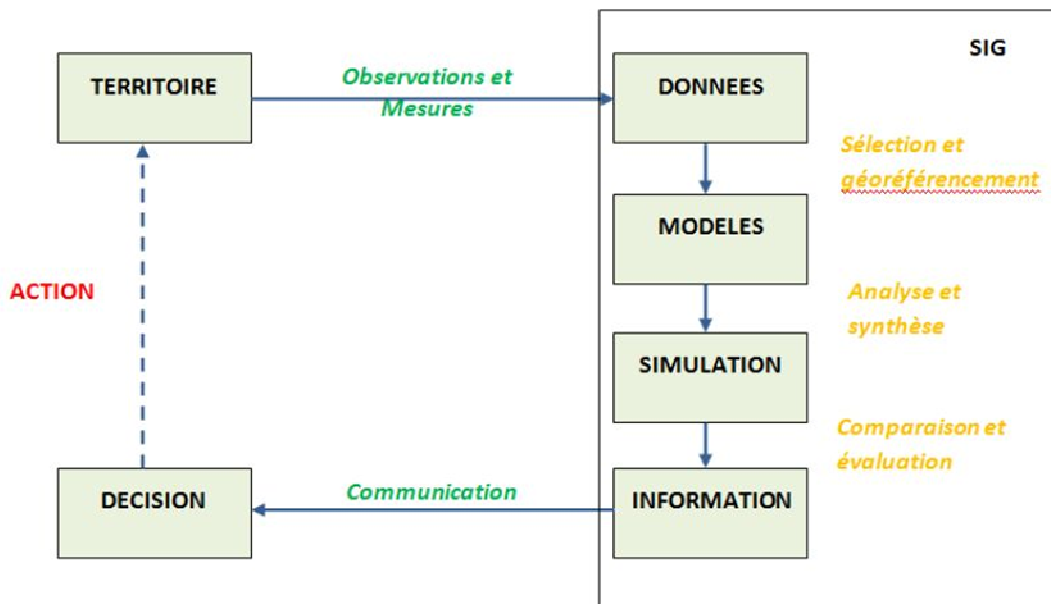
possibilités de traitement. Des comparaisons détaillées entre les deux modes sont présentées dans le Tableau 2-1:

	<b>Raster</b>	<b>Vecteur</b>
<b>avantages</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Structure de données simple.</li> <li>2. la superposition des couches est facilement et efficacement réalisable.</li> <li>3. La variabilité spatiale est efficacement représentée dans ce mode.</li> <li>4. Le mode raster est plus ou moins exigé pour la manipulation et le perfectionnement efficaces des images numériques.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Il fournit une structure de données plus compacte que le mode raster.</li> <li>2. Il fournit le codage efficace de la topologie, et, en conséquence, l'exécution plus efficace des opérations qui exigent l'information topologique, comme, analyse en réseau.</li> <li>3. Le mode le mieux adapté à la représentation de la réalité.</li> </ol>
<b>inconvénients</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La structure de données raster est moins compacte.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. C'est la structure de données la plus complexes qu'une structure raster simple.</li> </ol>

**Tableau 2-1** Comparaison entre le mode raster et vecteur

#### **2.4.6 Les SIG ; outil d'aide à la prise de décision**

De l'observation du réel découle un ensemble de données qui se voient modélisées. Soumises à un ensemble d'opérations d'analyses spatiales (requête spatiale, attributaire, calcul de densité..), les données participent à la construction d'une information géographique. Cette dernière sert de support d'aide à la prise de décision au moyen d'un outil de communication visuelle qu'est la carte. Le SIG donne aux acteurs locaux des outils, des moyens, des méthodes, des informations qui sont à même de leur permettre d'évaluer et de comprendre les phénomènes et les territoires en vue d'action de ces derniers. (cf. figure 2.6).



Source : X. Amelot

**Figure 2-6** Les SIG comme outils d'aide à la prise de décision

Les SIG offrent un véritable aide pour les utilisateurs en ce qui concerne la gestion et la représentation des données spatiales. Ainsi, ces systèmes ont joués un rôle important dans le cadre de l'aménagement du territoire<sup>11</sup> (étude d'impact, choix des sites d'implantation... etc.). Les SIG en favorisant, sur une zone très large, le croisement (superposition), le traitement, et le stockage de l'information géographique, améliorent encore sa représentation (divers genres de représentation).

## 2.5 Télédétection

### 2.5.1 Introduction

Dans les premières années de la télédétection, quand toutes les données provenaient de photographies aériennes, la possibilité d'intégrer des données de différentes sources était plutôt limitée. Aujourd'hui, la plupart des données, provenant de divers capteurs, sont disponibles en format numérique, ce qui fait de l'intégration des données une méthode commune pour l'interprétation et l'analyse.

<sup>11</sup> L'information géographique par le biais de la carte, permet de visualiser l'impact du choix d'aménagement, de les expliquer et d'en débattre (CNIG, 1998 in (Molines, et al., 2002)).

La télédétection intégrée avec les fonctionnalités des SIG joue un rôle majeur dans le développement et la gestion des problèmes territoriaux en fournissant des informations sur la couverture des sols, l'utilisation des terres, qualité de l'eau, la productivité.

### 2.5.2 Définition

La télédétection (remote sensing en anglais) est une technique permettant d'obtenir de l'information sur des objets en analysant des données collectées par des instruments n'étant pas en contact direct avec ces objets. Le Centre canadien de télédétection la définit comme «*La technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information*».

### 2.5.3 Acquisition de données

#### 2.5.3.1 Spectre électromagnétique

Chaque objet émet de l'énergie électromagnétique à cause de l'agitation des particules chargées qui sont présentes dans toute matière. Cette énergie est émise par les objets, mais elle peut aussi être transmise, absorbée et réfléchi par ces mêmes objets. Le soleil est une des principales sources naturelles d'énergie électromagnétique reçue sur terre, mais il existe aussi de nombreuses sources artificielles comme les lampes électriques, les fours à micro-ondes, les GSM, etc.

Le rayonnement électromagnétique est composé d'une multitude d'ondes, chacune caractérisée par sa fréquence ( $\mu$ ) ou par sa longueur d'onde ( $I$ ), les deux étant liés ( $\mu = v/I$ ,  $v$  étant la vitesse de propagation des ondes dans le milieu considéré). Le spectre électromagnétique du soleil comprend des rayonnements de longueurs d'ondes très courtes, comme les rayons gamma et rayons X, (de l'ordre du 1/100 de micron) ou très longues, comme les ondes radios (jusqu'à des kilomètres). Une petite partie du spectre électromagnétique revêt une importance toute particulière pour nous : celle qui correspond aux longueurs d'ondes de 0.4  $\mu\text{m}$  à 0.7  $\mu\text{m}$  (lumière visible). Dans cet intervalle de fréquences, chacune des couleurs de l'arc-en-ciel correspond à une longueur d'onde particulière (bleu :  $\pm 0.45 \mu\text{m}$ , vert  $\pm 0.55 \mu\text{m}$ , rouge  $\pm 0.65 \mu\text{m}$ ).

Lorsqu'un rayonnement atteint un objet, il peut en absorber une partie, et en réfléchir une autre. Dans tous les cas, les caractéristiques du rayonnement électromagnétique seront modifiées. Les végétaux utilisent principalement la partie rouge du spectre solaire pour réaliser la photosynthèse. Le spectre lumineux réfléchi est donc amputé de cette partie rouge, et la lumière réfléchi par les feuilles apparaît verte. Une représentation graphique (Figure 2-7) de la "signature spectrale" des objets, avec en abscisse les différentes fréquences (ou longueurs d'onde) et en ordonnée l'intensité du rayonnement électromagnétique réfléchi.

On remarque que les différents objets n'absorbent pas tous la même partie du rayonnement solaire, et qu'en conséquence, le spectre du rayonnement réfléchi est différent. L'allure du spectre électromagnétique réfléchi par un objet est appelée sa "signature spectrale". La télédétection exploite cette propriété : l'analyse des caractéristiques du spectre électromagnétique réfléchi par les objets (leur signature spectrale) permet dans une certaine mesure de déterminer certaines propriétés des objets. Fondamentalement, la vision humaine utilise le même principe : elle exploite la couleur pour identifier des objets. Les capteurs utilisés en télédétection permettent toutefois d'élargir le champ d'analyse à des parties du spectre électromagnétique allant bien au delà de la lumière visible.

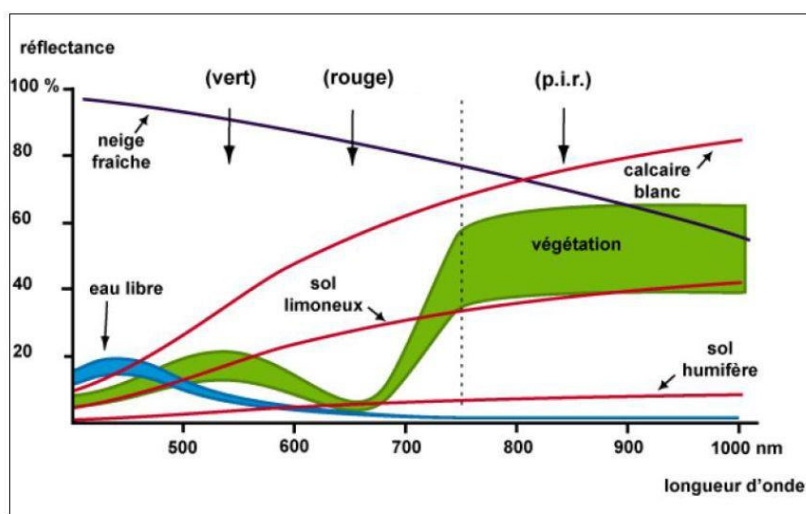


Figure 2-7 Signatures spectrales des objets

Pour analyser tous les détails d'un spectre électromagnétique, on utilise normalement le spectro-radiomètre, qui permet d'analyser l'ensemble des fréquences d'un rayonnement électromagnétique. D'autres appareils, plus simples, n'effectuent que quelques mesures, correspondant à des parties du spectre des fréquences (bandes spectrales). Les données fournies par de tels radiomètres multi-spectraux, bien que discrètes (non continues), permettent également de distinguer différents types de matériaux.

Pratiquement, les capteurs utilisés en télédétection couvrent le domaine de l'ultraviolet ( $<0.3 \mu\text{m}$ ), le domaine visible (de  $0.4 \mu\text{m}$  à  $0.7 \mu\text{m}$ ), l'infrarouge proche ( $0.7 \mu\text{m}$  à  $1.5 \mu\text{m}$ ) et l'infrarouge thermique (jusque  $1000 \mu\text{m}$  ou  $1 \text{mm}$ ). Ces capteurs se contentent généralement de mesurer et d'analyser le rayonnement réfléchi par les objets éclairés par le soleil (systèmes passifs). D'autres systèmes de télédétection émettent un rayonnement vers la surface de la terre et en analysent l'écho (systèmes actifs). Ils opèrent généralement dans le domaine des micro-ondes ou ondes radar avec des longueurs d'ondes comprises entre  $0.1 \text{cm}$  et  $1 \text{m}$ .

### 2.5.3.2 Images de Télédétection

La télédétection a été une des premières disciplines basées sur l'analyse et l'exploitation d'images numériques, et de nombreuses techniques de traitement d'images ont été mises au point dans le cadre de projets de télédétection. De nos jours, les images numériques sont omniprésentes et la télédétection ne représente plus qu'une infime partie des utilisations possibles. Les images de télédétection se caractérisent principalement par les résolutions spectrale et spatiale.

- *résolution spectrale* : En fonction de leurs caractéristiques techniques, les capteurs à bord des satellites enregistrent le rayonnement réfléchi ou émis par les objets au sol dans des gammes ou intervalles de longueur d'onde donnés. La résolution spectrale est l'aptitude du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes. Plus le capteur est sensible à des différences spectrales fines (intervalles de longueur d'onde étroits), plus la résolution spectrale du capteur est élevée. La résolution spectrale dépend du dispositif de filtrage optique qui décompose l'énergie captée en bandes spectrales plus ou moins larges.
- *résolution spatiale* : En télédétection, on exprime la résolution des images par la taille de la zone couverte par un pixel. Chaque pixel de l'image correspond à une partie de la surface de la terre. On parle alors de "résolution-sol". Chaque élément sensible du CCD du capteur haute résolution du satellite SPOT ne mesure que 13  $\mu\text{m}$  (0,013 mm) mais, cet élément sensible "voit" une zone d'environ 10x10 mètres à la surface de la terre à travers le télescope du système d'observation. On dira donc que la résolution de ce capteur est de 10 mètres.

Comme le capteur CCD de ce satellite est composé de 6000 éléments sensibles placés le long d'une barrette, le satellite circulant sur son orbite "balaye" une zone de 6000 x 10 m (60km) à la surface de la terre. La résolution des satellites d'observation de la terre les plus courants est donnée dans le tableau ci-dessous :

Satellite	Capteur	Résolution-sol
Landsat	MSS	80m
Landsat	Thematic Mapper (TM)	30m
SPOT	XS (Multispectral)	20m
SPOT	Panchromatique	10m
Ikonos	Multispectral	4m
Ikonos	Panchromatique	1m

**Tableau 2-2** Résolution spatiale des satellites les plus courants

## 2.5.4 Traitements d'images

### 2.5.4.1 Corrections géométriques

Les images acquises par les systèmes d'observation de la terre ne peuvent être directement superposées à des cartes parce qu'elles sont affectées de déformations géométriques. Ces déformations sont dues à des erreurs de positionnement du satellite sur son orbite, au fait que la terre tourne sur son axe durant l'enregistrement de l'image, aux effets du relief terrestre, etc. Elles sont encore amplifiées par le fait que certains satellites prennent des images en oblique.

Certaines déformations, comme l'effet de rotation de la terre, l'effet de visée oblique, ou les parallaxes engendrées par le relief (dans les zones à fort relief), sont prévisibles et il est possible d'en calculer l'effet, et donc d'appliquer des corrections systématiques. Les satellites ont également à leur bord des systèmes sophistiqués permettant d'enregistrer de très faibles mouvements affectant le satellite. Ces informations sont principalement utilisées pour corriger (quand c'est nécessaire) la position du satellite, mais ils peuvent également servir à corriger géométriquement les images.

Les producteurs d'images proposent généralement d'appliquer les corrections les plus élémentaires, en se basant sur les informations connues du satellite. Pour améliorer la précision des corrections, il faut disposer de points de repères (identifiés sur une carte topographique ou sur le terrain, au moyen d'un GPS). Ces données peuvent être présentées dans une projection cartographique donnée (les images sont superposables à une carte).

### 2.5.4.2 Corrections radiométriques

La lumière réfléchiée par les objets doit également traverser l'atmosphère avant d'être analysée par le capteur du satellite et cette traversée perturbe également le signal. Ces perturbations sont dues à la présence de gaz et de poussières qui peuvent absorber et/ou réfléchir certaines longueurs d'ondes, modifiant ainsi les propriétés spectrales du rayonnement.

Le traitement électronique du rayonnement reçu par les capteurs s'accompagne lui-aussi de certaines perturbations. En conséquence, il est finalement assez difficile de retrouver les valeurs radiométriques précises à partir des données enregistrées par les satellites d'observation de la terre.

Il existe plusieurs solutions pour tenter de corriger ces défauts. Certaines sont basées sur des modèles mathématiques complexes décrivant les interactions principales. Ces modèles sont efficaces, mais leur application suppose que l'on connaisse les valeurs de certains paramètres (telle la composition de l'atmosphère) lors et au lieu de la prise de vue, ce qui est rarement possible.

D'autres méthodes de correction radiométriques se basent sur l'observation de cibles de référence dont on connaît la radiométrie. Des surfaces d'eau libre, des calottes glaciaires et des étendues de sables désertiques sont souvent utilisées, mais ici aussi, on comprendra que la mise en œuvre pratique de ces corrections est souvent malaisée. En fait, une très grande

majorité des recherches en télédétection s'effectue sur des données dont la radiométrie n'a pas été corrigée.

#### **2.5.4.3 Améliorations de contraste**

La plupart des systèmes d'affichage des images numériques permettent de distinguer 256 niveaux d'intensité par couleur "fondamentale". Une image exploitant totalement cette plage de valeurs (c'est-à-dire comportant des valeurs codées 0 et des valeurs codées 255) a un excellent contraste (la gamme de couleurs s'étend du noir au blanc et comprend des couleurs pleinement saturées). Par contre, une image n'utilisant qu'une plage de valeurs numériques étroite paraîtra faiblement contrastée.

A cet effet, on applique le rehaussement des images afin de faciliter l'interprétation<sup>12</sup> visuelle et la compréhension des images. Le rehaussement des contrastes se fait en changeant les valeurs initiales de façon à utiliser toutes les valeurs possibles, ce qui permet d'augmenter le contraste entre les cibles et leur environnement.

#### **2.5.4.4 Filtrages**

Les filtrages sont des opérations destinées à améliorer la lisibilité des images et/ou d'en extraire certaines informations. Le principe des filtrages est de modifier la valeur numérique de chaque pixel en fonction des valeurs des pixels voisins. Par exemple, en remplaçant la valeur de chaque pixel par la moyenne de lui-même et de ses 8 voisins, on effectue un "lissage" de l'image : les détails les plus fins disparaissent, et l'image apparaît plus floue.

Un filtre passe-bas est conçu afin de mettre en évidence les régions assez grandes et homogènes ayant des pixels d'intensité similaire ([Centre Canadien de Télédétection, 2008](#)). Ce filtre réduit les plus petits détails d'une image. Il est donc utilisé pour lisser une image. Les filtres passe-haut font le contraire : ils sont utilisés pour raviver les petits détails d'une image. Un filtre passe-haut peut par exemple se définir en appliquant premièrement un filtre passe-bas à une image pour ensuite soustraire le résultat de l'image originale, ce qui produit une nouvelle image dans laquelle les détails ayant une fréquence spatiale élevée sont rehaussés. Les filtres directionnels ou les filtres détectant les contours sont utilisés pour rehausser les caractéristiques linéaires d'une image comme les routes ou les limites des champs.

#### **2.5.4.5 Composition colorée**

Dans les systèmes de télédétection, il est possible de détecter et d'enregistrer des parties du spectre électromagnétique qui ne sont pas décelables à l'œil nu, comme l'infrarouge par exemple. Pour pouvoir visualiser cette information, on associe aux bandes spectrales du système d'observation des couleurs d'affichage (rouge-vert-bleu), qui ne leur correspondent pas nécessairement. Ce faisant, on crée des compositions colorées, appelées parfois "images en fausses couleurs".

---

<sup>12</sup> Les résultats du rehaussement ne sont utilisés que pour l'interprétation visuelle, alors que les images originales sont utilisées pour les autres traitements (composition colorée, classification...etc.).

Cette méthode est très efficace car elle permet d'analyser en un coup d'œil des données ayant trois composantes: comme indiqué précédemment, en faisant varier de 0 à 255 les composantes rouge, verte et bleue définissant la couleur d'un pixel d'une image numérique, on peut obtenir plus de 16 millions de couleurs différentes. L'œil de l'interprète s'avère être un puissant outil d'analyse, car il permet de comparer la couleur de différents objets, mais aussi d'analyser la manière dont les couleurs sont juxtaposées, la forme et la taille des objets, etc.

#### **2.5.4.6 Classification**

L'objectif essentiel de la classification des images de télédétection est d'identifier des groupes homogènes de pixels qui représentent des classes intéressantes de surfaces. La classification numérique des images utilise l'information spectrale contenue dans les valeurs d'une ou de plusieurs bandes spectrales pour classer chaque pixel individuellement. Les méthodes de classification les plus communes peuvent être séparées en deux grandes catégories :

- ***Classification supervisée***

L'analyste ; selon ses connaissances, sa familiarité avec les régions géographiques et les types de surfaces présents dans l'image ; identifie des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Les différentes classes spectrales sont déterminées en se basant seulement sur les propriétés statistiques des données numériques de l'image en utilisant des algorithmes de classification. On affecte ensuite des classes thématiques aux groupes spectraux déterminés.

- ***Classification non-supervisée***

Dans cette approche, on laisse l'ordinateur analyser l'ensemble des signatures spectrales de tous les pixels de l'image, et déterminer des groupements naturels, c'est-à-dire regrouper les pixels sur base de signatures spectrales similaires. Dans certains cas, l'utilisateur peut imposer le nombre de catégories qu'il souhaite obtenir en fin de classification, et dans certains programmes, on peut également "forcer" certaines classes. Les algorithmes de classification procèdent en général par plusieurs passages au cours desquels les solutions proposées sont affinées de manière à créer des groupes plus homogènes et mieux différenciés.

Il existe plusieurs algorithmes de classification supervisée à savoir : Maximum de vraisemblance, Parallélépipède, Méthodes basées sur les distances interclasses (distance euclidienne, Distance Mahalanobis, etc.), et autre méthode tel que les réseaux neuronaux.

#### **2.5.4.7 Interprétation visuelle**

Les méthodes de classification numériques attribuent à chaque pixel de l'image un type de matériau de couverture, en fonction de sa signature spectrale. En interprétation visuelle, l'opérateur base son analyse sur la couleur des objets (c.-à-d. également sur leur signature spectrale), mais il tient également (et surtout) compte de la forme et de la taille des objets, ainsi que de leur disposition mutuelle dans l'image.

De plus, alors que la classification supervisée des signatures spectrales doit se cantonner à reconnaître des types de couverture, l'interprétation visuelle peut aller beaucoup plus loin et identifier par exemple la fonction de certains bâtiments, des pratiques agricoles, la structure des réseaux de communications, la structure des réseaux hydrographique, etc.

Le principal inconvénient de la photo-interprétation est qu'elle est assez fastidieuse, et que pour être efficace, elle doit être menée par des interprètes très expérimentés. Depuis quelques années, il est possible d'utiliser le potentiel des ordinateurs pour effectuer de la photo-interprétation assistée par ordinateur.

A l'inverse, certains concepts utilisés pour l'interprétation visuelle (reconnaissance de forme, analyse de textures, etc.) commencent à être exploités dans les programmes informatiques d'analyse d'image, mais ils requièrent une puissance de calcul considérable et les résultats sont encore très partiels

#### **2.5.4.8 Rapports spectraux**

La nature numérique des données de télédétection se prête particulièrement bien à des opérations entre canaux. Le principe de ces opérations est d'effectuer, pour chaque pixel, des opérations mathématiques plus ou moins complexes faisant intervenir les valeurs numériques observées pour ce pixel dans les différentes bandes spectrales.

Un grand nombre de ces transformations multispectrales se basent sur les bandes rouge et infrarouge. Plusieurs raisons à cela (Cherel, 2010):

- c'est entre les bandes rouge et infrarouge qu'on observe les plus grands écarts de réflectance entre la végétation et les sols,
- le canal infrarouge possède la plus grande richesse d'information (variance élevée),
- l'interprétation des bandes rouge et infrarouge en termes d'occupation du sol est assez aisée,
- ces bandes sont présentes sur pratiquement tous les capteurs (Spot, Landsat, NOAA, Ikonos, etc.) permettant certaines comparaisons entre différentes sources d'images.

La soustraction d'image est souvent utilisée pour identifier les changements survenus entre des images obtenues à des dates différentes. A cet effet, on utilise 2 images géométriquement liées que l'on soustrait en enlevant les valeurs d'intensité de chaque pixel d'une image aux valeurs d'intensité de chaque pixel correspondant dans l'autre image. Une mise à l'échelle peut ensuite être faite en additionnant une valeur constante (par exemple 127) à chaque pixel résultant de la soustraction. Cette transformation peut être utile pour identifier les zones de développement urbain ou pour évaluer la déforestation.

Des rapports plus complexes entre des sommes et des différences de bandes spectrales ont été développés, appelés indices. Il existe une très grande variété de ces indices qui s'appliquent à des études sur la végétation, les sols, le milieu urbain, etc. :

Le plus connu des indices est l'indice de végétation normalisé ou *indice de Tucker* (NDVI) (Tucker, 1979). Son principe repose sur le fait qu'un couvert végétal absorbe l'énergie dans la bande rouge et réfléchit beaucoup dans le proche infrarouge (PIR), d'où la formule :

$$NDVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R} \quad (1)$$

C'est une transformation très utilisée pour surveiller l'état de la végétation à l'échelle continentale ou du globe. Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, les réflectances étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses.

Aussi d'autres indices de végétation ont été développés<sup>13</sup> :

- *indice de végétation ajusté pour le sol* : Huete (Huete, 1988) propose le SAVI qui introduit un paramètre d'ajustement, noté L, qui caractérise le sol et son taux de recouvrement par la végétation. Huete a montré que les isolignes de végétation ne sont pas parallèles à la droite des sols, mais qu'elles coupent celle-ci en un point selon la densité du couvert végétal. Le paramètre L prend la valeur de 0,25 pour une forte densité et de 1 pour une très faible densité de végétation. Pour des densités intermédiaires, il est égal à 0,5.

$$SAVI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_R}{\rho_{PIR} + \rho_R + L} \times (1 + L) \quad (2)$$

- *Indice différentiel de végétation* : ou indice de végétation brut (DVI en anglais), c'est l'un des plus anciens indice. Il est donné par la formule suivante (Bacour, et al., 2006):

$$DVI = \rho_{PIR} - \rho_R \quad (3)$$

- *Indice foliaire (RVI)* : Cet indice met en avant les régions où la végétation subit un stress, ou n'est pas saine (Jordan, 1969), car :

- a) elle a une réflectance plus basse dans le proche infrarouge,
- b) donc le rapport spectral y est plus faible que celui des régions où la végétation est en bonne santé.

$$RVI = \frac{\rho_{PIR}}{\rho_R} \quad (4)$$

<sup>13</sup> Ces indices de végétation doivent être utilisés avec précaution, lorsqu'on les applique à des images qui n'ont pas été corrigées des effets atmosphériques et des divers effets d'angle.

- *Colour vegetation index (CVI)* : cet indice donne directement les niveaux d'activité chlorophyllienne et la densité du couvert végétal.

$$CVI = \rho_R - \rho_{PIR} \quad (5)$$

- *Indice d'irrigation* :

$$II = \sqrt{\rho_B^2 + \rho_V^2 + \rho_R^2 + \rho_{PIR}^2} \quad (6)$$

- *Green vegetation index (GVI)* :

$$GVI = -0,290 \rho_B - 0,562 \rho_V + 0,6 \rho_R + 0,491 \rho_{PIR} \quad (7)$$

- *Les indices de stress hydrique* : comme le MSI (Moisture Stress Index) (Hunt, et al., 1989) ou le NDWI (Normalized Difference Water Index) (Gao, 1996) sont des indices simples dans lesquels on utilise la bande spectrale du moyen infrarouge à la place de la bande rouge. Ces indices varient en fonction de la teneur en eau des feuilles. Ils permettent de déceler lorsque les végétaux sont en état de stress hydrique et sont par conséquent très utiles pour le suivi de la végétation en zone sèche.

$$MSI = \frac{\rho_{MIR}}{\rho_{PIR}} \quad (8)$$

$$NDWI = \frac{\rho_{PIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{PIR} + \rho_{MIR}} \quad (9)$$

Certains indices sont influencés par les propriétés optiques des sols sous-jacents, d'où une autre gamme d'indices permettant, en théorie, de réduire cette erreur : par exemple le perpendicular vegetation index ; le Tasseled-cap ; l'indice de végétation ajusté au sol ; etc.

En pédologie, de nombreux indices ont été créés pour mettre en évidence diverses composantes du sol :

- *l'indice de brillance (IB)*: L'indice de brillance représente la moyenne des brillances de l'image. Cet indice est donc sensible à la brillance des sols, reliée à son humidité et à la présence de sels en surface. Il caractérise surtout l'albédo.

$$IB = \frac{\sqrt{\rho_R^2 + \rho_{PIR}^2}}{2} \quad IB = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2}}{n} \quad (10)$$

L'indice de brillance permet d'estimer si l'élément de surface observé est clair ou foncé. Ce dernier cas est causé par différents phénomènes qui peuvent se combiner :

- la surface a été humidifiée (après des précipitations ou par irrigation)
- la rugosité de la surface a augmenté (par le travail du sol, par ex.)

c. le couvert végétal a augmenté. L'éclaircissement correspond bien sûr au phénomène inverse, et donne souvent lieu à un diagnostic de dégradation de l'état du milieu. L'interprétation de cet indice n'est pas toujours aisée.

▪ *l'indice de rougeur d'un sol :*

$$IR = \frac{\rho_R^2}{\rho_B} \times \rho_V^3 \quad (11)$$

▪ *l'indice de couleur d'un sol :*

$$IC = \frac{\rho_R - \rho_V}{\rho_R + \rho_V} \quad (12)$$

Un des avantages de l'utilisation des rapports spectraux est la réduction de l'effet de variation de l'illumination solaire causé par la topographie. Le fait de calculer des valeurs relatives (des rapports) plutôt que des valeurs absolues d'intensité produit une réduction des effets topographiques (Cherel, 2010).

Par exemple, la réflectance absolue d'une forêt couvrant une montagne dépend de son orientation par rapport à l'illumination du Soleil. Cependant, le rapport entre la réflectivité provenant des deux bandes spectrales est sensiblement le même.

#### 2.5.4.9 Analyse en composantes principales

Une ACP se déroule selon les méthodes statistiques traditionnelles, la particularité pour la télédétection réside dans le très grand nombre de données à traiter (les pixels).

L'approche générale consiste à définir, dans l'espace multispectral, de nouveaux canaux résumant l'information contenue dans l'image. Ce procédé vise donc à maximiser (statistiquement) la quantité d'information (ou variance) des données originales dans un nombre restreint de composantes.

De plus, les données de bandes multispectrales différentes ont souvent une corrélation très élevée et contiennent de l'information similaire. Les nouveaux canaux découplés apportent ainsi une information nouvelle. D'après Cherel (Cherel, 2010), si on travaille sur les 3 canaux SPOT, on obtient trois composantes principales ACP1, ACP2, ACP3. Dans la plupart des cas, on trouve alors les ordres de grandeurs suivants :

- L'ACP1 est assez proche de la somme des valeurs de comptes numériques pour un même pixel. Cela ressemble à un canal panchromatique. En simplifiant, ce néo canal contient plus des 2/3 de l'information multispectrale d'origine,
- L'ACP2 met généralement en valeur l'opposition entre *le visible* et *l'infra rouge*. Cela ressemble à un indice de végétation dont la formule brute serait du type :  $IR - R$ . C'est donc sur ce canal que l'on détectera le mieux les divers types de végétation,
- L'ACP3 met plutôt en valeur les différences entre les deux canaux du visible

L'analyse des composantes principales ou d'autres transformations complexes peuvent être utilisées comme techniques de rehaussement visuel pour faciliter l'interprétation ou pour réduire le nombre de bandes qui seront fournies comme données d'entrée à une procédure de classification numérique.

#### **2.5.4.10 Combinaison des images**

##### *a. Multitemporelle*

La télédétection par satellite fournit des observations de la terre à intervalles réguliers. Il est ainsi possible de comparer un paysage à différentes saisons, ou d'en suivre l'évolution à plus long terme. Plus de 20 ans d'archives de données acquises par les satellites d'observation de la terre sont disponibles.

Pour analyser des données enregistrées à des dates différentes il existe plusieurs techniques et méthodes ; le plus simple est de les afficher simultanément, dans deux fenêtres disposées l'une à côté de l'autre (beaucoup de logiciels de traitement d'image et de systèmes d'information géographique le permet). Une autre possibilité de visualisation de données multi-temporelles repose sur la synthèse additive des couleurs faite par l'œil. L'œil humain interprète la superposition des couleurs fondamentales (rouge, vert et bleu) comme de nouvelles couleurs, couvrant l'ensemble des couleurs de l'arc-en-ciel. En superposant une image acquise à une date, affichée en rouge, et une image acquise à une autre date, affichée en vert, on va créer une image dont la gamme de couleurs va du noir au jaune, en couvrant toutes les tonalités de vert et du rouge.

##### *b. Résolutions différentes*

Pour certaines applications, on souhaiterait pourtant pouvoir disposer du meilleur des deux aspects: avoir des données à haute résolution ET multispectrale. Si on dispose d'une image multispectrale à basse résolution et d'une image monospectrale à haute résolution, il est possible de les fusionner pour créer une image combinant tous les avantages. Cela se fait en décomposant l'image multispectrale en 3 composantes décrivant le contenu en couleurs : la teinte, la saturation et l'intensité. Cette transformation est appelée "RVB vers IST". Ces composantes sont corrigées géométriquement pour avoir les mêmes propriétés géométriques que l'image à haute résolution.

## **2.6 Produits dérivés**

### **2.6.1 Modèle Numérique de Terrain**

Le modèle numérique de terrain (MNT ou MNA) fournit une information altimétrique, c'est une représentation numérique simplifiée de la surface du territoire. Intégrée dans le SIG cette information joue un rôle très important dans les méthodes d'analyse spatiale en particulier pour la prise en compte de la morphologie du terrain. La disponibilité des modèles

numériques de terrain est primordiale pour l'exécution des corrections géométriques et radiométriques du terrain sur des images de télédétection.

Il existe de nombreuses représentations possibles des surfaces sous forme de MNT dans les SIG, les deux formes essentielles recouvrent celles vues précédemment à savoir raster et vecteur.

### 2.6.1.1 MNT raster

Un MNT raster est une matrice d'altitudes. Il s'agit d'un ensemble de valeurs numériques, régulièrement espacées. Chaque valeur d'altitude représente une moyenne d'un élément de surface de terrain. Cette distribution définit un maillage de la surface, la dimension de la maille définit la résolution planimétrique du MNT. Chaque point est au centre de la maille. Plus la résolution est grande plus le MNT est riche en détails topographiques. Les MNT raster peuvent être produit par différentes méthodes et à partir de source de données diverses (Gilliot, 2000):

- *à partir de courbes de niveau*

On numérise des courbes de niveau d'une carte papier qui donnent un ensemble d'arcs. On détermine ensuite les intersections de ces arcs avec le maillage du MNT à produire. On obtient un ensemble de points cotés. Cet ensemble sert de point de départ à une interpolation des altitudes en chaque point du maillage afin de produire l'ensemble du MNT recherché. Selon la densité des courbes de niveau et la méthode d'interpolation utilisée des biais apparaissent. L'utilisation des points cotés des cartes en plus des courbes de niveau peut permettre d'améliorer un peu la qualité du MNT. La précision obtenue correspond en moyenne à la demi-équidistance entre les courbes initiales. Pour des courbes séparées en moyenne de 50 m on obtient un MNT précis à 25 m.

- *à partir de photographies aériennes*

Il s'agit d'un long travail de photo-interprétation à l'aide de couples d'images stéréoscopiques et d'un stéréo-restituteur.

- *à partir d'images numériques, satellitaires le plus souvent*

La création de MNT à partir des données de télédétection se révèle efficace en coût et en temps. La télédétection dispose d'une variété de capteurs et de méthodologies pour la création de ces modèles. Il s'agit de méthodes automatiques de traitement d'images permettent de calculer l'altitude à partir d'un couple d'images stéréoscopiques numériques ou de l'interférométrie radar. Le principe repose sur la recherche automatique pour tout pixel de l'une des images de son homologue dans l'autre image du couple stéréoscopique. Connaissant la position des deux pixels on en déduit la parallaxe, puis connaissant l'altitude et l'angle de prise de vue on en déduit l'altitude du point.

### 2.6.1.2 MNT vecteur

L'alternative à une représentation raster est une représentation vecteur par une couverture polygonale. Le plus souvent, pour les MNT, le pavage de la surface est réalisé sur la base de triangles, on parle de triangulation. Ces MNT sont le plus souvent construits à partir d'un semi de points irrégulier, dont la densité augmente avec la complexité du relief. Un tel découpage irrégulier reposant sur des triangles non recouvrant (tessellation de triangles) est souvent appelée TIN (Triangulated Irregular Network).

Différentes méthodes de découpage de l'espace peuvent être utilisées pour produire ces MNT, telle que la triangulation de Delaunay<sup>14</sup>.

### 2.6.1.3 Précision d'un MNT

La précision finale du MNT dépend des données utilisées et de la méthode mise en oeuvre pour le fabriquer. Les TIN peuvent s'avérer plus précis que les raster puisqu'on peut densifier la couverture en fonction du relief.

### 2.6.1.4 Informations dérivées

A partir de l'information altimétrique du MNT des cartes dites dérivées vont pouvoir être calculées, en particulier dans un objectif d'analyse morphologique du milieu, comme par exemple : cartes de pentes, cartes d'orientation et d'ensoleillement, cartes d'intervisibilité, bassins versants, profils, coupes de terrain...etc.

## 2.6.2 Spatiocarte

### 2.6.2.1 Introduction

La procédure habituelle de production des cartes se base sur l'interprétation de photos aériennes ou d'images satellitaires, utilisées pour déterminer la nature et la position des objets qui doivent figurer sur la carte. Les données de télédétection sont utilisées pour la préparation de la carte, mais elles n'y figurent pas.

Depuis quelques années, on utilise également les données de télédétection comme fond de carte : une image satellitaire est corrigée géométriquement pour correspondre parfaitement au système de référence utilisé. Elle est ensuite travaillée pour des raisons thématiques (ex. : classification d'images) ou esthétiques (ex. : compositions de couleur) et quelques annotations sont ajoutées pour faciliter la lecture du document (nom des villes, courbes de niveau, etc.).

### 2.6.2.2 Définition

Lors de la réalisation de cartes d'images satellitaires, des techniques graphiques spécifiques permettent de combiner les données image avec des données vectorielles. L'image satellitaire

---

<sup>14</sup> Selon Gilliot (Gilliot, 2000), pour le cas des données provenant de courbes de niveau, il est préférable d'utiliser d'autres algorithmes afin d'éviter de relier trois points d'une même courbe.

forme un arrière-plan sur lequel les informations vectorielles sont imprimées, par exemple une échelle et une grille de degrés. Des données planimétriques et orographiques sont également utilisées pour améliorer la lisibilité et pour fournir des informations importantes. Pour une identification rapide des objets, on y ajoute des toponymes et autres inscriptions. C'est pourquoi ces données vectorielles doivent être soigneusement sélectionnées. En effet, une spatiocarte est un document cartographique ayant pour fond des données-images recueillies par les satellites d'observation de la terre, combinées ensuite avec des éléments annexes tirés par exemple, de cartes existantes ou de bases de données, ou résultant de l'interprétation des données-images elles-mêmes. C'est donc, en quelque sorte, une carte sur fond d'image spatioportée

### **2.6.2.3 Étapes de fabrication de spatiocarte**

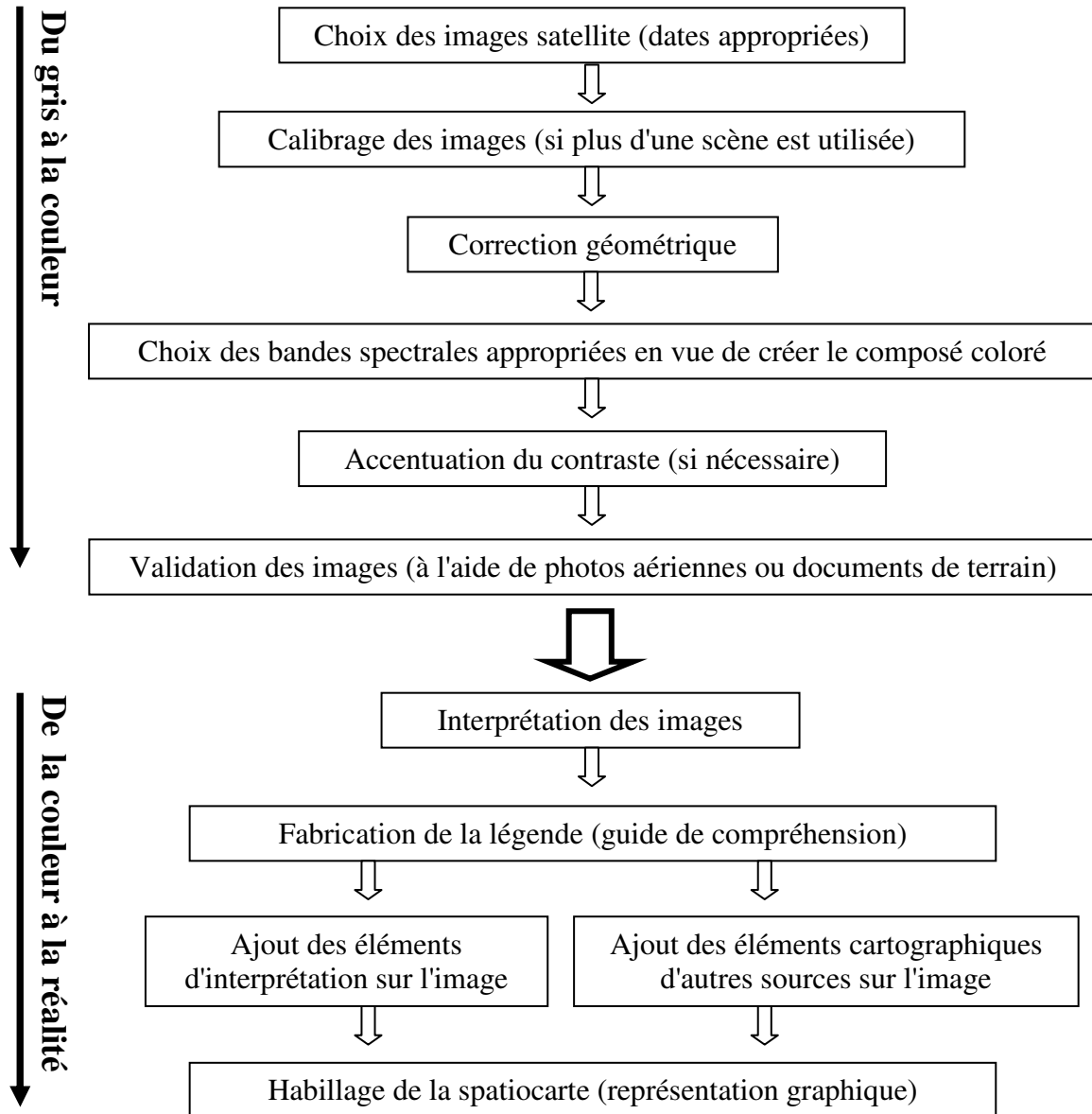
Il faut procéder à la vérification des niveaux de gris de l'image et au calibrage des images, si plus d'une scène est nécessaire. En effet, le calibrage permet d'obtenir une certaine constance dans les couleurs pour un même phénomène ou un même objet sur les différentes images. Afin d'éliminer les déformations occasionnées par la courbure de la terre et par les mouvements des capteurs, la correction géométrique est nécessaire. À la suite de l'ajustement spectral (les niveaux de gris) et spatial (la géométrie), il convient de sélectionner les bandes spectrales à utiliser pour la création des images en couleur (le composé coloré).

Une fois l'image traitée et validée, il faut procéder à son interprétation. C'est-à-dire confirmer la gradation des couleurs et associer chacune d'elles à un couvert naturel particulier. L'interprétation de l'image permet de structurer la légende qui servira de guide de compréhension de l'image.

Lorsque la structure de la légende est déterminée, il faut décider de la représentation graphique de chaque élément sur la spatiocarte, donc c'est l'habillage de la spatiocarte (Figure 2-8).

### **2.6.2.4 Objectifs des spatiocartes**

La spatiocarte est un mélange de deux types de représentation du territoire à savoir la carte et l'image. Elle permet d'avoir à la fois la réalité actuelle de l'organisation des milieux naturels et une interprétation de base qui facilite la lecture de l'image tout en laissant la place à d'autres interprétations. La spatiocarte est donc un outil de planification fort appréciable puisque elle fait parler les images.



**Figure 2-8** Étapes de réalisation d'une spatiocarte

## 2.7 Conclusion

La combinaison des données de différentes sources et de différents types que nous venons de décrire, ne constitue que la pointe de l'iceberg pour l'intégration de données et l'analyse. Dans un environnement numérique, où toutes les sources de données sont géométriquement liées à une base géographique commune, le potentiel pour l'extraction de l'information est très grand. Ceci définit le principe de l'analyse numérique dans un système d'information géographique (SIG). Toutes les données qui peuvent être repérées dans un système de coordonnées géographiques communes sont susceptibles d'être utilisées dans ce type d'environnement. Un MEN n'est qu'un exemple de ce type de données. Des cartes de types de sols, de classes de surfaces, de types de forêts, du réseau routier, etc. en sont des exemples parmi tant d'autres. Il est aussi possible d'utiliser dans un SIG, le résultat d'une classification de données de télédétection sous forme de carte afin de faire la mise à jour des cartes existantes. En résumé, l'analyse de diverses sources de données combinées permet d'en extraire de meilleures et plus précises informations. On profite donc d'une synergie entre les types de données. Les utilisations et le potentiel de cette analyse sont incalculables.

Récemment, il y a eu une révolution dans la disponibilité d'information et dans le développement et l'application des outils pour contrôler l'information. Les besoins de l'information sur la biodiversité sont beaucoup et variés.

Toute base de données qui traite l'information sur la biodiversité doit être géographiquement référencée, et en mesure de prédire où de nouvelles populations des espèces en voie de disparition avec une gamme limitée pourraient être prévues, indiquant potentiellement les points chauds (*hot spots*).

L'utilisation de la géomatique constitue un outil important pour surveiller la biodiversité. En effet, les Système d'Information Géographique, qui est adapté à de grandes variétés de données spatiales et attributaires, offre la possibilité d'intégration de données multiples et de l'analyse spatiale. L'information incluse dans des SIG est employée pour viser des aperçus et des arrangements de surveillance. Les données sur des espèces et distribution d'habitat de différentes dates permettre la surveillance de l'endroit et l'ampleur du changement.

# Chapitre

# 3

## Processus d'aide à la décision

### Sommaire

3.1	Introduction .....	58
3.2	Évolution historique.....	59
3.3	Fondements et éléments méthodologiques de l'aide à la décision.....	59
3.4	Aide à la décision.....	66
3.5	Approches multicritères d'aide à la décision.....	68
3.6	Choix d'une méthode multicritère d'aide à la décision.....	77
3.7	Méthodes de surclassement .....	77
3.8	Les méthodes ELECTRE.....	85
3.9	Caractéristiques des méthodes de surclassement.....	102
3.10	Quelle méthode ELECTRE pour quelle problématique ?.....	103
3.11	Processus d'aide à la décision .....	104
3.12	Conclusion.....	105

### 3.1 Introduction

Souvent, la réalisation d'une politique relie plusieurs intervenants (groupe de décideurs), où chaque membre a son propre point de vue selon ses intérêts. Ses points de vue sont plus ou moins différents et se traduisent en scénarios. Cette notion de multitude des points de vue exige l'utilisation des méthodes capables de traiter ce caractère, en prenant en considération tous les aspects composant le problème.

L'aide à la décision multicritère se présente comme une alternative aux méthodes d'optimisation classiques basées sur la définition d'une fonction unique, souvent exprimée en terme économique et qui reflète la prise en compte de plusieurs critères, souvent incommensurables. L'intérêt des méthodes multicritères est de considérer un ensemble de critères de différentes nature (exprimés en unité différente), sans nécessairement les transformer en critères

économiques, ni en une fonction unique. Il ne s'agit pas de rechercher un optimum, mais une solution compromise qui peut prendre diverses formes : choix, affectation ou classement.

### 3.2 Évolution historique

L'aide à la décision reposait autrefois sur l'expérience individuelle, le savoir, l'expérience des conseillers des décideurs, ainsi que sur l'analyse **historique**. L'opinion et la subjectivité avaient une grande importance.

Au XX<sup>e</sup> siècle, des outils mathématiques sont introduits. Ces modèles et leurs algorithmes s'appuient sur des concepts et théories tels que les probabilités, l'analyse de la décision, la théorie des graphes, ou encore la recherche opérationnelle.

Rapidement, des **systèmes informatiques** d'aide à la décision sont apparus et ont pris une place croissante dans certains processus de décision, au point parfois de remplacer l'Homme par des processus automatiques.

Les SIG (Systèmes d'Information Géographiques) se sont beaucoup développés depuis les années 1970, avec l'avantage de présenter visuellement et de manière cartographique certains éléments d'aide à la décision. Avec l'informatique sont également arrivés **des Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD)**.

Avec l'Internet, on a vu apparaître de nouveaux moyens de consultation et d'expression ainsi que des outils de travail collaboratif permettant de nouveaux types de processus de décision et d'aide à la décision. Il y a également l'apparition de Big data pour le traitement de très grandes bases de données.

### 3.3 Fondements et éléments méthodologiques de l'aide à la décision

#### 3.3.1 Décision

La décision est le fait d'un acteur (ou d'un ensemble plus ou moins cohérent d'acteurs) qui effectue un choix entre plusieurs solutions susceptibles de résoudre le problème ou la situation auxquels il est confronté.

Le petit Larousse définit le terme décision comme "*l'action de décider après examens*", et le terme décider, c'est "*déterminer ce qu'il faut faire*" et "*choisir entre plusieurs possibilités*". D'après ces définitions, décider c'est plutôt déterminer ou choisir parmi l'ensemble des actions une ou l'ensemble des meilleures actions, et cela après y avoir réfléchi et examiné l'ensemble initial des actions.

Une bonne décision doit être :

- maîtrisée : établie selon certains principes (réduire l'incertitude),
- concertée : dans un contexte multi-partenarial, la concertation est imposée,

- comprise : apte à expliquer et à justifier son choix (notion de responsabilité et de communication).

### 3.3.2 Types de décision

SIMON 1982 in (Ciptomulyono, 2000); (Albert, 1996) a proposé deux types de décision :

- Les décisions programmées ;
- Les décisions non programmées.

Selon le même auteur, les décisions sont facilement programmées si elles sont habituelles (répétitives et routinières) et l'on a établi auparavant une procédure (méthode) pour les effectuer à chaque fois qu'elles se présentent (c'est un genre de décision qui est connu et maîtrisé).

Par contre, les décisions non programmées ne sont pas structurées et même non habituelles. A priori, il n'existe pas de méthodes pour résoudre ce genre de problème, et cela pour plusieurs raisons :

- ce problème se pose pour la première fois au décideur,
- sa nature et sa structure sont mal définies ou complexes,
- il présente une forte incertitude avec un conflit élevé (problème multiacteur avec des points de vue souvent divergents),
- son comportement mérite dès fois une solution sur mesure.

Par ailleurs, par rapport au niveau hiérarchique, on classifie les décisions en trois types qui sont liés à l'hiérarchie des objectifs (Figure 3-1) :

- *Décision stratégique* : c'est une décision fondamentale. Programmée pour des moyens et longs termes, elle doit être bien réfléchie car elle engage l'avenir. Elle se situe en haut de la pyramide de décision.
- *Décision tactique* : au moyen et à court terme (cas d'étude de projet), elle se situe au niveau moyen de la pyramide.
- *Décision opérationnelle* : représente la gestion courante, elle se situe au niveau bas de la pyramide

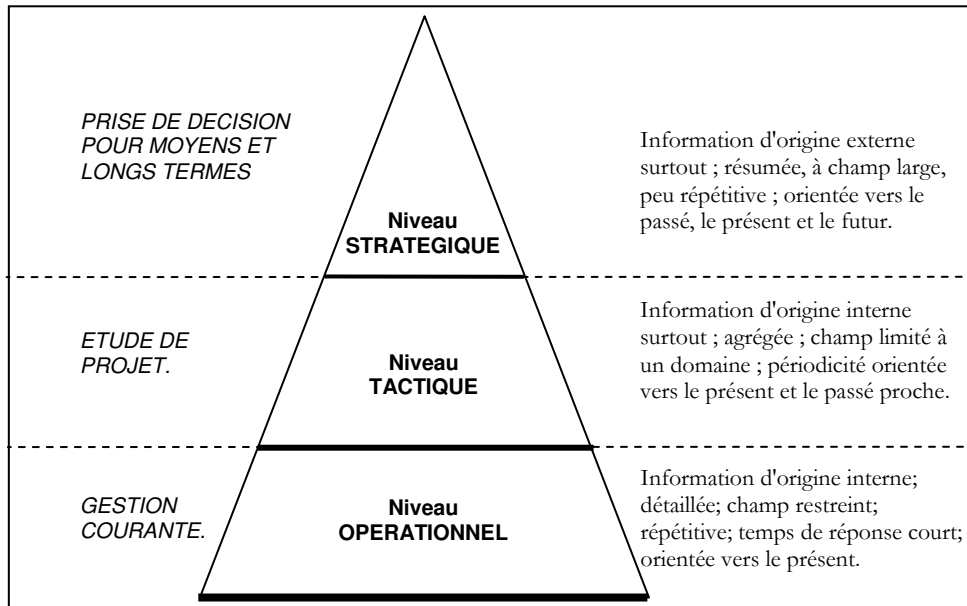


Figure 3-1 Pyramide de décision

La figure suivante présente la relation entre ces deux types de classification de la décision ;

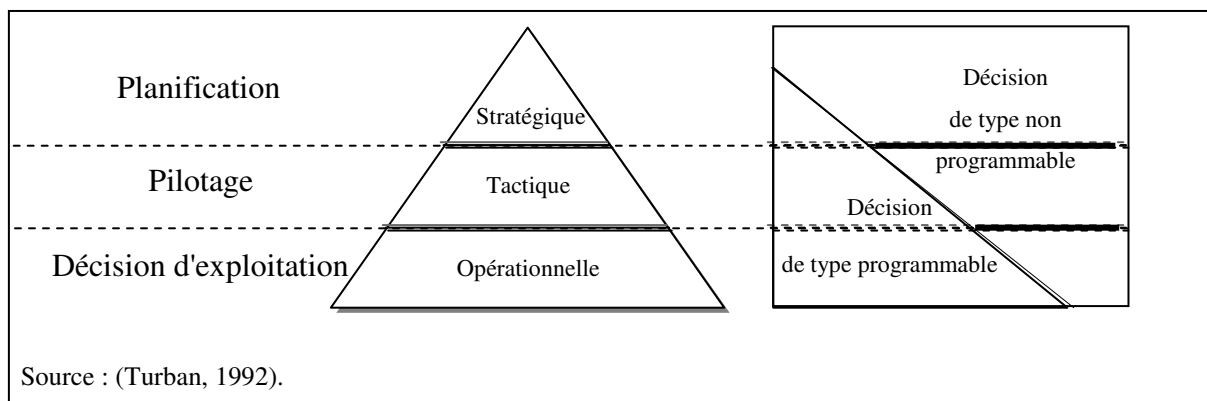


Figure 3-2 Relation de classification des types de décision

Au niveau stratégique, les décisions non programmées sont les seules parce qu'à ce niveau les problèmes sont très variés. Par conséquent, le décideur doit utiliser en priorité son intelligence car les outils algorithmiques n'étant pas une aide suffisante.

Au niveau tactique, il y a équilibre entre les décisions programmées et non programmées. En effet, les décisions tactiques concernent l'organisation des ressources. On peut donc établir certains points d'une façon automatique, mais l'intelligence du décideur intervient quand même pour certaines décisions non modélisables.

Au niveau opérationnel, il y a prépondérance des décisions programmées. Étant au niveau de l'exécution, les décisions sont donc déterministes. Il faut malgré tout, laisser une place aux aléas qui eux seront résolus grâce aux décisions non déterministes (Ciptomulyono, 2000).

### 3.3.3 Déroulement du processus de décision

La prise de décision est un processus itératif tant fois se produit événement. Il est souvent employé pour désigner le choix entre différentes alternatives (SIMON, 1980 in (Ciptomulyono, 2000)).

Ce même auteur a résumé la tâche décisionnelle en quatre étapes principales qui ont chacune des exigences spécifiques au niveau du support décisionnel (Prélaz-Droux, 2003) :

- a. exposé informel, définition du problème (intelligence, dans le sens de renseignement),
- b. conception du cadre d'analyse, liste des solutions, performances des solutions,
- c. choix,
- d. analyse rétrospective (Feed-back).

Les différentes étapes de la prise de décision sont illustrées dans la Figure 3-3.

#### 3.3.3.1 Étape de la recherche d'information (intelligence en anglais)

Il s'agit d'identifier les objectifs ou buts du décideur. Elle consiste à saisir les informations pertinentes en fonction des questions que se pose le décideur, à caractériser le véritable objectif, à analyser l'existence du problème et à identifier les contraintes. Elle inclut la détermination des critères d'évaluation et l'élaboration, en fonction de la situation, d'un système de hiérarchie des critères retenus. L'acquisition d'informations pertinentes pendant cette phase peut se poser elle-même en terme de décision. En effet, dans certains problèmes il est parfois difficile de trouver ces informations pertinentes (Garlatti, 1997). Or, ce sont elles qui sont à l'origine du processus de décision et leur choix est crucial. En effet, elles influencent fortement sur les autres phases puisque tous les choix suivants en découlent.

Cette phase représente l'intrant du processus décisionnel, elle se termine par un énoncé du problème à traiter.

### 3.3.3.2 Étapes de la conception (design)

Cette phase comprend la génération, le développement et l'analyse des différentes suites possibles d'actions. Pour cela, il va être nécessaire de choisir un ou plusieurs modèles de décision en fonction de la complexité du problème à traiter.

Pour un modèle quantitatif (Garlatti, 1997), cette phase se compose des principales étapes suivantes :

- détermination des composants du modèle : les variables de décision, les variables incontrôlables, les variables résultats,
- structure du modèle : l'équation qui régit les relations entre les composants du modèle,
- sélection des principes de choix (critère d'évaluation) : l'évaluation des alternatives et le choix final dépend du type de critères utilisés. Par exemple, trouver la meilleure solution, une solution assez bonne ou satisfaisante, prendre des risques ou non. Parmi les différents principes de choix, les deux principaux sont les suivants : normatif<sup>15</sup> et descriptif,
- génération des alternatives : une part non négligeable du temps est passée à générer les alternatives. Avec des modèles normatifs, les alternatives sont générées automatiquement, tandis qu'avec des modèles descriptifs, il est souvent nécessaire de le faire. Dans ce dernier cas, le processus peut être long et nécessite des recherches - notamment d'informations - et de la créativité,
- prédiction des résultats : il est parfois nécessaire de prédire les résultats futurs de chaque alternative afin d'en évaluer les conséquences et de les comparer,
- mesure des résultats : cette mesure va permettre de comparer les alternatives.

L'insuffisance de données peut amener un retour à l'étape d'intelligence (il s'agit d'un processus itératif plutôt que séquentiel).

### 3.3.3.3 Étape du choix d'une solution

Cela revient à choisir parmi les différentes suites d'actions - solutions – celle qui répond le mieux aux critères considérés, en tenant compte des différentes préférences introduites par le décideur. Cette phase inclut la recherche, l'évaluation et la recommandation d'une solution appropriée au modèle. Une solution à un modèle est un ensemble spécifique de valeurs pour les variables de décision. Cette solution identifie l'alternative sélectionnée.

---

<sup>15</sup> On peut diviser les modèles en deux grandes classes, les modèles normatifs et descriptifs. Les premiers fournissent la meilleure solution et explorent l'ensemble des solutions. Les seconds donnent une solution assez bonne ou satisfaisante, mais n'explorent qu'une partie des solutions - ou espace de recherche-.

### 3.3.3.4 Étape d'implantation

Elle consiste à introduire la solution ou les choix dans la réalité, aider à contrôler le succès de la mise en application d'une décision et fournir une rétroaction sur les opérations de l'entreprise touchée par la décision. Finalement, la prise de décision est collective (décision de groupe) ou consultative (interaction avec des groupes de personne).

Ce processus n'est pas obligatoirement séquentiel, il peut y avoir des retours en arrière, c'est-à-dire que pendant la seconde ou la troisième phase, on peut être amené par exemple à générer une nouvelle alternative ou encore à rechercher de nouvelles informations, ensuite modifier le ou les modèles choisis.

### 3.3.4 Sources de prise de décision

Pour aboutir au choix final de meilleurs compromis, c'est-à-dire la prise de décision, le décideur utilise plusieurs sources d'information et de méthode de traitement de l'information. Par ailleurs, le décideur utilise son expérience cumulée, même si celle-ci demeure intuitive<sup>16</sup>.

Merunka, 1991 *in* (Carver, 1991) donne les différentes sources d'information que le décideur utilise durant son processus de décision :

- **Les expériences :** l'expérience du décideur joue un rôle primordial dans la prise de décision. S'il s'agit d'une décision simple et routinière, le décideur a déjà rencontré ce type de problème et possède, sans aucun doute, une bonne évaluation de ce qui convient le mieux. Dans le cas complexe, c'est-à-dire une décision complexe, l'expérience présente une aide supplémentaire pour le décideur, mais elle ne suffira pas seule à sélectionner la meilleure solution.
- **Les standards :** les organismes batistes des politiques standards ou des règles de décision standards issus de leurs expériences passées<sup>17</sup> (études, projets réalisés, etc.).
- **Les données et les faits :** face à la complexité des phénomènes, le décideur collecte un nombre assez important de données sur l'environnement. Les recommandations d'action ou les plans d'action sont toujours justifiés par des faits.

Cependant, l'interprétation des faits repose en réalité sur l'expérience ou sur une série des hypothèses qui sont le plus souvent peu clairement formulées (Carver, 1991). La qualité de ces recommandations dépend aussi bien de la qualité des hypothèses que de la qualité de données ou des faits interprétés.

- **Les modèles :** L'utilisation de modèle implique de la part du décideur une définition précise du problème à résoudre. Il faut au préalable bien préciser les objectifs à atteindre, les critères de décisions et leur interception.

---

<sup>16</sup> Elle est stockée uniquement dans le cerveau humain et elle n'est pas clairement formulée sous forme analytique (elle n'est pas explicite)

<sup>17</sup> La rémunération du personnel et la gestion de la trésorerie peuvent être fixées en fonction de résultats ou de pratiques standards calibrés sur les expériences passées. (Ciptomulyono, 2000)

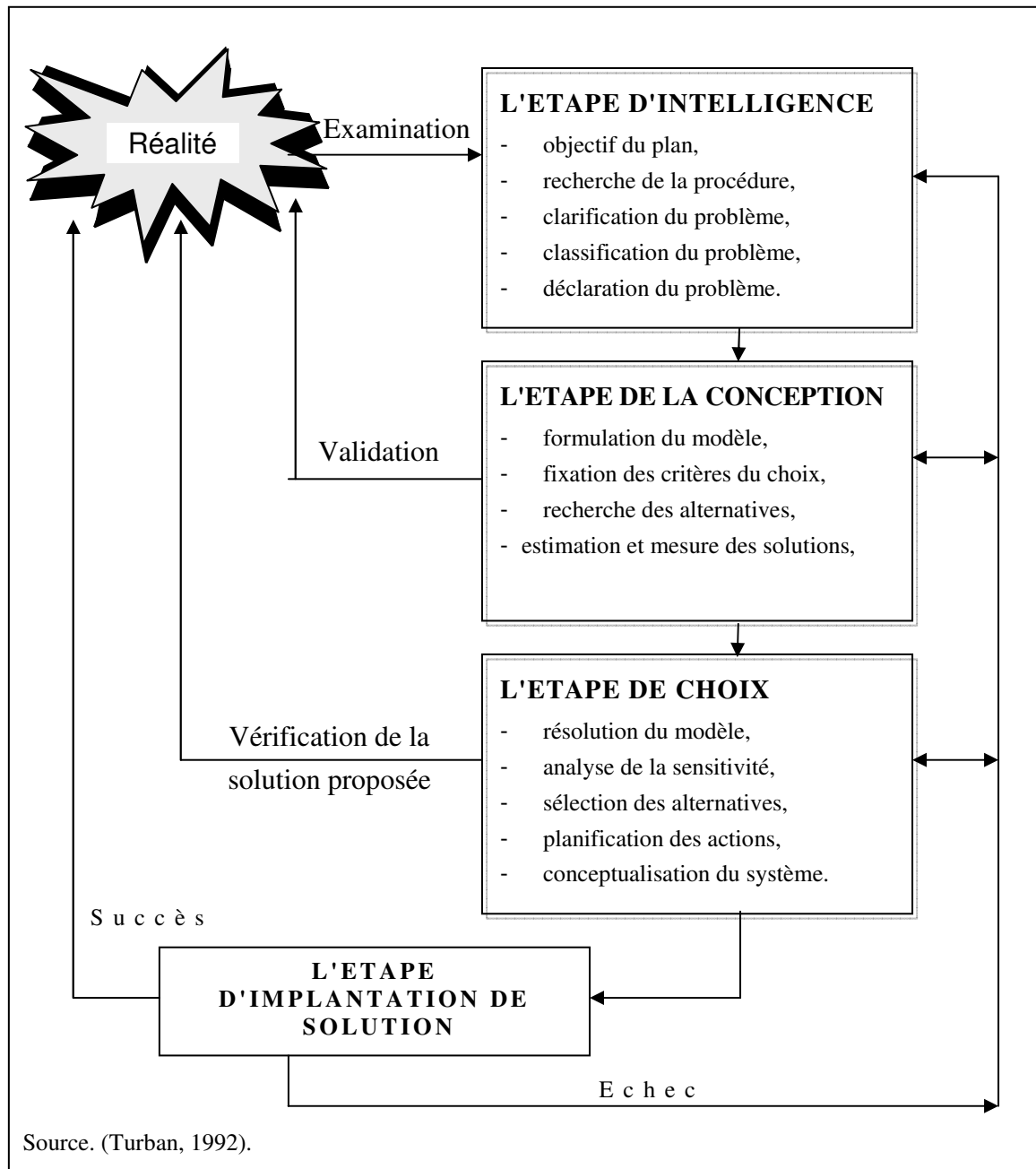


Figure 3-3 Mécanisme de la prise de décision de Simon

## 3.4 Aide à la décision

### 3.4.1 Définition

L'aide à la décision est définie par Bernard ROY de la manière suivante : "*l'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions qui se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part.*" (Roy, 1985).

L'aide à la décision contribue, donc, à construire, à asseoir et à faire partager des convictions. Elle ne révèle donc que d'une façon partielle d'une recherche de la vérité. D'ailleurs, c'est la description d'un système de préférences, souvent réalisé au moyen d'une représentation numérique, qui conduit alors à l'établissement d'une recommandation.

### 3.4.2 Subjectivité de la décision

Pour les problèmes qui varient selon un seul critère, il semble incorrect de dire que nous sommes entrain de décider. Prenant, par exemple, l'achat d'un produit, si l'acheteur ne s'intéresse que du prix du produit, peut-on vraiment dire qu'il décide quel est le produit le moins cher ? Dans ce cas, il est clair qu'il est entrain de *déterminer* – et pas de décider quel est le produit le moins cher. Autrement dit, on parle de décision si et seulement si le problème traité variait selon plusieurs critères (Frej, 2001). Souvent, cet ensemble de critères présente un effet contradictoire et une importance inégale – ne sont pas appréciés de la même manière-. Si, par exemple, le décideur change (il va changer, peut être, l'importance des critères, etc.). On peut conclure que la décision est sensibilisée, durant le processus de décision, par des facteurs extérieurs, ce qui explique sa composante subjective. Le professeur Slowinsky<sup>18</sup> a parfaitement exprimé le contenu subjectif de toute décision "*un problème multicritère n'a pas de solution, si on n'apporte pas une information supplémentaire qui est la préférence du décideur*"

Il est fondamental que cette composante subjective soit non seulement acceptée, mais aussi identifiée dans le processus de décision. En effet, seuls les décideurs légitimes peuvent la déterminer.

### 3.4.3 Optimisation d'une solution

Puisque les décideurs n'ont pas de solution sans l'apport des préférences, l'existence d'un optimum est mise en doute. En effet, cette optimisation se base sur trois hypothèses lourdes :

---

<sup>18</sup> Cité par Florent JOERIN, (Joerin, 1997) p48.

La première, dite globalité, suppose que par la recherche d'une décision optimale parmi toutes les actions potentielles (solutions possibles<sup>19</sup>), on pourra désigner une action unique comme la meilleure. Cela présume que toutes les actions potentielles comprennent tous les aspects de la question et sont mutuellement exclusives. Or elles sont souvent complémentaires, partielles mais rarement globales (Dubois, 1997).

Une deuxième hypothèse, dite de stabilité, postule que l'ensemble des actions potentielles n'est jamais remis en cause lors de l'étude – l'ensemble doit être exhaustif -. Or cette dernière fait souvent jaillir de nouvelles idées au cours de son déroulement<sup>20</sup>.

Tout au long du processus d'aide à la décision l'ensemble des actions ne contiendra que les actions possibles et considérées (possibilité d'éliminer les actions jugées mauvaises avant la négociation). Par contre, l'introduction d'une nouvelle action implique nécessairement la perte de la validité de l'optimum.

La troisième et dernière hypothèse concerne les préférences du décideur entre les différentes actions; c'est celle de complète comparabilité transitive. Cette condition implique qu'il n'y a que deux types de relations possibles entre les actions : la préférence stricte et l'indifférence.

La transitivité des préférences du décideur est probablement la condition la plus contraignante de l'optimisation. On peut la critiquer en trois sortes :

- elle ne tient pas compte de la situation d'incomparabilité ;
- elle ignore le fait que l'indifférence est parfois intransitive ;
- elle oublie que la préférence elle-même n'est pas nécessairement transitive.

Pour la première critique, c'est le cas, par exemple, où le décideur ne peut pas préférer une action à l'autre. Cela due à l'imperfection (défaut) de l'information, donc se sont des situations embarrassantes mathématiquement mais tellement humaines.

Pour le cas de l'intransitivité de l'indifférence, il est possible que le décideur propose qu'il y a une indifférence entre les deux actions A et B, et de même pour B et C, par contre, ça ne signifie pas forcément qu'il y a une indifférence entre A et C. Donc, même l'intransitivité de l'indifférence se repose aussi sur des considérations humaines (qu'on ne peut pas modéliser).

La relation de préférence est, elle aussi, parfois intransitive. En effet, il est possible que le décideur préfère l'action A sur B, et B sur C, mais ne préfère jamais l'action A sur C.

---

<sup>19</sup> Les actions doivent être triées, au préalable et définitivement, entre possibles et impossibles ou considérées et négligées.

<sup>20</sup> Le temps est un facteur important de la procédure, puisqu'il permet aux décideurs de s'approprier le projet et de modifier leurs positions pour développer un consensus.

### 3.5 Approches multicritères d'aide à la décision

Les méthodes d'analyse multicritère sont des outils d'aide à la décision, leur développement a débuté dans le contexte militaire depuis les années 1960, et cela pour deux essentielles raisons : l'amélioration de la gestion (l'approvisionnement) et la fourniture en moyens nécessaires pour les soldats. Les méthodes employées à l'époque, appartiennent à la recherche opérationnelle, où l'objectif consistait, par exemple, à optimiser l'apport en vivres, ou de quoi charger l'armée, en considérant les contraintes fixées entre autre par le stock à disposition, les moyens de transport et le temps disponible. Il s'agit donc d'améliorer le fonctionnement d'un système *connu* et *maîtrisé*.

Par la suite, ces méthodes ont investi d'autres problématiques décisionnelles où le facteur humain a pris une dimension importante – le cas en matière de développement et gestion de l'environnement -. Malheureusement, lorsque la décision concernait un système *ouvert*, qui intègre des dimensions de natures différentes telle que l'économie (optimisation du coût, de production, etc.) et l'environnement (étude d'impact, choix des sites d'implantation de nouvelles constructions, dépôts d'ordures, etc.), l'approche classique, c'est-à-dire l'optimisation d'une unique fonction économique, a montré certaines faiblesses – certaines applications n'ont pas obtenu de résultats satisfaisants - auxquelles les méthodes multicritères semblent pallier.

Lorsqu'un gestionnaire se trouve face à un problème décisionnel, il pouvait consulter des experts du domaine concerné, se baser sur des cas similaires au sien ou encore faire appel aux techniques de la recherche opérationnelle dite classique. Or celle-ci se préoccupe essentiellement d'optimiser une fonction économique. Aussi, à une époque où la longueur et le nombre de calculs n'est plus un facteur limitant - grâce aux nouvelles technologies (ordinateurs, moyens de calculs très puissants, etc.)-, et dans un monde où la densité de population n'autorise plus le moindre gaspillage des ressources naturelles – dans le sens le plus large qui soit -, un projet de gestion du territoire n'incluant que des considérations relatives à un seul aspect du problème (absence du sens multicritère) est de plus en plus dénué d'intérêt. Ainsi, les techniques d'optimisation ou de recherche opérationnelle, bien que toujours utiles dans certains domaines, doivent faire place à d'autres méthodes.

Cette approche, la recherche opérationnelle, avait le mérite sur des problèmes mathématiques bien posés mais qui n'étaient pas toujours représentatifs de la réalité car :

- la comparaison de plusieurs actions (solutions possibles) se fait rarement suivant un seul critère (sens monocritère);
- les préférences des décideurs sur un critère sont, dans biens des cas, difficilement modélisables par une fonction (complexité du problème);
- lorsqu'il y a plusieurs objectifs, il est impossible de les atteindre tous à la fois. (Malozexski, 1999)

Les limites présentées par ces techniques et les différents besoins des êtres humains dans plusieurs domaines d'application (gestion de l'environnement, gestion des ressources naturelles,

etc.) ont donné naissance à d'autres méthodes d'aide à la décision conçues pour affronter ces nouvelles problématiques et intégrer ce qui n'a pas de prix ni même de coûts financiers (Schärli, 1985).

Il existe actuellement un grand nombre de méthodes d'aide à la décision et plusieurs d'entre elles se basent sur des principes fondamentalement différents.

Parallèlement à ces développements menés essentiellement par des mathématiciens, d'autres chercheurs ont mis l'accent sur l'importance de la formulation de la problématique (Landry, 1987), ainsi que sur l'identification des acteurs et de leurs relations (Martel, et al., 1993). Ces deux aspects sont complémentaires, car d'une part le choix d'une méthode d'aide à la décision nécessite une connaissance poussée du contexte de la décision - des spécialistes du domaine de décision – et, d'autre part, la concrétisation du résultat est conditionnée par la pertinence de la démarche choisie (Vodoz, 1994).

### 3.5.1 Définition

Il est difficile de définir avec précision l'analyse multicritère. Cependant, diverses définitions apparaissent dans la littérature. Roy (Roy, 1985) postule que les AMC sont une aide à la décision et un outil mathématique permettant la comparaison de différents alternatives ou scénarios selon plusieurs critères, souvent contradictoires, afin d'aider le décideur à déterminer le choix judicieux. Zionts (Zionts, 1994) définit les AMC en tant que solution des problèmes de gestion face aux objectifs contradictoires multiples. Selon Zanakis et al. (Bouchard, et al., 2001), les AMC se rapportent à la prise de décision en présence de multiples critères, habituellement contradictoires. Quoique la définition, on suppose généralement en AMC que le décideur doit choisir parmi plusieurs possibilités, nommées actions ou alternatives. Sélectionner une action parmi l'ensemble des actions dépend de plusieurs caractéristiques contradictoires, appelées critères. Dans ce qui suit nous donnerons un bref historique sur l'origine de l'AMC (la recherche opérationnelle), ainsi qu'une description des différentes méthodes d'analyse multicritère.

### 3.5.2 Problématiques des approches multicritères

Les méthodes d'analyse multicritère peuvent être distinguées ou classées en considérant, tout d'abord, le type de problème qu'elles affrontent.

Roy (Roy, et al., 1993) propose de distinguer quatre problématiques, les trois premières sont à but perspectif et concernent respectivement les problèmes formulés en termes de choix, de tri et de rangement. La dernière est plus modérée dans son objectif puisqu'elle est implémentée à vocation descriptive, elle est parfois contenue implicitement dans les précédentes. Cette classification des problématiques<sup>21</sup> est représentée au tableau 3.1.

---

<sup>21</sup> Il faut noter que dans le domaine de l'aide à la décision, le terme "problématique" a une définition particulière. Les différents types de problématique se distinguent par leur objectif : le choix des meilleurs, le tri, le rangement, la description, etc.

### 3.5.2.1 Problématique $\alpha$ (alpha)

La problématique  $\alpha$  consiste à choisir une meilleure action ou à élaborer une procédure de sélection. D'un point de vue mathématique, la problématique de choix consiste à poser le problème en terme de recherche d'un sous-ensemble propre des actions de A, de cardinal aussi faible que possible et contenant la ou les meilleures actions.

Cette formulation de sous-ensembles s'oriente vers une évaluation relative des éléments de A, qui ne garantit, ni le fait que les actions choisies soient bonnes, ni que les actions rejetées soient mauvaises.

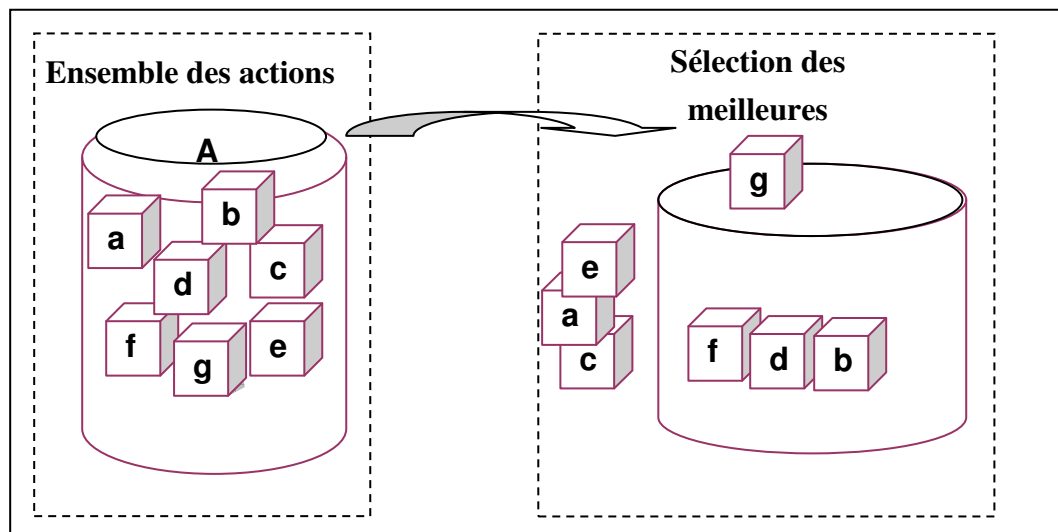


Figure 3-4 Problématique de choix (alpha).

Problématique	Objectif	Résultat
Alpha	Eclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final d'une seule action, ce sous-ensemble contenant de meilleures actions ou, des actions satisfaisantes.	Un choix ou une procédure de sélection
Bêta	Eclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies à priori en fonction de normes ayant trait à la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir	Un tri ou une procédure d'affectation
Gamma	Eclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie ("plus satisfaisantes") des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement
Delta	Eclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences.	Une description ou une procédure cognitive.

Tableau 3-1 Problématiques des approches multicritères<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Tiré (Roy, 1985).

### 3.5.2.2 Problématique $\beta$ (bêta)

Elle consiste à trier les actions d'après des normes ou faire élaborer une procédure d'affectation. Elle nécessite d'avoir préalablement défini un certain nombre de catégories d'actions (ex : bonne, moyenne, médiocre). Cette problématique consiste alors à affecter chaque action de l'ensemble 'A' des actions à une catégorie de l'ensemble des catégories prédéfinies. Donc, plus exactement, cette distribution devrait induire une partition de A. Néanmoins, il peut arriver qu'une action appartienne à plusieurs catégories ou au contraire à aucune des catégories envisagées.

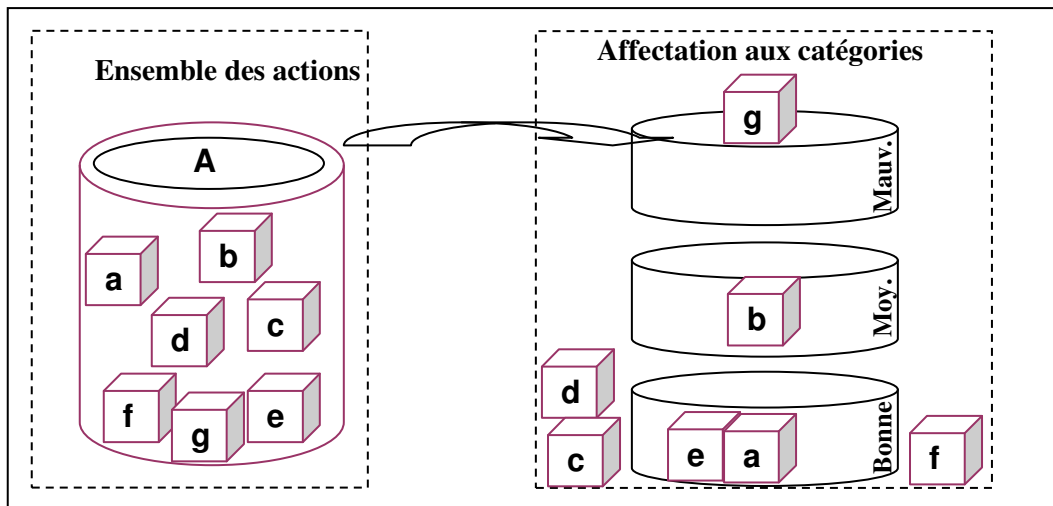


Figure 3-5 Problématique bêta (tri).

### 3.5.2.3 Problématique $\gamma$ (gamma)

Elle consiste à ranger les actions selon un ordre de préférence décroissant ou, plus simplement, élaborer une procédure de classement des actions. D'un point de vue mathématique, elle consiste à poser le problème en terme de recherche d'une relation binaire transitive, définie sur A (ou partie de A).

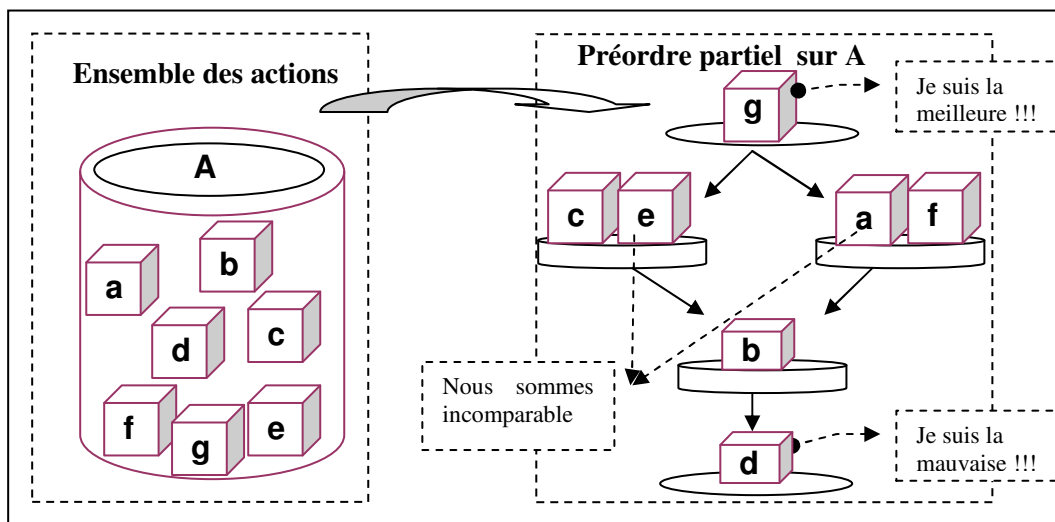


Figure 3-6 Problématique gamma (rangement).

Cette dernière doit entraîner une conviction acceptable dans le cadre des hypothèses de travail. Compte tenu de la nature de l'ensemble A, de la part d'imprécision, d'incertitude, d'indétermination qui affecte les données, ou encore de points de vue multiples et souvent conflictuels qu'il faut prendre en compte, on peut être amené à refuser de discriminer certaines actions de A, qui selon les cas, pourront être équivalentes ou incomparables. Pour l'équivalence, sa se traduit par une partition de A en classes homogènes, par contre l'incomparabilité se traduit par la prise en compte de relations partielles.

Cette formulation s'oriente principalement vers la recherche d'un mode d'évaluation relatif des actions. Elle nécessite de comparer les actions entre elles, mais n'assure pas nécessairement que les actions situées en tête du classement soient *suffisamment satisfaisantes*, ni que celles situées en bas soient *mauvaises*.

#### 3.5.2.4 Problématique $\delta$ (delta)

Cette formulation vise à décrire l'ensemble A et /ou leurs conséquences, c'est-à-dire fournir des informations relatives aux actions dans le but d'aider directement le décideur à les découvrir, à les comprendre, à les jauger et ce compte tenu du caractère révisable et /ou transitoire de A.

### 3.5.3 Formulation multicritère d'un problème de décision

Selon Vansnick (Bouchard, et al., 2001), la formulation multicritère d'un problème de décision peut être définie comme le modèle "A, F, E" où :

1- 'A' représente l'ensemble des actions potentielles envisageables. D'après Roy (Roy, 1985), *"une action 'a' est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale, susceptible, eu égard à l'état d'avancement du processus de décision, d'être envisagées de façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à la décision. (Ce point pouvant suffire à caractériser 'a')*.

L'adjectif "autonome" signifie que l'action peut être considérée isolément de toute autre sans pour autant perdre sa portée décisionnelle.

L'adjectif potentielle a sa valeur, toujours d'après le même auteur (Roy, 1985), *"une action potentielle est une action réelle ou fictive provisoirement jugée réaliste par un acteur au moins ou présumée comme telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision ; l'ensemble des actions potentielles sur lesquelles l'aide à la décision prend appui au cours d'une phase d'étude est noté comme par avant 'A' "*. A ce stade, il est important de ne pas éliminer à priori une action, car cela risque de fâcher les décideurs qui auraient suggéré une telle action, et donc de nuire à la future négociation.

2- 'F' est l'ensemble fini des attributs ou de critères, généralement contradictoires entre eux, à partir desquels les actions seront évaluées. Roy (Roy, 1985) a défini les critères comme suit; *"Tout effet ou attribut de l'action susceptible d'interférer avec les objectifs ou avec le système de*

valeurs d'un acteur du processus de décision, en tant qu'élément primaire à partir duquel il élabore, justifie ou transforme ses préférences".

3- Le terme multicritère désigne qu'une action varie selon plusieurs conséquences. On parlera ici de nuage de conséquences  $c(a)$ . Au sein de  $c(a)$ , on va tenter d'isoler et typer des conséquences élémentaires 'c', suffisamment bien perçues pour permettre une description précise de ce par quoi elles se manifestent concrètement après la mise à exécution de l'action potentielle 'a'.

De la conséquence 'c', on aboutit à la notion d'indicateur d'état  $\gamma_c$  qui est une procédure, règle ou technique qui sert à attribuer une valeur à l'état qui, selon toute vraisemblance, se réalisera si l'action est mise à exécution. À ces indicateurs d'état sont éventuellement associés des indicateurs de dispersion  $\delta(a)$ , servant à moduler la vraisemblance des différents états (ex : distribution de probabilité). On en arrive ainsi à l'évaluation globale de l'action selon  $n$  critères. Cela représente également l'ensemble 'E'.

### 3.5.4 Objectifs des méthodes d'analyse multicritère

La détermination de la "meilleure" action constitue un défi intellectuel perpétuel en sciences. Le développement de disciplines telles que la recherche opérationnelle, les sciences de la gestion, l'intelligence artificielle et les systèmes d'information, supportés par des outils informatiques très puissants, constitue des aides pour prendre de "bonnes" décisions. Or, tout problème décisionnel complexe fait intervenir souvent plusieurs points de vue (plusieurs décideurs). Les approches classiques (utilité, analyse coût-bénéfices, programmation mathématique, etc.) se limitent à optimiser un seul objectif à la fois. L'aide multicritère<sup>23</sup> à la décision s'est alors développée pour offrir à la fois une démarche bien structurée (afin de permettre aux décideurs une bonne justification de choix.) et des outils de solutions à des problèmes décisionnels complexes<sup>24</sup>. Ainsi, l'aide multicritère à la décision est aujourd'hui considérée comme l'une des branches les plus importantes de la recherche opérationnelle et des théories de la décision.

Techniquement, l'aide multicritère à la décision est développée pour traiter plusieurs classes de problèmes de décision (choix, tri, rangement, etc.) tout en considérant plusieurs critères (attributs), souvent conflictuels et non commensurables, tout en cherchant à modéliser au mieux les préférences et les valeurs des décideurs. Ses applications sont diverses et variées : ingénieries (par ex. industriel, civil, électrique, chimique, minier, énergétique, forestier et urbain), environnement (par ex. aménagement et gestion intégrée), finances (par ex. investissement, composition de portefeuille et cotation de crédit), gestion de projet, fiabilité des systèmes, etc.

<sup>23</sup> Belton: "The principal aim is to help decision makers learn about the problem situation, about their own and others values and judgments, and through organisation, synthesis and appropriate presentation of information to guide them in identifying, often through extensive discussion, a preferred course of actions" (Belton, 1990).

<sup>24</sup> Belton 1990 rappelle que la recherche en psychologie a montré que le cerveau humain ne peut considérer simultanément qu'un nombre limité d'informations (donc de critères) (Belton, 1990).

### 3.5.5 Méthodes d'analyse multicritère

Il est toutefois possible de distinguer les différentes classes de méthodes d'analyse multicritère, en basant sur le processus de traitement de la matrice des évaluations. Face à ce principe, il y a des méthodes qui n'autorisent aucune compensation entre critères ; par contre, d'autres autorisent cette compensation. Par ailleurs, les méthodes d'agrégation sont assez nombreuses, car il n'existe pas une méthode qui répond à l'ensemble des exigences d'un problème multicritère. Il faut donc choisir l'exigence sur laquelle on va céder. Selon ces exigences, les spécialistes de l'aide multicritère à la décision ont subdivisé les méthodes d'agrégation en quatre grandes familles selon la façon dont les jugements seront agrégés (Roy, 1975 in (Joerin, 1997), (Schärlig, 1985)) :

#### 3.5.5.1 Méthodes sans compensation

Ces méthodes, comme leur nom l'indique, n'autorisent pas la compensation entre critères. C'est l'exemple qu'une mauvaise note (valeur) d'un critère pour telle action soit compensée par une ou plusieurs bonnes notes des autres critères de la même action. Cette approche consiste à parcourir l'ensemble des critères et à chaque fois (étape) on élimine les actions qui ne satisfont pas le critère en question. Ces méthodes conviennent, à priori, à des critères techniques et de nature binaire, où les seuils sont clairement déterminés (possible/impossible).

Finalement, cette approche sélectionne (après traitement) uniquement les actions techniquement possibles. Appliquées à des problématiques moins triviales, ces méthodes souffrent de deux critiques :

- L'élimination des actions est souvent trop rapide et inefficace<sup>25</sup> ;
- Il a été dit, auparavant, que les seuils sont clairement déterminés, cet effet risque d'éliminer dès le départ les meilleurs compromis, ce qui va fâcher les décideurs.

Cette approche devient difficile à interpréter lorsqu'il y a plus de 4 à 5 critères et qu'il n'est, de plus, pas possible de prendre en compte certaines différences d'importance parmi les critères (Janssen R., 1990). Elle est facilement réalisable dans le domaine des SIG, car c'est une simple superposition (croisement) des couches d'informations (Carver, 1991).

#### 3.5.5.2 Méthodes par agrégation complète (Top-down approach)

Dans cette approche, d'inspiration américaine, il s'agit d'inclure toutes les performances locales (au niveau de chaque critère) dans une fonction d'utilité ou d'agrégation qu'il s'agit ensuite d'optimiser (Roy, 1985), en leur attribuant d'éventuels poids. Ces méthodes supposent que les jugements sont complètement transitifs, d'où l'appellation "*agrégation complète transitive*". En outre, on notera que Bouyssou et al. (Martel, 1999) appellent encore cette approche "*approche unique de synthèse, évacuant toute incomparabilité*", et que Vincke (Vincke, 1982) la nomme aussi "*Théorie de l'utilité multiattribut*".

<sup>25</sup> Il est difficile de choisir des filtres qui produisent effectivement des résultats intéressants.

La somme ou la moyenne pondérée des notes (Weight Sum Method) est l'exemple le plus connu (compensation entre critères). Citons encore : WPM (Weight Product Method), les méthodes MAUT (Multi Attribute Utility Theory), UTA (Utilities Additives), les déclassements comparés, SMART, TOPSIS, AHP (Analysis Hierarchical Process).

Ces méthodes conviennent bien aux problématiques où les actions sont nombreuses. Pour cette raison, elles sont souvent utilisées dans les applications du SIG pour l'aide à la décision (Eastman, et al., 1994).

Vu l'ensemble des caractéristiques, ce type de méthodes présente des inconvénients. D'une part, la compensation des mauvaises évaluations par les bonnes et la forte sensibilité au changement d'échelle et d'autre part, la complète transitivité. Schärli (Schärli, 1985) a bien exprimé ce défaut : "*ces méthodes établissent une fonction-critère unique, qui est certes le fruit de jugements posés critère par critère, mais qui n'en revient pas moins à une agrégation finale monocritère. (...) En voulant tout agréger, ces méthodes risquent fort de n'être que des moulinettes écrasant les nuances*".

En outre, la détermination de la fonction d'agrégation présente un inconvénient important, car il faut tenir en compte toutes les nuances dans les préférences présentées par les décideurs.

### **3.5.5.3 Méthodes par agrégation partielle (Bottom-up approach)**

Le principe général des méthodes d'analyse multicritère, par agrégation partielle, est de comparer les actions deux à deux, par l'établissement des relations de surclassement en fonction de préférence du décideur. Il peut s'agir d'une relation d'indifférence, d'incomparabilité (d'où l'appellation "*approche de surclassement de synthèse acceptant l'incomparabilité*") ou de préférence fort ou faible. Ces relations ne sont, en général, ni transitives ni complètes. Ainsi, dans certaines méthodes, on introduit des seuils de discrimination (indifférence, préférence), et même de veto, et cela se fait pour chaque critère, afin de modéliser localement les préférences du décideur. Les résultats de cette agrégation sont sous forme de graphe des différentes relations établies auparavant entre les actions, qu'il faut analyser pour aboutir finalement au choix de (des) meilleur (s) compromis.

D'une part, ces méthodes présentent beaucoup d'avantages, en ce qui concerne la multiplicité des relations possibles entre actions (préférence, indifférence, incomparabilité). Elles ne s'imposent pas au décideur des contraintes de rationalité mathématique, telle que la transitivité de la préférence ou l'indifférence (au contraire des méthodes d'agrégation complète). Ainsi, les critères sont considérés séparément (le fait de comparer deux actions critère par critère) et peuvent être de nature très différente (possibilité de traiter simultanément des critères qualitatifs et quantitatifs).

D'autre part, les inconvénients de cette approche concernent essentiellement la forme des résultats finaux. Autrement dit, les graphes finaux sont en général difficiles à interpréter et même sensibles (ces graphes sont généralement complexes). Mieux encore, le décideur se trouve face

à un ensemble de variantes qui contient sûrement la meilleure action, mais ces actions sont incomparables (difficile à sélectionner le meilleur compromis, malgré que l'ensemble final contient peu d'actions par rapport à l'ensemble initial<sup>26</sup>). Prenons le commentaire de Schärli (Schärli, 1985) sur ce type de résultat : "(...) On décide d'emblée qu'on ne dégagera que les éléments sûrs... même s'ils ne sont pas assez nombreux ou assez probants pour permettre de trancher d'une manière nette et précise".

Les principales méthodes ou familles de méthodes appartenant à cette approche sont : famille des méthodes ELECTRE, PROMETHEE, ORESTE, QUALIFLEX.

Le fait de comparer deux à deux les variantes, le nombre de ces dernières doit, pour des raisons pratiques, être limité. En effet, pour ' $m$ ' actions de référence et qui sont décrites par ' $n$ ' critères, le nombre de comparaisons effectué sera de l'ordre de ' $m \times n$ '.

#### 3.5.5.4 Méthodes par agrégation locale

Dans les méthodes par agrégation locale, la technique consiste à choisir une solution de départ – une variante, à priori intéressante (aussi bonne que possible) -, ensuite, de sélectionner un groupe de variantes relativement proches à la solution ainsi sélectionnée, puis de vérifier s'il n'y en a pas de meilleure variante par rapport à celle sélectionnée. Ce nouveau choix représente une solution initiale pour une nouvelle itération, d'où son nom "*Technique d'agrégation locale itérative*" (Schärli, 1985).

Ces méthodes sont évidemment adaptées aux situations où les variantes sont assez nombreuses, voire infinies – au contraire des deux méthodes d'agrégation qui précèdent, l'ensemble A des actions soit de dimension raisonnable-.

En effet, "(...) placé devant un ensemble A (de variantes) très riche, le responsable ne sait plus très bien où il en est, il ne parvient pas à exprimer ses préférences de manière explicite, surtout s'il est sensible à des critères divergents. Mais on peut aussi inverser l'ordre du raisonnement: non pas dire que l'attitude d'agrégation locale et itérative est imposée par la richesse de l'ensemble A, mais qu'elle apparaît chaque fois que le décideur ne connaît pas bien ses préférences. Et ajouter que cela se produit notamment – mais pas uniquement- lorsque A est grand ou infini". (Schärli, 1985).

---

<sup>26</sup> Dans le problème multicritère, on part d'un nombre assez important des actions pour aboutir finalement au choix des actions les plus satisfaisantes pour l'ensemble des critères.

D'après Schärliig, chaque itération peut être décomposée en trois phases :

- *Une phase de recherche* : l'homme d'étude exploite les informations recueillies au cours de l'itération précédente afin de se faire une meilleure idée des préférences implicites du décideur ;
- *Une phase de réinitialisation* : l'homme d'étude "repart à zéro" sur base de toutes informations en sa possession et met au point une nouvelle proposition pour la soumettre au décideur ;
- *Une phase de réaction* : le décideur émet un avis sur la dernière proposition et l'homme d'étude injecte cette nouvelle information dans une nouvelle itération.

Par conséquent, on peut conclure que ces méthodes sont souvent interactives entre l'homme d'étude et le décideur, d'où l'appellation "*approche du jugement local interactif avec itération Essai-Erreur*" (Ben Mena, 2001). Le décideur doit être très disponible, ce qui lui exige d'accorder totalement sa confiance à l'homme d'étude.

Le processus s'arrête évidemment lorsque le décideur se montre satisfait, cela n'exclut pas que le décideur soit toujours satisfait, donc un risque que le décideur n'ose pas arrêter les itérations.

De plus, si on se trouve devant un problème multicritère et multiacteur (groupe de décideurs), cette approche peut poser des problèmes, car elle ne favorise pas la négociation. En outre, les préférences du décideur sont implicites, ce qui va resurgir à chaque itération un conflit et vers la fin ou en cours du processus va automatiquement introduire un désaccord (non satisfaction) entre les décideurs en ce qui concerne la solution choisie en fin du processus.

Voici quelques méthodes qui appartiennent à cette catégorie d'agrégation : GP (Goal Programming), PLM (Programmation Linéaire Multicritère), STEM. Il existe encore des méthodes mêlant PLM et fonction d'utilité.

### 3.6 Choix d'une méthode multicritère d'aide à la décision

Il n'y a pas de méthodes parfaites, car "*pour sortir d'une situation multicritère confuse il faut transgresser l'une ou l'autre des règles de base*" (Schärliig, 1985). Le choix de la méthode d'aide à la décision est, lui-même, un problème multicritère (Laaribi, 1995). Il n'y aura donc jamais de méthode idéale. Ce choix dépend de la nature du problème, mais aussi, directement du contexte culturel et de la personnalité du ou des décideurs.

Dans le cadre de notre problématique, sont utilisées les méthodes d'agrégation partielle. A cet effet, les différentes méthodes de cette catégorie d'agrégation sont détaillées dans le futur chapitre.

### 3.7 Méthodes de surclassement

#### 3.7.1 Définition

Les méthodes de surclassement ont été développées par le professeur Bernard ROY à partir de 1980, suivant la topologie qu'il a établie sur les différentes "attitudes", que nous pouvons suivre

en matière d'agrégation des jugements. Comme il a été cité auparavant, ces méthodes nous aident à choisir (ELECTRE I, ELECTRE Is, ELECTRE Iv), à trier (ELECTRE Tri), et à ranger (ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV et PROMETHEE) les actions potentielles en fonction d'objectifs fixés. Dans ce qui suit, seront présentées les principales méthodes de surclassement selon leurs problématiques. Mais il est nécessaire, au préalable, de justifier le choix de ces méthodes et de citer les fonctions fondamentales qui concernent cette famille de méthodes.

### 3.7.2 Pourquoi les méthodes de surclassement ?

Le choix de ces méthodes pour notre application est essentiellement lié aux raisons suivantes :

- L'intérêt premier de ces méthodes réside dans le fait qu'elles conservent les données dans leur format initial (Bouchard, et al., 2001). Ce traitement, sans distinction des données ordinales et des données cardinales, permet de tenir compte de l'effet de chacun des critères et présente des avantages certains pour les études environnementales (Simos 90 in (Maystre, et al., 1994)) ;
- La plupart des problématiques territoriales dont la nature est complexe, fait intervenir de nombreux critères. Or, ces critères présentent souvent un caractère qualitatif et incommensurable. Il est nécessaire donc d'utiliser des méthodes qui tiennent compte de cette caractéristique ;
- La troisième raison découle de la deuxième. Les exemples de la gestion territoriale traités par les méthodes de surclassement sont plus nombreux (Ben Mena, 2000). Il semble donc plus intéressant d'exposer le fonctionnement de ces méthodes plutôt que les méthodes d'agrégation locale ou complète ;
- La subtilité des résultats obtenus (seuils d'indifférence, lorsque l'écart entre deux actions n'est pas significatif, et de préférence, pour distinguer une préférence faible d'une préférence stricte, selon l'écart de valeur reconnue entre deux actions) permet de tenir compte de l'imprécision possible de l'évaluation et de se rapprocher du monde réel ;
- Ces méthodes, en formalisant les étapes d'évaluation et définissant la responsabilité des décideurs, contribuent à rendre le processus de décision plus explicite ;
- Enfin, les méthodes les plus complexes faisant parti des deux autres approches nécessitent des logiciels appropriés, souvent coûteux ou dont la reconstruction du code de programmation nécessiterait beaucoup trop de temps. Par contre, les méthodes de l'agrégation partielle sont faciles à comprendre, par conséquent facile à programmer (Ciptomulyono, 2000).

### 3.7.3 Paramètres subjectifs des méthodes de surclassement

#### 3.7.3.1 Acteurs

L'acteur principal d'aide à la décision est le décideur. Si celui-ci a longtemps été considéré comme unique (Vincke, 1989), de plus en plus d'acteurs admettent l'existence de plusieurs

décideurs (Pictet, 1996). On parle donc, indistinctement, de membre du groupe de concertation (Maystre, et al., 1999), ou de petites prenantes (Damart, et al., 2002). En général, on trouve la nomination Homme d'étude, c'est la personne qui est chargée du processus décisionnel (Joerin, 1997) ou facilitateur (Gilgen, 2000). D'après ROY, l'homme d'étude est chargé "*d'explicitier le modèle, de l'exploitera en vue de présenter d'éléments de réponses, d'éclairer le décideur sur les conséquences de tel ou tel comportement en les lui rendant intelligibles, éventuellement en recommandant une et une série d'actions ou encore une méthodologie*" (Molines, 2003). L'homme d'étude peut s'entourer d'experts<sup>27</sup>.

### 3.7.3.2 Actions

L'ensemble des actions représente l'ensemble des objets, solutions possibles, candidats, etc., exploré dans le processus de décision. Cet ensemble peut être en (Guinting, 2000) :

- **Extension** : (par énumération de ces éléments) lorsqu'il est fini et suffisamment petit ;
- **Compréhension** : (par une propriété caractéristique ou par des contraintes mathématiques) lorsqu'il est infini ou fini mais trop grand pour que l'énumération en soit possible.

Il se peut que la définition de l'ensemble 'A', se fasse progressivement au cours du processus. L'ensemble 'A' peut donc être ;

- **Stable** : défini à priori et n'est pas susceptible d'être changé au cours du processus ;
- **Evolutif** : peut être modifié au cours de procédure<sup>28</sup>.

Aussi l'ensemble A peut être ;

- **Globalisé** : chaque élément de A est exclusif de tout autre ;
- **Fragmenté** : les résultats de prise de décision font intervenir des combinaisons de plusieurs éléments de A.

### 3.7.3.3 Critères

Un critère est défini par ROY comme "*une expression qualitative ou quantitative du point de vue, objectifs, aptitudes ou contraintes relatifs au contexte réel qui permet d'apprécier des options ou des scénarios*" (Roy, 1985). L'identification des critères est une étape très importante et peut s'avérer fort difficile. Ainsi, nous définissons les critères à partir des conséquences élémentaires de chaque action potentielle. La famille des critères doit assurer un certain nombre de conditions. KEENEY et RAIFFA (Keeney, et al., 1976) proposent qu'elle doive être :

<sup>27</sup> On entend par expert, la personne compétente et neutre "capable d'évaluer la fiabilité des données brutes qu'il collecte et à même d'explicitier et de justifier les hypothèses sous-jacentes au traitements des données" (Maystre, et al., 1999).

<sup>28</sup> Soit à cause des résultats intermédiaires, soit parce que le problème décisionnel se pose dans un environnement naturellement changeant (soit les deux simultanément).

- *exhaustive* : l'ensemble des critères, doit être le plus complet possible, afin de se rapprocher le plus possible de la réalité (l'un des objectifs le plus pertinent). Donc, cette liste de critères doit couvrir les aspects importants du problème traité. B. ROY et D. Bouyssou (Roy, et al., 1993), ont proposé un test d'exhaustivité très simple : lorsque deux actions sont jugées équivalentes du point de vue de tous les critères en présence, on recherche des arguments qui prôneraient pour l'indifférence et qui constitueraient, en fait, les critères manquants ;
- *opérationnelle* : Les critères doivent être assez significatifs pour permettre aux décideurs de comprendre les implications sur les alternatives ;
- *décomposable* : Cette condition indique que l'ensemble des critères peut être partitionné en de plus petites dimensions afin de faciliter son utilisation dans le processus de décision ;
- *non-redondante ou indépendante* : Les critères ne doivent pas se dupliquer pour éviter les dédoublements dans les impacts sur l'objectif global. Cette condition interdit la présence de critères superflus ;
- *minimale* : C'est réduire au plus petit possible le nombre de critères. Cette condition peut être réalisée en agrégeant des critères.

L'ensemble des critères doit être cohérent, une cohérence entre les préférences locales au niveau de chaque critère et les préférences globales. Sous un autre angle, une action jugée mauvaise sur tous les critères ne doit pas être évaluée supérieure aux autres dans le classement final.

#### 3.7.4 Pondération des critères

Une fois que l'ensemble des critères est défini, l'étape suivante consiste à affecter des poids<sup>29</sup> aux critères pour désigner l'importance relative dans la prise de décision. Dans la plupart des méthodes d'analyse multicritère, cette importance est représentée par une valeur numérique (une importance quantifiable). Ceci soulève le problème des poids de nature qualitative. Ainsi, la notion qualitative d'importance des critères sera traduite en termes quantitatifs.

Dans le cas des critères qualitatifs<sup>30</sup>, une attention particulière doit être portée à la transcription de ces données qualitatives sur une échelle numérique (Roy, et al., 2002).

Parfois, il est un peu difficile d'affecter directement des importances aux critères. Mais il est possible de ranger les critères dans un sens croissant de préférence, où bien, de les comparer entre eux. Pour cette raison, il existe des méthodes qui consistent à déterminer des poids relatifs aux critères, en introduisant des informations subjectives relatives à ces critères. Nous allons décrire deux méthodes : la méthode de cartes de SIMOS et la méthode de l'Echelle de Saaty (Didier, et al., 2002).

<sup>29</sup> Appelé aussi coefficient d'importance (Molines, et al., 2002).

<sup>30</sup> Comme par exemple une qualité de paysage (très intéressant, intéressant, sans intérêt particulier), ou un niveau de fréquentation (fort, moyen, faible) ou tout simplement un niveau de qualité (bon, moyen, médiocre).

### 3.7.4.1 Méthode de SIMOS

Simos l'appelle aussi "*la technique du jeu de cartes*". Cette méthodologie consiste à distribuer aux différents décideurs des cartes sur lesquelles sont inscrits les noms des critères (une carte pour un critère) ainsi que des cartes blanches. Par la suite, il est demandé à chaque décideur de ranger les cartes selon un ordre de préférence, en matérialisant l'importance des écarts par l'insertion des cartes blanches. Par l'introduction de ces informations dans un jeu de calculs, on aboutit ensuite à des poids normés.

### 3.7.4.2 Echelle de Saaty

Le principe consiste à comparer chaque critère par rapport aux autres et introduire un rapport de préférence selon l'échelle de Saaty (Figure 3-7) dans une matrice d'ordre  $(nc*nc)$ ;  $nc$  représente ici le nombre de critères. Cette matrice est caractérisée par :

- $\forall i \in [1, nc]; a_{i,i} = 1$  (1)
- $\forall i, j \in [1, nc]^2; a_{i,j} = 1/a_{j,i}$  avec :  $i \neq j$  (2)

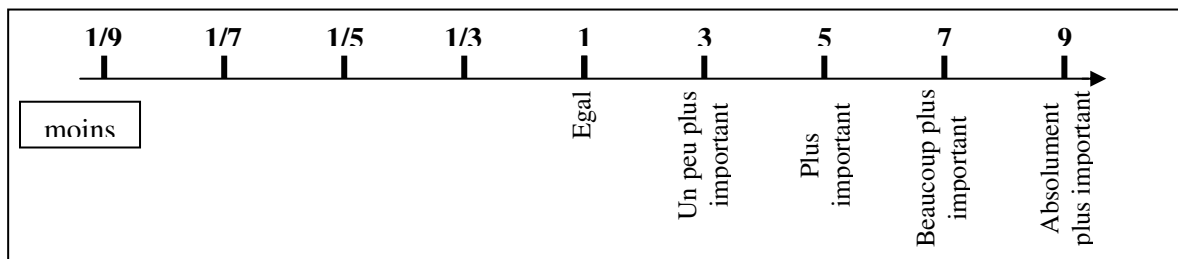


Figure 3-7 Echelle de Saaty

### 3.7.5 Pouvoir discriminant des critères

Les critères peuvent être différenciés par leur pouvoir de discrimination. Le pouvoir discriminant, d'une fonction critère 'c', se rapporte à la faculté lue ou moins marquée que l'homme d'étude lui reconnaît pour discriminer des situations de préférence stricte, d'indifférence et de préférence faible sur base d'une importance plus ou moins grande de la différence entre  $c(a)$  et  $c(b)$ . Aussi selon le pouvoir de discrimination, le critère sera qualifié de vrai-critère, de quasi-critère, de pré-critère, ou de pseudo-critère (Guinting, 2000) :

⇒ **vrai-critère** : on appelle vrai-critère tout critère dont la structure de référence sous-jacente est une structure de pré-ordre total. Aussi, supposons deux actions 'a' et 'b', nous avons :

Deux actions sont dites indifférentes si leurs évaluations sur un critère sont égales. Alors qu'une action est préférée à l'autre, si son évaluation est supérieure.

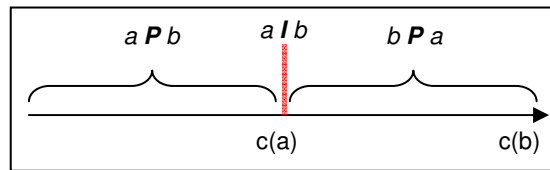


Figure 3-8 Préférence et indifférence pour un vrai-critère

$$c(b) > c(a) \Leftrightarrow b P a$$

$$c(a) = c(b) \Leftrightarrow a I b$$

avec : **P** préférence stricte, **I** indifférence

⇒ **quasi-critère** : dans ce cas, il y a introduction du seuil d'indifférence<sup>31</sup> ( $q$ ). Ce seuil indique la valeur en dessous de laquelle toute différence entre  $c(a)$  et  $c(b)$  traduit une indifférence entre deux actions  $a$  et  $b$ . L'homme d'étude admet que l'écart  $c(a)-c(b)$  inférieur à " $q$ " traduit également une indifférence entre ' $a$ ' et ' $b$ ' et que l'écart supérieur à " $q$ " traduit une préférence stricte de l'action ' $a$ ' sur l'action ' $b$ '. La structure de référence sous-jacente est une structure de quasi-ordre.

Ce seuil peut être constant, auquel cas on a :

$$|c(a) - c(b)| \leq q \Leftrightarrow a I b$$

$$c(a) > c(b) + q \Leftrightarrow a P b$$

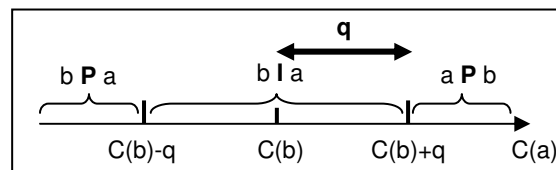


Figure 3-9 Préférence et indifférence pour un quasi-critère "seuil constant".

Ou variable, auquel cas, on a :

$$|c(a) - c(b)| \leq q [c(b)] \Leftrightarrow a I b$$

$$c(a) > c(b) + q [c(b)] \Leftrightarrow a P b$$

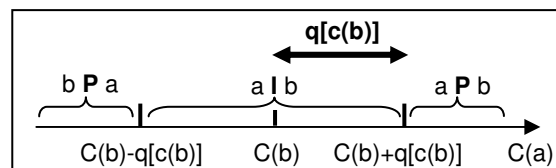


Figure 3-10 Préférence et indifférence pour un quasi-critère "seuil variable".

La structure de référence sous-jacente est une structure d'ordre à intervalle.

<sup>31</sup> Le seuil d'indifférence correspond à la plus petite différence jugée significative.

- **pré-critère** : c'est un critère auquel est associé un seuil de discrimination appelé seuil de préférence. L'introduction de ce seuil permet à l'homme d'étude de définir une zone d'hésitation entre indifférence et préférence stricte : c'est la zone de préférence faible. Par contre, l'indifférence n'aura lieu entre deux actions a et b que si leurs performances obtenues par le critère c sont égales :  $c(a) = c(b)$ . Aussi, s'il existe un écart positif entre  $c(a)$  et  $c(b)$  inférieur au seuil de préférence faible pour a par rapport à b.

Si par contre, cet écart est supérieur à 'p', il y a une préférence stricte de a par rapport à b. Dans ce cas précis, la structure de référence est une structure de quasi-ordre orienté.

- **pseudo-critère** : on distingue deux seuils de discrimination à savoir ;
  - *le seuil d'indifférence* qui indique la limite supérieure en dessous de laquelle le décideur marque une indifférence nette entre deux actions potentielles.
  - *le seuil de préférence* qui représente la valeur en dessus de laquelle le décideur montre une préférence stricte au profit d'une de ces deux actions potentielles.

Ainsi, il y a une zone d'hésitation entre l'indifférence nette et la préférence stricte : c'est la zone de préférence faible.

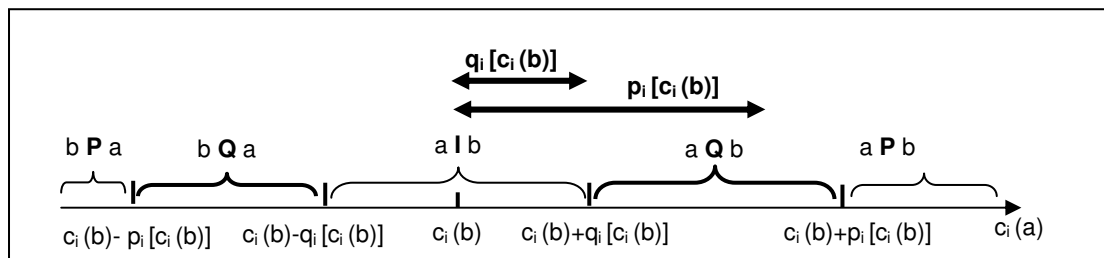


Figure 3-11 Préférence et indifférence pour un pseudo-critère "seuil variable".

En résumé, le tableau suivant montre les différents genres de critères avec une simple explication.

Critère	Description
Pseudo-critère	Fonction-critère c à laquelle se trouve associées deux fonctions seuils $q_j[c(a)]$ et $p_j[c(a)]$ (resp. seuil d'indifférence et de préférence.)
Vrai-critère	Pseudo-critère où $q_j[c(a)] = p_j[c(a)] = 0$
Quasi-critère	Pseudo-critère où $q_j[c(a)] = p_j[c(a)]$ , $\forall a \in A$ .
Pré-critère	Pseudo-critère où $q_j[c(a)] = 0$

Tableau 3-2 Différents types de critères

### 3.7.6 Modélisation des préférences

Nous définissons quatre relations possibles entre deux actions : l'indifférence, la préférence stricte, la préférence faible et l'incomparabilité. Ces différentes relations sont illustrées dans le tableau ci-après.

Situation	Définition	Relation binaire
Indifférence	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre les actions.	<b>I:</b> relation <i>symétrique et réflexive</i>
Préférence stricte	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une des deux actions.	<b>P:</b> relation <i>asymétrique irréflexive</i>
Préférence faible	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui infirment une préférence stricte en faveur de l'une des deux actions mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre soit une indifférence entre ces deux actions (ces raisons ne permettent donc pas d'isoler l'une des deux situations précédentes comme étant la seule appropriée.).	<b>Q:</b> relation "comme quasi " <i>asymétrique irréflexive</i>
Incomparabilité	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes.	<b>R:</b> relation "comme refus de prononcer" <i>symétrique irréflexive</i>

Tableau 3-3 Modèles de préférence<sup>32</sup>

Aussi, la relation de surclassement<sup>33</sup> **S** intervient dans la modélisation des préférences relativement à deux actions potentielles. Le tableau suivant illustre cette relation :

Situation	Définition	Relation binaire
Surclassement	Elle correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient soit une préférence, soit une présomption de préférence en faveur de l'une des deux actions, mais sans qu'une séparation significative soit établie entre les situations de préférence stricte, de préférence faible et d'indifférence.	<b>S :</b> $a S b \Rightarrow$ $a P b$ ou $a Q b$ ou $a I b$

Tableau 3-4 Modèles de surclassement<sup>34</sup>.

<sup>32</sup> Source : (Guinting, 2000); (Chakhar, 2001), (Belacel, 2000).

<sup>33</sup> On peut la définir aussi comme : a surclasse b si a est au moins aussi bon que b relativement à beaucoup de points de vue (critère), sans être trop nettement plus mauvaise relativement aux autres points de vue.

<sup>34</sup> Source : (Guinting, 2000).

La Figure 3-12 représente graphiquement les trois situations (préférence, indifférence, et incomparabilité) :

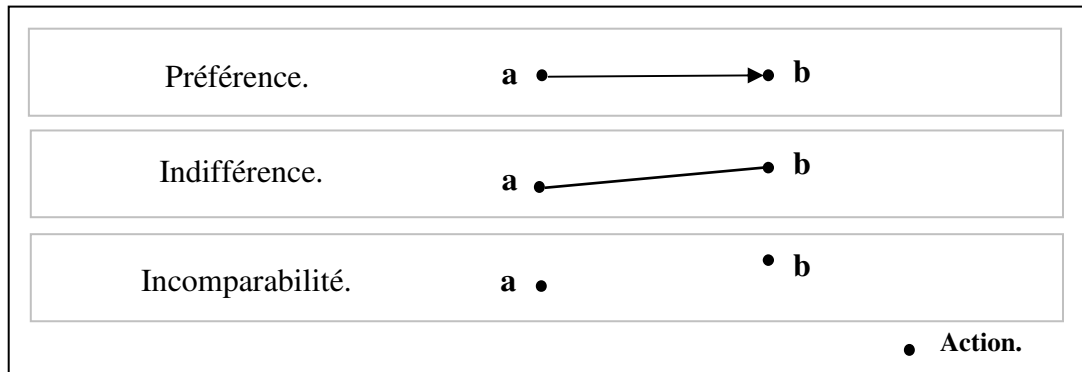


Figure 3-12 Préférence, indifférence et incomparabilité

### 3.8 Les méthodes ELECTRE

#### 3.8.1 ELECTRE I

La méthode ELECTRE I relève de la problématique  $\alpha$  (procédure de sélection), le problème est posé en terme de choix de la "meilleure" action. Dans ce but et au moyen de la relation de surclassement  $S$ , il est nécessaire d'effectuer une partition de l'ensemble 'A'<sup>35</sup> en deux sous ensembles complémentaires nommés  $N$  et  $A/N$  avec :

- Chaque action appartenant à  $A/N$  est surclassée par au moins une action de l'ensemble  $N$ , les actions-éléments de  $A/N$  sont éliminés par la suite;
- Les actions de l'ensemble  $N$  sont généralement incomparables entre elles, se sont les actions sélectionnées.

La relation de surclassement  $S$  est construite en prenant appui sur une notion de concordance<sup>36</sup> et une notion de discordance<sup>37</sup>. En effet, l'indice de concordance mesure la confiance que l'on a que  $a_1$  soit meilleure que  $a_2$ , et l'indice de discordance mesure le regret que l'on a que  $a_1$  soit meilleure que  $a_2$  (Gaillet, 2003). Cette hypothèse de surclassement sera acceptée si un test de concordance et un test de discordance sont satisfaits<sup>38</sup>.

<sup>35</sup> L'ensemble  $A$  représente l'ensemble des actions potentielles.

<sup>36</sup> L'indice de concordance de l'hypothèse "l'action  $A_1$  est meilleure que l'action  $A_2$ "

<sup>37</sup> L'indice de discordance de l'hypothèse "l'action  $A_1$  est meilleure que l'action  $A_2$ "

<sup>38</sup> Les deux tests sont satisfaits s'ils répondent (supérieurs) aux seuils fixés par le décideur.

### 3.8.1.1 Indice de concordance

Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$c(a,b) = (\sum w_i * P_i) / P \quad (5)$$

avec :  $w_i = 0$  si  $c(a) < c(b)$  et  $w_i = 1$  si  $c(a) \geq c(b)$

$$P = \sum P_i : \text{la somme des poids. (6)}$$

### 3.8.1.2 Indice de discordance

$$d(a,b) = \text{Max} [c_i(b) - c_i(a)] / n \quad \forall i \in J \quad (7)$$

avec :  $J$  représente l'ensemble des critères où  $c(a) < c(b)$

et  $n$  la plus grande échelle utilisée.

Le résultat de cette méthode est un graphe de surclassement qui visualise l'ensemble des relations de surclassement de chaque couple des actions.

L'ensemble  $N$ , vu auparavant, représente le noyau du graphe, tel que chaque action appartient au noyau doit vérifier certaines conditions :

- d'abord, ces actions ne sont surclassées par aucune autre action de l'ensemble  $A$ ,
- ces actions sont incomparables entre elles,
- de plus, chacune des actions du noyau n'est surclassée par aucune action du noyau.

Par conséquent, toutes les actions qui n'appartiennent pas au noyau sont surclassées par une action du noyau.

La figure ci-dessous représente deux exemples de la détermination du noyau :

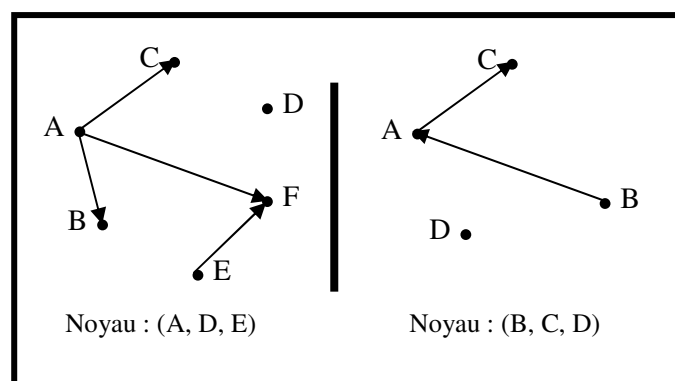


Figure 3-13 Détermination du noyau

ELECTRE I est une méthode assez simple, puisqu'elle est basée sur des concepts naturels<sup>39</sup>. Elle ne repose pas sur des « à priori » néanmoins le caractère très subjectif de certains paramètres importants de son algorithme est compensé par une analyse de robustesse très approfondie.

L'analyse de robustesse<sup>40</sup> cherche à élaborer des recommandations aussi synthétiques que possible, acceptables par une vaste gamme de valeurs des paramètres (poids, différents seuils). C'est en effectuant une telle analyse qu'il est possible de vaincre les réticences, aussi bien du décideur que de l'homme d'étude, quant aux valeurs initiales des paramètres. Si en faisant varier les paramètres autour de leur valeur initiale, les résultats ne sont pas modifiés de manière importante, la recommandation est dite robuste. Les paramètres, susceptibles de variations dues soit à l'incertitude des données de base soit à la subjectivité des données volontaristes, sont les amplitudes des échelles de critères, le poids des critères, le seuil de concordance et le seuil de discordance.

La contrepartie de cet avantage (une analyse de la robustesse très approfondie) est que le résultat fourni est parfois peu net du fait des nuances faites par la méthode ELECTRE I. Elle ne conduit pas, de manière générale, à la mise en évidence directe de la "meilleure" action potentielle. L'utilisateur d'une telle méthode doit rester conscient du fait que le noyau, vu auparavant, ne renferme pas les meilleures actions mais en fait les actions les plus difficiles à comparer entre elles et parmi lesquelles se trouve la "meilleure" action.

Notons ainsi, que la méthode ELECTRE I ne doit pas être prise comme une méthode permettant de dégager un sous-ensemble d'actions (pas forcément les meilleures actions).

Les insuffisances marquées au niveau de la méthode ELECTRE I (Prélaz-Droux, 2003) sont:

- La traduction en note des évaluations (pour les actions),
- L'élasticité des échelles pour la discordance,
- La brutalité du calcul de la concordance :
  - si a est un peu meilleure que b : on compte tout,
  - si a est un peu moins bonne que b : on compte rien,
  - or l'évaluation de a et b n'est toujours pas aussi précise.

Ces insuffisances ont donné naissance à deux autres méthodes<sup>41</sup> :

- ELECTRE Is : introduction des critères à seuil.
- ELECTRE Iv : utilisation du veto pour le calcul de la discordance.

---

<sup>39</sup> Par exemple, pour le calcul de l'indice de concordance, il suffit de répondre par oui ou non à une simple question "est-ce que l'action X est au moins aussi bonne que l'action Y sur le critère considéré".

<sup>40</sup> Roy a défini l'analyse de robustesse comme suit : "par analyse de robustesse on désigne toute façon de faire qui concourt à l'élaboration de conclusions robustes sur un ou plusieurs ensemble J aussi riche que possible." (Roy, 1985).

<sup>41</sup> Pour ces deux méthodes, la matrice des performances contient des vraies valeurs.

### 3.8.2 ELECTRE Is

La méthode ELECTRE Is<sup>42</sup> relève aussi de la problématique  $\alpha$  (procédure de sélection). En effet, c'est une adaptation de la méthode ELECTRE I à la logique floue<sup>43</sup>. Pour choisir la "meilleure" action, une partition de l'ensemble des actions potentielles A en deux sous-ensembles doit être réalisée, comme ELECTRE I, c'est dans le noyau que se trouve la "meilleure" action.

Le principe consiste à comparer les actions deux à deux. Par la suite, on calcule le degré de crédibilité de chaque relation de surclassement, le résultat de ce calcul peut prendre la forme d'un graphe où chaque action est représentée par un disque et les flèches relient l'ensemble des actions exprimant les relations de surclassement de l'action origine vers l'action cible. Chaque flèche est associée par l'indice de crédibilité correspond à cette relation.

#### 3.8.2.1 Indice de crédibilité

L'indice de crédibilité est l'indice de concordance global affaibli par les indices de discordance par critère. Cependant, ces discordances n'interviennent que si elles sont supérieures à l'indice de concordance global. "(...) *L'indice de concordance est un bon reflet de crédibilité du surclassement et aussi longtemps que les indices de discordance sont faibles par rapport à l'indice de concordance, ce dernier continue à représenter correctement cette crédibilité*" (Maystre, et al., 1994). Cet indice est donné par :

$$ICr_{A,B} = Co_{A,B} \times \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_{j(A,B)}}{1 - Co_{A,B}} \quad (8) \text{ (Slowinski, et al., 1994)}$$

avec :  $ICr$  : indice de crédibilité.

$Co_{A,B}$  : indice de concordance globale de l'hypothèse "A surclasse B".

$d_{j(A,B)}$  : indice de discordance par le critère j de l'hypothèse "A surclasse B".

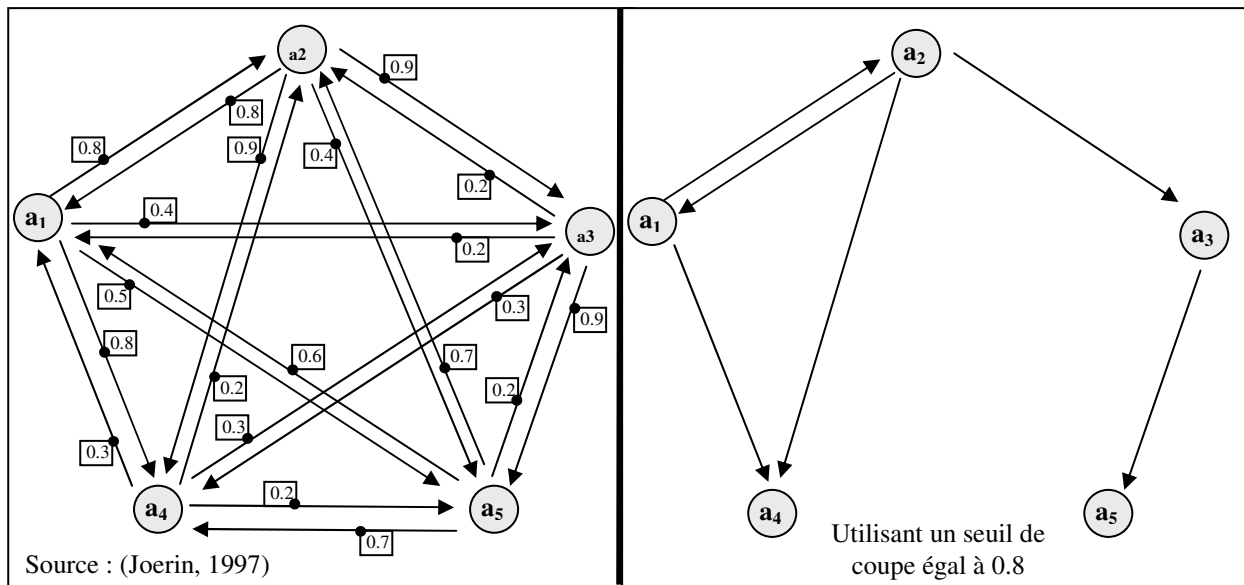
$\bar{F}$  : sous-ensemble de critères, pour lesquels l'indice de discordance est supérieur à l'indice de concordance global.

La Figure 3-14 présente un exemple de résultat de cette méthode. Cet exemple contient cinq (05) actions potentielles. Même si le nombre d'actions est petit, il est assez difficile d'interpréter le graphe de surclassement. Pour cela, il faut fixer un seuil, appelé seuil de coupe<sup>44</sup>. L'application de ce seuil permet de simplifier le graphe des surclassements.

<sup>42</sup> Le 's' indique que cette méthode utilise des seuils.

<sup>43</sup> Permettant d'utiliser des pseudo-critères.

<sup>44</sup> Le seuil de coupe correspond à la plus petite valeur du seuil de crédibilité qu'il faut prendre en considération.



**Figure 3-14** Exemple d'un graphe des relations de surclassement

Par l'utilisation d'un seuil de coupe de 0.8, de nombreuses relations sont éliminées. D'après la figure 2.8, les deux actions  $a_1$  et  $a_2$  sont indifférentes<sup>45</sup>. L'action  $a_3$  est surclassée par  $a_2$ , qui permet son élimination, ainsi que l'élimination de la relation qui la lie avec  $a_5$ . L'action  $a_4$  est éliminée car elle est surclassée par deux actions qui ne sont surclassées par aucune autre action. Finalement, il nous reste que trois actions dans le noyau.

Si on diminue le seuil de coupe à 0.7, de nouvelles relations de dominance vont être ajoutées au résultat précédent, c'est la dominance de  $a_5$  vers  $a_2$ . Donc l'action  $a_2$  doit être éliminée. Le problème réside aux deux actions restantes  $a_5$  et  $a_1$ . Il y a deux cas :

- Soit on élimine  $a_1$ , du fait qu'elle est indifférente à  $a_2$ , et on retient la meilleure action qui est  $a_5$  ;
- Soit on diminue encore le seuil de coupe, pour départager la relation d'incomparabilité entre  $a_5$  et  $a_1$ .

Donc, le noyau contient sûrement la meilleure action mais reste à la retirer d'un ensemble d'actions. Ces actions sont indifférentes et incomparables entre elles.

Notons que la méthode Electre Iv est semblable à cette méthode, sauf qu'on utilise le seuil de veto pour le calcul de la discordance.

<sup>45</sup> Deux surclassements réciproques impliquent une indifférence entre les deux actions.

### 3.8.3 ELECTRE II

Cette méthode traite la problématique de rangement ( $\gamma$ ). Elle vise, en utilisant les relations d'ordre sur chacun des critères, à munir l'ensemble A des actions potentielles d'une structure de pré-ordre total (pas d'incomparabilité) afin de faciliter le choix. En résumé, cette méthode a pour but de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes", en tolérant les ex æquo.

Il faut remarquer qu'en problématique  $\gamma$ , il n'est pas tenu compte de la valeur intrinsèque de chaque action mais seulement de sa valeur relative par rapport aux autres actions. Cette méthode utilise, tout comme la méthode ELECTRE I, la relation de surclassement S. Cependant, la distinction est faite entre deux sortes de surclassements : les surclassements forts qui reposent sur des bases solides et avancés avec une grande certitude et les surclassements faibles qui concernent les surclassements qui sont sujets à caution.

L'exploitation de ces deux graphes (l'un fort, l'autre faible) s'opère selon un algorithme qui permet de classer les actions. Cet algorithme permet d'obtenir deux classements différents (ou deux pré-ordres totaux différents) : un classement direct et un classement inverse. Les deux classements s'opèrent à partir du graphe de surclassement fort, le graphe de surclassement faible n'étant utilisé que pour départager si possible les ex æquo.

A partir de ces deux pré-ordres totaux, un pré-ordre partiel est établi, ainsi l'intérêt de ces deux classements provient de leur effet sur des actions incomparables.

Le point de départ d'ELECTRE II est tout à fait différent de celui d'ELECTRE I. Il ne s'agit plus d'essayer de trouver la "meilleure" action mais de classer toutes les actions de la "meilleure" jusqu'à la "moins bonne". Du même coup, les résultats sont plus tranchés que dans la méthode précédente ([Office of the Deputy Prime Minister, 1998](#)).

L'approche utilisée reste toujours la même, elle est fondée sur la concordance et la discordance. Cependant, les moyens utilisés pour exprimer ces notions sont enrichis par rapport à ceux d'ELECTRE I et permettent de tenir compte de la volonté du décideur d'une manière plus fine.

Enfin, l'existence de deux pré-ordres, établis d'une manière différente, offre la possibilité de se faire une idée de la solidité des résultats selon un angle de vue complémentaire à celui de l'analyse de robustesse : une action qui change énormément de rang entre les deux classements, direct et inverse, est une action qui peut être difficilement comparée aux autres.

### 3.8.4 ELECTRE III

Cette méthode relève aussi de la problématique ( $\gamma$ ). Son but est de classer les actions potentielles depuis les "meilleures" jusqu'aux "moins bonnes" (annexe 4).

Après avoir remplie la matrice des évaluations, on peut calculer la différence de note 'd' entre toutes les actions, par couple, relativement à tous les critères. Cette méthode permet l'introduction, pour chacun des critères, de deux seuils dits : d'indifférence (notion de q) et de

préférence stricte (notion de  $p$ ). Ces seuils ont été définis de manière à tenir compte directement de l'incertitude qui entache plus ou moins les valeurs de la matrice des évaluations. L'introduction des seuils permet l'apparition d'une nouvelle notion, celle de préférence faible. Un troisième seuil, le seuil de veto, tel que si la différence en notes soit en valeur absolue supérieure à ce seuil, on exclut l'action qui se comporte mal sur ce critère.

Considérons un critère quelconque et deux actions  $a$  et  $b$ , on note par  $d$  la différence de note entre  $A$  et  $B$  sur ce critère (Gaillet, 2003) :

$d \geq p$  :  $a$  est fortement préférée à  $b$ .

$p \leq d \leq q$  :  $a$  est faiblement préférée à  $b$ .

$q \geq d \geq 0$  :  $a$  et  $b$  sont indifférentes.

$-q \leq d \leq 0$  :  $a$  et  $b$  sont indifférentes.

$-p \leq d \leq -q$  :  $b$  est faiblement préférée à  $a$ .

$d \leq -p$  :  $b$  est fortement préférée à  $a$ .

On considère ensuite un indice de crédibilité de l'hypothèse " $a$  surclasse  $b$ " relativement à un critère quelconque. Cet indice représente la certitude que l'on a que " $a$  soit au moins aussi bonne que  $b$ ". Dans la zone d'indifférence  $[-q, q]$ , l'indice vaut 1. Si  $b$  est fortement préférée ( $d \leq -p$ ), alors  $a$  ne peut être meilleure que  $b$  (l'indice est nul). Entre ces deux zones, on suppose que cet indice varie linéairement.

On va ensuite pouvoir définir un indice de concordance global pour cette hypothèse. Pour le calculer, il suffit de sommer les indices de crédibilité de cette hypothèse, pour tous les critères pondérés par les poids respectifs des critères.

Ensuite, pour le calcul de l'indice de discordance, on définit un seuil de veto  $v$ . Si  $d < -v$ , le degré de discordance de cette hypothèse est égal à l'unité. Si  $d > -p$ , le degré de discordance est nul. Il varie linéairement entre les deux valeurs. On somme les degrés de discordance, ainsi calculés, pondérés par le poids de leurs critères considérés, pour avoir l'indice de discordance global.

L'algorithme de classement qui permet l'élaboration de deux pré-ordres antagonistes est fondé sur le niveau de signification du degré de crédibilité. Ce niveau exprime à partir de quelle valeur la différence entre deux degrés de crédibilité devient significative. La procédure de classement rappelle celle de la distillation : il est question de distillation descendante et de distillation ascendante.

Le résultat final est un pré-ordre partiel, c'est-à-dire seuls les ex æquo sont permis et que l'incomparabilité est tolérée.

En conclusion, ELECTRE III est une méthode très complète, qui a le mérite d'exploiter l'information en sauvant un maximum de nuances et d'avancer des conclusions bien fondées. En contre partie, elle offre un maniement délicat et elle est pénalisée par sa propre complexité concernant la compréhension de la méthode par le décideur.

### 3.8.5 ELECTRE IV

Cette méthode qui relève de la problématique de classement, témoigne d'une sophistication de plus en plus poussée. ELECTRE II et ELECTRE III ont certes inspiré cette méthode mais, la plus grande originalité est qu'il n'y a plus de poids attribué à chaque critère. Ce changement fondamental est accompagné d'une grande nouveauté : l'abandon de l'hypothèse de surclassement, qui rend inutiles les notions de concordance<sup>46</sup> et de discordance.

ELECTRE IV utilise, comme ELECTRE III, des pseudo-critères<sup>47</sup>. A partir de la matrice des évaluations, on calcule la différence de note deux à deux entre toutes les actions, relativement à tous les critères. Ici, les auteurs ont introduit une nouvelle relation « Meilleur que », notée M (voir Figure 2.9).

On définit ensuite deux règles qui permettent de distinguer les dominances fortes et faibles. Ainsi, il y aura préférence forte (Gaillet, 2003) :

- s'il n'existe aucun critère donnant b strictement préféré à a,
- **et** si le nombre des critères donnant b faiblement préféré à a est au plus égal au nombre des critères donnant a préféré (strictement ou faiblement) à b.

Il y aura préférence faible :

- s'il n'existe aucun critère donnant b strictement préféré à a **et** la seconde condition ci-dessus n'est vérifiée,
- **ou** s'il existe un unique critère donnant b strictement préféré à a, l'écart étant au plus égal au double seuil de préférence, **et** si trois critères au moins donnent a strictement préféré à b.

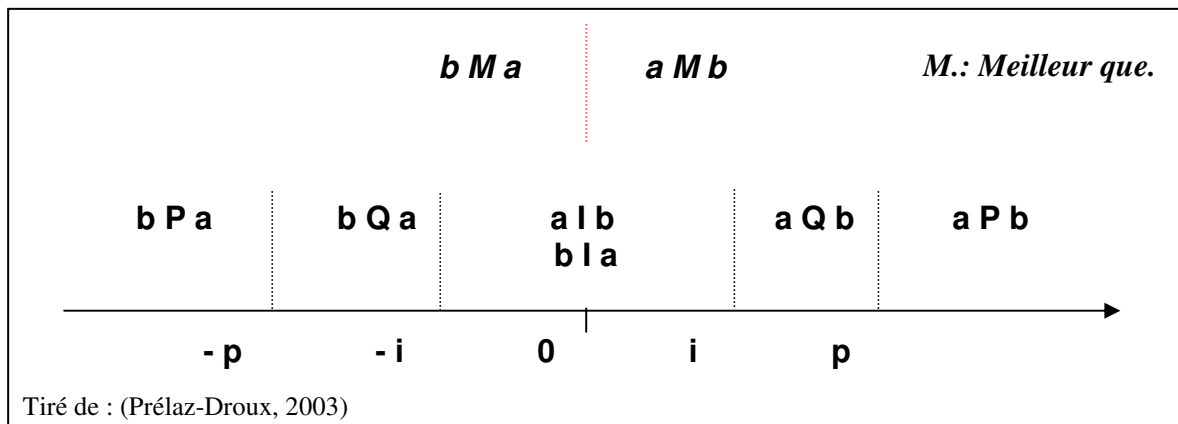


Figure 3-15 ELECTRE IV : une nouvelle relation (meilleur que)

<sup>46</sup> Puisqu'il n'y a plus de poids des critères, il n'est donc plus possible de calculer un indice de concordance.

<sup>47</sup> Il est associé à chaque critère un seuil de préférence et d'indifférence.

La comparaison des actions par paire et par critère situe chaque action par rapport à l'autre selon un cas de figure déterminé. Le nombre de fois que chaque cas de figure particulier apparaît pour l'ensemble des critères est enregistré. Des règles simples, utilisant ces chiffres, permettent d'établir des relations de surclassement entre deux actions. L'établissement de ces règles se fait de telle manière qu'aucun des critères ne soit pas trop "prépondérant" ou pas trop "négligeable".

### 3.8.5.1 Niveaux de crédibilité

Selon les règles suivantes, sont définis six niveaux de crédibilité (Ben Mena, 1999) :

Niveau	Règles
a S <sup>1</sup> b	Si aucun critère ne donne bPa ni bQa et si le nombre de critères donnant aMb (Meilleur que) est supérieur à celui des critères donnant bMa.
a S <sup>2</sup> b	Si aucun critère ne donne bPa et si le nombre de critères donnant aPb est supérieur ou égal à celui des critères donnant bQa. et si le nombre de critères donnant aMb est strictement supérieur à celui des critères donnant bMa.
a S <sup>3</sup> b	Si aucun critère ne donne bPa et si le nombre de critères donnant aPb ou aQb est supérieur ou égal à celui des critères donnant bQa.
a S <sup>4</sup> b	Si aucun critère ne donne bPa
a S <sup>5</sup> b	Si aucun critère ne donne bPa ou si un seul critère donne bPa et si ce critère discordant n'oppose pas un veto et si le nombre de critères donnant aPb est supérieur ou égal à la moitié du nombre des critères.
a S <sup>6</sup> b	Dans tous les autres cas.

**Tableau 3-5** Différents niveaux de surclassement de la méthode ELECTRE IV

A chaque type de relation de surclassement correspond un degré de crédibilité attribué d'une manière plus ou moins volontariste<sup>48</sup>. Ceci conduit à la construction d'une matrice de degrés de crédibilité contenant un nombre discret de valeurs possibles. Alors, à partir de ce moment, la méthode ELECTRE IV reprend le même principe utilisé par la méthode ELECTRE III avec une distillation ascendante et une distillation descendante et, enfin, un classement final qui est aussi un pré-ordre partiel.

### 3.8.6 ELECTRE Tri

La méthode ELECTRE Tri relève de la problématique de tri ( $\beta$ ). Dans ce cas, le principe consiste à comparer chaque action à une ou plusieurs actions de référence prédéfinies (annexe 5).

Cette méthode présente trois intérêts principaux qui permettent de :

<sup>48</sup> Le degré de crédibilité que l'on peut assigner (et non plus calculer !)

- juger une action potentielle pour elle-même, indépendamment des autres actions potentielles. En ce sens, cette méthode juge chaque action potentielle sur sa valeur absolue,
- fixer une ou plusieurs valeurs de référence, par exemple des normes légales ou des résultats minimaux pour l'acceptation de candidats,
- considérer un nombre d'actions potentielles plus important que les autres méthodes ELECTRE.

### 3.8.6.1 Actions de référence

Se sont des actions préétablies. Une action de référence peut être soit réelle<sup>49</sup>, soit artificielle. Ces actions permettent de délimiter l'espace des évaluations sur les critères.

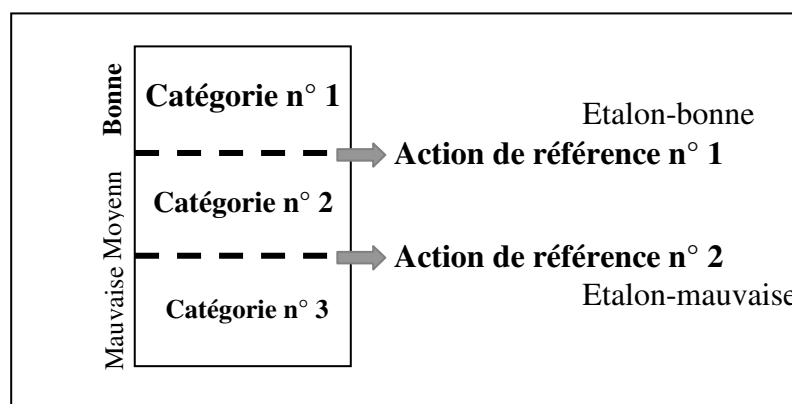


Figure 3-16 Situation des actions de référence pour un exemple de 03 catégories

D'après la figure ci-dessus, une action qui surclasse l'action de référence n° 1 "étalon-bonne" est affectée à la première catégorie. Tant qu'une action est surclassée par l'action de référence n° 2 "étalon-mauvaise", elle est affectée à la dernière catégorie. Les autres actions<sup>50</sup> sont affectées à la deuxième catégorie.

Le décideur doit donc choisir comme actions de référence, des actions qui se situent, par leurs notes dans les différents critères, à la limite de deux classes. Une action choisie comme étalon-bonne devrait par définition avoir, par exemple, les caractéristiques minimales pour appartenir aux bonnes actions (Schärli, 1996).

Dans le cas des actions artificielles, le décideur peut fixer directement les valeurs de ces actions pour chaque critère. Il est aussi possible de demander au décideur de trier un petit échantillon de l'ensemble des actions, puis d'analyser ce tri pour déterminer les caractéristiques des actions de référence (Slowinski, et al., 1994).

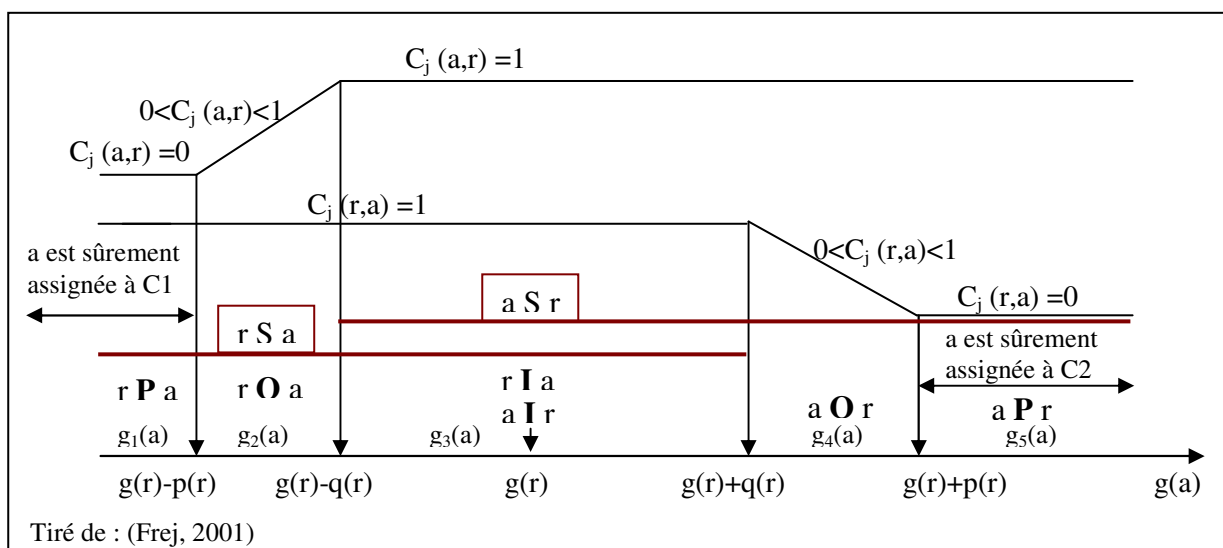
<sup>49</sup> Action qui appartient à l'ensemble des actions potentielles. Par contre, une action artificielle est une action proposée selon les préférences des décideurs.

<sup>50</sup> C'est-à-dire les actions qui sont surclassées par l'étalon-bonne et au même temps surclassent l'étalon-mauvaise.

### 3.8.6.2 Le tri

L'affectation des actions à une catégorie est, bien entendu, spécifique. Pour déceler l'incomparabilité, deux procédures d'affectation distinctes, appelées optimiste et pessimiste, sont nécessaires. Elles consistent à comparer chaque action potentielle aux actions de référence en commençant par la plus contraignante puis la moins contraignante. Si les deux procédures affectent l'action potentielle à la même catégorie, elle est alors parfaitement comparable avec les actions de référence. Sinon, en fonction de la différence entre les deux catégories auxquelles elle est attribuée, elle est plus ou moins incomparable.

La figure ci-dessous montre la manière d'affecter provisoirement, au niveau d'un seul critère d'une référence-frontière floue, une action potentielle (a) à une des deux catégories (C1, C2).



**Figure 3-17** Pseudo critère, surclassement unicritère, référence floue entre deux catégories

Avec :

- $g_1$  : affectation parfaitement crédible à la catégorie inférieure C1 :  $r P a \Leftrightarrow C_j(a,r) = 0$
- $g_2$  : affectation de crédibilité réduite à cette catégorie C1 :  $r Q a \Leftrightarrow 0 < C_j(a,r) < 1$
- $g_3$  : il est indifférent de l'affecter à une des deux catégories :  $r I a \Leftrightarrow a I r \Leftrightarrow C_j(a,r) = C_j(r,a) = 1$
- $g_4$  : affectation de crédibilité réduite à cette catégorie C2 :  $a Q r \Leftrightarrow 0 < C_j(r,a) < 1$
- $g_5$  : affectation parfaitement crédible à la catégorie supérieure C2 :  $a P r \Leftrightarrow C_j(r,a) = 0$

Donc, dans le processus de calcul de cette méthode, il est à calculer : l'indice de concordance global de l'hypothèse  $a_i$  surclasse  $r$ , et réciproquement, selon le nombre des actions de référence<sup>51</sup>. Même chose pour les indices de discordance globaux. On calcule, par la suite, les indices de crédibilité des relations précédentes, on fixe un seuil de crédibilité appelé seuil de

<sup>51</sup> L'indice de concordance de  $(a_i, r1), (r1, a_i); (a_i, r2), (r2, a_i); \dots; (a_i, ri), (ri, a_i); \dots; (a_i, rn), (rn, a_i)$ .

coupe ( $\lambda$ ), puis on établit les relations de surclassement (Girard, et al., 2000), (Dias, et al., 2003), (Mousseau, 2003) comme suit :

**Indice de concordance partielle** : Les indices de concordance partielle  $c_j(a, b_h)$  et  $c_j(b_h, a)$  expriment, respectivement, la validité des assertions 'l'alternative "a" surclasse la référence "b<sub>h</sub>" ' et 'la référence "b<sub>h</sub>" surclasse l'alternative "a"' en considère l'ensemble des critères  $g_j$ . Dans le cas où le sens de préférence sur un critère  $g_j$  est à maximiser, les indices de concordance partielle sont calculés comme suit :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(b_h); \text{ alors } c_j(a, b_h) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) - p_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) - q_j(b_h); \\ \text{alors } c_j(a, b_h) = [g_j(a) - g_j(b_h) + p_j(b_h)] / [p_j(b_h) - q_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) > g_j(b_h) - q_j(b_h); \text{ alors } c_j(a, b_h) = 1 \end{array} \right\} \text{(eq.1)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) \geq g_j(b_h) + p_j(b_h); \text{ alors } c_j(b_h, a) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) + q_j(b_h) \leq g_j(a) < g_j(b_h) + p_j(b_h); \\ \text{alors } c_j(b_h, a) = [g_j(b_h) - g_j(a) + p_j(b_h)] / [p_j(b_h) - q_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) < g_j(b_h) + q_j(b_h); \text{ alors } c_j(b_h, a) = 1 \end{array} \right\} \text{(eq.2)}$$

Dans le cas où le sens de préférence est à minimiser, les indices de concordance partielle sont calculés comme suit :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) \geq g_j(b_h) + p_j(b_h); \text{ alors } c_j(a, b_h) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) + q_j(b_h) \leq g_j(a) \leq g_j(b_h) + p_j(b_h); \\ \text{alors } c_j(a, b_h) = [g_j(b_h) - g_j(a) + p_j(b_h)] / [p_j(b_h) - q_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) < g_j(b_h) + q_j(b_h) >; \text{ alors } c_j(a, b_h) = 1 \end{array} \right\} \text{(eq.3)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(b_h); \text{ alors } c_j(b_h, a) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) - p_j(b_h) < g_j(a) < g_j(b_h) - q_j(b_h); \\ \text{alors } c_j(b_h, a) = [g_j(a) - g_j(b_h) + p_j(b_h)] / [p_j(b_h) - q_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) > g_j(b_h) - q_j(b_h); \text{ alors } c_j(b_h, a) = 1 \end{array} \right\} \text{(eq.4)}$$

Avec :

$g_j(a)$ ,  $g_j(b_h)$ : l'évaluation respectivement des actions "a" et "b<sub>h</sub>" sur le "j" critère.  $p_j(b_h)$ : Le seuil de préférence qui présente la plus petite différence ( $g_j(a) - g_j(b_h)$ ) jugée significative pour que "a" soit préférée à "b<sub>h</sub>" sur le critère  $g_j$ .

$q_j(b_h)$ : Le seuil d'indifférence, exprime la plus grande différence ( $g_j(a) - g_j(b_h)$ ) qui préserve l'indifférence entre les alternatives "a" et "b<sub>h</sub>" sur le critère  $g_j$ .

$b_h$ : La limite supérieure de la catégorie  $C_n$  et la limite inférieure de la catégorie  $C_{n-1}$ .

$c_j(a, b_h), c_j(b_h, a)$ : Indices de concordance partielle.

**Indices de concordance globale** : les indices de concordance globale  $c(a, b_h)$  et  $c(b_h, a)$  expriment à quelle limite les évaluations des alternatives "a" et "b<sub>h</sub>" sur l'ensemble des critères sont concordantes, respectivement, avec les assertions 'alternative "a" surclasse le profil "b<sub>h</sub>" ' et 'profil "b<sub>h</sub>" surclasse l'alternative "a" '.  $c(a, b_h)$  et  $c(b_h, a)$  sont calculés comme suit :

$$c(a, b_h) = \left[ \sum_{j \in F} (k_j \cdot c_j(a, b_h)) \right] / \left[ \sum_{j \in F} k_j \right] \text{ (eq.5)}$$

$$c(b_h, a) = \left[ \sum_{j \in F} (k_j \cdot c_j(b_h, a)) \right] / \left[ \sum_{j \in F} k_j \right] \text{ (eq.6)}$$

Avec :

$F$ : l'ensemble des critères.  $k_j$ : poids du critère  $j$ .  $c(a, b_h), c(b_h, a)$ : indices de concordance globale.

**Indice de discordance partielle** : les indices de discordance partielle  $d_j(a, b_h)$  et  $d_j(b_h, a)$  expriment à quelle limite le critère  $g_j$  est opposé, respectivement, aux assertions 'l'alternative "a" surclasse le profil "b<sub>h</sub>" ' et 'profil "b<sub>h</sub>" surclasse l'alternative "a" '. Si le critère  $g_j$  est à maximiser en sens de préférence, l'indice de discordance partielle est obtenu comme suit :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) > g_j(b_h) - p_j(b_h); \text{ alors } d_j(a, b_h) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) - v_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(b_h); \\ \text{alors } d_j(a, b_h) = [g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)] / [v_j(b_h) - p_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) \leq g_j(b_h) - v_j(b_h); \text{ alors } d_j(a, b_h) = 1 \end{array} \right\} \text{ (eq.7)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) \leq g_j(b_h) + p_j(b_h); \text{ alors } d_j(b_h, a) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) + p_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) + v_j(b_h); \\ \text{alors } d_j(b_h, a) = [g_j(a) - g_j(b_h) - p_j(b_h)] / [v_j(b_h) - p_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) > g_j(b_h) + v_j(b_h); \text{ alors } d_j(b_h, a) = 1 \end{array} \right\} \text{ (eq.8)}$$

Si le critère  $g_j$  est à minimiser en sens de préférence, l'indice de discordance partielle est obtenu comme suit :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) \leq g_j(b_h) + p_j(b_h); \text{ alors } d_j(a, b_h) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) + p_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) + v_j(b_h); \\ \quad \text{alors } d_j(a, b_h) = [g_j(a) - g_j(b_h) - p_j(b_h)] / [v_j(b_h) - p_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) > g_j(b_h) + v_j(b_h); \text{ alors } d_j(a, b_h) = 1 \end{array} \right\} \text{(eq.9)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } g_j(a) > g_j(b_h) - p_j(b_h); \text{ alors } d_j(b_h, a) = 0 \\ \text{Si } g_j(b_h) - v_j(b_h) < g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(b_h); \\ \quad \text{alors } d_j(b_h, a) = [g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)] / [v_j(b_h) - p_j(b_h)] \\ \text{Si } g_j(a) \leq g_j(b_h) - v_j(b_h); \text{ alors } d_j(b_h, a) = 1 \end{array} \right\} \text{(eq.10)}$$

Avec :

$v_j(b_h)$  : seuil de véto qui présente la plus petite différence  $g_j(b_h) - g_j(a)$  incompatible avec l'assertion 'l'alternative "a" surclasse le profile "b<sub>h</sub>" '.

$d_j(a, b_h), d_j(b_h, a)$ : Indices de discordance partielle.

**L'indice de crédibilité** : il représente le degré de crédibilité de la relation de surclassement  $\sigma(a, b_h)$ , il exprime à quelle limite 'l'alternative "a" surclasse le profile "b<sub>h</sub>" ' en accord avec l'indice concordance global  $c(a, b_h)$  et aux indices de discordance  $d_j(a, b_h)$ . Il est calculé par la formule :

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \cdot \prod_{j \in \bar{F}} [1 - d_j(a, b_h) / (1 - c(a, b_h))] \text{ (eq.11)}$$

Avec :  $\bar{F} = \{j \in F / d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\}$ .  $\sigma(a, b_h)$ : indice de crédibilité. L'indice de crédibilité correspond à l'indifférence de concordance  $c(a, b_h)$  affaiblit en appliquant l'effet de veto.

Seuil de coupe ( $\lambda$ ) pour choisir les relations de surclassement les plus significatives (S). il est considéré comme la plus petite valeur de l'indice de crédibilité compatible avec l'hypothèse 'l'alternative "a" surclasse le profile "b<sub>h</sub>" '. Ainsi nous définissons les relations binaires ;  $>$  (préférence), I (indifférence) and R (incomparabilité) comme suit (Mousseau, et al., 1999):

$$1. a I b_h \Leftrightarrow a S b_h \text{ et } b_h S a \text{ avec } \sigma \geq \lambda;$$

$$2. a > b_h \Leftrightarrow a S b_h \text{ et not } b_h S a$$

$$\text{with } \sigma(a, b_h) \geq \lambda \text{ et } \sigma(b_h, a) < \lambda;$$

$$3. b_h < a \Leftrightarrow \text{not } a S b_h \text{ et } b_h S a$$

avec  $\sigma(a, b_h) < \lambda$  et  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda$ ;

4.  $aRb_h \Leftrightarrow \text{not } aSb_h \text{ et not } b_hSa$

avec  $\sigma(a, b_h) < \lambda$  et  $\sigma(b_h, a) < \lambda$ .

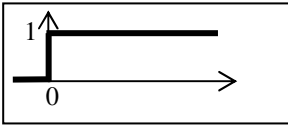
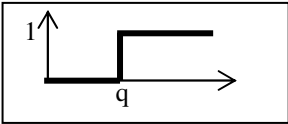
ELECTRE TRI est une méthode intéressante dans la mesure où elle permet une comparaison des actions potentielles, non plus entre elles, mais par rapport à une référence stable. Elle est donc moins sensible que les méthodes relevant de la problématique. Elle permet également d'utiliser des valeurs de référence, lorsqu'elles existent.

### 3.8.7 Méthode PROMETHEE

La méthode PROMETHEE<sup>52</sup> relève de la problématique de classement ( $\gamma$ ). Le principe consiste à comparer les actions par paire, en calculant un indice de concordance global pour chaque paire. Cette méthode n'utilise pas la notion de surclassement<sup>53</sup> (degré de crédibilité), mais plutôt la notion de préférence large (uniquement l'indice de concordance) (Ben Mena, 1999).

#### 3.8.7.1 Fonctions de préférence

Ce sont des fonctions de réponse du critère, par l'introduction de la différence " $d$ " entre deux évaluations, en calculant la valeur de réponse sur ce critère. Les six fonctions de préférence sont illustrées dans le Tableau 3-6 :

Fonction de préférence	Valeur de réponse	Graphe
Usuel	0 si $d < 0$ ; 1 sinon	
Quasi critère	0 si $d \leq q$ ; 1 sinon	

<sup>52</sup> Preference Ranking Organisation METHOD for Enrichment Evaluations.

<sup>53</sup> La comparaison entre deux actions passe par le calcul d'un degré de crédibilité (notion de surclassement) mais pour la méthode Prométhée, les indices de crédibilité sont remplacés par de simples indices de concordance (préférence large).

Critère linéaire de préférence	$0 \quad \text{si } d \leq 0$ $d/p \quad \text{si } 0 < d \leq p;$ $1 \quad \text{sinon}$	
Critère à niveau	$0 \quad \text{si } d \leq q$ $1/2 \quad \text{si } q < d < p;$ $1 \quad \text{sinon}$	
Critère linéaire	$0 \quad \text{si } d \leq q$ $(d-q)/(p-q) \quad \text{si } q < d < p;$ $1 \quad \text{sinon}$	
Critère gaussien	$0 \quad \text{si } d \leq 0;$ $1 - \text{Exp}(-d^2/(2 \cdot \sigma^2)) \quad \text{sinon}$	

Tableau 3-6 Fonctions de préférence

Les auteurs de cette méthode ont estimé qu'il n'était plus nécessaire d'introduire la notion de discordance dans les calculs puisque les indices de concordance seront beaucoup plus souvent nuls que dans les méthodes ELECTRE. On peut alors réaliser un graphe de surclassement tel qu'on l'obtiendrait avec Electre III, à la différence que les indices de crédibilité sont remplacés par de simples indices de concordance. Ce graphe permet de calculer, pour chaque action :

- sa puissance,  $\phi^+(a)$ , qui est la somme des indices des flèches issues de cette action, divisée par le nombre d'actions moins 1,  $\phi^+(a_1) = [1/(k-1)] \cdot \sum \Pi(a_1, a_i)$  (eq.12)
- sa faiblesse,  $\phi^-(a)$ , qui est la somme des indices des flèches arrivant à cette action, divisée par le nombre d'actions moins 1.  $\phi^-(a_1) = [1/(k-1)] \cdot \sum \Pi(a_i, a_1)$  (eq.13)

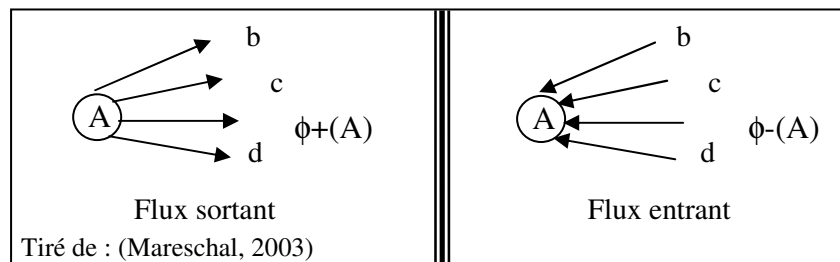


Figure 3-18 Flux sortant et entrant d'une action

Il existe alors différentes versions de Prométhée :

Prométhée I permet une relation partielle de surclassement, acceptant l'incomparabilité, elle est basée sur les trois règles suivantes (Ben Mena, 2001):

1.  $a P b$  si ( $\phi^+(a) > \phi^+(b)$  et si  $\phi^-(a) < \phi^-(b)$ )  
 ou si ( $\phi^+(a) > \phi^+(b)$  et si  $\phi^-(a) = \phi^-(b)$ )  
 ou si ( $\phi^+(a) = \phi^+(b)$  et si  $\phi^-(a) < \phi^-(b)$ )
2.  $a I b$  si ( $\phi^+(a) = \phi^+(b)$  et si  $\phi^-(a) = \phi^-(b)$ )
3.  $a R b$  (sinon).

Avec : P préférence stricte, I: indifférence and R: incomparabilité.

**Prométhée II** établit un classement sans incomparabilité (pré-ordre total) en calculant les qualifications des actions. Cette qualification  $\phi(a)$  est le résultat de la différence entre la puissance et la faiblesse de l'action en question. L'ordre est donc facilement établi :

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a). \text{ (eq.14)}$$

Par conséquent, on a:

1.  $a P b$  si ( $\phi(a) > \phi(b)$ );
2.  $a I b$  si ( $\phi(a) = \phi(b)$ ).

### 3.9 Caractéristiques des méthodes de surclassement

Le tableau suivant représente les différentes caractéristiques des méthodes de surclassement :

MÉTHODES ELECTRE	I	Is	Tri	II	III	IV	PROMETHEE
PROBLÉMATIQUE	$\alpha$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$
PROCÉDURE	Sélection		Affectation	C l a s s e m e n t			
RESULTATS	C h o i x		Tri	R a n g e m e n t			
HYPOTHESE DE SURCLASSEMENT	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
CRITÈRES	Vrai	P s e u d o		Vrai	P s e u d o		Vrai/Pseudo
SEUIL DE CONCORDANCE	×			×			
SEUIL DE DISCORDANCE	×			×			
SEUIL D'INDIFFÉRENCE		×	×		×	×	×
SEUIL DE PREFERENCE		×	×		×	×	×
SEUIL DE VETO		×	×		×	×	
DEGRE DE CREDIBILITE			×		×	×	
POIDS	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
SURCLASSEMENT INITIAL	Net	Flou	Flou	Net	F l o u		Net/Flou
FINAL	Net	Net	Flou	Net	F l o u		Net/Flou
EXPLOITATION DU SURCLASSEMENT	Recherche du noyau		Affect. Pessim/optim.	Classement direct et inverse	Distillation ascendante et descendante.		Classement selon les flux.
RESULTAT INTERMEDIAIRE			2 affect. Complètes	2 pré-ordres complets.			
FINAL	1 noyau		1 affect. Partielle	1 pré-ordre partiel.			PI:pré-ordre partiel PII: pré-ordre complet.

Tableau 3-7 Différentes caractéristiques des méthodes de surclassement

On peut aussi résumer ces caractéristiques dans le Tableau 3-8:

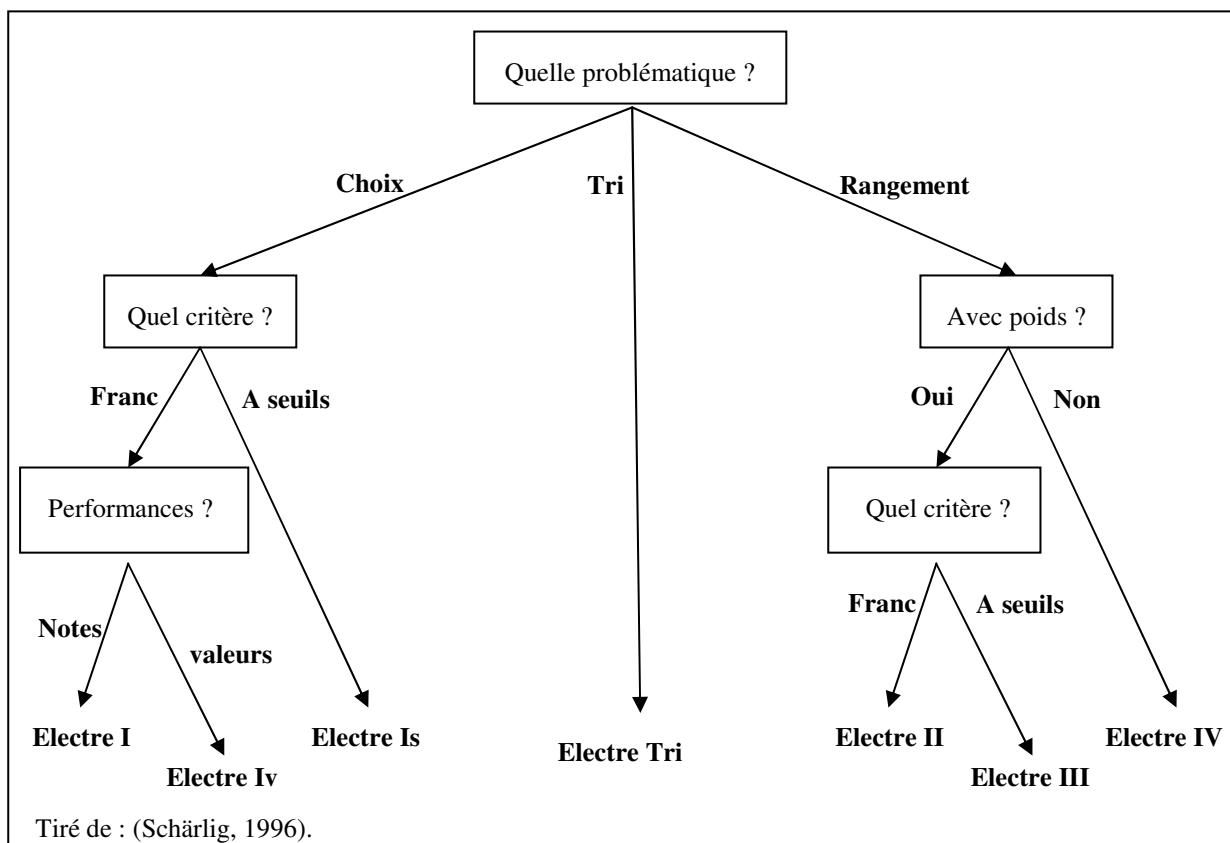
SURCLASSEMENT	CRITERE	PROBLEMATIQUE			
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
Net	Vrai critère	I	-	II et Prométhée	-
Flou	Pseudo critère	Is	Tri	III, IV et Prométhée	-

**Tableau 3-8** Résumé des caractéristiques principales des méthodes ELECTRE<sup>54</sup>.

### 3.10 Quelle méthode ELECTRE pour quelle problématique ?

Il est nécessaire de prendre en compte deux points de vue au moment du choix d'une méthode ELECTRE :

- il faut déterminer la problématique et le type de critère, enfin la version de la méthode comme indiqué au Tableau 3-7,
- le choix de la méthode n'est nécessaire que si la table des évaluations est remplie.



**Figure 3-19** Choix de la méthode ELECTRE suivant la problématique et les critères

<sup>54</sup> Source : (Guinting, 2000)

D'après la Figure 3-19, le choix d'une méthode ELECTRE repose essentiellement sur :

- le choix de la problématique (choix, tri, ou rangement);
- le type de critère utilisé (franc, à seuil), ainsi que le critère soit pondéré ou non.

Une autre procédure de choix d'une méthode de la famille ELECTRE est proposée par un groupe d'acteur (Maystre, et al., 1994). Cette procédure est détaillée dans la Figure 3-20.

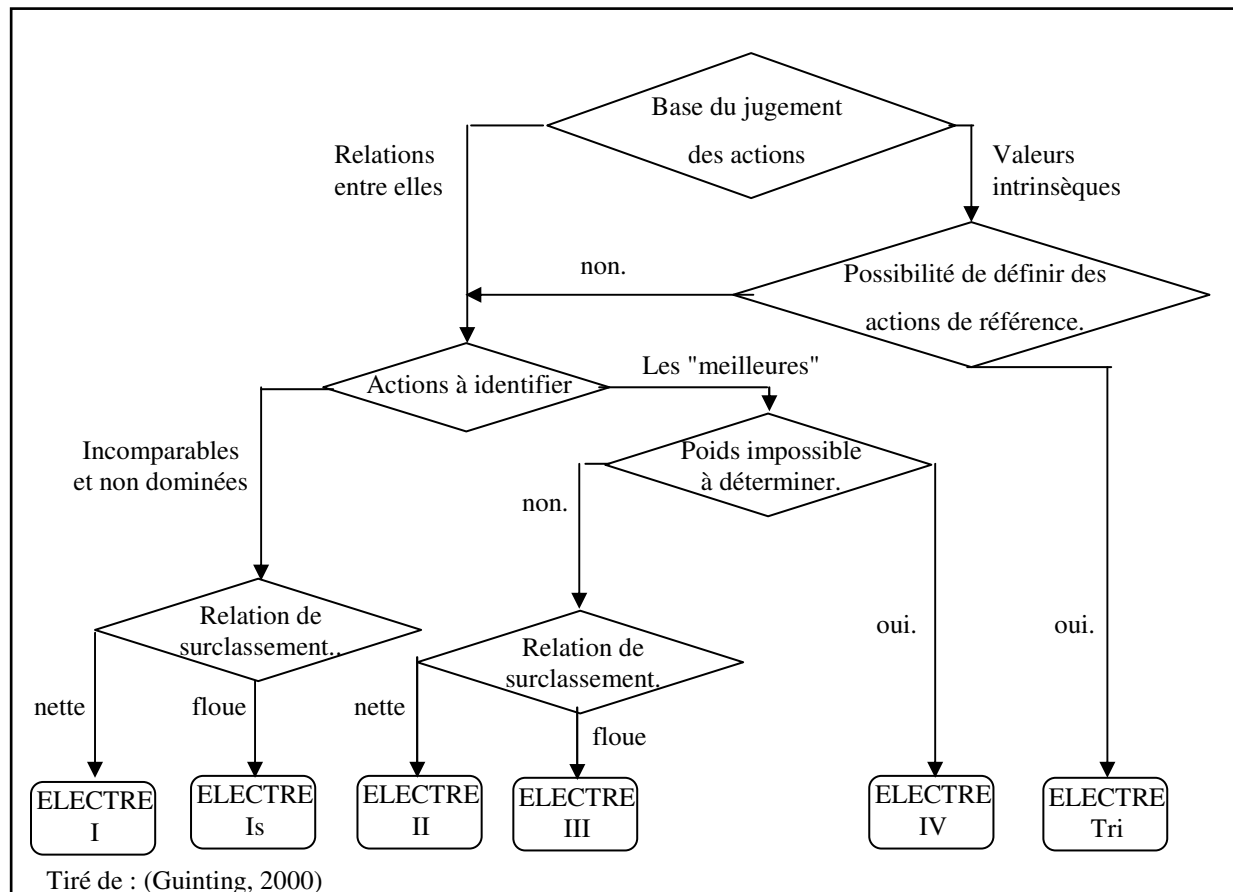


Figure 3-20 Procédures de choix d'une méthode ELECTRE

### 3.11 Processus d'aide à la décision

Le processus de décision contient un certain nombre de détails. En fait, c'est une interaction (dialogue) entre l'homme d'étude (qui propose en général) et le décideur (qui accepte ou refuse, il offre un certain nombre d'informations à l'homme d'étude). La Figure 3-21 montre, en détails, les différentes étapes de ce dialogue.

Dans le cas où le décideur n'est plus un individu, plutôt un groupe de décideur, ce qui complique le processus (des points de vue très divergents du problème), ce dernier se transforme en processus de négociation (Guinting, 2000).

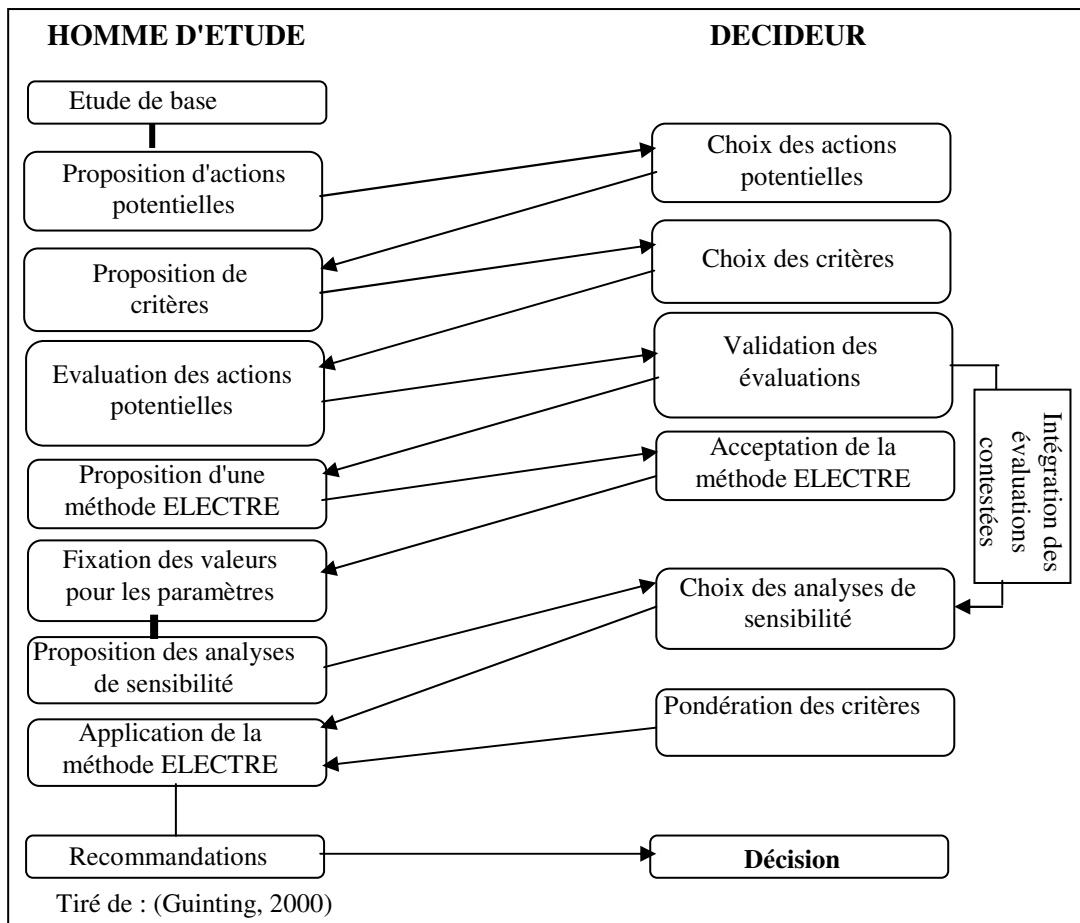


Figure 3-21 Déroulement du processus d'aide à la décision

### 3.12 Conclusion

Les outils d'aide à la décision permettent d'apporter des réponses pertinentes à des problématiques diverses mettant en œuvre plusieurs choix possibles (détection des sites potentiellement dangereux, implantation de sites industriels, choix des sites de dépôt d'ordure, etc.), d'aider au diagnostic et, plus généralement, de faciliter la prise de décision stratégique ou opérationnelle en environnement imprécis et/ou incertain.

Par contre, les méthodes d'aide à la décision ne se disposent pas de mécanismes permettant de prendre en considération la référence spatiale du problème. Ces raisons nous exigent à penser à une approche d'aide à la prise de décision liée à un problème à référence spatiale.

## Chapitre

# 4

## Présentation de la zone d'étude

### Sommaire

4.1	introduction .....	106
4.2	Parc culturel de l'Ahaggar.....	108
4.3	Parc culturel de Tassili.....	118
4.4	Climat et bioclimat .....	123
4.5	Milieu biotique .....	127
4.6	Présentation des sites d'étude .....	130
4.7	Conclusion.....	135

### 4.1 Introduction

Les parcs nationaux constituent le maillon le plus important en matière de conservation in situ du réseau national d'aires protégées. Couvrant une superficie de plus de 50.000.000 d'hectares (Abdelguerfi, et al., 2003), les parcs nationaux qui existent en Algérie sont représentés dans tous les secteurs écologiques des domaines biogéographiques de l'Algérie.

Le formidable héritage en art rupestre, les nombreux sites archéologiques et la richesse biologique sont la preuve que les régions de l'Ahaggar et du Tassili n'Azjer ont été occupées depuis très longtemps. L'importance de ce patrimoine naturel et culturel pour l'humanité a été révélée par la promulgation des textes créant les Parcs culturels<sup>55</sup> du Tassili et de l'Ahaggar (annexe 6 et 7). Elles recèlent, également, des richesses architecturales qui attestent l'existence d'une civilisation citadine à Djanet, Iherir, Silet, Abalessa, etc. Ainsi, les habitants actuels de ces régions paraissent les représentants de différentes populations humaines qui ont habité ces contrées depuis la nuit des temps. Selon Badi, leur mode de vie est un exemple frappant d'une

---

<sup>55</sup> Portent la dénomination "Parcs nationaux" jusqu'en Février 2011.

adaptation ingénieuse aux dures conditions du climat désertique. Leur savoir-faire traditionnel est l'aboutissement des expériences culturelles accumulées à travers les âges au contact de l'ancienne Egypte et du monde méditerranéen (Badi, 2004).

Les parcs culturels du Sud (Tassili et Ahaggar), ont une superficie totale de 53.000.000 ha, soit une proportion de 22,25 % du territoire national. Ces deux parcs situés au Sud du pays offrent un éventail de richesses et de sites archéologiques (peinture et gravures rupestres) constituant des musées à ciel ouvert uniques en leur genre, des paysages féeriques, ainsi qu'une faune et une flore considérées comme exceptionnelles dans le Sahara.

## 4.2 Parc culturel de l'Ahaggar

Le mot Hoggar est une transcription française du terme arabe *جبال هقار* qui vient lui-même du touareg Ahaggar dont le pluriel Ihaggaren désigne la classe noble chez les Touareg du Hoggar.

Le parc de l'Ahaggar a été créé en 1987 sous la dénomination "parc national de l'Ahaggar", avec pour siège la wilaya de Tamanrasset. Il s'étend sur une superficie de 450000 kilomètres carrés, soit 69 % de la surface de la Wilaya de Tamanrasset qui est la plus grande Wilaya d'Algérie, avec environ 556100 kilomètres carrés. Le parc national de l'Ahaggar est également géré par un office dénommé Office du Parc National de l'Ahaggar (O.P.N.A). Depuis février 2011, la dénomination du parc national de l'Ahaggar a été changée par le décret exécutif n° 11-87 du 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011 en Parc Culturel de l'Ahaggar [P.C.A] (voir annexe 7).

La gestion du P.C.A est sous tutelle du Ministère de la Culture (Alger). L'Office du Parc culturel emploie un personnel d'environ 500 personnes et son siège est situé dans la ville de Tamanrasset. L'Office du Parc Culturel est doté, d'une part, d'un excellent musée d'histoires naturelle et culturelle de l'Ahaggar ouvert au public, et, d'autre part, d'un ensemble de 46 postes de contrôle répartis à travers toute l'aire protégée (Abdelguerfi, et al., 2003).

Comparativement aux régions avoisinantes, le massif de l'Ahaggar révèle l'existence de pâturages riches et abondants favorables au bétail, conséquence d'un climat et d'une topographie caractéristiques.

### 4.2.1 Cadre géographique

Le Parc Culturel de l'Ahaggar est une aire protégée d'une très grande superficie (*ca.* 450000 km<sup>2</sup>), située dans le massif central du sud-est Algérien, entre 19° et 26°30' nord et 2°30' et 8° est (Figure 4-1).

L'Ahaggar est au cœur du Sahara. C'est un massif circulaire dominé par une sorte de plateau d'une altitude moyenne de 2.000 m, hérissé de pitons atteignant presque 3.000 m. Ce plateau s'appelle l'Atakor (le crâne). Tamanrasset, en plein cœur de l'Ahaggar, avoisine les 1.400m tandis que le mont Tahat culmine à 3.303 m d'altitude dans l'Atakor, est aussi la plus haute montagne

du pays. Le relief escarpé composé de pitons et de falaises de basalte et de porphyre constitue un lieu apprécié d'escalade.

L'Ahaggar est limité au nord par le Tidikelt, à l'ouest par le Tanezrouft, à l'est par les Tassilis N'Ajjer et le Ténéré, au sud par l'Aïr (République du Niger) et l'Adrar des Iforas (République du Mali). Sur le plan administratif, l'Ahaggar comprend la wilaya de Tamanrasset, avec la ville de Tamanrasset pour chef lieu de wilaya.

On trouve à une distance moyenne de 200 Km autour de l'Ahaggar, les Tassili :

- au nord : le Tassili N'moudir
- à l'est : le Tassili N'Azjer
- au sud-est : le Tassili N'ahaggar et le Tassili Tin Reroh
- au sud-ouest : le Tassili Missao
- au nord-ouest : l'oued Jerad.

Les touaregs possèdent un sens géographique très développé et définissent parfaitement des zones diversifiées, non seulement par les formes du relief, mais aussi parfois par la nature géologique du sol, de sorte que leurs limites politiques sont toujours déterminées par les vallées. Ils divisent leurs pays en vingt-et-une régions naturelles ; les principales sont caractérisées par les massifs montagneux les plus importants : Atakor, Tefedest, Immâdir, l'Ahnet, l'Anahef et les Tassilis (Figure 4-3).

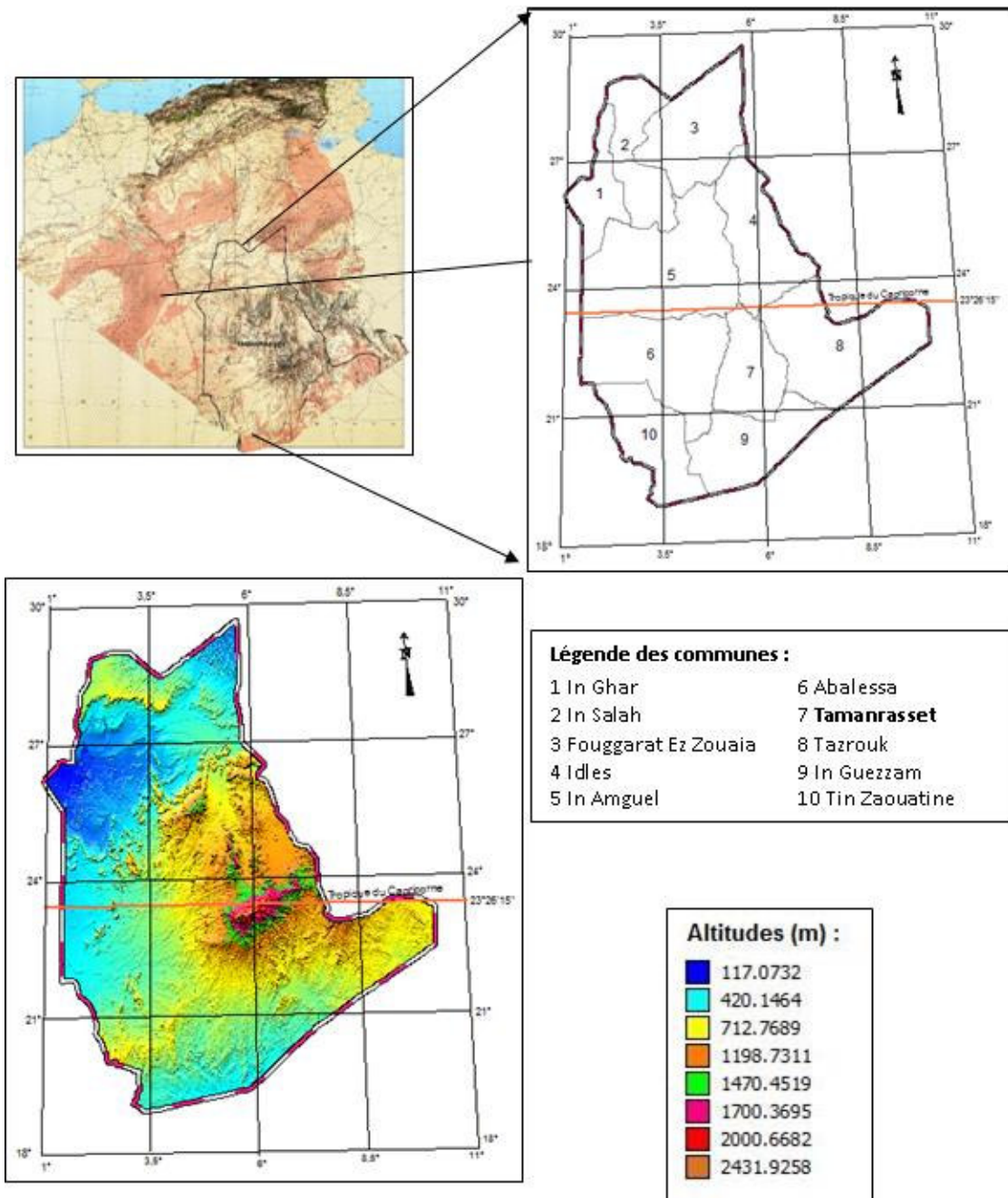


Figure 4-1 Parc culturel de l'Ahaggar (localisation et MNT)

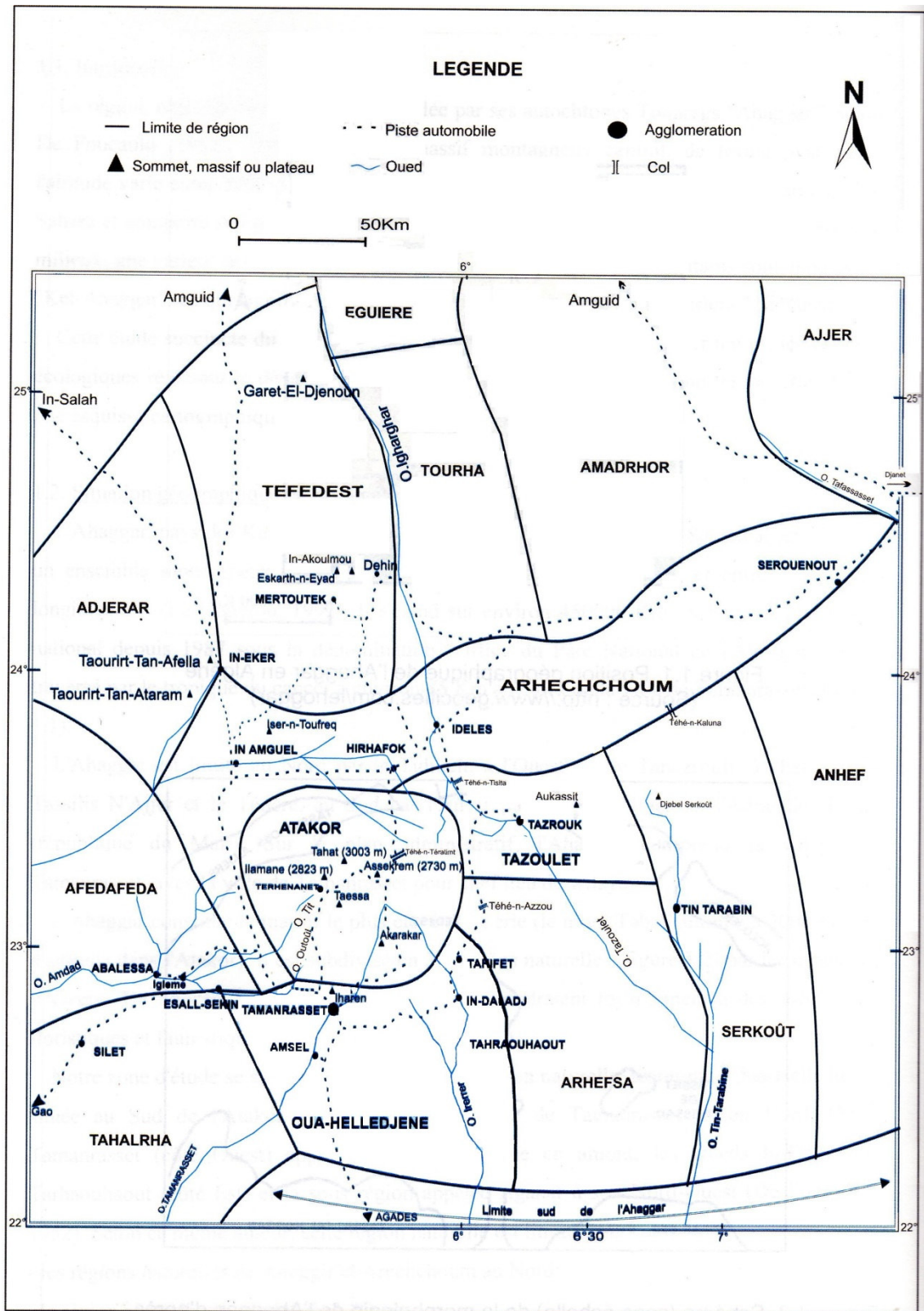


Figure 4-2 Les subdivisions naturelles du Hoggar selon le Père de Foucauld (Halem, 1990)

### 4.2.2 Géologie, physiographie, géomorphologie

L'Ahaggar est une surrection accompagnée de montées de roches volcaniques (Fabre, 1976). Son histoire géologique est mouvementée, faite d'orogénèse, de volcanisme, de sédimentation et d'érosion fluviale et éolienne, depuis l'Antécambrien jusqu'au Quaternaire (Verlet, 1974). Ces diverses manifestations géologiques ont donné naissance aux roches et aux paysages minéraux actuels. Sur le plan physiographique, il est divisé en plusieurs entités :

- Au centre, dans le massif montagneux de l'Atakor, volcanique et cristallin où culminent les sommets de Tahat (3003m), Ilämane (2789m), Assekrem (2778m) et la Taessa ;
- Au Nord de l'Atakor, le massif de la Tafedest (2400m) se caractérise par un relief de direction nord-sud situé dans un vaste espace dénudé et plat ;
- Au Nord, le massif Mouyidir ou Imîdir ;
- A l'Est, le massif de Serkout et l'Ahnef ;
- Des dépressions abritant de nombreux points d'eaux ;
- Des gueltats temporaires ou permanentes dont deux d'entre elles sont classées sites Ramsar.

Par conséquent, la géomorphologie est caractérisée par :

- Des montagnes rocheuses gréseuses, granitiques ou basaltiques très escarpées. En effet, les rochers escarpés résultent de l'ampleur des variations thermiques qui provoquent l'éclatement et le décapage de certaines roches. En hautes montagnes, ils portent souvent quelques végétaux comme le câprier épineux (*Capparis spinosa*) ;
- Des Hamadas, plateaux pierreux plus au moins tabulaires, fissurés où viennent s'accumuler les sables et les alluvions argilo-limoneuses favorisant la présence d'une végétation abondante (l'acheb) et riche selon la fréquence des pluies ;
- Des Regs, vastes étendues plates constituées de galets rocheux plus au moins gros avec une absence d'éléments fins emportés par les vents, sont inhospitaliers à toute forme de vie végétale, et peuvent être autochtones, endogènes ou exogènes ;
- Les sols sableux, qui sont constitués de nebkas (petites dunes) le plus souvent végétalisés par *Aristida Pungens*, de petites buttes de *Ziziphus Lotus* ou de grandes buttes de *Tamaris Articulata* ;
- Les alluvions qui sont des sols d'accumulation dans les lits d'oueds et les nappes d'épandage (Maaders). Dans les parties moyennes des lits d'oueds, ces alluvions sont formées de galets et de graviers, tandis que dans les parties basses, aux lits très élargis et les zone d'épandage, ces alluvions sont sablo-limoneux voire sable-argile. Sur ces sols croit une végétation abondante, en fonction des disponibilité en eau (Dubost, 1992).

Les géologues distinguent en Ahaggar, deux séries précambriennes traversées par des roches granitiques ((Furon, ca 1967); (Fabre, 1976)) :

- Série suggarienne essentiellement gneissique avec des intercalations d'amphibolites, de quartzites et de cipolins. Elle date le précambrien le plus ancien ;
- Série pharusienne représentée par des grès et quartzites, des calcaires cristallins et des rhyolites.

Furon (Furon, ca 1967) a distingué, en fonction de certains âges des roches pharusiennes, des séries intermédiaires postérieures au pharusien et antérieures à la série paléozoïque des Tassilis.

Ces séries précambriennes ont connu un soulèvement récent Tertio-quadernaire à cause du volcanisme qui est à l'origine de la couverture basaltique ou phonolithique de certains massifs (Atakor, Aghalgha). La structure actuelle de l'Ahaggar est donc la conséquence de plusieurs phases tectoniques ayant abouti au plissement du socle puis à diverses fractures (Gribi, et al., 1992).

### 4.2.3 Hydrographie

Le réseau hydrographique, très dense au niveau de l'Ahaggar, prend essentiellement naissance dans les massifs montagneux. Les réserves d'eau sont emmagasinées dans les zones d'épandage et les alluvions qui constituent les lits d'oueds. La quantité d'eau stockée est variable selon la nature géologique du substrat et le volume de la couche sédimentaire. Ainsi, des réservoirs d'eau, plus au moins importantes, se maintiennent dans les gorges d'oueds encaissés et induisent un écoulement temporaire ou permanent jalonné par des gueltats de dimensions très variables. Dans ce biotope, la végétation est dominée par des espèces hygrophiles telles *Nerium oleander*, *Juncus* sp., *Mentha* sp., *Phragmites* sp.,... et la présence d'une faune particulièrement forestière (*Okapia johnstoni*) témoigne de l'existence de longs courts d'eau dans le Sahara Holocène.

En effet, à cette époque, le réseau hydrographique était à son maximum d'activité et une relation forestière pouvait s'imaginer entre le Tassili et les rives du lac Tchad (via le Tafassasset), et du lac Tchad jusqu'à la région des forêts primaires équatoriales.

Le réseau hydrographique issu du château d'eau Hoggarien alimentait, à l'époque de sa vie active, trois bassins dont l'un drainait les eaux pluviales vers le nord et les deux autres vers le sud.

Dans la région nord, le bassin de l'oued Igharghar, prenant sa source sur le versant nord du Hoggar, avait pour affluents les cours d'eau issus des flancs ouest et nord du Tassili N'Azjer (oued Tadjrajeri et oued Ihérir, via l'oued Mya, Mzab, Djedi puis oued Illizi). Il se poursuivait en recevant les oueds Mya, Mzab, Djedi et débouchait dans la Méditerranée par la dépression aujourd'hui occupée par les chotts Melrhir (wilaya d'El Oued) et Djerid en Tunisie.

Dans la région sud, l'un des deux autres bassins draine les eaux du flanc sud du Tassili N'Azjer vers le collecteur du Tafassasset qui achève son cours dans le lac Tchad, dans la zone

d'inondation du Chari, Bénoué et Niger. Ce qui a dû permettre à la faune aquatique paléotropicale de peupler le sud de Sahara.

Le réseau hydrographique, extrêmement ramifié, fossile dans sa grande partie, est constitué par des lits d'oueds plus au moins encaissés que le Berre (1989) a bien étudié.

On distingue les principaux oueds suivants (Dubost, 1992) :

Oued Tamanrasset qui coule vers le sud puis vers l'ouest pour se perdre dans Tanezrouft ;

- Oued Tinamzi draine les eaux du sud et atteint les Tassilis Oua-n-Ahaggar ;
- Oued In-Amguel draine les eaux du sud-ouest de l'Atakor ;
- Oued Igharghar qui prend sa source dans l'Atakor à 2000 m d'altitude, draine les eaux du versant nord et se perd dans le grand Erg occidental ;
- Oued Tin-Tarabine coule vers le sud-est en direction de Ténéré.

La présence permanente d'eau au fond de la vallée majeure permet le développement d'une végétation importante qui peut être continue lorsque la couche alluviale sédimentaire existe. Elle est particulièrement abondante dans les parties où l'élargissement de la vallée permet la constitution de petits bassins marécageux. Dans la vallée majeure, de petites sources permettent l'irrigation de cultures sur terrasse.

Les gueltats (Aguelmane en Tamahaq) sont des mares d'eau temporaires ou permanentes. Elles sont alimentées par les écoulements superficiels ou par des eaux souterraines.

#### 4.2.4 Milieu socioéconomique

Les Touaregs, ou Imouhar, (Amahar au singulier), se sont installés au Sahara. La population touareg qui compte au total entre 1.000.000 et 2.000.000 personnes, se trouve répartie sur cinq pays :

- Au Niger où ils vivent en majeure partie (essentiellement autour d'Agadès, en plein air)
- Au Mali qui compte également une forte densité de Touareg à Adrar, Gao...
- En Algérie où 20.000 Touaregs se répartissent essentiellement autour de Tamanrasset en Ahaggar, et de Djanet au Tassili N'Azjer.
- Au Burkina-Faso et en Libye où on en compte quelques milliers.

Le PCA occupe 68% de la wilaya de Tamanrasset. La zone, très peu habitée, compte une population totale de 138000 (176637 en 2008) habitants avec un taux de croissance de 4,18% (2,6% en 2008). Ce taux de croissance, bien au-dessus de la moyenne nationale de 2,15%, est principalement dû à la l'émigration d'un grand nombre de population du nord, attirée par de nouvelles opportunités d'emploi au sein de l'administration locale élargie. Sur ce chiffre de la population totale, plus de 90% sont concentrés dans les zones urbaines et dans les centres administratifs plus petits, où l'eau et les services de base sont disponibles. De ce fait, la densité moyenne de la population de 0,2 ha/km<sup>2</sup> tombe presque à zéro dans les zones situées hors des centres urbains. Cette vaste étendue est peu habitée par les Touaregs nomades dont le nombre est

estimé selon le recensement de 1998 à 16842 soit 9,8% de l'ensemble de la population. Le nombre de nomades aurait augmenté au cours de la dernière décennie du fait du retour à un style de vie ancestral d'anciens employés du secteur de tourisme ou d'entreprises publiques restructurées ou dissoutes dans le cadre du programme d'ajustement structurel en Algérie.

La population active des deux wilayas est estimée à 44818 habitants mais il n'existe pas de statistiques officielles relatives à l'emploi et, seules des estimations indirectes sont possibles, basées sur les recettes fiscales et les données de la wilaya disponibles auprès de la chambre de commerce. L'administration publique représente de loin la plus importante source d'emploi à l'exception des services de sécurité lesquels fournissent 39% des emplois. Les activités commerciales telles que le commerce, l'artisanat et les services de base associés aux centres urbains occupent environ 26% de la main d'œuvre. Le tourisme, autrefois une source importante de revenu, a été gravement touché par l'instabilité sécuritaire des années 90 et a commencé, tout récemment, à enregistrer une reprise, fournissant quelques centaines d'emplois. L'industrie et l'exploitation minière sont pratiquement inexistantes au sein des zones protégées. L'agriculture est limitée à environ 6000 ha, avec moins d'un tiers de terre cultivable disponible, représentant environ 15% des terres utilisées. Environ 6% de la main d'œuvre est engagé dans l'économie informelle, notamment dans le commerce avec le Mali et le Niger, les travaux de construction et l'exploitation des ressources naturelles (la production du bois à feu et du charbon, l'exportation de l'armoïse de Judée...).

Les 14% restant de la main d'œuvre active pratiquent une forme très répondeuse de pastoralisme, constituant la principale activité économique dans les zones d'intérêt pour la conservation. Les estimations officielles de bétail font état de 51800 chèvres, 57700 moutons et 37600 chameaux. Toutefois, ces statistiques sont loin d'être précises étant donné les difficultés à obtenir des informations au sujet des communautés nomades et la réticence de longue date des communautés pastorales à révéler de telles informations. Par exemple, le Kel Ahaggar, la confédération Touareg basée dans la wilaya de Tamanrasset, possède apparemment 70000 à 80000 autres chameaux, qui sont presque de manière permanente maintenus au sein des pâturages les plus riches des plaines de Tamesna, au Niger et d'Adghagh des Ifoughas, au Mali. De même, les Kel Azjer de la wilaya d'Illizi ont des liens économiques forts dans toute la région du Sahara central et, des mouvements réguliers de population ont été notés à partir du Tassili vers l'Air-Ténééré, le Niger et le Fezzan, en Lybie (Figure 4-3). Le système pastoral des Touaregs est fortement spécialisé avec des hommes essentiellement impliqués dans l'élevage des chameaux, alors que les femmes sont généralement responsables de l'élevage des chèvres, moutons et ânes, des travaux de tannerie et de maroquinerie, de la production du beurre et du fromage. Les modèles très souples de mouvement pastoral permettent aux Touaregs, de répondre aux fluctuations des précipitations et de dépister ainsi le développement de plantes. De ce fait, les ménages ou les "tentes" peuvent se regrouper autour de ressources principales telles que les étangs ou de riches pâturages localisés mais se dissoudre dans de plus petites unités ou même de simples "tentes" pour exploiter de manière plus intensive les ressources distribuées. A des moments de stress

environnemental, quelques ménages continuent de dépendre en grande partie du lait de chameaux, une ancienne pratique qui procure une indépendance par rapport à l'eau sur des périodes relativement longues.

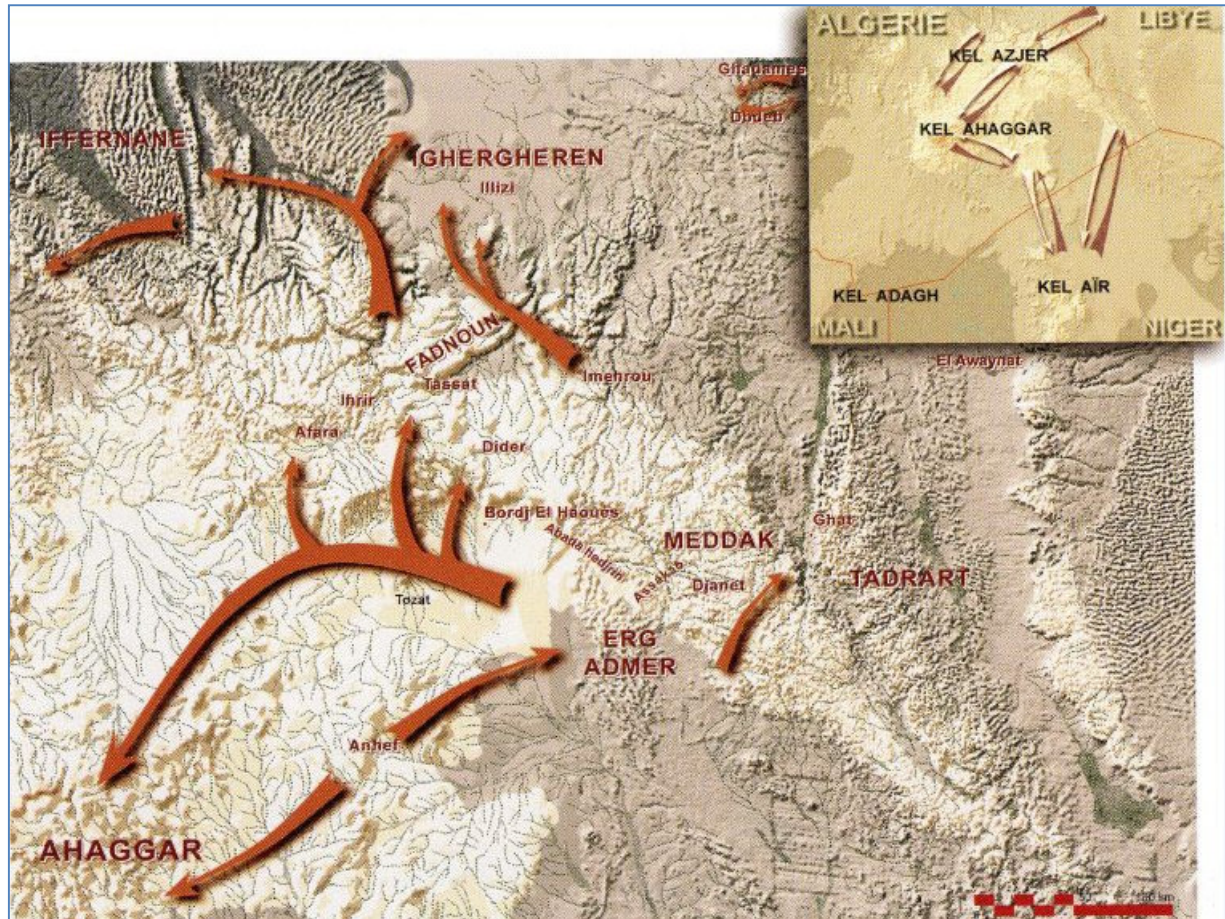


Figure 4-3 Les déplacements des différentes tribus Azjer.

Dans de telles conditions extrêmes, la diversification est également importante et des jardins domestiques irrigués sont créés. Le phénomène de transhumance annuel vers des pâturages plus productifs, très souvent vers le sud et le sud-est de la frontière Algérienne, constitue un événement important qui figure dans le calendrier d'un grand nombre de pasteurs. Ces expéditions complètent l'économie pastorale par le commerce avec les marchés avoisinants de Lybie, du Niger et du Mali en permettant le remplacement de chameaux plus faibles par des animaux, qui ont passé une ou plusieurs saisons dans ces pâturages plus riches.

#### 4.2.5 Population de l'Ahaggar

La population n'est pas uniformément répartie dans cette région hyperaride du Sahara. Les touaregs ne peuvent vivre qu'autour des zones très restreintes de relief très élevé où les vallées, très bien dessinées sur plusieurs dizaines de kilomètres, sont parcourues par des crues épisodiques : Tassili du nord-ouest, Tafedest méridionale, et particulièrement l'Atakor. La vie des campements n'est d'ailleurs pas assurée par les seuls ressources locales, mais grâce à une habile diversification des ressources et des subsistances, fondée sur l'élevage, souvent dissocié, des chèvres et des chameaux, sur des revenus tirés des échanges du sel contre le mil à la bordure sahélienne (et jadis de blé contre des dattes au Tidikelt), sur les loyers provenant des jardins ou, éventuellement des salaires et des soldes militaires qui ont remplacé les anciennes ressources provenant du pillage ou de la protection des caravanes.

La vie des Touaregs était alors extrêmement frugale (rapport Henri Lhote), fondée sur l'élevage des chèvres, la chasse, à l'époque où le gibier était encore une ressource appréciable, et également la cueillette de diverses graines sauvages. A cette époque le peuplement devait d'ailleurs presque insignifiant, réduit à quelques bandes rivales en lutte continue entre elles et les tribus voisines, et considérée comme hors la loi par la population du Sahara septentrionale. De cette époque les Touaregs ont hérité une organisation sociale de type féodal et esclavagiste d'où découle une hiérarchie entre les tribus.

Parmi les 6069 nomades recensés en 1960-1961, on compté 413 nobles (Ihaggaren), 4489 vassaux (Imrad) et 1167 serviteurs (Ikkan).

Cette population nomade, qui exploitait librement les maigres ressources du pays au début de ce siècle, ne forme plus aujourd'hui qu'un des groupes sociaux du Hoggar. Depuis 1900 environ, la population sédentaire a augmenté de façon constante. Cette implantation et ce rapide accroissement prouvent que le Hoggar peut fournir d'autres ressources que celle d'un élevage extrêmement intensif. En effet, jusqu'à la fin du XIX siècle, les Touaregs ne semblent guère s'être intéressés à l'agriculture, et le Hoggar devait ressembler à l'Adrar des Iforas actuelle où la culture est inexistante. D'après la tradition il existait deux petites palmeraies à Silet et à Tibeghim où les palmiers poussaient librement en puisant l'eau dans une nappe phréatique assez stable. Mais les premières cultures ont été timidement introduites vers 1940-1950 sous l'impulsion de l'amenokal El Hadj Ahmed (ou Meslah agg Amaias<sup>56</sup>). Cependant, cette nouvelle forme de mise en valeur n'a réellement progressé qu'après le rattachement administratif à l'Algérie qui a favorisé l'immigration de jardiniers venus d'Ain Salah. Les Touaregs, voyant les revenus qu'ils pouvaient tirer de la culture à un moment où disparaissaient les ressources des rezzous, ont alors favorisé ce mouvement, permettant à une partie de leurs "serviteurs" de se fixer comme métayers dans les divers centres de cultures. Ces anciens esclaves se sont progressivement agglomérés

---

<sup>56</sup> [http://www.internationale-touareg.org/home/index.php?option=com\\_content&view=article&id=232:amenokal-hoggar-algerie&catid=70:politique-et-gouvernance&Itemid=105](http://www.internationale-touareg.org/home/index.php?option=com_content&view=article&id=232:amenokal-hoggar-algerie&catid=70:politique-et-gouvernance&Itemid=105) (accédé le 12/12/2013).

avec les jardiniers immigrants qui étaient aussi les métayers puisque toute la terre appartient aux Touaregs.

Ainsi s'est constitué le deuxième groupe humain du Hoggar : celui des cultivateurs qui comprend 3216 personnes dans les centres de culture en dehors de Tamanrasset et probablement plus de 1500 dans cette agglomération dont les fonctions sont diversifiées.

### 4.3 Parc culturel de Tassili

Le parc culturel du Tassili n'Azjer (parc national du Tassili jusqu'en février 2011) se situe au sud de l'Algérie dans le massif du Tassili n'Azjer. C'est l'un des plus importants parcs culturels du monde. Il s'étend sur une superficie de 138000 kilomètres carrés, et il est ainsi le premier parc d'Algérie, il est créé par le décret présidentiel en 1972, avec pour siège Alger, avant d'être réorganisé en 1987 avec pour siège Djanet (Wilaya d'Illizi). Il est géré par un office dénommé Office du Parc Culturel du Tassili (OPCT)<sup>57</sup>.

Il est classé depuis 1982 au Patrimoine mondial par l'UNESCO et réserve de l'homme et de biosphère depuis 1986. Il est, par le nombre des gravures rupestres dites de l'Oued Djerat qu'il abrite, le premier site à l'échelle mondiale.

Des zones très arides du Tassili n'Azjer furent en d'autres temps de verdoyantes contrées très peuplées par des civilisations pastorales.

#### 4.3.1 Cadre géographique

Quelque 1500 kilomètres au sud des côtes méditerranéennes, le cœur du Sahara est un très vieux massif cristallin, l'Ahaggar que cerne une couronne de grès, les Tassili. A l'est, le Tassili porte le nom d'Azjer (ou d'Ajjer) ([Association les Amis du Tassili, 2001](#)).

Le territoire des Azjer peut être assimilé à un vaste rectangle orienté nord-ouest sud-est, long de quelque 700 kilomètres, dont la largeur varie de moins de 100 à plus de 200 kilomètres ; il représente 12% du territoire national. Situé entre l'Ahaggar à l'ouest, le plateau de Tinghert au nord, le plateau de Djado au sud, l'erg de Marzouk et la hamada El Hamra à l'est, sa partie algérienne cadre actuellement avec les limites de la wilaya d'Illizi, sauf au nord-ouest où le secteur d'Amguid est rattaché à la wilaya de Tamanrasset (Figure 4-4).

---

<sup>57</sup> Office du Parc National du Tassili jusqu'en février 2011.

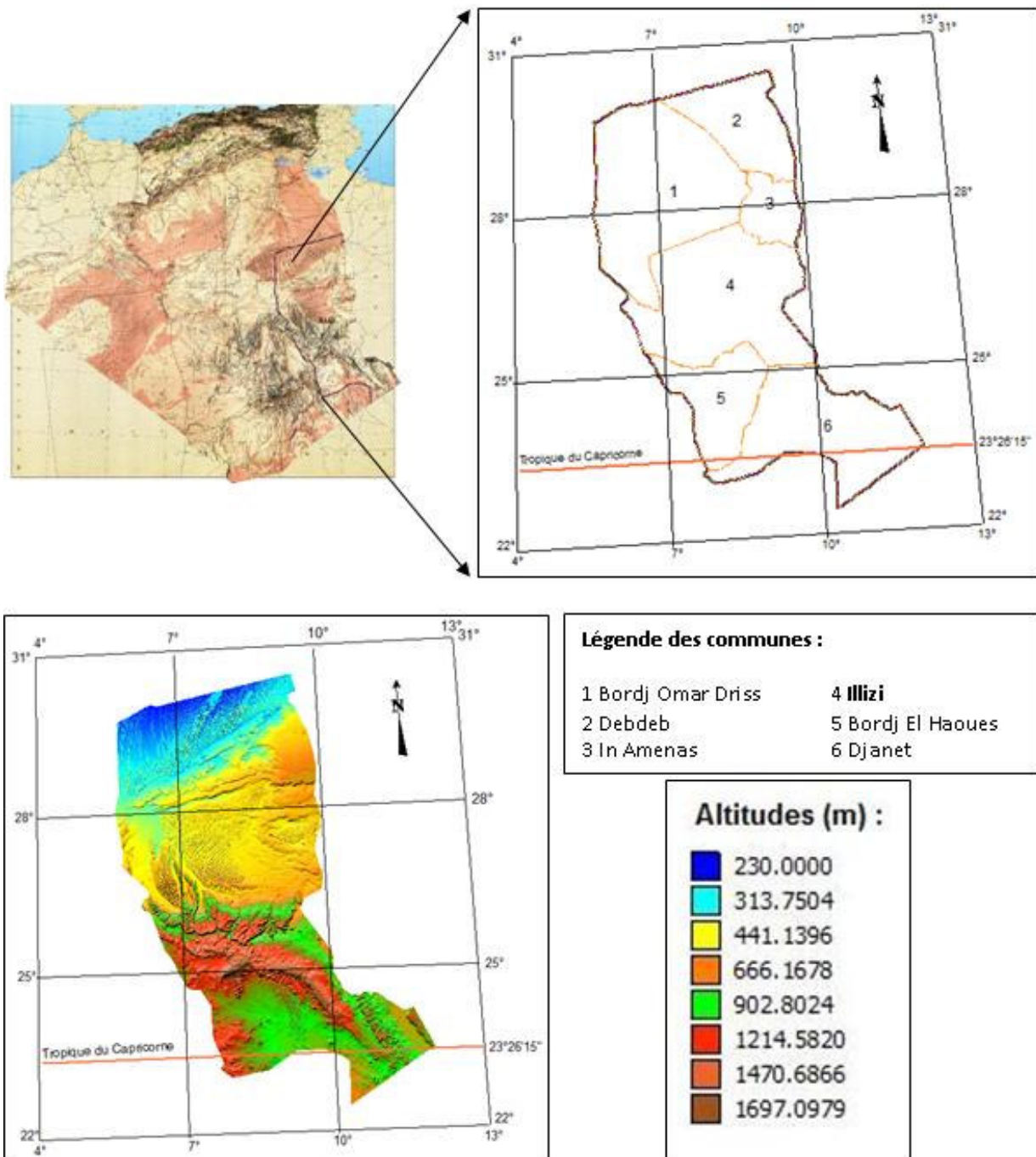


Figure 4-4 Parc culturel de Tassili (localisation et MNT)

C'est une vaste région rocheuse, désertique, où se succèdent du nord au sud, en biseau, le Fadnoun et ses prolongements est et ouest, Tanguet et Tamelrik, le Tassili et la Tadrart; on regroupe fréquemment sous le seul nom de tassili ou tassili Azjer, cet ensemble géographique. Coté occidental, au pied du plateau qui occupe une grande partie de sa surface, Djanet est une

halte idéale avant de pénétrer les entailles de l'Assakao qui permettent aux caravanes de rejoindre, du côté oriental, l'agglomération de Ghat.

A l'est du massif central saharien, le Parc Culturel du Tassili correspond à l'ensemble des plateaux ou " Tassili " et leurs ergs périphériques.

Les frontières avec la Libye et le Niger le limitent à l'Est et au Sud, le parc est entièrement dans la zone climatique saharienne mais la présence des plateaux dont l'altitude varie de 1400m à près de 2000 m, lui fournit des conditions privilégiées de nos jours comme dans le passé (Figure 4-5).



Figure 4-5 Le Tassili Azjer

### 4.3.2 Historique

Classé patrimoine Mondial de l'UNESCO depuis 1982, le parc fut également classé en 1986 comme réserve de biosphère (M.A.B). C'est une région présentant un grand intérêt géologique, abritant l'un des plus importants ensemble d'art rupestre préhistorique du monde, plus de 15.000 dessins et gravures permettent d'y suivre, jusqu'à 6.000 ans avant notre ère, les changements du climat, les migrations de la faune et l'évolution de la vie humaine aux confins du Sahara.

Les formations géologiques avec les niches que l'érosion a creusées dans les grés, sont d'une beauté exceptionnelle. D'une superficie de 80.000 Km<sup>2</sup>, le parc culturel du Tassili à une altitude moyenne de 15.000 m. Il est bien individualisé sur sa limite ouest par une longue falaise s'allongeant sur près de 700 Km<sup>2</sup>.

Cette falaise, haute de 500 m, fait du Tassili une sorte de forteresse naturelle pénétrable au niveau de quelques rares échancrures (ou Akba).

L'intérieur de la forteresse est parcouru par un incroyable réseau de canyons avec des guettas, des sources d'eau et des ceintures végétales.

Des populations touarègues sédentarisent à Iherir, Aharhar et Tamadjet.

### 4.3.3 Géologie, physiographie, géomorphologie

#### 4.3.4 Hydrologie

Le tassili Azjer, tout comme l'Ahaggar et l'ensemble du Sahara, porte les traces d'un imposant réseau fluvial. Les eaux ont parfois creusé la roche à de telles profondeurs que les rayons du soleil sont arrêtés par les parois ; au fond de ces canons, la température est plus fraîche, le moindre bruit est renvoyé par un fantastique écho.

Ce réseau fluvial n'est plus aujourd'hui que vallées mortes qui bénéficient parfois dans une partie de leur cours, d'un brusque apport d'eaux provenant d'un orage et dont les têtes peuvent conserver un temps plus au moins long, certaines de manière constante, de minuscules mares. Au centre du massif, l'oued Ihrir offre, lui, un courant continu pendant presque toute l'année grâce à la présence de sources pérennes ([Association les Amis du Tassili, 2001](#)).

La réduction des débits a commencé voici bien longtemps : depuis un million d'années, on voit le climat du Sahara se détériorer petit à petit, avec des phases de rémissions certes mais qui, au fil du temps, deviennent de moins en moins longues et dont les pluies sont de moins en moins abondantes. Les écoulements actuels sont si rares qu'il en est né une "chronique des oueds" qui fut, jusqu'en 1968, gérée par l'Institut de Recherche Saharienne, institut de l'Université d'Alger.

Au cours de leur cheminement, les oueds peuvent porter diverses appellations. Avec une centaine de kilomètres de long, l'oued Edjeriou prend ainsi, passé Ifri, le nom d'oued In Debiren, puis oued Tigharghart avant de se perdre au pied de l'erg d'Admer. L'oued Amaïs devient oued Arrikine puis oued Takisset au sortir des gorges. Il s'agit là d'un même lit servant à des écoulements provenant de lieux différents selon la localisation des orages. Ainsi quand il pleut

sur le Meddak (Ahaggar), la partie amont est alimentée et l'oued porte le nom d'Amâis ; il peut, selon l'importance des eaux, s'écouler plus au moins loin. Des pluies sur le Tassili externe alimenteront le Takisset. Quant à l'Arrikine, il recueillera celles du Sillon intra-tassilien.

Le Tafassasset, l'un des quatre plus importants lits d'oueds qui marquent l'Ahaggar d'où il parte en éventail vers les plaines, draine la partie sud-ouest du tassili Azjer. Il trouve ses sources principales dans l'Ounane, à l'ouest d'Adrar ; il est aussi alimenté par le versant oriental de l'Ahaggar.

Le Tassili, la Tadrart Akakus, sont parcourus par une véritable chevelu d'incisions ; celles qui cisailent le Tassili drainent l'essentiel des eaux vers le nord, là où se trouve aujourd'hui l'imposant erg Issaouane, celles qui burinent l'Akakus, les drainent vers l'est en direction du Messak et de la large vallée d'El Ajal. Quelques tracés franchissent la falaise, le plus célèbre est l'oued Issendilène qui, avec l'oued Edjeriou, est l'écoulement le plus important descendant le piedmont occidental du Tassili ([Association les Amis du Tassili, 2001](#)). Ils viennent s'épandre dans les sables de l'erg d'Admer dont ils alimentent la nappe phréatique.

#### 4.3.5 Milieu socioéconomique

Le Tassili est habité par une population berbère, les Kel Azjer, qui comptait un peu plus que 33000 âmes en 1998 (environ 0.11% de la population nationale) ; elle est composée de nomades et de sédentaires qui ont su, au fil des siècles, établir une véritable symbiose avec un environnement naturel des plus difficiles.

La transcription du mot tamahaq Azjer ne cesse d'évoluer. Les premiers européens qui, au 19<sup>ème</sup> siècle, furent en contact avec les Touareg, écrivaient "Azdger", puis "Azdguer" ou "Azguer". On ne sait pourquoi, ni quand, la formule "Ajjer" a prévalu dans la littérature. La tendance actuelle vise à une transcription qui fait valoir le "z". Il serait intéressant de savoir si ces variations sont en relation avec une évolution de la prononciation par la population elle-même, ce qui pourrait expliquer les divers sens qui sont donnés à ce mot.

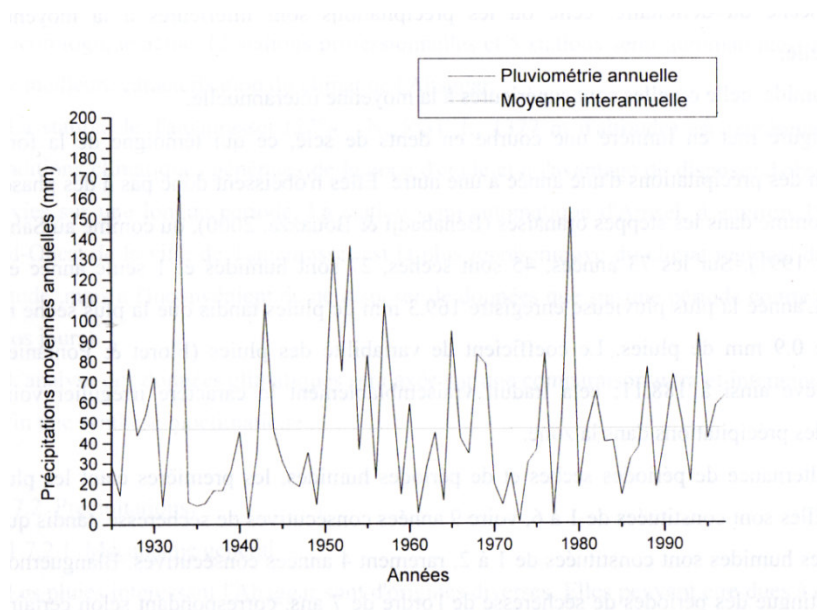
D'après l'association des Amis du Tassili Azjer, le terme Azjer proviendrait d'une formule primitive "azgert", d'où le nom de Kel Azger (Izgaren au pluriel) donné à la population. Ce terme désigne en tamahak, le "bœuf". On dit aussi qu'il proviendrait de "azgëër" et signifierait passage, il évoquerait les ravineaux qui entaillent le plateau, y créant de véritables couloirs de circulation. C'est peut-être cette notion qui se retrouve chez R. Capot Rey, pour qu'il viendrait de "ajar", nom donné aux ravineaux creusés par les eaux de pluie ou chez H. Lhore ou H. Brossard, pour qui il signifierait fleuve ou rivière, et viendrait de "aghezer". Néanmoins, l'allemand F. Hortemann lui attribue un sens tout autre: il serait issu de "Hhadjard" qui aurait été le nom d'un tribu construisant des maisons en pierres.

## 4.4 Climat et bioclimat

### 4.4.1 Précipitations

Le hyper-aride à semi-aride, est caractérisé par d'extrêmes variations et instabilités météorologiques. Les précipitations annuelles variant entre 20 mm et 100 mm, avec d'importance fluctuations à travers les années et les saisons (Figure 4-6). En effet, les précipitations peuvent être absentes durant plusieurs années dans certains points géographiques et parfois très soudaines provoquant ainsi des inondations. A une altitude de plus de 2400 m, la pluie est relativement fréquente en toute saison et la neige a été enregistrée exceptionnellement au niveau des sommets les plus élevés. Si nous considérons les précipitations moyennes annuelles, il s'embles qu'elles n'ont aucune portée ; « elles sont si rares et si irrégulières que les moyennes n'ont aucune signification » (Barry, et al., 1973). Pour Daget et al. (1992), ce climat n'est pas tellement désertique par la rareté des précipitations que par leur faiblesse.

La figure ci-dessous met en lumière une courbe en dents de scie, ce qui témoigne de la forte fluctuation des précipitations d'une année à une autre. Elles n'obéissent donc pas à des phases définies. Sur les 73 années, 45 sont sèches, 27 sont humides et une seule année est normale. L'année la plus pluvieuse enregistre 169,3 mm de pluies tandis que la plus sèche ne reçoit que 0,9 mm de pluies.



**Figure 4-6** Variation interannuelle de la pluviométrie moyenne annuelle à Tamanrasset de 1925 à 1997

Source: ONM

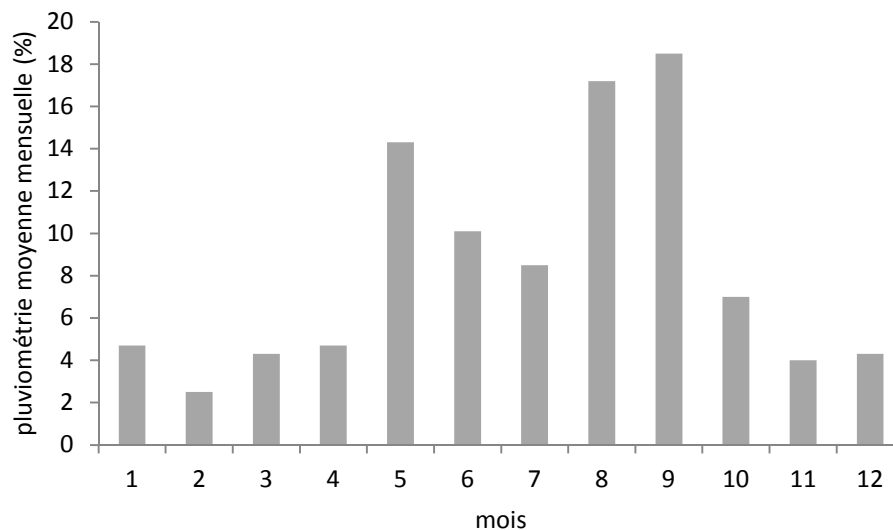
Il y a alternance de périodes sèches et de périodes humides, les premières étant les plus longues. Elles sont constituées de 1 à 6, voire 9 années consécutives de sécheresse, tandis que les périodes humides sont constituées de 1 à 2, rarement 4 années consécutives. D'après Togola (Togola,

1982) cette alternance de périodes sèches et de périodes humides est essentielle à la reconstitution des inféro-flux et à la rénovation de la végétation.

Station	Tamanrasset	Assekrem	In Guezzam	In Salah	Djanet
M.A.P	46,9	119,8	16,9	14,7	23,4

**Tableau 4-1** Moyenne annuelle des pluies (mm/an)

La Figure 4-7 de la répartition mensuelle des précipitations à la station de Tamanrasset met en exergue le caractère moussonal du régime pluviométrique de la région. Les pluies estivales, qui arrosent la région entre mai et septembre, représentent environ 70% du total annuel des précipitations. Les mois les plus chauds sont les mieux arrosés, d'où un adoucissement du climat (Dubief 1963 in (Traore, 2002)) et des possibilités de régénération de la végétation en raison de la coïncidence chaleur-humidité.



**Figure 4-7** Répartition des précipitations moyennes mensuelles à Tamanrasset (1930 à 1999).Source: ONM

#### 4.4.2 Températures

Le régime thermique de cette région est assez régulier. Les températures sont assez élevées en basses altitudes et les amplitudes thermiques importantes, Maire 1940 *in* (Traore, 2002).

La température annuelle, enregistrée à une altitude de 1100 m, est en moyen de l'ordre de 20°C. Néanmoins, la température absolue peut varier entre -7°C et 50°C selon l'altitude et la saison. L'humidité relative mensuelle moyenne dans la ville de Tamanrasset est de 17% à 13:00 en mois de juillet et de 21% au même moment en mois de décembre. Les vents de direction Est et Sud-Est prédominent en été (Juin à Septembre). Ils sont chauds et secs et augmentent la siccité de l'air.

Afin de caractériser le climat et le bioclimat du massif de l'Ahaggar et des Tassilis qui constituent son prolongement, nous donnons un aperçu de l'ensemble des paramètres thermiques ainsi que leur synthèse.

Les températures moyennes annuelles avoisine 24,5°C pour les Tassilis (moyenne d'Illizi au nord-ouest du plateau tassilien et Djanet au sud-est). Plus à l'ouest, Tamanrasset, station de l'Ahaggar, la température moyenne est de 30°C.

En particulier, à Tamanrasset, l'analyse des températures moyennes maximales et minimales de la période 1951-1997 montre leur faible variation interannuelle et met en exergue leur relative régularité (Figure 4-8). Les maximas varient de 27,28°C à 29,47°C, tandis que les minimas varient de 13,84°C à 15,76°C. Les maximas absolus les plus élevés sont de l'ordre de 40°C et les minimas absolus les plus bas s'élèvent à -4,5°C. Les écarts thermiques varient de 12,8°C à 14,5°C. C'est un climat continental atténué par l'orographie.

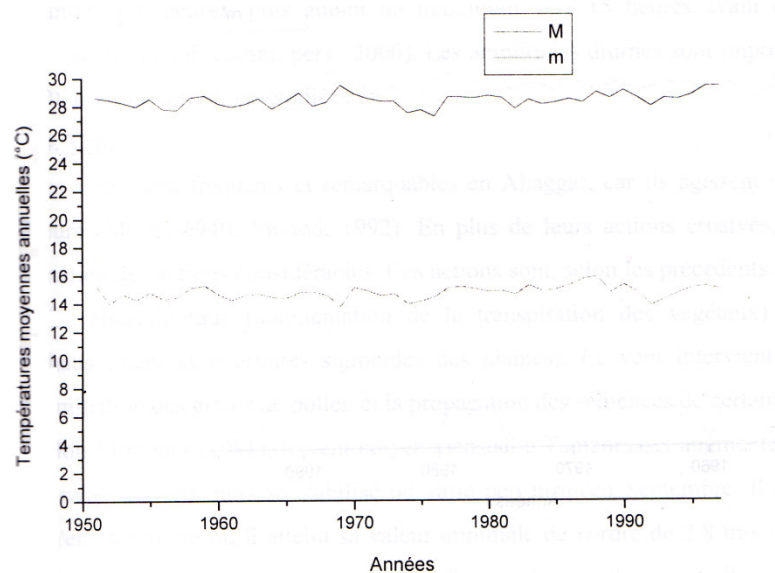
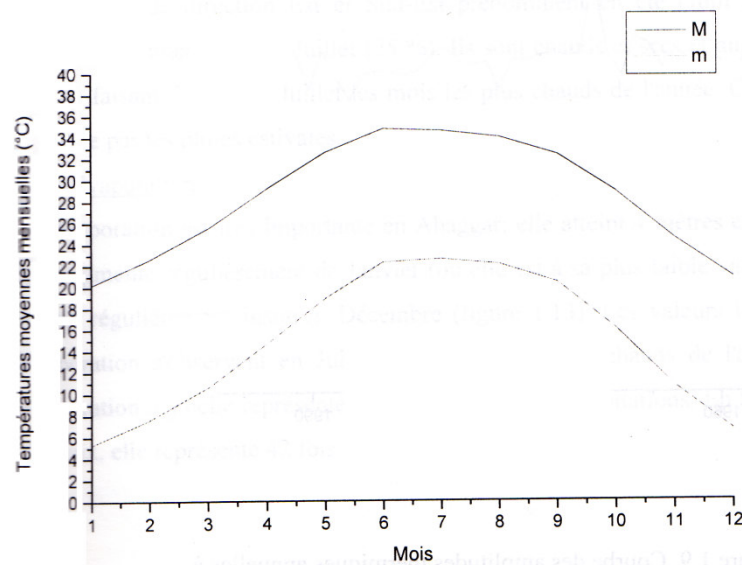


Figure 4-8 Répartition des températures moyennes annuelles (M et m) à Tamanrasset (1951-1997)

Les températures peuvent varier d'une vingtaine de degrés entre l'hiver où les moyennes sont à l'ordre de 20°C à 25°C selon les secteurs et l'été où, entre mai et septembre, elles atteignent de 38°C à plus de 40°C. Elles sont marquées par d'importantes différences entre le jour et la nuit avec un abaissement au coucher du soleil qui peut parvenir jusqu'à 10°C en vingt minutes.

Janvier étant le mois le plus froid, 5,5°C à 18°C pour Djanet et 5,17°C à Tamanrasset. Juin et juillet étant les mois les plus chauds avec des maxima pouvant atteindre 35,5°C à Djanet et 30,5°C à Tamanrasset. Cette atténuation semble être une compensation de l'altitude élevée au sein du massif de l'Ahaggar (Figure 4-9).



**Figure 4-9** Répartition des températures moyennes mensuelles (M et m) à Tamanrasset (1951-1999)

L'approche bioclimatique consiste à établir une synthèse de l'ensemble des variables physiques du climat en montrant leur prépondérance sur la flore et la végétation sur place.

Ces paysages dont la signification globale est perceptible et évaluable ne sont que l'expression des facteurs écologiques pour une région donnée. Suite aux travaux de Barry et al. (Barry, et al., 1972; Barry, et al., 1973); 1985 ; Daget et al. 1992), nous proposons la synthèse des données climatiques que nous pouvons reconvertir en variables bioclimatiques.

Nous pouvons retenir que la région Tassili N'Azjer accuse une pluviosité annuelle égale à 20,9mm pour un nombre de jours de pluie voisin de 6. Légèrement supérieures, les précipitations atteignent 47,6mm pour un total de 15 jours/an pour l'Ahaggar. L'amplitude thermique de 35,8°C montre une influence continentale. Le quotient pluviométrique d'emberger, très faible (1,3), la moyenne des minima du mois le plus froid (4,6°C) permettra de positionner la région du Tassili N'Azjer et le massif de l'Ahaggar dans le bioclimat saharien à hiver tempéré.

D'après Association les Amis du Tassili, l'hiver connaît des gelées, les minima étant négatifs sauf à Djanet qui bénéficie d'une température ne s'abaissant jamais au-dessous de 0°C. Les chutes de neige sont rares mais non exceptionnelles. *Quelle ne fut pas la stupeur de touristes bivouaquant à Tamrit on Noël, d'être réveillés par les flocons qui tombaient sur leur visage. En décembre 1988, le Tassili dans son ensemble était blanc* (Association les Amis du Tassili, 2001).

	Tamanrasset	Assekrem	In Guezzam	In Salah	Djanet
Moy. Min	14,8	8,9	20,7	18,2	15,0
Moy. Max	28,4	18,1	37,2	33,4	30,0
Min absolu	-4,5	- 1,35	15	-3,3	-
Max absolu	40	28,3	46,6	51,2	-

**Tableau 4-2** Valeur des températures de quelques stations (en °c)

L'une des originalités du tassili Azjer est due aux multiples petites unités qui le constituent et engendrent une relative richesse en formes biologiques. Une entre réside en une certaine abondance des points d'eau, liée à une intense activité plutonique qui ont broyant les roches, les a transformées en de véritables éponges.

Plus encore que le reste du Sahara, par sa situation géographique, le tassili Azjer ne connaît que rares pluies. La somme annuelle des précipitations, qui est inférieur de 250 mm dans les zones les plus arrosées du Sahara, est, ici, inférieure à 100 mm. Beaucoup se vaporisent au cours de leur chute en raison d'une saturation insuffisante des basses couches de l'atmosphère. Ces pluies sont également marquées par l'irrégularité ; parfois inférieure à 10 mm durant des années, elles peuvent avoir des pics à 160 mm (Association les Amis du Tassili, 2001).

Une autre caractéristique du climat saharien est le vent omniprésent dès avril dans les espaces plats, il est violent en été. Il se lève avec le soleil et se couche avec lui. Il augmente fortement les besoins des organismes en eau et transporte nombre de poussières. Les vastes espaces dénudés comme le Ténéré, où rien ne l'arrête, sont constamment balayés. Mais quand il rencontre un obstacle, sa compétence diminue et il abandonne une partie de sa charge, laissant entre l'obstacle et le dépôt un petit couloir libre. C'est ainsi que s'est formé l'erg de Tihoudaïne autour d'un piton rocheux ou les ensablements du pied des falaises du Sillon intra-tassilien. Le maintien des particules au sol est favorisé par l'humidité et les zone d'épandage peuvent devenir de puissants dépôts sableux comme l'erg d'Admer. L'origine des poussières qui sont souvent des sables fins, est multiple, mais toutes proviennent de la désagrégation du sol (Badi, 2004).

#### 4.5 Milieu biotique

Partout, le sol est à vif, la végétation est rare, souvent absente sur de vastes superficies. Elle n'occupe que des lieux privilégiés sans que, jamais, les pieds des plantes se touchent ; elle

devient plus fréquente au fond des oueds où elle bénéficie de plus d'humidité et où croissent quelques arbres qui en puisent plus profondément. Dans les régions les moins favorisées comme celle d'Illizi, des tentatives de reboisement sont en cours qui occupent plus de 250 hectares (Badi, 2004). Cette végétation comprend des espèces très anciennes ayant un génotype spécifique. L'extrême aridité donne à la végétation des caractères bien particuliers avec plus de 60% d'herbacées qui comprennent que 40% de plante pérennes d'après Badi D.

La chorologie des taxons floristiques du Tassili-Ahaggar est caractérisée par l'interpénétration d'éléments tropicaux et méditerranéens avec des espèces Saharo-Sindiennes, Soudano-Deccaniennes et Méditerranéennes (Abdelkrim, Chalabi et Mederbal, 2006). Selon un gradient d'altitude, trois zones de végétation sont généralement identifiées :

Une zone tropicale jusqu'à environ 1800 – 1900 m, une zone méditerranéenne inférieure entre 1900m et 2300-2400 m et une zone méditerranéenne supérieure à partir de 2400 m jusqu'aux plus hauts sommets. Mélange de flore méditerranéenne, tropicale et désertique, un étagement est souvent distingué avec des espèces méditerranéennes en altitude, à partir de 1500 m, reliées dans les basses montagnes et les plaines par les espèces tropicales, auxquelles dans les dépressions périphériques, à partir de 500 m, les espèces sahariennes se substituent. Cette végétation renferme des espèces dites saharo-arabiques qui appartiennent à une zone végétale bordée au nord par la zone méditerranéenne, au sud par la zone tropicale, qui est nommée aussi soudano-angolaise, car se développant de la péninsule arabique à l'Atlantique. Elle compterait plus de 900 espèces dans l'ensemble du Sahara central, mais seulement 430 dans le Tassili n'Azjer, et s'abaisserait à une centaine dans la Tadrart (Badi, 2004). La plupart de ces plantes est riche en alcaloïdes, substance dont elles tirent de nombreuses propriétés. Les Touareg les connaissent bien et y trouvent une remarquable pharmacopée que l'on peut utiliser sans la moindre appréhension.

Les espèces paléo-endémiques de reliques d'arbres les plus importantes sont l'espèce relique de cyprès (*Cupressus dupreziana*) dont il ne reste que 240 spécimens, de pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica*). Sur les 73 espèces endémiques répertoriées, 36 sont considérées menacées, notamment l'Olivier de Laperini (*Olea laperrini*) et le Myrte (*Myrtus nuvellei*), qui poussent généralement sur aux pieds des wadis ou à proximité de points d'eaux temporaires ou permanents et sur les parois rocheuses. D'autres espèces endémiques ou rares comprennent les *Potamogeton hoggariensis*, *Silene hoggariensis*, *Lupinus tassilicus*, *Senecio hoggariensis*, *Ficus ingens*, *Boerhaavia viscosa*, *Trianthema pentandra*, *Spergularia fontenellet*, *Bergia suffruticosa*, *Hypericum psilophyton*, *Convolvulus fatmensis*, *Anticharis glandulosa*, *Utricularia exoleta* et *Phagnalon garamantum* (Ozenda, 1977). L'on trouve également plusieurs éléments de la flore **soudanaise** comme le genre *Maerua*, *Salvadora* et *Callotropis*. Les espèces **rocheuses** et **sablonneuses** comprennent les *Mesembryanthemum gausseii*, *Pseuderucaria clavata* et *Acacia scorpioides*. Dans les eaux fraîches non polluées de la vallée d'Iherir, la mousse aquatique est à l'origine des barrages de travertin, de chutes d'eaux et de mares. Dans ces conditions, des espèces fluviales vivent comme *Typha spp.*, *Juncus spp.*, *Phragmites spp.*, *Adiantum spp.* et une

végétation **aquatique** comme *Chara spp.*, *Myriophyllum spp.* et *Potamogeton spp.* D'autres espèces de lits de rivières comprennent les *Trianthema pentandra*, *Silene kiliana*, *Lupinus pilosus* et *Convolvulus fatmensis*.

Les plantes pérennes ont développé un imposant système de racines et réduisent leurs feuilles. L'arbre de Ténéré est encore célèbre ; acacia, le seul qui subsistait au milieu de cette immensité, ses racines puisaient l'eau à 36 m de profondeur. L'*hyoscyamus muticus* "afalehleh" est une plante qui a donné le nom à un oued où elle est fréquente. Les touareg donnent le nom afalehleh<sup>58</sup> aussi à *Androcymbium Wyssianum*, plante vivace, fortement toxique, elle s'étale sur le sol et elle est l'une des rares liliacées sahariennes. *Salvadora persica*, le tehaq (irak en arabe), qui est une liane s'accrochant aux arbres, fournissant des baies noires, a donné son nom à l'oued In Tahaq. Citant aussi d'autres plantes comme par exemple *Bender*, *Anabasis Articulata*, plante buissonnante qui indique une eau peu profonde, ou *Tammadjert*, *Moricandia Arvensis*, plante herbacée qui est un excellent pâturage pour les chameaux.

La végétation tropicale comprend plusieurs acacias. *Acacia Tortilis Raddiana*, domine les paysages, c'est un arbre atteignant 10 m et plus, il constitue un fourrage très apprécié des animaux. Aussi, il de l'*Acacia Ehrenbergiana* (*Acacia Flava*), petit arbre atteignant 3 à 4 mètres. *Balanites Aegyptiaca* "teboraq" est un petit arbre de 6 à 8 mètres de hauteur, très rameux, à fortes épines. *Moerua Crassifolia* "agar", ou "tagart" qui peut dépasser 6 mètres.

La végétation tropicale arbustive est largement représentée par la *Calotropis Procera* "torba", *Calligonum Comosum* "arassou", *Salsola Foetida* "issine", *Anastatica Hierochuntica* "akaraba", *Colocynthis Vulgaris* "alkad".

Les arbres et les arbustes plus larges comme le *Tamarix*, nommé aussi "tabarekkat" ou "éthel" en arabe, se trouvent dans les canaux des rivières desséchées des vallées. Les lavandes, *Lavandula Coronopifolia* et *Lavandula Antineae*, *Ziziphus Lotus*, *Artemisia Judaica* "Chih" en arabe.

La végétation herbacées est dominée par *Panicum Turgidum* "afaẓẓou" qui, associée à *Calligonum Comosum* "arassou" et aux acacias, est dense dans les lits et les berges d'oueds. *Stipagrostis Pungens* (*Aristida Pungens*) "tillult", *Pennisetum* qui est devenu une plante cultivée en raison de son importance. Citons encore la câprier, *Capparis Spinosa* "teloulout", *Aerva Javanica* "tamkerkest", *Reseda Villosa* "abellendjiad", *Typha Elephantina* "tabli", *Phragmites Australis* "talmest".

L'avifaune comprend un total de 150 espèces dont 14 endémiques à la région (Badi, 2004). La région et particulièrement importante pour les oiseaux migrateurs Paléo-arctiques. Les espèces de la région comprennent les espèces suivantes : Aigle Royal (*Aquila chrysaetos*), Buse Féroce (*Buteo rufinus*), Butor étoilé (*Botaurus stellaris*), Blongios nain (*Ixobrychus minutus*), Héron Bihoreau à calotte noire (*Nycticorax nycticorax*), Crabier chevelu (*Ardeola ralloides*), Héron pourpré (*Ardea purpurea*), Héron cendré (*Ardea cinerea*), Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*), Ibis falcinelle (*Plegadis*

<sup>58</sup> *Afalehleh* provoque des vertiges et des hallucinations peuvent entrainer la mort ; à des faibles doses, elle est employée pour soigner les dermatoses et pour grossir.

falcinellis), Circaète Jean-Le-Blanc (*Circaetus gallicus*), Faucon crécerelle (*Falco naumanni*), *Caille des blés* (*Coturnix coturnix*), Marouette ponctuée (*Porzana porzana*), Râle des genêts (*Crex crex*) et Oedicnème criard (*Burhinus oedicnemus*). La région compte plusieurs espèces paléarctiques, y compris les espèces suivantes : Foulque Macroule (*Fulica atra*) et Gallinule poule-d'eau (*Gallinula chloropus*) et une sous-espèce relique de perdrix gabra (*Alectoris barbara duprezii*).

Près de 36 mammifères sont pour la plupart typiques des climats arides, y compris deux espèces récemment atteintes, la gazelle et l'antilope (*Oryx gazella "izem"*, *Addax nasomaculatus "amellal"*) et sept espèces de *chauve-souris*. Selon le Livre Rouge (Red Data Book) de l'UICN, parmi les grands mammifères, plusieurs espèces sont considérées comme étant globalement menacées ou en danger, y compris les mouflons à manchettes (*Ammotragus lervia "oudad"*, *aroui* en arabe), la gazelle leptocère (*Gazella leptoceros*) et parmi les carnivores, les fennecs (*Fennecus zerda*) et le guépard (*Acinonyx jubatus*). Les espèces localement menacées comprennent le goundi du sahara (*Ctenodactylus vali*, *Ctenodactylus gundi "telout"*) et daman des rochers (*Procavia capensis*) que les Touareg nomment *akaoka*.

La région du Tassili-Ahaggar compte également 12 espèces de reptiles et 2 espèces d'amphibiens. Les reptiles sont probablement les animaux les plus fréquemment rencontrés, *Uromastix acanthinurus "agezzaram"*, *dhob* en arabe, le varan, *Varanus griseus "aghata"* (*ourane* en arabe), le carnivore<sup>59</sup>, l'agam (*Agamus impalearis "emeterter"*), le gecko, *Ptyodactylus basselquistii*, le scinque, *Scincus scincus* dit poisson des sables. Trois espèces de vipères peuvent être distingués ; la vipère à cornes, "tachel", de 50 cm de long, les scorpions, qui chassent les insectes et les araignées, et d'autres espèces d'insectes, c'est le cas du *Pimelia*.

On trouve également quatre espèces de poissons, reliques d'un climat passé plus humide à proximité de certaines gueltas permanents. La gueltat d'Iherir est susceptible de renfermer des mollusques, planorbes et mélanies, des poissons tels que le silure, *clarias gariepinus* que les Touareg appellent "istaf", le barbeau, *barbus deserti*, nommé "aoulagh", tilapias, *tilapia coptodon zilli* dits "tiferfaraouine". Parmi les invertébrés, la région compte un grand nombre d'araignées et de libellule, y compris les *Orthetrum ransonneti* et *O. sabina*.

#### 4.6 Présentation des sites d'étude

Les différentes approches méthodologiques présentées dans les chapitres suivants offrent un moyen efficace afin de mieux contrôler tous types de danger qui peuvent provoquer une dégradation plus au moins importante de la biodiversité. Vu l'étendue énorme des deux parcs culturels de l'Ahaggar et du Tassili et aussi selon la nature des approches utilisées, nous avons retenus les différents sites.

La première approche est basée sur les méthodes d'Analyse Multicritère intégrées avec les fonctionnalités des Systèmes d'Information Géographique (voire chapitre 5). Cette approche

<sup>59</sup> Il est bien protégé par les Touareg, car il occupe une place très particulière dans leur imaginaire ; il est le centre de diverses légendes et ils le considèrent au titre qu'un oncle paternel.

exige l'évaluation des différents sites (espace non continu) en termes d'informations multiples qui concernent notamment la localisation géographique, la richesse biologique...etc. En effet, lors de la sortie du 9-15 novembre 2008 au Parc Culturel de l'Ahaggar, nous avons retenus, en collaboration avec le personnel des deux parcs et des chercheurs ayant travaillé sur la zone, les sites suivants :

### **Le massif de la Taessa :**

Une région montagneuse de forte altitude, située dans les montagnes de l'Atakor, à environ 60km au Nord-Ouest de Tamanrasset une superficie de (~6000 km<sup>2</sup>), a été longtemps identifié comme site de biodiversité de premier plan, particulièrement riche en espèces endémiques de plantes (Ozenda, 1958 ; Quézel, 1962 ; Abdelkrim 1993). Dans le massif de la **Taessa** méridionale, nous avons retenu l'oued **Akaiour** d'altitude voisine de 1500m. Il est situé à mi chemin entre les postes de **Tagmart** et de **Tarahnanent**.

La richesse spécifique s'atténue vers les altitudes élevées et dans les encaissements mais reste importante au niveau des pelouses d'altitude et des plateaux tel que le plateau d'**Issabatene**.

A l'instar de l'oued Akaiour, les oueds de la Taessa méridionale tels que les oueds **Taramast**, **Taggart**, **Idikel** ou le plateau d'**Issabaten** présentent des phytocénoses assez stables et assez riches.

Vers le Nord du village de Tarahnanent, sur le massif de la Teassa septentrionale, les oueds avoisinant le mont **Illamène** semblent plus dégradé sauf au niveau des griffes encaissées où domine *Olea laperrini*, *Pistacia atlantica* (deus sujets mâles) des buissons de Myrte (*Myrtus nivellei*) de Rhus (*Rhus tripartitum*); le recouvrement atteint au plus 50%.

La flore pérenne est essentiellement composée d'Oliviers (*Olea laperrini*) et Cette végétation se réfugie dans les griffes, nombreuses, des oueds au niveau des versants [Plan d'action pour la préservation].

**Guelta d'Afilal** (site Ramsar) : Une guelta est une petite mare accumulant de l'eau en milieu désertique. Les Gueltates Afilal sont situées à quelque 65 km au nord-est de la Wilaya de Tamanrasset, dans le Parc national de l'Ahaggar, un milieu caractéristique de la partie la plus méridionale du Sahara algérien. Ces mares sont alimentées par l'Oued-In-Dâladj qui prend sa source au sud du mont Tizouyag. La zone humide des Gueltates Afilal qui couvre une superficie de 5,56 ha est un site Ramsar depuis 2002 car elle est un exemple rare ou unique d'un type de zone humide naturelle et parce qu'elle abrite des espèces animales et végétales particulièrement importantes au maintien de la diversité biologique de la région biogéographique.

Alors, pour la première approche (voir chapitre 6), nous avons visité les sites suivants dans le massif de la Taessa : Oued Idikel, Illamene, Assekrem, Tarharnanet, Tagmaret, site d'Agmaret, Agmaret, Oued Tamakraste, Montagne d'Aghalale, Oued Tinamzi (Tamanrasset vers le Niger (la subdivision OUA-HELLEDJENE) et le site ramsar de la Guelta d'Afilal.

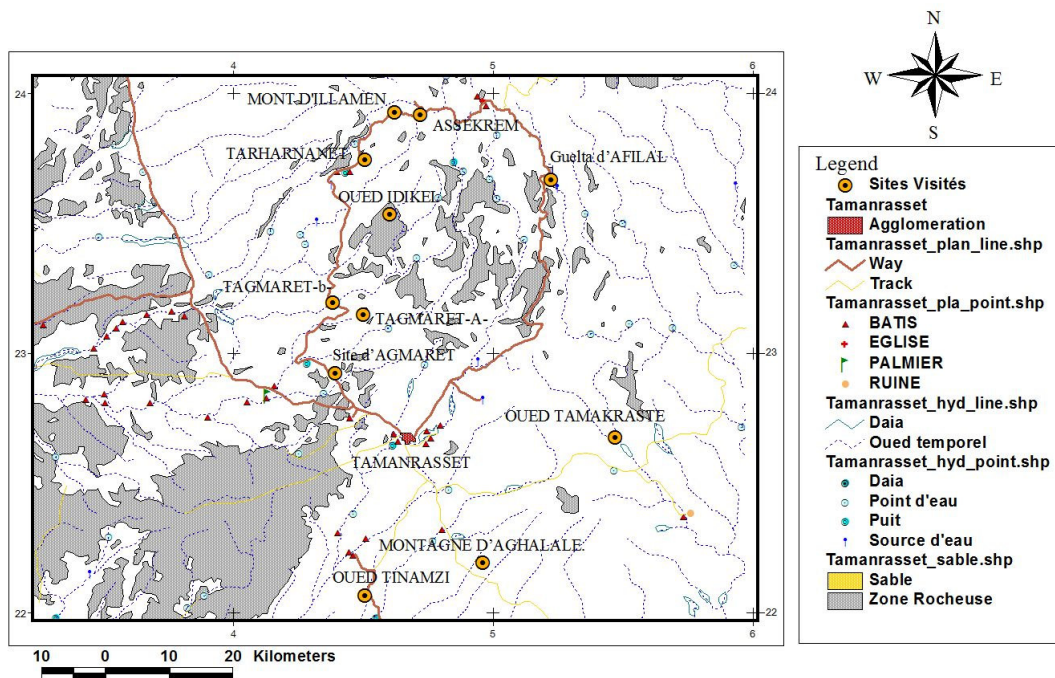


Figure 4-10 Sites d'étude -Région de Tamanrasset-

### Le Massif de la Tefedest

C'est l'un des massifs les plus impressionnants de l'**Ahaggar**. Étendu sur plus de 250km de long et 60km de large, il est remarquable à la fois par une altitude élevée et un nombre d'oueds et de griffes d'oueds considérables (annexe 8) :

#### - L'oued Ahor

A 15km au Nord de **Mertoutek**, non loin du poste de l'OPNA, l'oued semble être connu en raison de sa proximité et de sa représentativité pour cette partie méridionale du massif de la Tefedest.

En aval, à une altitude voisine de 1450m, l'oued est bien matérialisé et le groupement dominant correspond aux terrasses alluviales à *Artemisia campestris ssp glutinosa*, *Atriplex halimus*. Les terrasses alluviales sont stabilisées et le lit de l'oued bien matérialisé. Ce groupement est remarquable à la sortie nord de la Z'Riba de **Mertoutek**. A partir de 1490m d'altitude et au delà, nous avons une succession altitudinale à *Nerium oleander* avec une partie où les éboulis sont dominants et où l'eau, en mares temporaires, constitue un facteur favorable au développement de la végétation.

L'oued **Adjeli** est remarquable par un impluvium correspondant à un immense plateau à 1225m d'altitude sur pente douce (5%). Le recouvrement atteint 30%, sur substrat graveleux de texture

sablonneuse. Les principales espèces : *Anabasis articulata* (10%), *Heliotropium undulatum* (5%), *Helianthemum lippii* (10%), *Aizon canariensis*, *Farsetia aegyptiaca*, *Mansonia heliotropioides ssp nivea* (5%), *Reseda arabica*, *Lotus glinoides*, *Crotalaria saharae*, *Calligonum comosum*.

Beaucoup des études sur l'oued **Amghah** ont montré la présence de quelques éléments de diagnostic satisfaisants au niveau de l'impluvium du complexe de l'Oued à savoir les affluents In Tourhaoui et In Fedji (Abdelkrim 2006).

La partie supérieure de l'oued **Amghah** est de forme plane, graveleuse. Elle montre des phytocénoses structurantes significatives d'une dynamique progressive des groupements d'amont en aval. Elle est à un stade d'équilibre de l'**Acacio- Panicion**, alliance caractéristique des oueds sahariens peu influencés par les grandes crues périodiques.

L'oued **Amghah** est alimenté aussi par un affluent important qui est l'oued **In Tourhaoui**. Il présente une structuration similaire à partir de sa jonction avec l'oued **Amghah**, à 1115m d'altitude jusqu'à 1165m.

#### - L'oued Ouhat (Tefedest septentrionale)

L'oued Ouhat est aussi retenu comme sites potentiels pour le suivi de la biodiversité, nous avons l'oued **Ouhat** vers la partie septentrionale du massif de la **Tefedest**. Au niveau de ce cours d'eau, l'**OPNA** dispose d'un poste de surveillance et, en amont, une Z'Riba importante est occupée six mois sur douze par ses habitants. Cet oued est similaire aux autres déjà décrits mais montre un groupement à *Typha elephantina* important. Ceci entraîne des prélèvements de matières vertes, pratique admise et "réglementée" depuis des millénaires par le nomadisme local. La pression humaine et animale affecte peu les phytocénoses. Les observations se rapportant à l'avifaune passagère et à l'exploitation des milieux par les populations locales constituent un argument suffisant pour gérer et suivre l'impact sur la biodiversité en ces lieux.

Les oueds parcourus sur le versant occidental du massif de la tefedest sont Abezou, In Takoufé et leurs affluents.

Au niveau de l'oued **In Takoufé**, les structures phytocénotiques répondent aux mêmes critères que les autres oueds sillonnés. D'aval en amont, l'accumulation des eaux de ruissellement, les voiles éoliens et l'altitude déterminent de nombreux faciès avec un groupement principal à *Solenostema argel*.

Les principaux groupements rencontrés sont, d'aval en amont le groupement *Juncus acutifolius* et *Scirpus holoschoenus* ; Groupement à *Solenostema argel* faciès à *Tephrosia leptostachya* ; et le Groupement à *Nerium oleander* et *Acacia raddiana* avec la présence régulière de *Solenostema Argel*.

Les structures phytocénotiques de l'oued **Abezou** occupent l'ensemble du cours d'eau sauf en amont où nous retrouvons les groupements classiques à *Nerium oleander* et *Typha elephantina*. La structure linéaire le long de l'Oued Abezou est assez particulière. D'anciennes terrasses

cultivées sont actuellement sans communautés végétales. Suivent les groupements à *Acacia raddiana* et *Zilla spinosa* et, au niveau du lit majeure, une communauté dominées par *Zilla spinosa*, *Artemisia campestris*, *A. judaica*, *Calligonum comosum*. La bordure abrite des individus de *Ballanites aegyptiaca* (08 ind.), *Acacia raddiana* (21 ind.), *Zilla spinosa*.

L'oued Abezou se limite en amont par un affluent l'oued Afousses. Il est représenté par une succession de terrasses exploitables tout au long de l'année, particulièrement en été, pour l'appoint fourrager, la cueillette de l'armoise et certainement pour une agriculture vivrière.

### **Le Parc national du Tassili N'Ajjers**

#### **- Le plateau du Meddak**

Les transects et le méga- transect, au niveau du Meddak, se rapportent aux oueds Tamrit, Adjendjoum, Taoulaoulat vers Tissouar, Allaghnedmet vers Ghayaye, l'oued Tichouinet vers Idjabarène.

Le plateau du Meddak, particulièrement l'oued Tamrit où la fréquence et la pression du tourisme sont remarquables et présente par endroits des perturbations notoires.

Les principaux groupements identifiés sont d'aval en amont de l'oued selon un parcellaire sur 150m de long et 40m de large.

Nous avons une phytocénose diversifiée dont le nombre de taxons est élevé et leur vigueur satisfaisante. Les principaux groupements sont et leurs caractéristiques sont présentées dans l'annexe 9.

Certains sites du plateau du Meddak méritent plus d'attention tant au point de vue de la préservation (Maâder et oued Ghayeye), les oueds Tamrit, Adjemdjoum où l'activité touristique est intense. Le nombre de taxons demeure sensiblement le même que celui déjà évoqué par Barry et al. (1970). Ce sont ces oueds où persistent encore les derniers Cyprès du Tassili (*Cupressus dupreziana*).

D'autres Oueds (Oued Felmine) et la série de gueltas, Ghayeye là où les individus sont encore vigoureux et le groupement végétal assez dense, bien conservé sont à préconiser pour des placettes permanentes.

Reliques d'un passé sous un climat plus clément, méditerranéen passant par des phases humides à arides (Benhouhou et al. 2005 ; Barry et al. 1970 ; Quezel 1965...) ; il est nécessaire d'établir des fiches de référence pour chacune des stations afin de permettre un suivi rigoureux de la diversité biologique de ces lieux privilégiés mais aussi combien convoités et certainement menacés.

#### **- L'Anhef et le Serkout**

L'immensité de l'Anhef et les monts du Serkout constituent un des sites les plus peuplés en terme de faune mammifère notamment les gazelles.

- Le plateau de la Tafassasset où l'oued du même nom comporte un groupement à *Salsola baysoniana* et *Traganum nudatum* sur des superficies allant du Djebel Tigouras au nord ouest vers le sud sur des dizaines de kilomètres.
- Les oueds de ce plateau présentent une certaine originalité car nous avons rencontré des groupements particuliers dans les oueds à *Acacia raddianna* et *A. albida*, sujets majestueux.
- Sur l'Oued Tadent et vers la Z'riba du même nom, nous avons les groupements particuliers dominés par *Balanites aegyptiaca*.
- Les points d'eau sont plus ou moins rapprochés. Dans les oueds, la végétation subit cette proximité et le broutage excessif de certains taxons est remarquable. C'est le cas de l'oued Timat où *Leptadenia pyrorotechnica*, *Pulicaria crispa*, *Aristida pungens* subissent ce surpâturage
- Les groupements à *Aristida pungens* où l'acacia se raréfie (Oued Adjrazraz) constituent parfois des groupements mono spécifiques où la pâture est possible.

#### - **L'Erg Tihoudayine**

Situé au nord- ouest de Bordj El Houas, après le site magnifique de Aboradj et, à l'ouest de Afara, l'erg Tihoudayine semble représenter un site remarquable de par sa physiographie, sa géomorphologie et de par les phytocénoses en place.

Il est l'unique site retenu parmi les ergs que l'on rencontre ça et là au niveau des Tassilis N'Ajjers. Ce site est une dépression accumulant les alluvions lors des crues. L'erg où les groupements végétaux sont spécifiques, les pentes des tassilis constituent de véritables remparts au nord de la dépression :

- Groupement sur sol sablo-limoneux
- Groupement de griffes d'oued et d'éboulis
- Groupement des dunes de l'Erg

Entre le cordon dunaire qui a rendu ce site célèbre, la dépression, les plateaux tassiliens limitant la dépression et les zones d'atterrissement des eaux, les communautés végétales particulières et spécialisés offrent des possibilités de pâturage illimitées.

## **4.7 Conclusion**

Les Parcs culturels de l'Ahaggar et du Tassili recèlent des richesses extrêmement variées : paysages, fossiles, flore, faune. Cette diversité est liée aux contrastes entre les zones arides et les zones humides.

Mais la biodiversité du Tassili et de l'Ahaggar reste toutefois peu connue comme l'atteste la description récente d'un nouveau genre et d'une nouvelle espèce de Scorpion à partir d'échantillons provenant du Tassili (TOLBA, 2002).

La richesse biologique de la zone ainsi que son exposition aux risques multiples de dégradation a déclenché l'alarme pour que les autorités mettent en place des mécanismes pour sauver et utiliser durablement ce patrimoine.

Récemment, il ya eu une révolution dans la disponibilité de l'information et dans le développement et l'application d'outils de gestion de l'information. Les besoins d'information sur la biodiversité sont nombreux et variées.

Un outil important pour le suivi de la biodiversité est le système d'information géographique (SIG), qui accueille de grandes variétés d'attribut des données spatiales et non spatial. L'information contenue dans un SIG est utilisé pour cibler les enquêtes et les systèmes de surveillance. Les données sur les espèces et la répartition de l'habitat de différentes dates permettent de suivre l'emplacement et l'ampleur des changements.

**Sommaire**

5.1	Introduction .....	137
5.2	Spécificités des problèmes spatiaux .....	138
5.3	Capacités des méthodes d'AMC .....	138
5.4	Limites du SIG en aide à la décision spatiale.....	139
5.5	Intérêts de l'intégration SIG-AMC .....	141
5.6	Revue de la littérature.....	143
5.7	Schéma conceptuel d'intégration.....	145
5.8	Modes d'intégration.....	146
5.9	Limites des travaux d'intégration SIG-AMC.....	150
5.10	Domaines d'application .....	151
5.11	Choix de la méthode .....	152
5.12	Approche proposée.....	153
5.13	Conclusion.....	155

**5.1 Introduction**

Un SIG utilisé tout seul est bien adapté pour la représentation de la complexité des problèmes de décision à référence spatiale mais il échoue, au même temps, à prendre en compte la dimension multicritère inhérente de ces problèmes. Cependant, l'analyse multicritère permet une formulation et modélisation des problèmes spatiaux, mais par contre elle est limitée lorsqu'il s'agit de représenter la dimension spatiale des problèmes spatiaux.

Il nous semble donc naturel de parvenir à la nécessité de conjuguer les potentialités de deux outils en vue d'une aide à la décision spatiale plus élaborée. Dans ce chapitre, nous allons citer les arguments forts qui ont exigé cette intégration. Ensuite, nous présentons les différents types

d'intégration qui se basent sur l'idée d'intégrer les fonctionnalités des Système d'Information Géographique avec celles des méthodes d'aide à la décision.

## 5.2 Spécificités des problèmes spatiaux

Les problèmes de décision à référence spatiale sont complexes et de nature multicritère. Le traitement de ces problèmes requiert un ensemble de données géoréférencées comme entrée. Les SIG offrent un véritable aide pour les utilisateurs en ce qui concerne la gestion et la représentation des données spatiales. Ainsi, ces systèmes ont joués un rôle important dans le cadre de l'aménagement du territoire<sup>60</sup> (étude d'impact, choix des sites d'implantation... etc.). Les SIG en favorisant, sur une zone très large, le croisement (superposition), le traitement, et le stockage de l'information géographique, améliorent encore sa représentation (divers genres de représentation).

A côté de leurs intérêts, les SIG, par leurs limites intrinsèques ou par l'apparition de nouvelles problématiques, présentent un certain nombre de limitations :

Ce type d'outil ne permet pas, à l'heure actuelle, d'agréger les informations qu'il produit pour en tirer un classement ou un choix (la plus part des services, en environnement, effectues cette étape - l'étape d'agrégation - manuellement), ce qui est difficile d'ajouter des nouveaux indicateurs pour compléter l'analyse environnementale car cela complexifier la procédure. Cette complexification, pour des raisons temporelles, limite le nombre des variantes étudiées. Par ailleurs, le fait qu'aucune pondération relative ne soit officiellement intégrée dans la procédure de comparaison pose également un problème de validité de résultats (ce qui accroît indirectement le risque de remise en cause des choix effectués).

D'après Molines (Molines, 2003), la trop forte orientation thématique de l'approche peut être remise en cause. Bien qu'elle facilite la prise en compte d'un nombre assez important d'enjeux, elle ne permet guère l'appréhension globale des impacts sur l'environnement.

## 5.3 Capacités des méthodes d'AMC

Les méthodes d'aide à la décision ont été appliquées depuis son émergence à des problèmes de gestion du territoire qui nécessitent l'utilisation des données à référence spatiale, mais sans l'utilisation des outils de traitement de l'information spatiale comme les SIG. En effet, l'aide à la décision spatiale se concentre sur les décisions qui ont un effet sur le territoire. Elle a pour objectif d'accompagner un ou plusieurs décideurs dans le processus qui mène vers la formulation d'une décision ( (Vincke, 1989) ; (Joerin, 1997)).

La revue de la littérature nous permet de constater que les outils d'aide multicritère à la décision ont fait l'objet d'applications diversifiées dans des domaines tels que : l'environnement,

---

<sup>60</sup> L'information géographique par le biais de la carte, permet de visualiser l'impact du choix d'aménagement, de les expliquer et d'en débattre (CNIG, 1998 in MOLINES Nathalie, Jean-Jacques Chevallier ()).

l'aménagement du territoire et la gestion de ses ressources naturelles (e.g. (Beinat, et al., 1998) ; (Raju, et al., 1999a); (Raju, et al., 1999b); (Koo, et al., 2006)), la planification minière, la gestion énergétique, la gestion des déchets, la localisation (e.g. (Martel, et al., 1992); (Khalil, et al., 2003)), la planification économique, la gestion forestière (e.g. (Tarp, et al., 1995); Teclé et al., 1998), la gestion urbaine et le transport (e.g. Florent et al., 1999 ; Lahdelma et al., 2000 ; Bertrand Mareschal, 2002 ; Kiker et al., 2005), l'évaluation et la sélection de projets, la gestion de la production et des approvisionnements, la gestion des ressources humaines et matérielles, la gestion des systèmes de défense et la planification militaire, le développement international, etc. Cette liste n'est certainement pas exhaustive et d'après Martel (Martel, 1999), les applications concrètes d'outils d'aide à la décision ne font pas toujours l'objet d'une publication.

Cependant, les méthodes d'AMC ne tiennent pas compte de la dimension spatiale du problème, alors que plusieurs chercheurs (e.g. Giupponi et al., 1999, Herwijnen et Rietveld, 1999 ; Jiang et Esatman, 2000 ; Jankowski et al., 2001 ; Feick et Hall, 2002 ; Phua et Minowa, 2005 ; Koo et O'Connell, 2006 ; Strager et Rosenberger, 2006) donnent l'importance à la distribution géographique des actions et des critères qui influencent sur la décision globale.

Ajoutant que les logiciels d'AMC sont peu pratiques dans l'aide à la décision spatiale pour ces deux handicaps :

- Les logiciels d'AMC ne disposent pas de capacités nécessaires pour la gestion des données à référence spatiale (il faut utiliser d'autres outils avec les outils d'AMC pour pouvoir assurer la prise en compte de la référence spatiale).
- Les logiciels d'AMC manquent d'outils nécessaires à la représentation cartographique des résultats qui peuvent améliorer leur compréhension (*eye thinking*) et à arriver à une meilleure maîtrise du processus décisionnel.

En revanche, le SIG est bien adapté pour répondre à ces deux insuffisances de l'approche classique de l'analyse multicritère spatiale. L'intégration du SIG et l'AMC semble être la meilleure solution pour combler leurs lacunes respectives.

#### **5.4 Limites du SIG en aide à la décision spatiale**

D'un point de vue opérationnel, plusieurs fonctions classiques du SIG (affichage cartographique, requête spatiale, attributaire, croisement de couches de données etc.) relevant de l'analyse spatiale, contribuent à la fourniture d'informations pour une prise de décision. L'analyse spatiale représente donc le noyau dur du processus de décision. La rigueur apportée à sa réalisation est de ce fait « la condition nécessaire, mais pas suffisante » pour toute décision concernant la gestion du territoire où la référence spatiale des données joue un rôle primordial (Caloz, et al., 2008).

En se référant à la littérature ( (Burrough, 1997); (Clarke, 1990); (Jankowski, et al., 1994); (Carver, 1991) ; (Goodchild, et al., 1992) ; (Prélaz-Droux, 1995); (Sui, 1993); (Goodchild, 2000); (Laaribi, 2000); (Malczewski, 2004), on observe bien l'incapacité et les limites,

particulièrement, dans le contexte de l'aide à la décision spatiale dont souffrent les SIG. Chakhar (Chakhar, 2006) a expliqué certains points en faveur de cette faiblesse :

1. *Manque de fonctionnalités analytiques* : Les SIG souffrent de manque d'outils de traitement de la notion du temps et de la multidimensionnalité et le peu de performance dans le traitement des aspects multi-échelles et multi-sources.

2. *Limites des techniques d'overlay* : Les techniques d'*overlay* regroupent des opérations de superposition afin de combiner et corréler 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 : (i) les résultats de l'opération d'*overlay* deviennent rapidement inextricables et donc difficiles à comprendre quand le nombre de facteurs impliqués dépasse quatre ou cinq ; (ii) la plupart des procédures *overlay* dans les SIG ne tiennent pas compte du fait que les variables peuvent être d'inégale importance - quoi qu'il existe actuellement en mode raster- ; (iii) 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 ; et (iv) 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.

3. *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, chaque utilisateur se fie à son intuition et emprunte un chemin personnel, pour aboutir finalement aux mêmes résultats (Burrough, 1997). Cette démarche intuitive, qui fonctionne pour des opérations simples, serait peu opérationnelle pour des analyses plus complexes. Une telle situation témoigne, selon plusieurs chercheurs dont Goodchild (Goodchild, 1991) ; (Goodchild, et al., 1996)), du 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. *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. En effet, "il y a place pour une approche plus créative et pour des outils analytiques pouvant suggérer de nouvelles propositions théoriques et supporter des fonctions d'exploration de données" (Laaribi, 2000).

5. *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 : (i) les critères qui sont pris en compte pour l'analyse ne sont pas considérés comme conflictuels ; (ii) les critères sont généralement considérés d'égale importance<sup>61</sup> ; (iii) 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*<sup>13</sup> et non de critères d'évaluation, tout se passe comme s'il s'agissait d'une recherche monocritère itérative. Les SIG permettent d'identifier les solutions propices répondant simultanément à tous les critères et non pas d'effectuer un rangement de ces solutions pour fournir la meilleure solution, un résultat généralement crucial pour le décideur.

Selon (Chakhar, 2006), la plupart des chercheurs supportent l'idée d'intégrer dans le SIG des outils informatiques (*computing tools*) et de recherche opérationnelle à savoir : la programmation linéaire (e.g. (Chuvienco, 1993); (Caro, et al., 2004)), statistique (e.g. (Burrough, 2001); (Wise, et al., 2001) ; (Zhang, et al., 2004)), réseaux de neurones artificiels (e.g. (Sui, 1993) ; (Bennett, et al., 1996); (Rigol, et al., 2001)), algorithmes génétiques (e.g. (Ducheyne, et al., 2006)), automate cellulaire (e.g. (Wu, 1998)), logique floue (e.g. (Wang, et al., 1990); (Stefanakis, et al., 1999) ; (Yanar, et al., 2006)), intelligence artificielle (e.g. (Egenhofer, et al., 1990)), systèmes experts (e.g. (Yialouris, et al., 1997) ; (Eldrandaly, 2006) ; (Fleming, et al., 2007)), multi-agents (e.g. (Gimblett, 2002); (Sengupta, et al., 2003) ; (Brown, et al., 1994)) sont des exemples de ces travaux. D'autres travaux se sont focalisés sur la définition des langages de spécification et de modélisation (e.g. (Albrecht, et al., 1997); (Burrough, 1997)).

Ces travaux ont permis d'améliorer les potentialités analytiques des SIG et de répondre aux limites de ces derniers dans beaucoup de domaines. Quoi qu'ils échouent lorsqu'il s'agit des problèmes multicritères à caractère spatial.

## 5.5 Intérêts de l'intégration SIG-AMC

On a mentionné auparavant que les SIG présentent certaines faiblesses, en ce qui concerne notre domaine d'application (gestion du territoire). Les SIG sont incapables de traiter les problèmes de choix, classement, etc., qui sont souvent multiacteurs et multicritères. L'utilisation conjointe d'outils multicritères et les SIG est de plus en plus courante (Joliveau, et al., 2000).

Les SIG sont des outils d'aide à la prise de décision, puisque ils offrent plusieurs fonctionnalités (le stockage et le traitement des données, l'analyse spatiale et la visualisation des ces données). Principalement, en mode vecteur, les SIG nous permettent de superposer plusieurs couches d'informations. Cette technique est utilisée aussi afin de dégager les objets qui satisfont simultanément à des contraintes et critères spatiaux. Néanmoins, ces techniques se limitent selon

---

<sup>61</sup> Notons néanmoins que le logiciel SPANS de Tydac a été le premier à offrir une pondération simple des critères. Aussi, les modules GRID d'Arc/Info d'ESRI et MGE Grid Analyst d'Intergraph en analyse *raster* offrent un type de pondération de critères. Le SIG IDRISI intègre, depuis sa version 4.1, un module d'analyse multicritère avec notamment la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) de Saaty (1980) pour la détermination des poids et des méthodes de somme pondérée pour les procédures d'agrégation.

la complexité des problèmes et selon plusieurs auteurs (Laaribi, 1994); (Chakhar, 2001); (Malczewski, 1999); (Chakhar, 2006) voici quelques arguments en faveur :

- 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. Or les problèmes de décision à référence spatiale, de plus en plus considérés dans tous leurs aspects, présentent les différentes caractéristiques du paradigme multicritère. La complexité des données à référence spatiale et les différentes origines des personnes impliquées dans les problèmes géographiques de décision et qui ont, inévitablement, des points de vue différents sont quelques arguments en faveur de cette intégration
- 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 (l'interprétation des résultats devient difficile si le nombre de critères spatiaux augmente).
- Les potentialités de traitement des SIG et notamment les techniques d'*overlay* permettent l'application d'un ensemble de critères (d'une même pondération sauf la cas d'un SIG de type raster) afin de générer les solutions potentielles. Cependant, les solutions obtenues répondent simultanément à tous les critères (valeur unique pour toutes les actions sur l'espace des critères). D'après (Chakhar,2006), "*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*".
- les solutions retenues ne peuvent pas être classées, affectées à des catégories prédéfinies ou bien, choisir les meilleurs parmi les solutions acceptables (généralement ne traite pas les problématiques multicritères),
- Finalement, les logiciels SIG ne disposent pas d'outils appropriés pour évaluer des scénarios multiples en fonction de critères quantitatifs ou qualitatifs qui sont le plus souvent contradictoires et présentent des importances inégales.

Longtemps utilisés séparément, ces outils sont aujourd'hui associés pour *optimiser* la prise de décision en gestion du territoire.

Un premier type d'alliance SIG-AMC met la stratégie géomatique induite par la dimension territoriale de la gestion au service de l'analyse multicritère. Celle-ci permet de comparer des variantes sur la base des critères aussi bien qualitatifs que quantitatifs. De plus, elle améliore le processus comparatif par intégration de l'information subjective du décideur, citant la pondération des critères, les seuils de préférence, d'indifférence, ou d'incomparabilité. L'analyse multicritère est non seulement bien adaptée à l'analyse et à l'évaluation des différents impacts, quantitatifs ou qualitatifs, relatifs à des projets d'envergure, mais elle permet aussi d'améliorer le processus décisionnel où les points de vue des différentes parties prenantes d'un projet sont pris en compte (Molines, et al., 2002). Les SIG facilitent la prise en compte de la composante

spatiale, de quantifier spatialement les critères pour chaque scénario (nombre de personnes avoisinants aux actions, éloignement par rapport au site industriel,...). D'après Theriault, "*ils (les SIG) fournissent également la production et l'automatisation d'une cartographie adaptée à l'objectif visé (analyse scientifique, communication,...etc.)*" [Theriault, 1996 in (Molines, 2003)].

L'association des méthodes AMC et SIG constitue une voie privilégiée pour faire évaluer, d'une part, les SIG vers de véritable système d'aide à la décision et permettre, d'autre part, aux AMC d'élargir leurs capacités d'analyse tout en acquérant la transparence qui leur fait souvent défaut (Molines, 2003); (Molines, et al., 2002).

SIG	AMC
<b>Avantage :</b> Gestion et traitement des données spatialisées. Contribue à l'analyse relationnelle des données à références spatiales. Synthèse cartographique adaptée. Vision globale du problème.	<b>Avantage :</b> Hiérarchise les solutions. Améliore le processus décisionnel. Permet de prendre des externalités.
<b>Mais...</b> Centre l'analyse sur des données spatialisables. Ne hiérarchise pas les solutions étudiées. Gère difficilement les différents systèmes de valeurs.	<b>Mais...</b> Ne spatialise pas les données. Ne peut évaluer qu'un nombre restreint d'actions <sup>62</sup> . Méthodes complexes.

Tableau 4.1 : SIG et AMC ; outils complémentaires<sup>63</sup>.

## 5.6 Revue de la littérature

On peut y noter succinctement que les premiers essais d'incorporation des fonctionnalités des SIG et de l'AMC remontent dans les années 90 où la première intégration effective semble être celle réalisée par Carver (Carver, 1991), qui reste l'article le plus cité selon Malczewski (Malczewski, 2006) dans les études dédiées à l'intégration des deux outils. En matière d'intégration complète, le plus significatif des premières tentatives reste celle d'Eastman (1993) qui intègre la somme pondérée et la détermination des poids selon l'approche de Saaty (annexe11) (1977 – 1980) au logiciel IDRISI<sup>64</sup>.

Malczewski (2006) énumère environs 319 articles dédiés à l'intégration SIG-AMC dans 135 revues entre 1990 et 2004. Nous nous inspirons de quelques articles, des travaux de Malczewski (2006), Chakhar (2006) et de Laaribi (2000), pour synthétiser dans le tableau de l'Annexe 10 l'état de l'art sur les applications de cette approche.

<sup>62</sup> D'après l'école européenne.

<sup>63</sup> Source : Nathalie MOLINES, 2003.

<sup>64</sup> Logiciel SIG qui traite le format raster

### 5.6.1 Travaux publiés

Plusieurs travaux ont été publiés ( (Carver, 1991), Can, 1993 ; Banai, 1993 ; Jankowski et Richard, 1994 ; Jankowski 1995 ; Jain et *al.*, 1995 ; (Malczewski, 1999) ; (Laaribi, 1994) ; Jankowski et *al.*, 1997 ; (Joerin, 1997); Wu, 1998 ; Giupponi et *al.*, 1999 ; Jiang et Eastman, 2000 ; Jorein et Musy, 2000 ; Jorein et *al.* 2001 ; Joerin et Metzger, 2004 ; Itami et *al.*, 2000 ; Jankowski et *al.*, 2001 ; Gomes et Lins, 2002 ; Sharifi et *al.*, 2002 ; Martin et *al.*, 2003 ; Paegelow, 2004 ; Camacho et *al.*, 2007 ; Malczewski et Rinner, 2005 ; Marinoni, 2005 ; Koo et O'Connell, 2006 ; Marinoni, 2006 ; Chakhar, 2006 ; Chakhar et Mousseau, 2007 ; (Mendas, et *al.*, 2007) ; Younsi et *al.*, 2009 ; Mitchébon, 2011; (Mendas, et *al.*, 2012) ; Hamadouche et *al.*, 2013) par la suite, intégrant les outils SIG (IDRISI, Arc Info, ArcView, ArcGis, Map Info, CommonGIS etc.) et les méthodes d'AMC (ELECTRE, PROMETHE, TopSIS, AHP etc.) dans des domaines multiples à savoir : l'environnement, l'écologie, l'agriculture, biodiversité, etc. (cf. Annexe 10).

### 5.6.2 Modèles développés

En matière d'architecture, Laaribi et *al.*, (1996) sont visiblement selon Chakhar (2006), les premiers à proposer une méthodologie de guidage systématique pour le choix d'une méthode multicritère dans une perspective d'intégration dans un SIG. Les plus récents travaux intègrent de plus en plus plusieurs outils pour proposer des processus décisionnels qui pourraient être transposés en fonction des contextes et des applications. On peut citer ainsi :

*MEDUSAT* (Méthode d'aide à la Décision par l'Utilisation de SIG pour l'Aménagement du Territoire) de Joerin (1997) ;

*MAGISTER* (Multicriteria Analysis and GIS for Territory) intégrant le SIG MapInfo et la méthode multicritère ELECTRE TRI de Joerin et Musy (2000) ;

*DECADE* (Dynamic, Exploratory Cartography for Decision Support) destiné à la décision multicritère spatiale visuelle de Jankowski et *al.* (2001) ;

*SIAD* (système intégré d'aide à la décision) composé d'une banque de données de Mapinfo et d'une interface usager implémentant les méthodes PROMETHEE I et II de Martin et *al.* (2003) ;

*MCD-GIS* (GISbased MultiCriteria spatial Decision) intégrant ARCGIS comme SIG et plusieurs méthodes d'AMC (Electre III, Prométhée etc.) de (Chakhar, et *al.*, 2008) ;

*SADARS* (Système d'aide à la Décision Spatiale) basé sur l'intégration des méthodes Electre Tri et Promethee I dans ArcView d'Esri, application à la sécurité routière (Mendas, et *al.*, 2007) ;

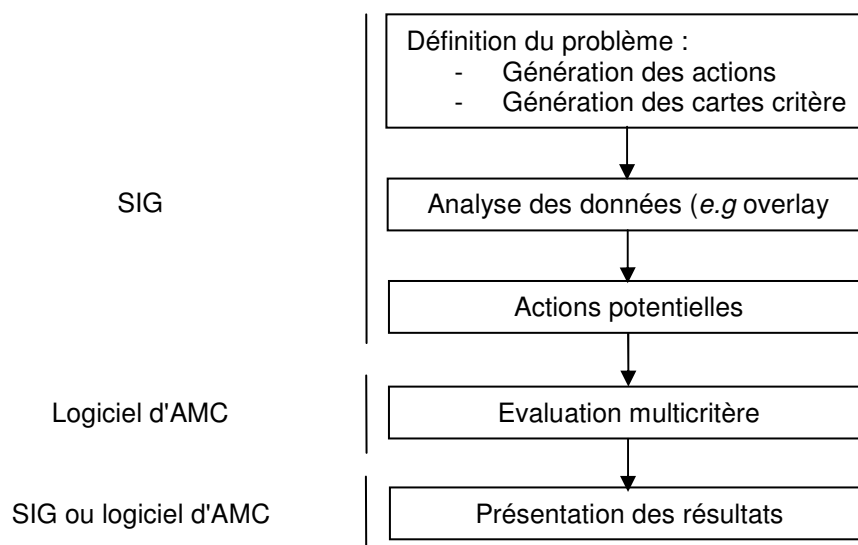
*PADAGIR* (Processus d'Aide à la Décision pour l'Aménagement et la Gestion Intégrée de Ressources) basé sur l'intégration de la méthode Electre Tri, et d'une méthode de tri fondée sur une fonction de valeur additive dans ArcView et ArcGIS de Mitchébon (2010) ;

*PADASAU* (Processus d'Aide à la Décision pour l'Aménagement de Sites Agricoles Urbains) de Kedowide 2011 basé su l'utilisation de l'approche AHP intégrée dans Idrisi.

Parallèlement à ces applicatifs, se sont développées différentes applications sur la base des fonctionnalités de IDRISI, intégrant de façon complète les deux outils SIG et AMC ( (Jankowski, 1995) ; (Malczewski, 2000); (Mareschal, 2003), (Eastman 2001-2006) ; (Jiang et Eastman, 2000) ; (Paegelow, 2004) ; (Camacho *et al.*, 2007), et encore plus enrichi par plusieurs modules analytiques à l'aide à la décision multicritère notamment la logique floue.

## 5.7 Schéma conceptuel d'intégration

L'idée conceptuelle sur laquelle se base les travaux d'intégration SIG-AMC est donnée en figure 5.1, elle consiste à utiliser les fonctionnalités du SIG pour préparer les entrées (inputs) nécessaires à l'application d'une méthode multicritère. 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 (voire infini) d'actions en un nombre limité d'actions 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.



Source: Chakhar, 2007

Figure 5-1 : Schéma conceptuel d'intégration SIG-AMC

## 5.8 Modes d'intégration

L'intégration d'outils SIG et méthodes d'AMC est un domaine de recherche qui commence juste à se développer. D'après les travaux de recherche effectués dans cette optique, nous distinguons quatre modes d'intégration SIG-AMC ( (Goodchild, 1991) ; (Goodchild, et al., 1992); Nyerges, 1992 ; Laaribi et al., 1993 ; Lariibi, 1995 ; Jankowski, 1995 ; Karimi and Houston, 1996 ; (Malczewski, 1999) ; Jun, 2000 ; Chakhar, 2001 ; Comes et Lins, 2002 ; Chakhar et Martel, 2003, 2004; (Molines, 2003) ; (Malczewski, 2006)) : (i) pas d'intégration, (ii) intégration indirecte (*loose coupling*), (iii) mise en place d'une plate-forme commune -encastrée- (*tight coupling*), et (iv) intégration complète (*full integration*).

### 5.8.1.1 Pas d'intégration

C'est le cas de tous les travaux réalisés jusqu'à la fin des années 1980<sup>65</sup>. Le traitement se fait d'une manière indépendante, c'est-à-dire les deux logiciels restent indépendants (Figure 5-2), l'utilisateur, à travers des requêtes préprogrammées, sélectionne les données nécessaires, extrait de la base de données, les exporte dans un format acceptable par le logiciel de traitement multicritère, il complète les données par l'introduction d'autres données (préférences du décideur, poids du différents critères, et autres paramètres nécessaires pour l'agrégation ), ensuite, il lance le calcul puis stocke les résultats qu'il réexportera dans le logiciel SIG pour les visualiser. D'après MOLINES, c'est le mode d'intégration le plus courant<sup>66</sup>.

---

<sup>65</sup> Probablement, les premiers travaux d'intégration SIG-AMC remontent à la fin des années 1980 avec les deux papiers de Diamond et Wright (1988) et de Moreno et Sigel (1988).

<sup>66</sup> L'export des données du SIG vers le logiciel multicritère et réciproquement, se fait généralement par l'utilisation de format ".xls". Puisque la majorité de logiciels prévoit un format d'export vers une feuille de calcul de type EXCEL [ (Molines, 2003)].

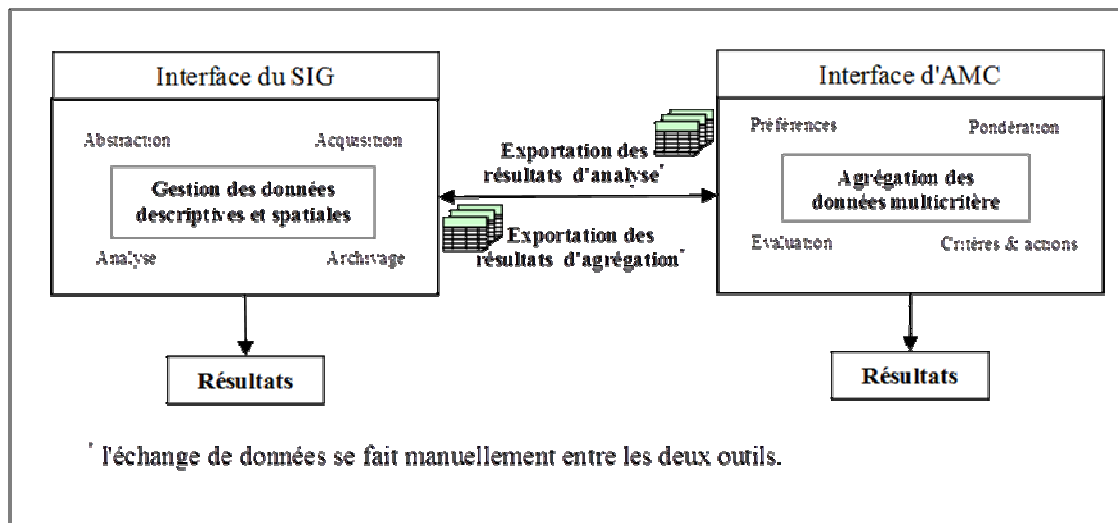


Figure 5-2 Aucune interaction entre les deux outils

### 5.8.1.2 Intégration indirecte

Idem au mode d'intégration précédant à l'exception que le dialogue entre les deux outils, SIG et logiciel d'AMC, se fait à travers un *système intermédiaire* (Figure 5-3). Ce dernier permet de reformuler et re-structurer les données obtenues dans les deux sens afin d'assurer une forme convenable des données pour les deux outils. Les autres paramètres nécessaires à l'analyse sont introduits directement via le logiciel d'AMC. Les résultats de l'analyse multicritère peuvent être visualisés par le logiciel d'AMC ou exportés vers le SIG pour les visualiser ou les stocker ; et, éventuellement, pour d'autres traitements. Dans ce mode d'intégration, les deux logiciels restent complètement indépendants mais les fonctionnalités d'analyse multicritère sont utilisables. Cependant, son emploi reste lourd et l'interactivité complexe rend ce mode d'intégration peu exploitable en pratique (Chakhar, 2006). Ce mode a été adopté surtout par les premiers travaux d'intégration SIG-AMC au début des années 1990 (e.g. Guimarães et al., 1994 ; (Jankowski, 1995)).

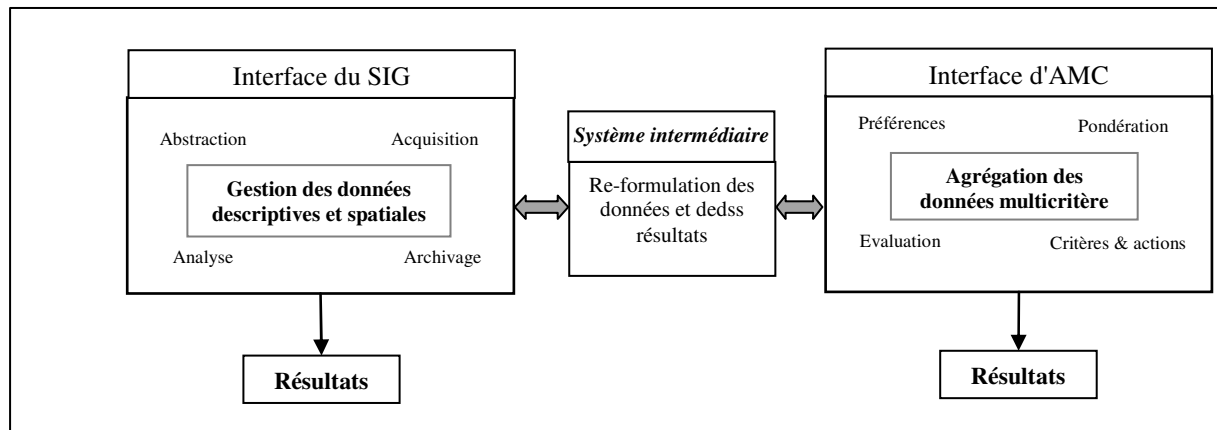


Figure 5-3 Intégration indirecte

### 5.8.1.3 Mise en place d'une plate-forme commune (encastrée)

Ce niveau d'intégration ressemble beaucoup plus au premier, mais, il s'agit ici de mettre en place une interface utilisateur commune (le plus souvent celle du SIG) est utilisée (Figure 5-4). Ainsi, les opérations d'exportation des données entre les deux systèmes sont préprogrammées et se fait toujours via un système intermédiaire mais pour l'utilisateur l'intégration est apparemment réalisée puisque les échanges de données lui sont transparents. Donc il s'agit d'un simple clic, après avoir sélectionné les données nécessaires, pour lancer le traitement<sup>67</sup>. D'après Molines, l'emploi d'une interface unique facilite la fonction multicritère, mais, il subsiste souvent un manque de souplesse dans l'exploitation du fait que les données sont stockées indépendamment (Molines, 2003). Ce mode d'intégration été adopté surtout à la fin des années 1990 (e.g. Bennett et al., 1999 ; Riedl et al., 2000).

### 5.8.1.4 Intégration complète

Une intégration complète traduit à la conception d'un système SIG-AMC avec une interface unique et une base de données commune (Figure 5-5). La base de données contient à la fois les données programmés dans le macro-langage du SIG (e.g. AML d'Arc/Info ou PLL d'Intergraph ou Avenue d'ArcView ou encore Phytion d'ArcGis) ou un langage procédural supporté par le SIG (e.g. comme le SIG ArcGIS d'ESRI qui supporte VBA et JAVA, MapObjects qui supporte VBA) ou un langage de script. En effet, les fonctionnalités d'AMC sont activées directement comme toute autre fonction de base du SIG. Ce mode d'intégration a été utilisé par plusieurs chercheurs : (Eastman, et al., 1994), (Laaribi, et al., 1996), (Matthews et al., 1999), (Chakhar, 2001) et (Hamadouche, 2006). spatiales et les paramètres de l'approche multicritère. Les algorithmes multicritères sont

<sup>67</sup> Le traitement consiste à exporter les données vers le logiciel AMC, à lancer le processus d'analyse, à exploiter les résultats, les stocker, puis les retourner au SIG pour la visualisation et le stockage.

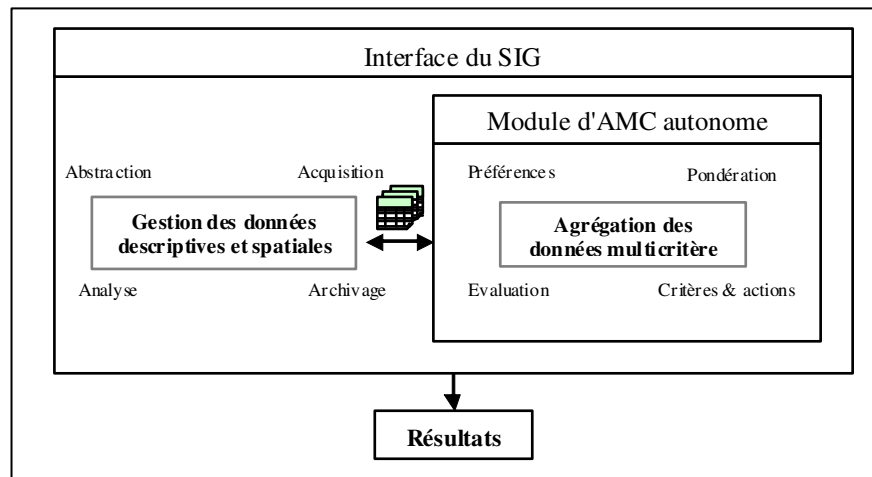


Figure 5-4 Mise en place d'une plate forme commune

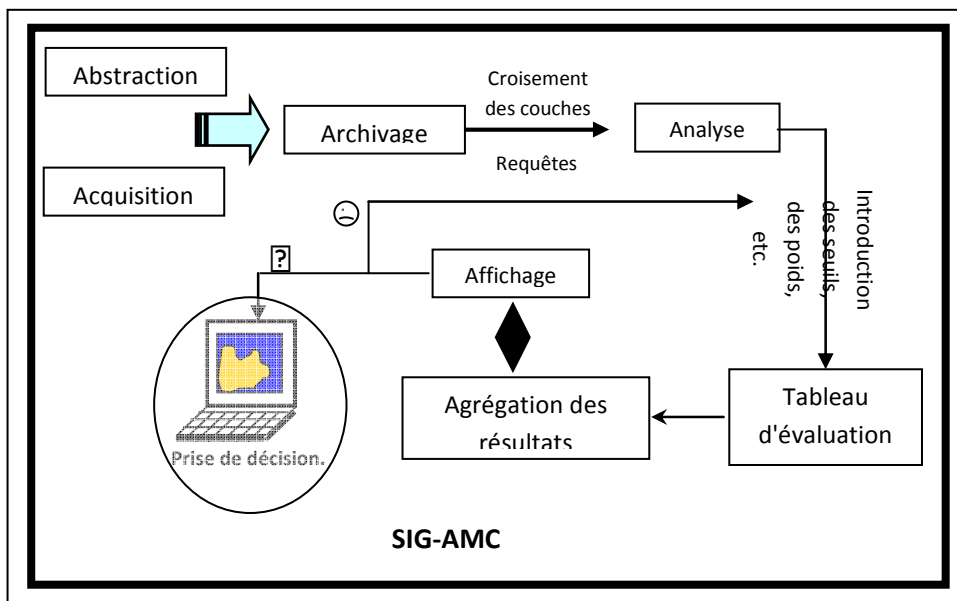


Figure 5-5 Intégration complète

Malczewski (2006) a établi une classification des travaux d'intégration SIG-AMC entre 1990 et 2004 selon le mode d'intégration et la direction d'interaction. Voici les principaux résultats :

- 26.0% d'articles ne donnent aucune indication ni sur le mode d'intégration, ni sur la direction d'interaction ;
- 33.2% d'articles ont opté pour le mode indirect, 29.8% pour le mode encastré et 11.0% pour le mode d'intégration complète ;
- 48% ont opté par une intégration avec le SIG comme logiciel de base, 12.5% avec l'outil d'AMC comme logiciel de base, 9.1% pour une intégration bi-directionnelle et 4.4% pour une intégration dynamique.

### 5.9 Limites des travaux d'intégration SIG-AMC

La plupart de travaux d'intégration SIG-AMC ont opté soit pour l'intégration indirecte (33.2%) soit pour l'intégration encastrée (29.8%). L'intégration complète n'est utilisée que dans 11.0% selon l'étude menée par Malczewski (2006). Cependant, malgré ce peu des travaux d'intégration, l'approche SIG-AMC présente certain nombre de limites (diversité des problèmes à référence spatiale, le choix de la méthode appropriée, complexité des méthodes de surclassement etc.). Voici quelques points en faveur de cette limite :

1. *complexité de l'intégration complète* : L'intégration complète n'est utilisée que dans 11.0% des articles publiés dans ce contexte entre 1990 et 2004, du même que peu de travaux d'intégration complète ont été publiés entre 2005 et 2013. Ce constat peut s'expliquer par les raisons suivantes : (i) simplicité des autres modes d'intégration (pas ou peu d'effort de programmation additionnelle), (ii) l'existence des logiciels commerciaux pour la plupart des méthodes multicritère, (iii) les deux outils sont relativement récents et une intégration complète, qui nécessite un effort considérable, aussi bien conceptuel que technique, n'est motivée que par une reconnaissance approfondie de la part des praticiens.

2. *diversité des problèmes à référence spatiale* : La plupart des travaux d'intégration proposent l'incorporation d'une seule ou d'un nombre limité de(s) méthode(s) d'AMC dans le SIG. Par ailleurs, les problèmes de décision à référence spatiale sont très différents et il n'est pas possible qu'une seule méthode puisse être appliquée à tous les problèmes.

3. *choix de la méthode appropriée* : Dans la plupart des applications de l'AMC, le choix de la méthode à utiliser se fait de manière assez arbitraire : soit que l'analyste est familiarisée avec une méthode particulière, soit qu'elle a été développée de manière *ad hoc* ou encore tout simplement parce qu'elle est disponible sous forme de logiciel (Chakhar, 2006). Cependant, l'importance du choix de la méthode à utiliser dans un problème particulier a beaucoup d'influence sur les décisions prises, du fait que plusieurs auteurs ont soulevé ce point (e.g. Ozernoy, 1992 ; Hobbs et Meier, 1994 ; Guitouni, 1998 ; Cao et Brustein, 1999 ; Guitouni et al., 1999b ; (Laaribi, 2000) ; Lahdelma et al., 2000 ; Lu et al., 2000 ; Caillet, 2003 ; Liu et al., 2003 ; Opricovic et Tzeng, 2006).

4. *complexité des méthodes de surclassement* : Malczewski (2006) a mentionné que 71.3% d'articles ou rapports de recherche sur les travaux d'intégration SIG-AMC concernent des *méthodes discrètes* et 28.7% pour des *méthodes continues*. Parmi ceux adressés aux méthodes discrètes, il comptabilise 58.3% de travaux qui utilisent les méthodes du critère unique de synthèse (pour plus de détails voir chapitre 3) et seulement **4.7%** qui utilisent les méthodes de surclassement de synthèse. Ce faible pourcentage d'utilisation des méthodes de surclassement peut être justifié par : (i) la complexité de ce type de méthodes, (ii) la connaissance préalable des paramètres du processus d'aide à la de décision multicritère est requise voir obligatoire, (iii) la simplicité des méthodes du critère unique de synthèse, (iv) l'analyste n'est pas familiarisée avec les méthodes de surclassement. Néanmoins, les méthodes de surclassement de synthèse sont généralement mieux adaptées aux problèmes de décision sur le territoire à cause de sa prise en compte de tous les paramètres du problème ( (Malczewski, 1999) ; (Joerin, et al., 2000) ; (Joerin, et al., 2001).

### 5.10 Domaines d'application

Malczewski (2006) met aussi l'accent sur une des plus remarquables caractéristiques des approches SIG-AMC qui est le large panel de situations/problèmes décisionnels où elle peut intervenir : gestion territoriale de l'environnement, transport, planification urbaine, gestion des déchets, hydrologie et ressources en eau, agriculture et forêt, géologie, géomorphologie et cartographie.

72,4% des applications se trouvent dans les domaines :

- de la gestion territoriale et environnementale,
- du transport,
- de la planification urbaine,
- de la gestion des déchets,
- de l'hydrologie et des ressources en eau,
- de l'agriculture et la forêt.

27,6% restant concerne les domaines :

- de la géologie et la géomorphologie,
- de la cartographie.

Les problèmes décisionnels traités concernent :

- 30% l'analyse de susceptibilité/ faisabilité (carte d'aptitude),
- 15,4% l'évaluation de scénarios (ressources hydriques),
- 14, 5% la sélection de sites propices,
- 11% la localisation de ressources.

### 5.11 Choix de la méthode

On a montré dans la section précédente l'intérêt de l'utilisation intégrée des SIG avec les méthodes d'analyse multicritère dans des problématiques d'aide à la prise de décision à caractère spatial (gestion de la biodiversité, écologie, gestion du territoire, transport, urbanisme, etc.). En effet, cette démarche assure l'introduction des points de vue d'acteurs multiples (plusieurs scénarios). Par ailleurs, à l'image du territoire qui est composé de milieux très différents, les critères qui interviennent lors des décisions en gestion du territoire sont de natures très diverses.

En conséquence, notre choix s'est porté sur l'intégration des méthodes de surclassement (méthodes d'agrégation partielle), essentiellement parce que leur philosophie nous semble adaptée aux contraintes du problème de gestion du territoire et ceci pour plusieurs raisons :

- Les SIG aident à quantifier ou qualifier les contraintes techniques, économiques, sociales, environnementales et spatiales du projet et à évaluer les relations entre les différents objets qui coexistent dans le même espace géographique ; mais ils ne peuvent pas gérer et synthétiser les différents points de vue des décideurs (leurs opinions sont souvent divergents et parfois conflictuels) ; ce que permet l'analyse multicritère,
- Les critères utilisés par les SIG sont en réalité des contraintes qui sont de nature à transformer l'ensemble de solutions de départ en un ensemble réduit de solutions. Cet ensemble réduit pourra constituer l'ensemble des actions potentielles pour des fins d'évaluation par les méthodes de surclassement. En effet, l'inconvénient majeur des méthodes de surclassement, c'est qu'il faut obligatoirement comparer toutes les actions ensemble pour identifier la solution optimale, ce qui produit un nombre énorme d'opérations de comparaison si le nombre d'actions est élevé.
- Les méthodes de surclassement se caractérisent par quatre problématiques différentes, la raison pour laquelle, l'intégration d'au moins deux méthodes de problématiques différentes peut diminuer le nombre de comparaisons si le nombre d'actions est élevé. Par exemple : utiliser une méthode de tri en premier puis appliquer une méthode de choix ou de classement sur chaque classe de tri.
- Les méthodes multicritères de surclassement permettent de prendre en compte les préférences du décideur<sup>68</sup> et assurent une interactivité avec ce dernier<sup>69</sup>, afin de lui permettre de porter des jugements sur les solutions qui lui sont proposées.
- Ces méthodes multicritères n'ont peut-être pas une très bonne base axiomatique mais elles sont caractérisées par un bon degré de pragmatisme compte tenu des contextes décisionnels fréquemment rencontrés. Elles sont assez riches en concepts nouveaux, comme ceux des problématiques décisionnelles.

---

<sup>68</sup> Ces méthodes permettent d'introduire le seuil de préférence, d'indifférence, et de veto, ainsi que les poids.

<sup>69</sup> A travers les résultats produits, le décideur peut faire un changement sur les différents seuils et les poids.

Cependant, il ne s'agit pas d'affirmer pour autant que ces méthodes sont les seules applicables dans ce contexte. Le choix de la méthode d'analyse multicritère doit revenir au décideur. En conséquence, la contribution la plus importante de la recherche dans ce domaine consiste à offrir au décideur un éventail de méthodes d'aide à la décision.

### **5.12 Approche proposée**

Souvent, la réalisation d'une politique relie plusieurs intervenants (groupe de décideurs), où chaque membre a son propre point de vue selon ses intérêts, nécessite l'utilisation des méthodes capables de traiter ce caractère, en prenant en considération tous les aspects composant le problème.

Dans le domaine de gestion du territoire, un des problèmes les plus difficiles est le choix ou toute fois le classement des sites répondant à des critères spatiaux et non spatiaux précis. C'est un choix stratégique dont les répercussions sont très importantes à plusieurs niveaux. Le choix de la méthode adoptée pour faciliter la prise de décision dans ces situations est donc primordial et doit être soigneusement effectué.

En effet, l'utilisation des SIG pour les problèmes à caractère spatial a constitué une révolution dans le domaine de gestion territoriale grâce à la puissance d'analyse spatiale qu'ils offrent. Cependant, les méthodes d'analyse multicritères sont devenues des processus complémentaires pour l'agrégation des résultats fournis par les SIG.

Dans ce contexte d'aide à la prise de décisions, les SIG sont contraints à gérer un nombre impressionnant d'informations relatives à une zone spatiale précise et qui sont très diversifiées afin de répondre aux besoins des différents utilisateurs/décideurs. Les développements apportés aux SIG étaient essentiellement dirigés vers l'accroissement de la puissance de gestion et d'analyse de ces informations. Peu sont les recherches qui ont abordé le côté modèle et modélisation des données spatiales pour des fins d'aide à la décision.

Notre travail se situe dans cet axe de recherche ; la contribution au développement de nouvelles méthodes pour aider les responsables à prendre la décision la plus adéquate dans des problèmes décisionnels à référence spatiale. Notre intérêt s'est porté essentiellement sur l'élargissement des possibilités que peut offrir un SIG pour ce type de problèmes à travers une intégration de nouveaux outils notamment celles des approches multicritères (Figure 5-6).

Par conséquent, le modèle développé est essentiellement dédié à l'agrégation des informations composant un problème décisionnel à caractère spatial et ce de manière cohérente et structurée. Cette agrégation d'informations est primordiale en vue d'en tirer un classement, un choix ou un tri en intégrant des outils adéquats tels que les méthodes multicritères d'aide à la décision.

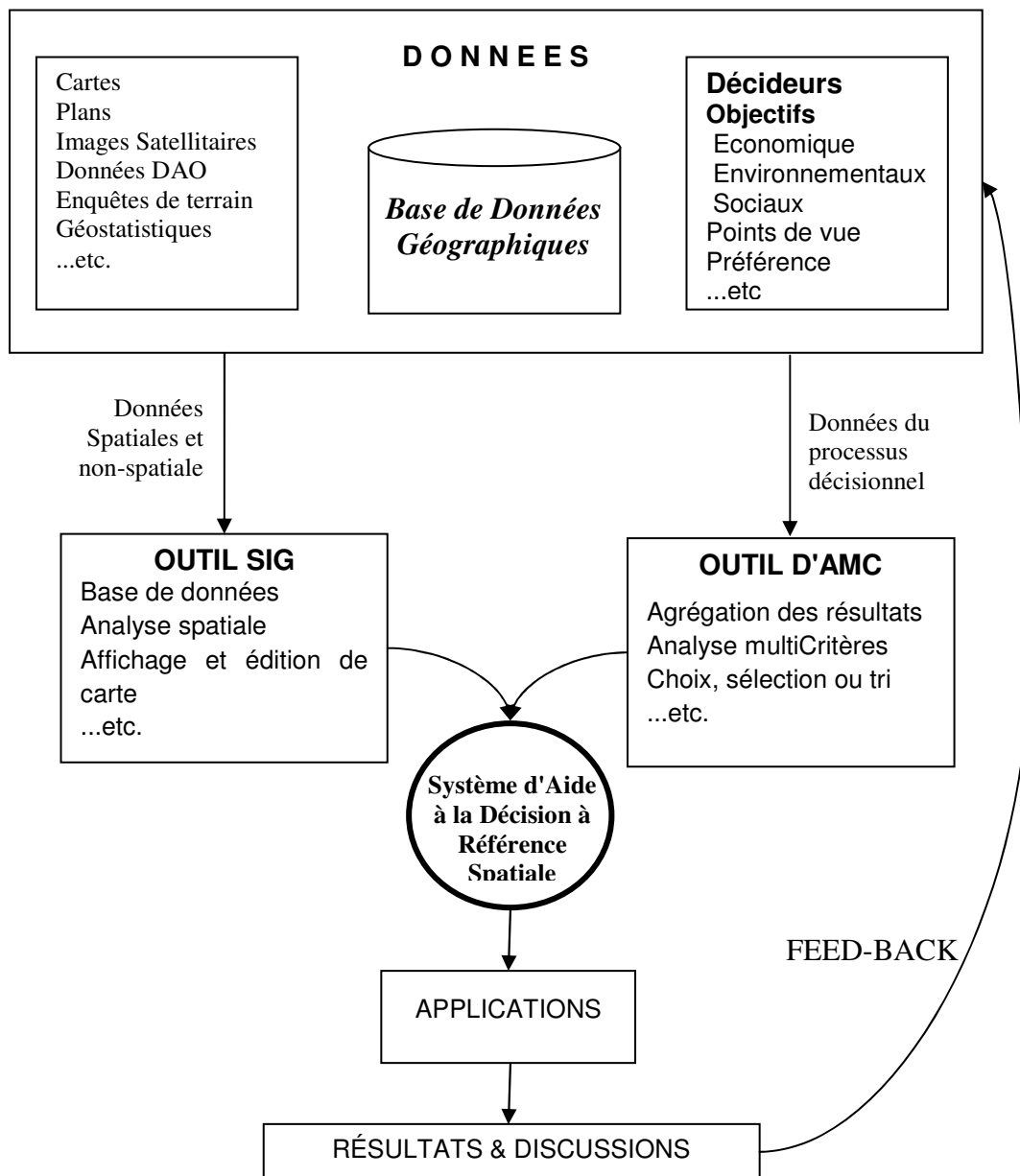


Figure 5-6 Démarche de prise de décision avec l'approche développée

### 5.13 Conclusion

Ce chapitre est destiné essentiellement à la présentation des différents niveaux d'intégration SIG-AMC ainsi qu'à citer les intérêts de cette alliance dans le contexte des problèmes décisionnels à caractère spatial. Nous avons également établi une liste de quelques limites concernant ces travaux et nous avons cité quelques points qui affirment la nécessité de la complémentarité des deux outils ; SIG et AMC.

Malgré certaines lacunes qui concernent essentiellement le support dans le choix des méthodes et des procédures, les potentialités d'intégration entre SIG et AMC, illustrée par le nombre croissant de travaux publiés depuis 1990, sont aujourd'hui de plus en plus explorées.

Le SIG par sa capacité de stockage, de gestion, d'analyse, de modélisation et d'affichage de données à référence spatiale, mais aussi par ses possibilités d'intégration des méthodes d'AMC, se présente comme l'outil le plus adéquat pour appréhender les problèmes de décision à référence spatiale (Chakhar, 2006).

Les méthodes d'analyse offertes par le couplage SIG-AMC favorisent également des connexions parmi des domaines disciplinaires diversifiés mais souvent complémentaires, tels que l'aménagement du territoire, la gestion de l'environnement, la géologie, la géotechnique et l'hydrogéologie : ces méthodes se prêtent à la résolution d'une multitude de problèmes spatiaux et constituent souvent une des phases de la mise en œuvre d'un projet territorial.

Dans le chapitre suivant, nous proposons des solutions conceptuelles, méthodologiques et informatiques permettant de répondre à ces limites.

## SIG-AMC, outil pour la préservation de la biodiversité au parc culturel de l'Ahaggar

### Sommaire

6.1	Introduction .....	156
6.2	Spécificités .....	157
6.3	Approches méthodologiques .....	158
6.4	SIG-AMC et la référence spatiale du problème .....	159
6.5	SIG appliqués à la conservation de la biodiversité.....	159
6.6	Description du prototype.....	160
6.7	Fonctionnement .....	164
6.8	Étapes de déroulement du processus de traitement .....	169
6.9	Application à la préservation de la biodiversité.....	175
6.10	Résultats et discussions.....	182
6.11	Analyse de sensibilité .....	189
6.12	Conclusion .....	190

### 6.1 Introduction

La biodiversité est la diversité naturelle des organismes vivants. Elle s'apprécie en considérant la diversité des écosystèmes, des espèces, des populations et celle des gènes dans l'espace et dans le temps, ainsi que l'organisation et la répartition des écosystèmes aux échelles biogéographiques. Le maintien de la biodiversité est une composante essentielle du développement durable.

Ce chapitre est dédié spécialement pour une description du système proposé (SADARS) appliqué à la problématique de préservation de la biodiversité au niveau du parc culturel de l'Ahaggar (Algérie). Son implémentation se focalise sur l'intégration des méthodes multicritères de type surclassement avec les fonctionnalités des Système d'Information Géographique. Ce prototype nommé "SADARS" est développé sous l'environnement d'ArcView 3.2 d'ESRI.

La sélection des sites potentiellement exposés aux risques de dégradation des écosystèmes présente un moyen efficace, parmi plusieurs, pour la préservation de la biodiversité. En effet, cette démarche est basée sur l'évaluation des différents sites sur un ensemble étudié de causes de dégradation appelées critères dans cet optique.

## 6.2 Spécificités

Devant la problématique, d'une part, de gestion du patrimoine naturel et culturel de l'espace Saharien Algérien, connaissant actuellement de très graves dysfonctionnements (Le Houerou, 1995) ; 1968 ; (Mainguet, 1990) et, d'autre part, l'absence d'une approche cohérente capable de mobiliser toutes les compétences et les ressources pour les besoins du développement, l'initiative d'entreprendre cette recherche.

En effet, le parc culturel de l'Ahaggar, occupe le 1/7 de la superficie de l'Algérie, est caractérisé par (Mederbal, 2006) :

- un patrimoine naturel et culturel méconnu, à repérer et à explorer ;
- une biodiversité riche mais fragilisée et menacée, à conserver ;
- des écosystèmes subissant des variations climatiques imprévisibles dans le temps et dans l'espace, à gérer ;
- Et, globalement, un héritage, tant culturel que naturel, à préserver et transmettre pour les générations futures.

Pour ce, la gestion d'une aire protégée (le cas de l'Ahaggar), de par sa complexité et son caractère multisectoriel, fait appel à des masses importantes de données qui, pour la plupart, sont géographiquement localisées, notamment :

- Données topographiques (cartes d'état major, anciennes cartes, croquis, MNT) ;
- Données cadastrales (anciens plans de grande échelle, limites administratives, données attributives) ;
- Images satellitaires (images satellitaires de très haute résolution spatiale, fusion de données de multi sources, spatio-cartes) ;
- Travaux in situ et sorties sur le terrain (vérification, complètement, échantillonnage, validation, suivi spatio-temporel) ;
- Cartes et données thématiques divers (géologie, pédologie, hydrologie, vulnérabilité naturelle, aménagement du territoire, protection de la nature, communication, transport, patrimoine, archéologie) ;
- Données et renseignements socio-économiques (civilisations et périodes, peuplements et répartitions, mode de vie, coutumes et traditions, activités) ;

- Faune et flore (peuplements forestiers, chasse, couloirs de faune, surfaces utilisables par la faune, potentialités, sensibilité à la désertification).

Comment gérer cette masse d'informations ? Toute la finalité est de garantir :

- Une pérennité de la donnée ;
- Un accès facile et une consultation rapide des données aux seins des structures concernées ;
- Une analyse spatiale et requêtes géoréférencées de grande précision ;
- Des éditions cartographiques de bonne qualité pour les administrations concernées ;
- Une aide à la décision et à la gestion des différentes actions d'aménagement, de sauvegarde et de protection de l'héritage naturel et culturel.

### 6.3 Approches méthodologiques

La géomatique regroupe l'ensemble des outils et méthodes permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques, elle consiste donc en au moins trois activités distinctes : collecte, traitement et diffusion des données géographiques.

Dans le cadre de cette recherche le Système d'Information Géographique (SIG) présente l'outil principal autour duquel s'agrafe une multitude de fonctionnalités. On peut comprendre le SIG comme :

- Un outil informatique permettant d'effectuer des tâches diverses, sur des données à référence spatiale.
- Un ensemble informatique constitué de hardware, software et de méthodes destin à assurer la saisie, l'exploitation, l'analyse, et la représentation de données géoréférencées pour résoudre un problème de planification et de management.
- Un « Ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à fournir et extraire commodément des synthèses utiles à la décision »
- Un « ensemble organisé globalement comprenant des éléments (données, équipements, procédures, ressources humaines) qui se coordonnent, à partir d'une référence spatiale commune, pour concourir à un résultat. »

Par conséquent, le SIG est un outil très puissant, et peut être utilisé pour effectuer une variété d'analyses quantitatives. Il est la « colle » qui tient toutes les données ensemble, et qui permet l'affichage, l'analyse et de mesure de différentes informations provenant de différentes sources. SIG peuvent être utilisés pour effectuer des mesures de superficie, de tester différentes hypothèses théoriques, et aussi de développer des modèles utiles pour tenter de trouver de nouvelles ressources basée sur l'analyse statistique des relations entre les données environnementales et culturelles. Technologies de visualisation et de simulation ont progressé rapidement, et d'étendre notre capacité de visualiser et de comprendre le domaine de la recherche, même si nous ne sommes pas en mesure d'être là en personne.

#### 6.4 SIG-AMC et la référence spatiale du problème

Les problèmes décisionnels à référence spatiale se rapportent généralement à des systèmes hétérogènes où interagissent de nombreux facteurs différents. La maîtrise de la complexité de ces problèmes nécessite l'utilisation de méthodes, de techniques et d'outils d'analyses puissants, qui doivent non seulement gérer mais aussi analyser des données à référence spatiale d'origine et de nature diverses.

Les systèmes d'information géographique (SIG) fournissent des outils puissants pour la manipulation, la gestion et l'analyse de données à référence spatiale, mais il leur manque les mécanismes permettant d'intégrer les préférences du décideur et d'effectuer un choix dans un contexte d'évaluation d'objectifs et de critères conflictuels (Molines, 2003). Ces restrictions, en termes de modélisation des préférences et de procédures de choix, font que la portée du SIG, en tant qu'outil d'aide à la décision, soit actuellement limitée. L'Analyse MultiCritère (AMC) est adaptée à l'évaluation des différents impacts, quantitatifs ou qualitatifs, relatifs à des projets d'envergures. Elle est également appropriée aux processus décisionnels correspondant à des choix collectifs où les points de vue sont contradictoires. C'est pourquoi l'intégration des SIG et d'analyse multicritère constitue une voie privilégiée incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables outils d'aide à la décision à référence spatiale (Laaribi, 2000).

En effet, l'utilisation d'un SIG contribue à la récolte des informations, la production d'informations dérivées et la manipulation d'un important volume de données aidant à considérer le problème dans toute sa complexité et à décrire les différentes variantes (Goodchild, et al., 1996); (Yashon, et al., 2011). A travers ses fonctions d'analyse spatiale, il contribue à l'évaluation des variantes selon les critères fixés par le (es) décideur (s).

Quant aux méthodes d'aide à la décision, elles permettent de faire la synthèse de ces informations pour en faciliter l'interprétation en vue d'une prise de décision (Roy, 1985).

Parfois, il est quasiment difficile d'affecter directement des importances aux critères, mais il est possible de ranger les critères dans un sens croissant de préférence, où bien, de les comparer entre eux. Pour cette raison, il existe des méthodes qui consistent à déterminer des poids relatifs aux critères, en introduisant simplement<sup>70</sup> des informations subjectives relatives à ces derniers. En effet, la méthode AHP de Saaty est décrite dans l'annexe 11 (Didier, et al., 2002).

#### 6.5 SIG appliqués à la conservation de la biodiversité

Les capacités des systèmes d'information géographique (SIG) dans le traitement des aspects spatiaux de la conservation ont amplifié son utilisation dans l'évaluation multicritère pour la sélection des zones potentielles de conservation. Ceci est parce que la plupart des critères de planification de la conservation sont de nature spatiale. A titre d'exemple, les SIG ont été employées pour prévoir la distribution des parents sauvages de l'haricot en analysant les conditions climatiques qui favorisent sa croissance (Jones, et al., 1997), pour la planification de

---

<sup>70</sup> Il s'agit d'une comparaison entre chaque paire pour l'ensemble des critères.

la conservation des secteurs potentiellement en danger en employant des rapports entre les facteurs environnementaux et la distribution des oiseaux (John, et al., 1997). Dans le cadre du suivi de la biodiversité, Salem (2003) a proposé une étude de cas d'une approche basée sur le SIG appliqué aux espèces arboricoles en voie de disparition en Egypte (Salem, 2003).

Aussi, les techniques du SIG ont de valeur inestimable comme outil rapide pour la modélisation d'habitat d'espèces même dans cas de manque de données (Rubino, et al., 2003). Smallwood (Smallwood, et al., 1998) a utilisé une approche d'évaluation d'indicateur par les techniques du SIG pour évaluer l'habitat de plusieurs espèces. Le choix des secteurs de conservation dans la plupart de ces études est basé seulement sur des résultats scientifiques où un processus décisionnel rationnel est assumé.

Le SIG est un outil très puissant, il peut être utilisé pour une variété d'analyses quantitatives. Il est la "colle" qui maintient l'ensemble des données et permet d'afficher, d'analyser et de mesurer les informations provenant de différentes sources<sup>71</sup> (Goodchild, et al., 1996).

Un SIG peut être utilisé pour effectuer des mesures, de tester différentes hypothèses théoriques, et de développer également des modèles utiles pour essayer de trouver de nouvelles ressources basée sur l'analyse statistique en relation avec les données environnementales et culturelles.

L'intégration des données de télédétection dans des SIG à un potentiel significatif dans des applications à l'échelle régionale de gestion d'héritage culturel et environnemental. Aujourd'hui, divers chercheurs utilisent ces outils. Certaines de ces applications incluent l'endroit de nouveaux dispositifs tels que les emplacements archéologiques, le réseau routier, extraction automatisée de réseau d'hydrologie, indice de végétation et l'utilisation du sol.

## 6.6 Description du prototype

Le système d'aide à la décision à référence spatiale (SADARS) est un système intégrant les méthodes d'analyse multicritère dans un système d'information géographique, tout en restant<sup>72</sup> dans l'environnement du logiciel SIG. La Figure 6-1 montre les principales composantes du système et les relations entre elles :

La première fonctionnalité « abstraction » revient à concevoir un modèle qui organise les données par composantes géométriques et par attributs descriptifs, ainsi qu'à établir des relations entre les objets. L'alimente du projet SIG en données nécessaires comprend d'une part, la forme des objets géographiques et d'autre part leurs attributs et relations selon un modèle conceptuel de données (cette étape est assurée par la fonctionnalité « acquisition »). Ensuite les données seront stockées numériquement (couches d'information, base de données géographique). A ce stade, le SIG est capable de répondre à toute sorte de requêtes qui concerne, bien sûr, les données

<sup>71</sup> La traduction du paragraphe : "GIS is a very powerful tool, it can be used for a variety of quantitative analysis. It is the "glue" that holds all the data together and allows display, analyze and measure the information from different sources".

<sup>72</sup> ici, on a appliqué le troisième niveau d'intégration (les outils, d'AMC et de SIG, sont dans un même système).

stockées. Les données peuvent être visualisées sous forme des couches superposables, des tables de données attributaires, des diagrammes, production automatique des cartes,...etc.

### 6.6.1 Logiciel utilisé

Ce prototype a été développé entièrement sous le logiciel SIG ArcView version 3.2 d'ESRI. Le choix de ce logiciel est justifié par les caractéristiques suivantes :

- L'expérience personnelle pour sa manipulation et beaucoup plus la partie développement ;
- L'existence des travaux personnels développés sous cet environnement ;
- Un logiciel Open source ;
- Une interface conviviale pour la représentation des différentes données, et sa souplesse pour la gestion des données géographiques sur PC ;
- La richesse des outils d'interrogation des données (requêtes), la multitude des opérations d'analyse spatiale et l'affichage des données sous forme de carte, tableaux ou de graphes ;
- Permettant de créer la topologie automatiquement et la personnalisation de son interface (menus, bouton, outils,...) est très simple.

Comme la plupart des logiciels SIG, ArcView<sup>73</sup> 3.2 dispose d'un langage de programmation orientée objet (OO) appelé "Avenue", pour permettre la personnalisation des différentes applications.

La Figure 6-1 regroupe l'ensemble des composantes du prototype développé. Il s'agit du module d'AMC qui regroupe des algorithmes assurant le traitement des données du processus décisionnel. En outre, un module dédié à la manipulation (introduction, mise à jour, affichage) des données sur la biodiversité dans le territoire d'étude. A travers les fonctions d'acquisition et d'archivage, ce prototype est capable d'intégrer des données de sources multiples et de type différents.

---

<sup>73</sup> ArcView 3.2 est un produit de la société américaine Environmental Systems Research Institute (ESRI).

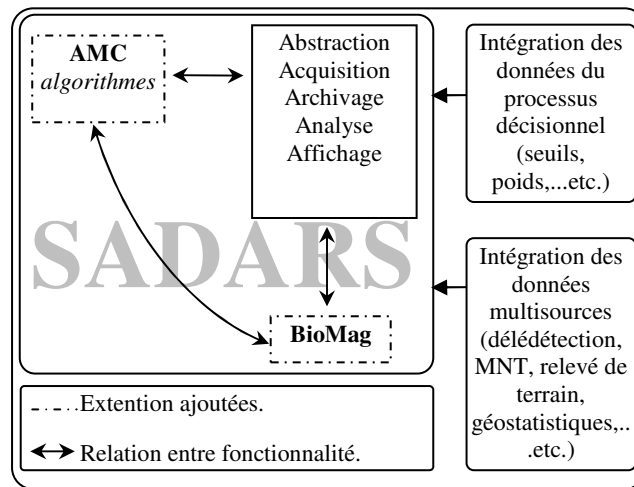


Figure 6-1 Le Système d'Aide à la Décision A Référence Spatiale


### 6.6.2 De nouvelles fonctionnalités :

Afin d'assurer les tâches qui répondent aux questions de la problématique présentée au début de ce chapitre, nous avons ajouté de nouvelles fonctionnalités au logiciel SIG utilisé. Ces dernières ont été intégrées sous forme de menus tout on garantit un dialogue facile entre l'opérateur (qui n'est pas souvent spécialisé) et la machine ainsi que la simplicité d'effectuer un nombre important de tâches qui répondent aux problématiques traitées.

#### 6.6.2.1 Fonctionnalité « AMC » :

Cette solution vise à intégrer les algorithmes des méthodes d'analyse multicritère dans l'environnement du SIG (intégration complète). D'autres fonctions sont nécessaires pour alimenter le projet décisionnel en informations requises, notamment les préférences des décideurs (différents seuils, critère, poids, évaluations, les choix proposés,...etc.). Une procédure de pondération des critères basée la méthode AHP de Saaty est également ajoutée au prototype. Le cheminement des opérations d'intégration de données est illustré dans la section 6.8.

Ainsi, une description des différentes composantes du menu "Analyse Multicritère" est présentée dans le tableau suivant :

Menu	Description
	<p>Choisir directement la méthode de surclassement</p> <p>Choisir la méthode de surclassement par le choix de la problématique</p> <hr/> <p>Définir, évaluer et modifier les actions de référence.</p> <p>Choisir les actions potentielles par une sélection SQL.</p> <p>Choisir les actions potentielles directement sur un thème.</p> <p>Évaluer et modifier les actions potentielles.</p> <hr/> <p>Insérer, modifier les critères.</p> <p>Affecter les poids aux critères en se basant sur l'échelle de Saaty.</p> <p>Résultats obtenus concernant les poids.</p> <hr/> <p>Module de segmentation des objets linéaires.</p> <hr/> <p>Lancement des calculs.</p> <hr/> <p>Afficher les informations sur le projet en cours.</p> <p>Fermer le projet courant.</p> <hr/> <p>Afficher l'assistant d'aide sur les composantes du prototype.</p> <p>Afficher la fenêtre « A propos de »</p>

**Tableau 6-1** Composantes du module d'AMC

### 6.6.2.2 Fonctionnalité « Gestion Biodiversité » :

Récemment, il y a eu une révolution dans la disponibilité de l'information et dans le développement et l'application des outils pour gérer, contrôler et manipuler les différents types d'information. L'information requise pour la gestion de la biodiversité se multiplie jour après jour.

Les bases de données dédiées à la gestion des données sur la biodiversité doivent tenir en compte de la dimension spatiale de l'information géographique. En effet, les bases de données géographiques sont capables de prévoir l'emplacement de nouvelles populations des espèces en voie de disparition en impliquant des indicateurs bien étudiés. Les SIG jouent un rôle primordial comme outil efficace et nécessaire à la gestion environnementale, avec une plus grande raison pour l'usage durable des ressources naturelles, de la conservation et de la surveillance de la biodiversité.

A sa première version, la nouvelle fonctionnalité "Gestion biodiversité" assure l'affichage des différentes données concernant le parc de l'Ahaggar et du Tassili ainsi que leurs caractéristiques

morphologiques, hydrologique d'une part, gérer le patrimoine naturel et culturel, recenser la richesse biologique des deux parcs, d'autre part. Tout en favorisant l'édition des cartes (suivie de la faune, santé de la flore, spatialisation des données sur la flore et la faune,...etc.), des graphes (inventaires, statistiques,...etc.), des schémas. En effet, à travers ces fonctions, on peut manipuler le contenu de la base de données environnementale. Le tableau suivant illustre la description des composantes de cette fonctionnalité :

Gestion Biodiversité	Ferme
Limite du parc	Limite des parcs selon les décrets de leur création.
Informations	Informations générales sur les parcs culturels.
Communes	Découpage administratif.
MNT	Modèle numérique de terrain et ces diverses applications.
Hydrographie	Réseau hydrographique les différentes sources d'eau.
Patrimoine Naturel	Cartes thématiques de végétation, les types de sol etc.
Patrimoine Culturel	Sites archéologiques, monuments, gravures etc.
Faune	Enregistrement des informations sur la présence de la faune.
Flore	Ce qui concerne la végétation.

**Tableau 6-2** Composantes du module GesBiod

## 6.7 Fonctionnement

Le SADARS est équipé par une interface conviviale (utilise un langage simple) qui présente un bon guide aux utilisateurs non spécialistes. Ce système peut être décrit en trois niveaux :

- Niveau de données,
- Niveau de traitement,
- Niveau d'interface.

### 6.7.1 Niveau de données

Le système est alimenté par l'ensemble des données nécessaires pour répondre aux besoins de l'utilisateur tant pour la dimension géographique dont toute sa diversité, et pour le processus décisionnel, d'une part, par les méthodes d'analyse multicritère, et d'autre part, par le SIG. A cet effet, on trouve :

### • La base de données géographique

Conjointement aux méthodologies d'analyse développées, l'élaboration d'une base de données constitue un vecteur essentiel d'intégration des données et de restitution des résultats.

Pour une bonne gestion de l'information, les bases de données sont des outils efficaces pour la saisie, le stockage, l'interrogation à travers un Système de gestion de base de données (SGBD) afin de pouvoir bien structurer les informations.

Les décideurs, les techniciens et autres acteurs du développement sont intéressés par son utilité en tant qu'outil efficace et nécessaire à la gestion et la maîtrise des ressources naturelles existantes.

Donc pour la gestion de l'information en relation avec le processus décisionnel ou gestion environnementale, notre base de données géographique (BDG) va contribuer à répondre aux attentes des utilisateurs potentiels en regroupant entre autres les informations suivantes :

- Un fond de carte géographique de l'Algérie aux échelles 1/200000, 1/1000000,
- Modèle Numérique de Terrain (MNT),
- Travaux de terrain (collecte d'échantillonnage, coordonnées GPS),
- La localisation de toutes les agglomérations ainsi que les informations associées,
- Le tracé du réseau routier avec son état actuel (route nationale, piste),
- L'occupation du sol,
- Les sites visités durant la sortie effectuée,
- Le réseau d'hydrographie (oued, cours d'eau, source, gueltates,...etc.),
- Les sites historiques et archéologiques,
- Les fichiers images associés à des entités précises de la base de données,
- Les stations d'observation,
- La liste des échantillons prises avec un maximum d'information favorisant le suivi de la biodiversité,
- La possibilité d'introduire ou d'enregistrer un nouveau type d'espèce ou d'effectuer des futures modifications,
- Les informations au profit du processus de décision,
- La liste des alternatives utilisées pour l'approche multicritère,
- La liste des critères (indicateurs de biodiversité) et ses paramètres subjectifs,
- L'évaluation des alternatives vis-à-vis les critères choisis,
- Le stockage des résultats obtenus pour une future édition ou utilisation.

La Figure 6-2 présente le modèle conceptuel de données (MCD) qui regroupe les entités utilisées dans la BDG et exprime les relations existantes entre elles. Le dictionnaire de données des entités est présenté dans l'annexe 12.

**• Les données géographiques****- Le niveau géométrique**

Les informations sont stockées sous des couches transparentes (afin de permettre leurs superpositions). Les primitives géométriques sont des objets mathématiques élémentaires. Dans une représentation 2D, on trouve trois primitives : point, ligne, polygone (Figure 6-3)

**- Le niveau sémantique**

Toutes les informations textuelles, qualitatives ou quantitatives sont stockées dans une base de données. Informations ayant une valeur descriptive et se rattachent à une géométrie. Notamment, il existe des données descriptives mais sans aucune relation à des objets géométriques.

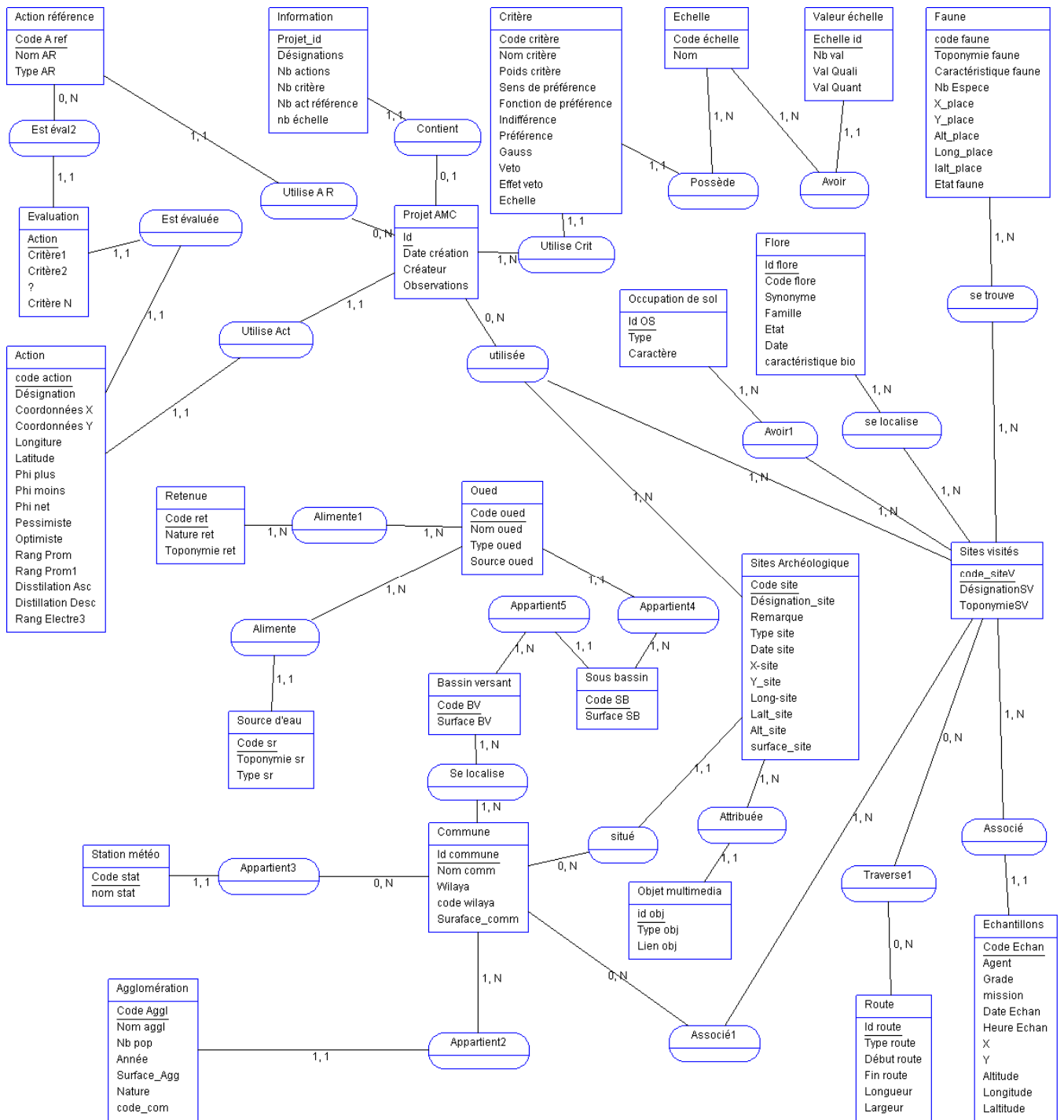


Figure 6-2 Modèle conceptuel de la BD décisionnelle

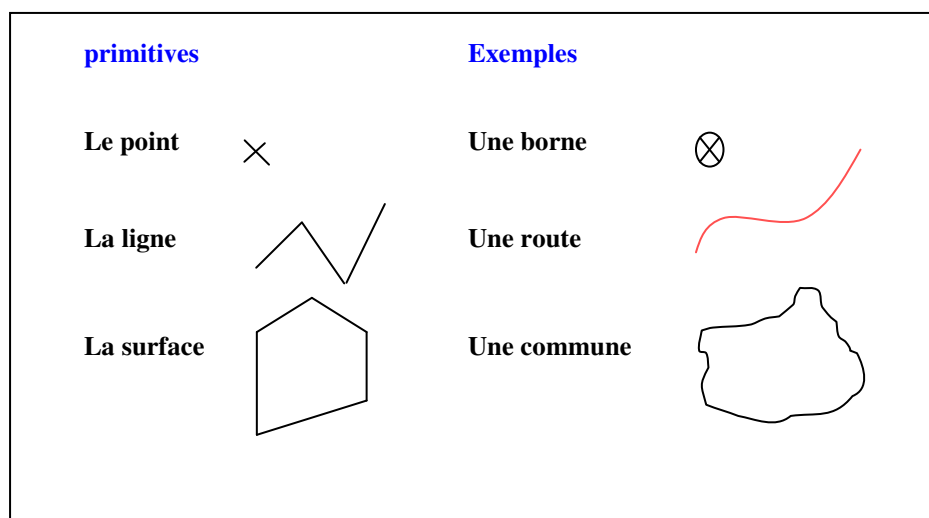


Figure 6-3 Primitives de base dans la représentation des données

### 6.7.2 Niveau de traitement

C'est à ce niveau que tous les traitements seront effectués. Il est composé de plusieurs parties :

#### • Base des scripts

Cette partie représente le cœur du SADARS, elle regroupe plus de cent scripts<sup>74</sup> qui seront exécutés sous ArcView. Le rôle de ces scripts est :

- Le stockage de nouveaux critères dans la base décisionnelle ;
- La suppression ou modification des critères ;
- Automatiser un nombre assez important des tâches (l'extraction des données de la base de données géographiques, affichage des couches d'informations, création des états,...etc.) ;
- Les modèles des différentes méthodes d'AMC sont programmés sous Avenue ;
- L'affichage final des résultats et l'insertion dans la BDG.

#### • Module de visualisation

Ce module prendra en charge les différentes opérations, nécessaires à la manipulation des cartes géographiques. Cette partie assure, également, les fonctions suivantes :

<sup>74</sup> Des routines écrites en langage de programmation Avenue du logiciel SIG (ArcView3.2).

- Fonctions de sélection : par un simple pointage sur l'objet géographique, le système nous donne l'ensemble des informations disponibles ;
- Fonctions d'analyse thématique ;
- Fonctions d'impression des cartes, graphes, états,...etc.

### • Module de rapport

Afin d'assurer la transparence du système, de telle façon que le décideur puisse voir comment l'information brute est manipulée, ce module permet de générer et imprimer un rapport d'évaluation concernant le projet en question selon un modèle prédéfini. Ce rapport décrit le problème (informations sur le projet, données de dépôts), les actions, les critères, le tableau d'évaluation.

En outre, le système assure aux utilisateurs la consultation des différents résultats obtenus lors de l'exécution (indices de concordance, crédibilité,...etc.) qui servent comme support de base de la phase de l'analyse de sensibilité des entrées/sorties.

### • Gestionnaire de diagramme

Ce gestionnaire est dédié, d'une part, d'assurer un mode de représentation simple, facile à comprendre, des différentes informations introduites et leurs relations (évaluation des actions par critère, pondération des critères,...etc.). Par conséquent, il sert à faciliter l'interprétation des différents résultats.

### 6.7.3 Niveau d'interface

Étant donné que le système est basé sur une grande interactivité avec l'utilisateur, le module de gestion de dialogue sera énormément sollicité et son interaction avec les modules de traitements n'est pas moins importante. Une liste exhaustive des interfaces utilisées dans SADARS afin d'assurer une manipulation simple et facile des différentes composantes est présentée dans l'annexe 13.

## 6.8 Étapes de déroulement du processus de traitement

L'utilisation de cette fonctionnalité nécessite de suivre de l'organigramme ci-après. L'agrégation des préférences requiert la saisie des paramètres subjectifs selon une méthode multicritère choisie afin d'évaluer les actions potentielles et affiche les résultats obtenus.

La Figure 6-4 présente les différentes phases à suivre pour alimenter le système en informations nécessaires (Mendas, et al., 2007) (Hamadouche, et al., 2010).

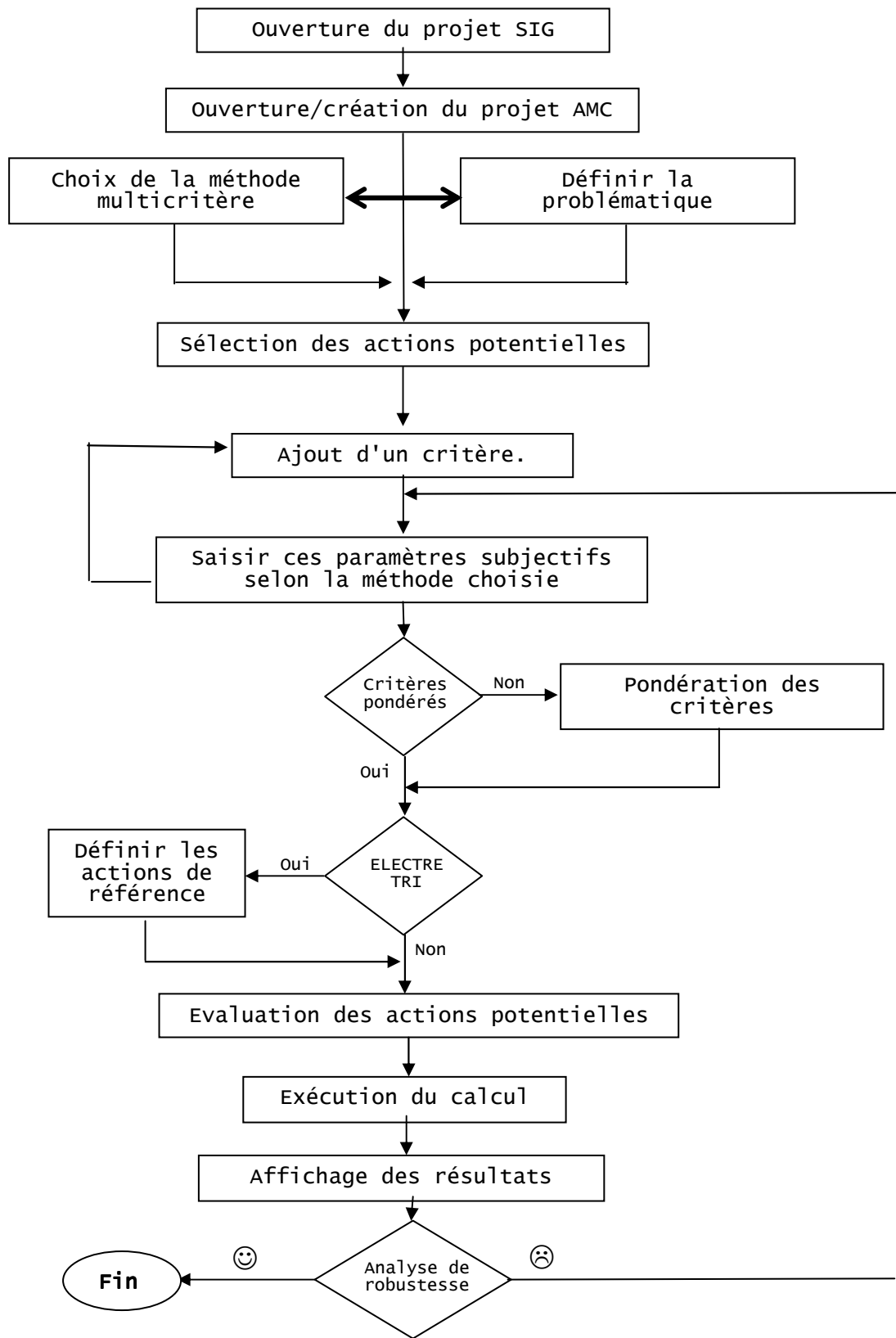


Figure 6-4 Étapes de traitement sous SADARS

### • L'ouverture du projet SIG

Le projet SIG représente ici l'ensemble des données géographiques (couches d'informations) et sémantiques (base de données). En effet, l'ouverture de ce dernier se fait manuellement. Après le lancement d'ArcView, une fenêtre apparaît à l'écran pour permettre la sélection d'une tâche parmi trois<sup>75</sup>. Dans notre cas, il suffit de choisir l'ouverture d'un projet existant et le sélectionner. L'ouverture du projet "**Intégration3.apr**" va déclencher automatiquement l'exécution du script de démarrage "**PR\_MPOpen.ave**".

L'interface d'ArcView a été modifiée ; afin de permettre, surtout aux utilisateurs non spécialistes, une bonne manipulation des données (saisie, modification, suppression,...etc.). A ce niveau, l'utilisateur doit créer dans le projet SIG un projet d'analyse multicritère ou simplement ouvrir un projet existant.

Le projet d'AMC regroupe ici :

- Un ensemble fini des tables (tabEva.dbf, pondération.dbf, paramètres.dbf,...etc.) ;
- Ensemble des scripts<sup>76</sup> (PR\_CreateTab.ave, PR\_DéfinirProjet.ave, PR\_EchelleOpen.ave, ...etc.) ;
- Ensemble de boîtes de dialogue, et des diagrammes pour visualiser des résultats.

### • Choix de la méthode multicritère

Dans notre travail on s'est contenté juste d'implémenter des méthodes de surclassement qui répondent à deux problématiques : la méthode PROMETHEE I et II, Electre III pour le rangement (classement) et Electre Tri pour l'affectation. Le système offre deux possibilités pour choisir la méthode :

- Choisir directement la méthode, ou bien ;
- Par le choix de la problématique, le système active automatiquement les méthodes qui conviennent.

### Pourquoi les méthodes de surclassement ?

En ce qui concerne l'analyse multicritère, nous avons opté pour l'intégration de quelques méthodes de surclassement ainsi qu'une méthode de pondération. Dans ce sens, nous avons choisi les méthodes Electre Tri<sup>77</sup>, Electre III et Prométhée (I, II) ainsi que la méthode de **pondération de Saaty**. Ce choix est basé sur les constats suivants :

- ces méthodes sont du type agrégation partielle,
- elles sont relativement faciles à programmer,

<sup>75</sup> Les trois tâches proposées au démarrage d'ArcView sont ; créer un nouveau projet vide ou avec une nouvelle vue ou carrément, ouvrir un projet existant.

<sup>76</sup> Les noms des scripts se commencent par le préfix (**PR\_**) afin de les regrouper.

<sup>77</sup> Pour plus de détail, nous renvoyons le lecteur au chapitre 3.

- le volume du calcul est assez réduit (Electre Tri),
- elles fournissent des résultats faciles à exploiter,
- elles offrent une certaine convivialité à l'utilisateur,
- la méthode Saaty est moins complexe et beaucoup moins restrictive par rapport aux autres méthodes de pondération.

#### • Sélection des actions potentielles

Les actions potentielles sont sélectionnées en utilisant une requête<sup>78</sup> SQL, ou bien on sélectionne directement des objets géographiques par la souris ou encore, on sélectionne entièrement le thème dans la légende. Le système crée automatiquement une nouvelle couche, qui contient les actions sélectionnées, associée à une nouvelle table regroupant les informations sur les actions.

#### • Définition des critères

Une boîte de dialogue écrite en langage simple, est met à la disposition de l'utilisateur afin de le permettre d'effectuer les opérations suivantes :

- Introduire de nouveaux critères quantitatifs ou qualitatifs (nom, code, paramètres subjectifs) ;
- Modifier des critères existants ;
- Supprimer des critères ;
- Connaître d'autres informations sur les critères (par exemple le nombre des critères).

L'interface se change automatiquement, cela dépend de la méthode choisie ; la méthode PROMETHEE nécessite d'autres informations par rapport aux méthodes Electre (ex. : fonction de repense du critère).

Les informations sur les critères sont stockées dans la table (*TabCrit*); chaque critère est représenté par une ligne et chaque colonne représente une information. Cette table est représentée comme suit :

---

<sup>78</sup> L'utilisateur est libre de fixer les paramètres de sa requête, mais il est limité par le contenu de la table qui correspond au thème (couche) en question.

Nom du critère	Code du critère	Poids du critère	Sens de préférence	Fonction de préférence	Indifférence	Préférence	Gauss	Veto	Echelle
Critère1	Crit01	2.000	Min	Usuel	-	-	-	-	Echelle3
Critère2	Crit02	24.000	Max	Usuel	-	-	-	-	Echelle2
Critère3	Crit03	29.000	Min	Usuel	-	-	-	-	Echelle3
Critère4	Crit04	4.000	Max	Usuel	-	-	-	-	Numérique
Critère5	Crit05	1.000	Max	Usuel	-	-	-	-	Echelle3
Critère6	Crit06	1.000	Max	Usuel	-	-	-	-	Numérique

**Tableau 6-3** Critères et ses informations subjectives

### • Pondération des critères

La pondération des critères est très importante, elle s'avère nécessaire dans un problème multicritère. Pour cette raison, nous avons ajouté un module, basé sur l'échelle de SAATY, destiné à la détermination des poids pour l'ensemble des critères selon la préférence affectée au critère par rapport aux autres. En revanche, l'utilisateur peut affecter directement des poids sans passer par ce module<sup>79</sup>.

### • Evaluation des actions

A ce niveau, chaque action doit être évaluée par rapport à l'ensemble des critères. Pour cela, il est mis à la disposition de l'utilisateur une interface qui contient la liste des actions et les critères. Il ne reste qu'à sélectionner l'action et affecter une évaluation par critère. Les évaluations introduites sont stockées dans table dont chaque ligne représente une action et l'ensemble des colonnes<sup>80</sup> représente les critères comme suit :

Actions	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Action1	20.000	6.000	0.000	1.000	0.000	4.000
Action2	6.000	4.000	0.000	2.000	20.000	5.000
Action3	4.000	20.000	20.000	3.000	6.000	3.000
Action4	0.000	6.000	6.000	4.000	0.000	7.000

**Tableau 6-4** Exemple d'évaluation de quatre actions % à six critères

<sup>79</sup> L'utilisateur a deux possibilités : soit il affecte un poids au critère au moment de son déclaration, ou bien, utilise le module de pondération.

<sup>80</sup> Sauf la première colonne qui représente les actions potentielles.

On note ici que dans cet exemple, les deux critères "C4, C6" sont quantitatifs. Pour les autres critères, les valeurs qui se figurent dans le tableau représentent les valeurs quantitatives qui correspondent aux valeurs qualitatives introduites par l'utilisateur. Si remplace les valeurs du tableau précédant par les valeurs qualitatives correspondantes on obtient :

Actions	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Action1	Très bon	Bon	Très bon	1.000	Médiocre	4.000
Action2	Bon	Moyen	Bon	2.000	Très bon	5.000
Action3	Moyen	Très bon	Moyen	3.000	Moyen	3.000
Action4	Médiocre	Bon	Médiocre	4.000	Médiocre	7.000

**Tableau 6-5** Valeurs qualitatives et quantitatives

Dans cet exemple, on a utilisé deux échelles qualitatives :

Non de l'échelle	Valeurs qualitatives	Valeurs quantitatives
Echelle 2	Très bon; bon; Moyen	20; 6; 4
Echelle 3	Très bon; bon; Moyen; Médiocre	20; 6; 4; 0

**Tableau 6-6** Échelles utilisées

### Remarque

Pour les critères qualitatifs, une liste déroulante est apparue, qui contient l'ensemble des valeurs qualitatives attribuées dans la phase de déclaration des critères.

#### • Actions de référence

Dans le cas d'utilisation de la méthode ELECTRE TRI, il est nécessaire de déterminer les actions de référence ; qui servent comme limites des catégories, chaque catégorie est bornée par deux actions de référence (chapitre 5). Les actions de référence doivent être, eux même, évaluées par rapport à l'ensemble des critères, de telle sorte que ces actions doivent partitionner l'espace des critères en catégories.

NomProf	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Profile01	Bon	Moyen	Très bon	62.000	Médiocre	4.000
Profile02	Moyen	Bon	Moyen	50.000	Très bon	6.000

**Tableau 6-7** Évaluation des actions de référence utilisées

## • Exécution

Un simple click sur le sous-menu **Exécution**<sup>81</sup>, enclenche le processus de calculs.

## • Visualisation des résultats

Après l'apparition du message qui indique que les calculs sont terminés, de nouveaux menus sont activés afin de permettre la consultation des résultats (indices de concordance, de discordance, de crédibilité, diagramme de classification ou d'affectation des actions...etc.). En plus, les résultats de classement ou d'affectation sont représentés visuellement dans les couches d'informations ajoutées précédemment au projet.

## 6.9 Application à la préservation de la biodiversité

### 6.9.1 Zone d'étude

Le parc culturel de l'Ahaggar est situé à l'extrême sud de l'Algérie sur une superficie de 3.800 ha (Figure 6-5). Il représente la plus grande zone protégée en Algérie. Il offre un éventail de richesses : archéologiques (peintures et gravures rupestres), naturelles (faune et flore remarquables), paléoclimats (gueltas humides) et des paysages fascinants.

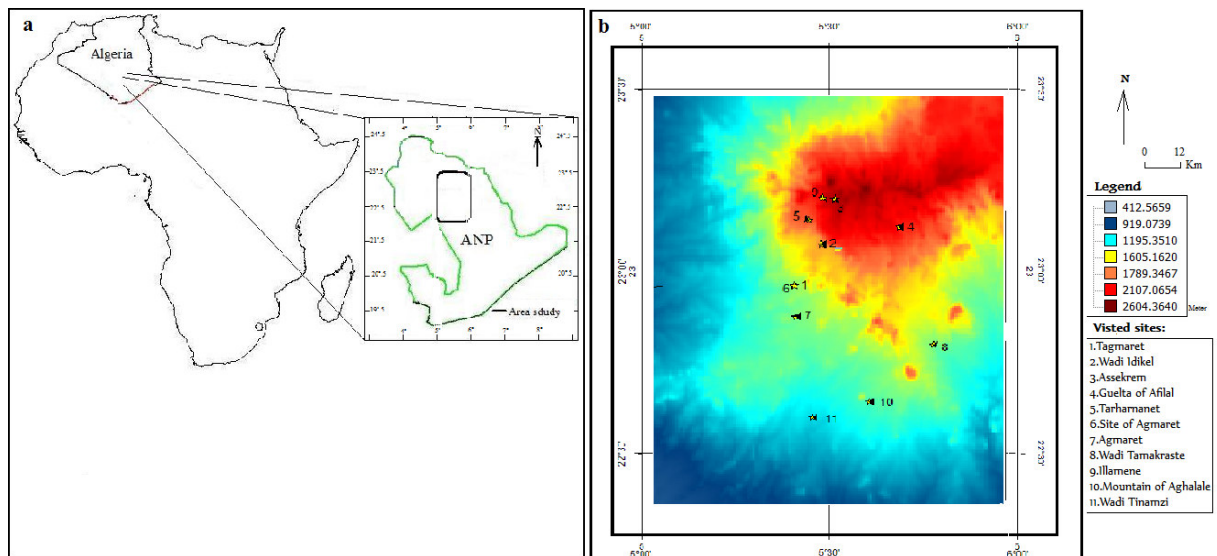


Figure 6-5 Sites d'étude

<sup>81</sup> Un raccourci au clavier "Ctrl+X " déclenche aussi les calculs.

### 6.9.2 Spécificités environnementales et biodiversité

Les formes de reliefs, combinées à la présence de l'eau, permanente ou intermittente, favorisent le développement de communautés végétales éphémérophytes particulières associées aux forêts galeries, aux steppes ou entretiennent les formations relictuelles d'origine méditerranéenne.

Le parc culturel de l'Ahaggar appartient au Sahara central qui correspond suivant les auteurs au massif de l'Ahaggar, fortement montagneux (la Tefedest, la Taessa, Le Mouyidir) où l'altitude varie entre 1.500 et 3.000m.

Ces massifs montagneux s'ouvrent sur des vallées, sur des Ergs ou sur des oasis et, "dès que les reliefs, mêmes faibles surgissent, l'arbre renaît, bénéficiant peut être, en plus de l'abri naturel qu'ils représentent, d'un inféro-flux peu profond" (Barry, et al., 1972); 1973).

Comme spécificité climatique, au regard des précipitations moyennes annuelles, il semble qu'elles n'ont aucune portée dans ces régions. "Elles sont si rares et si irrégulières que les moyennes n'ont aucune signification" (Barry, et al., 1972); 1973).

Les températures moyennes annuelles avoisine 24.5°C pour les Tassilis (moyenne de Illizi au Nord-Ouest du plateau Tassilien et Djanet au Sud-Est). Plus à l'Ouest, Tamanrasset, station de l'Ahaggar, la température moyenne est de 30°C. Janvier étant le mois plus froid 5.17°C à Tamanrasset et Juin le mois le plus chaud avec des maxima pouvant atteindre 30.5°C à Tamanrasset.

### 6.9.3 Préservation de la biodiversité

Le parc de l'Ahaggar se caractérise par un patrimoine naturel et culturel important (Hamadouche, et al., 2011). Ainsi, les opérations menées par l'office du parc sont souvent confrontés à des situations de choix ou de sélection, avec des points de vue contradictoires (critères multiples). Par exemple, quels sont les emplacements les plus favorisés à une conservation urgente ? (le choix des sites en risque de dégradation de la biodiversité : faune, flore, endroit d'intérêt) (Galois, et al., 2007). L'état critique de la biodiversité dans cette zone nous incite à définir, à déterminer et à reconnaître les lieux et les milieux, support de communautés végétales susceptibles d'entretenir les formes bio-diversifiées actuelles et les mêmes formes à préserver ou à améliorer pour un futur certain.

Dans cette optique, nous proposons une approche multicritères pour répondre à des questions précises :

- quels sont les sites les plus menacés ? et comment ?
- quel site devrait être préservé d'abord ? et pourquoi ?

En parallèle, Les zones protégées constituent une part essentielle des programmes de conservation, particulièrement en ce qui concerne les habitats sensibles. Cependant, à elles seules ces zones ne suffisent pas à assurer la conservation de tout le spectre de la biodiversité. Pour que les zones protégées portent leurs fruits, il convient de soigneusement choisir les sites soient tout

en s'assurant que différents types d'écosystèmes y sont bien représentés. Bien souvent, certaines zones géographiques sont cataloguées comme étant protégées malgré une gestion trop peu planifiée, contrôlée et évaluée, et des budgets insuffisants pour la sécurité et la mise en application des lois. En effet, l'approche intégrée SIG-AMC est capable de fournir une information pertinente pour répondre à ces types de problèmes.

#### **6.9.4 Base de données dédiée à la gestion de la biodiversité**

Ces efforts de recherche s'inscrivent à la discipline de la conservation biologique, qui prévoit désormais un soutien aux approches de recherche scientifique pour soutenir un système mondial complexe de gestion et protection des aires protégées et des parcs nationaux.

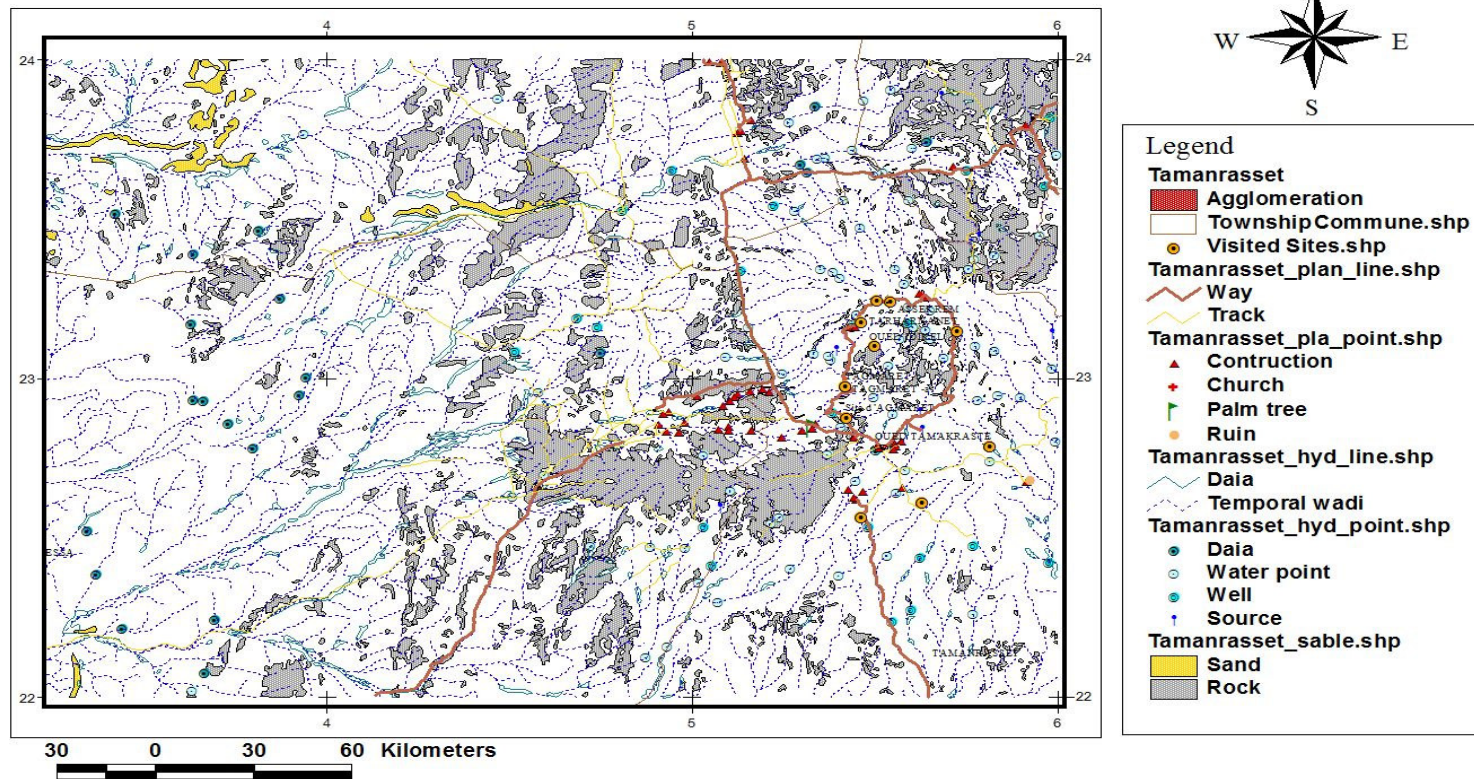
La meilleure stratégie de conservation devrait intégrer, de manière complémentaire, les méthodes disponibles et d'utiliser efficacement des informations existantes. Cette information est nécessaire pour élaborer des modèles de stratégies pour les différentes espèces. Les utilisateurs potentiels ont besoin d'informations de la biodiversité dans le contexte de leurs spécialités et les questions sur lesquelles ils doivent se concentrer. Ils veulent des options soutenues par des documents, des cartes et des avis d'experts.

Ces données seront sous la forme de documents texte, des données tabulaires (sémantiques), bases de données spatiales (emplacements, coordonnées), des fichiers d'image (images satellites, MNT), et autres..., et incluront des données topographiques, environnementales, administratives, socio-économiques, les espèces, et d'autres thèmes. Le rôle du système d'information géographique (SIG) est d'intégrer et d'analyser toutes ces formes de données à des fins d'évaluation et de surveillance.

La présente étude montre l'intérêt d'utiliser les données multi-sources dans une approche intégrée SIG-AMC pour organiser, synthétiser et analyser spatialement les différentes informations sous forme de couches superposables. Ainsi, l'objectif principal est d'améliorer le mode d'évaluation et le suivi durable de la biodiversité afin d'assurer sa préservation.

Les données ont été stockées en fonction de leurs types (spatiales ou attributaires). Les entités géographiques ont été numérisées, éditées et rendus utilisables en tant que couches d'information (Figure 6-6, Figure 6-7) sous le logiciel SIG. Les données attributaires ont été structurées selon un modèle physique de données (MPD) dans des tables associées à la base de données géographique.

## Land cover map -Region of Tamanrasset, Algeria-



**Figure 6-6** Occupation du sol - région de Tamanrasset-

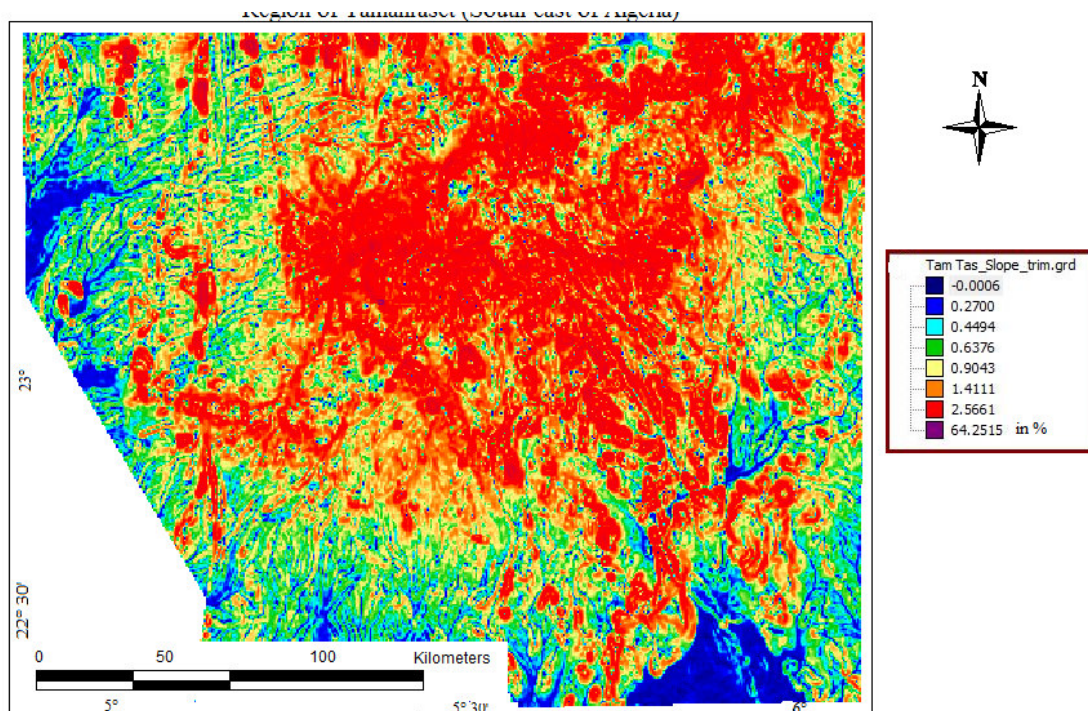


Figure 6-7 la carte des pentes - région de Tamanrasset -

### 6.9.5 Actions potentielles

Les alternatives (sites étudiés) et les critères ont été sélectionnés en collaboration avec un ensemble de participants, en particulier, les différents services de l'office du parc culturel de l'Ahaggar, la station de recherche sur la protection des zones arides de Tamanrasset et des chercheurs de l'Université Houari Boumediene (Alger) qui ont travaillé sur la zone de l'Ahaggar (la flore, les écosystèmes et la biodiversité).

Nous avons retenu onze (11) sites qui sont présentés dans la Figure 6-5 : Tagmaret –a-, Tagmaret –b-, Oued Idikel, Assekrem, Gueltat d'Afilal, Tarharnanet, Site d'Agmaret, Oued Tamakraste, Montagne d'Illamene, Montagne d'Aghalale, Oued Tinamzi.

Ces actions sont stockés dans une couche d'information appelée " sites visités" ; toutes les actions seront évaluées selon les neuf (9) critères retenus.

### 6.9.6 Éventuelles causes de dégradation (critères)

Neuf critères, qui représentent les causes de dégradation, ont été utilisés pour sélectionner les sites les plus exposés au risque de dégradation. Ces critères sont les suivants : la présence d'agglomération, la distance à un réseau routier, la nature du sol, la présence d'une source d'eau, la présence de la végétation, la qualité de la végétation, l'altitude, la nature de pente et la présence de la flore. Ces critères ont été pondérés en utilisant le module de pondération du SADARS basé sur la méthode AHP de Saaty (Tableau 6-8).

La dernière colonne dans le Tableau 6-8, présente la source de données utilisées pour évaluer chaque alternative, par exemple, l'utilisation de la couche d'agglomération pour définir le nombre d'agglomération avoisine du site d'étude (superposition de couche de sites visités avec la couche d'agglomération en combinant avec une opération de buffer). Pour l'altitude et la nature de la pente, nous avons utilisé le modèle numérique de terrain (30 mètres de résolution) et la grille de la pente. Dans le Tableau 6-9, nous illustrons paramètres subjectifs de critères avec l'évaluation des actions potentielles et les actions de référence en fonction des préférences des décideurs.

Selon le type de critère ; qualitative ou quantitative, les actions potentielles ont été évaluées selon plusieurs échelles qui sont présentés dans le Tableau 6-10.

Code	Critères	Poids	Évaluation à partie de...
C1	Présence d'agglomération	14	La couche d'agglomération
C2	Distance au réseau routier	11	La couche du réseau routier
C3	Nature de sol	8	La couche de l'occupation du sol
C4	Présence de source d'eau	10	La couche d'Hydrologie
C5	Présence de végétation	9	La couche de végétation
C6	Qualité de végétation	12	La table (BD) de végétation
C7	Valeur d'altitude	9	Le modèle numérique de terrain
C8	Nature de pente	11	La couche des pentes
C9	Présence de la faune	9	La couche de la faune

**Tableau 6-8** Liste des critères avec éventuellement les poids associés

	Name	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Alternative 1	Tagmaret –a-	2	3	1	1	7	3	1432	7	2
Alternative 2	Oued Idikel	1	5.75	7	3	4	1	1741	3	2
Alternative 3	Assekrem	4	4	7	1	1	1	2330	7	4
Alternative 4	Gueltat d'Afilal	4	2	5	5	7	5	2030	3	4
Alternative 5	Tarharnanet	4	5	7	3	4	1	1879	7	4
Alternative 6	Tagmaret –b-	2	3.75	7	5	4	1	1432	3	4
Alternative 7	Site d'Agmaret	4	2.33	5	5	7	5	1397	1	8
Alternative 8	Oued Tamakraste	4	5.07	5	5	7	3	1369	7	8
Alternative 9	Mont d'Illamen	2	2.23	7	1	1	3	2144	7	4
Alternative 10	Montagne d' Aghallal	1	2.04	5	3	4	3	1337	7	4
Alternative 11	Oued Tinamzi	2	1.95	1	5	7	3	1146	3	8
Action de référence 1	-	4	5	5	5	7	3	2000	3	4
Action de référence 2	-	2	2	1	3	1	5	1500	1	2
Seuil de Préférence	-	1.5	2	2	2.5	3	1.5	150	0.5	2
Seuil de d'Indifférence	-	1	1	1	1	1	1	50	1	1
Seuil de Veto	-	5	-	-	10	-	-	-	-	-

**Tableau 6-9** Paramètres subjectives du processus décisionnel et l'évaluation des alternatives et les actions de référence

Crit. (échelle)	C1 (agglo)	C3 (nature)	C4 (source)	C5 (land use)	C6 (flore)	C8 (pente)	C9 (faune)							
Valeurs correspondantes	Important	7	rocheux	7	puits	8	important	7	bonne	5	importante	7	importante	8
	moyen	4	modéré	5	source d'eau	5	moyen	4	moyenne	3	moyenne	3	moyenne	4
	faible	2	sableux	1	autre	3	faible	1	dégradée	1	faible	1	faible	2
	absent	1			absent	1							absente	1

**Tableau 6-10** Codification des critères qualitatifs

Avec : C1 à C2 représentent les critères cités dans la table 2, pour chaque critère nous assigné des valeurs numérique qui servent à l'évaluation des différentes actions (à l'exception aux critères C2 et C7 qui sont de nature quantitative). Par exemple, pour le critère C1, nous avons utilisé quatre valeurs (7,4,2,1) correspondent respectivement aux valeurs qualitatives suivantes: important, moyen, faible et absent.

## 6.10 Résultats et discussions

Les critères requis dans le cas de la présente étude sont souvent de natures hétérogènes et sont mesurés à des échelles différentes. Les méthodes d'analyse multicritères de surclassement Electre tri, Electre III et Prométhée ont été intégrés dans l'environnement du logiciel ArcView 3.2 d'ESRI afin d'identifier les sites les plus menacés par la dégradation de la biodiversité. Ainsi, l'approche développée prend en considération l'ensemble des paramètres subjectifs des décideurs. Cependant, l'intégration des méthodes de surclassement de problématiques différentes est l'une des particularités du prototype développé qui permet de mesurer le degré de cohérence des résultats. Son utilisation, dans le cas présenté, vise à affecter les alternatives potentielles à des catégories prédéfinies d'une part, et de classer les mêmes alternatives en termes de dangerosité de la dégradation des écosystèmes tout en intégrant les préférences des décideurs.

L'utilisation de la méthode Electre Tri nécessite d'introduire les trois seuils ; préférence, indifférence et veto (trois dernières lignes du tableau 3), tandis que l'utilisation de la fonction linéaire de préférence pour le cas de Prométhée n'implique pas l'introduction du seuil de veto. Les principaux résultats issus des quatre approches sont présentés dans le Tableau 6-11.

La méthode Electre tri offre deux types de procédures : optimisme présentée dans la Figure 6-8 et pessimisme présentée dans la Figure 6-9. Les différentes comparaisons entre les actions de référence (b1, b2) et les alternatives potentielles affectent les choix disponibles (sites) en trois catégories. Tout en prenant en considération les caractéristiques de la méthode Electre tri, les trois catégories (C1, C2 et C3) représentent respectivement (sites menacés, sites modérés et sites sécurisés) pour la procédure optimiste. Quoique pour la procédure pessimiste, ils représentent respectivement (sites sécurisés, sites modérés et sites menacés).

Les sites affectés à la première catégorie pour la procédure optimistes représentent des zones qui nécessitent l'application des solutions urgentes de préservation (e.g. : le site d'Agmaret, oued Tinamzi), alors que la dernière catégorie de la procédure pessimistes représente également les sites menacés (e.g. : le site d'Agmaret, oued Tinamzi, Agmaret -b-). La méthode Electre III a classé les sites : comme des sites exposés à un risque de dégradation. Tandis que pour les résultats de la méthode Prométhée, présentés dans la Figure 6-11, les actions classées en première représentent les sites souffrent une dégradation importante vis-à-vis les critères retenus et que par conséquent sont favorisés par l'application d'un plan urgent de préservation (e.g. : le site d'Agmaret, oued Tinamzi, oued Tamakraste). Les résultats obtenus peuvent être considérés comme cohérents puisque les solutions retenues par les trois méthodes de surclassement qui se caractérisent par de problématiques différentes (problématique de tri et de classement) montrent que les mêmes sites (site d'Agmaret, oued Tinamzi) ont besoin d'une stratégie de préservation. Les décideurs seront en mesure de penser à des solutions appropriées afin de préserver la richesse biologique dans ces régions en se basant sur les évaluations des sites présentées dans le Tableau 6-9 afin de déterminer les causes de cette dégradation.

Code	Alternatives	Electre Tri		Electre III	Prométhée	
		Pessimiste	Optimiste.	Rang	Prométhée I	Prométhée II
Alter.1	Tagmaret –a-	c1	c3	11	11	11
Alter.2	Wadi Idikel	c2	c3	8	9	9
Alter.3	Assekrem	c2	c3	4	5	5
Alter.4	Guelta of Afilal	c1	c3	7	7	7
Alter.5	Tarharnanet	c2	c3	5	4	4
Alter.6	Tagmaret –b-	c3	c3	6	5	6
Alter.7	Site of Agmaret	c3	c1	3	2	2
Alter.8	Wadi Tamakraste	c1	c3	2	2	3
Alter.9	Illamen	c2	c3	10	10	10
Alter.10	Mount. Of Aghallal	c1	c3	9	8	8
Alter.11	Wadi Tinamzi	c3	c1	1	1	1

**Tableau 6-11** Affectation des sites par les procédures optimiste et pessimiste, et le classement par les méthodes Prométhée (I et II) et Electre III

Avec : c1 (première catégorie), c2 (deuxième catégorie), c3 (troisième catégorie)

Le même rang dans la case promethee I s'égale à une incomparabilité.

Au cours de notre sortie de terrain sur les sites étudiés, nous avons constaté que la plupart des sites menacés (selon les résultats obtenus) souffrent d'une dégradation considérable de la flore, de la faune et des écosystèmes. Après plusieurs discussions avec des experts de l'Office du Parc et les gens que nous avons rencontrés (chercheurs), les causes de cette situation critique peuvent être récapitulées dans ces points :

(1) Le déboisement qui appauvrit la forêt puisque le bois des arbres est souvent utilisé par la population pour le chauffage, l'ameublement, l'artisanat,...etc. (2) Le surpâturage, quand un nombre important de chèvres par exemple, sont placés dans une surface réduite. (3) L'utilisation non contrôlée d'animaux ou de végétaux à des fins alimentaires, économiques, pharmaceutiques ou autres...(4) La chasse abusive et mal contrôlée et qui n'obéisse pas à des périodes étudiées respectant l'état physiologique de l'espèce. (5) Différents types de pollution contribuent à la disparition de la flore et de la faune. Par exemple, animaux qui se nourrissent de sacs en plastique éparpillés (généralement la population et les touristes sont à la cause de cette pollution par manque de sensibilisation), meurent ou étouffent parce qu'ils ont de la difficulté à avaler leur nourriture. (6) La désertification qui est due pour l'essentiel à des activités humaines non durables, aux facteurs climatiques naturels et notamment à l'apparition de périodes sèches liées à des anomalies thermiques. (7) La pauvreté est l'un des causes aggravantes de la désertification du fait que les pauvres sont souvent privés d'accès aux meilleures terres et dépendent des zones et des ressources les plus fragiles. Ainsi leur pauvreté ne leur laisse parfois d'autres choix que de tirer ce qu'ils peuvent des maigres ressources à leur disposition même si cela entraîne une

dégradation des sols. (8) La sécheresse qui est caractérisée par l'insuffisance des pluies annuelles, elle provoque un assèchement des cours d'eau, des gueltas, des sources d'eau, le niveau des nappes superficielles et souterraines baisse, la rareté de l'eau pour la consommation humaine et animale, une réduction des ressources végétales et animales, une réduction des parcours et des cultures, et par conséquence, les sols sont décapés et érodés.

Les résultats de cette étude reflètent bien la réalité puisque l'approche adoptée ici prend en compte un nombre important de critères en même temps pour agréger les préférences des décideurs tout en basant sur des informations pertinentes, à jour et multi-sources stockées dans une base de données géographiques. Par conséquent, ces résultats sont cohérents, presque les mêmes résultats issues de deux problématiques différentes, ce qui augmentent le degré de confiance des décideurs d'une part, et affirment l'efficacité du modèle SADARS d'autre part. Les autorités concernées pourront réfléchir à des solutions appropriées afin de réduire la dégradation des sites sélectionnés.

L'analyse de la zone d'étude menée dans le présent travail vise à identifier les sites les plus menacés dans le parc culturel de l'Ahaggar qui est parmi les aires protégées, exposées à la dégradation de sa richesse biologique; et fournit des informations de base qui peut être utilisé pour la surveillance, l'évaluation et la gestion durable de ses ressources naturelles et culturelles. Cette analyse a également révélé qu'il ya des lacunes dans le réseau d'aires protégées, e.g. : site d'Agmaret, oued Tinamzi, oued Tamakraste. Il pourrait alors être approprié de considérer ces lacunes dans la formation d'un plan d'action stratégique national pour la conservation de la biodiversité.

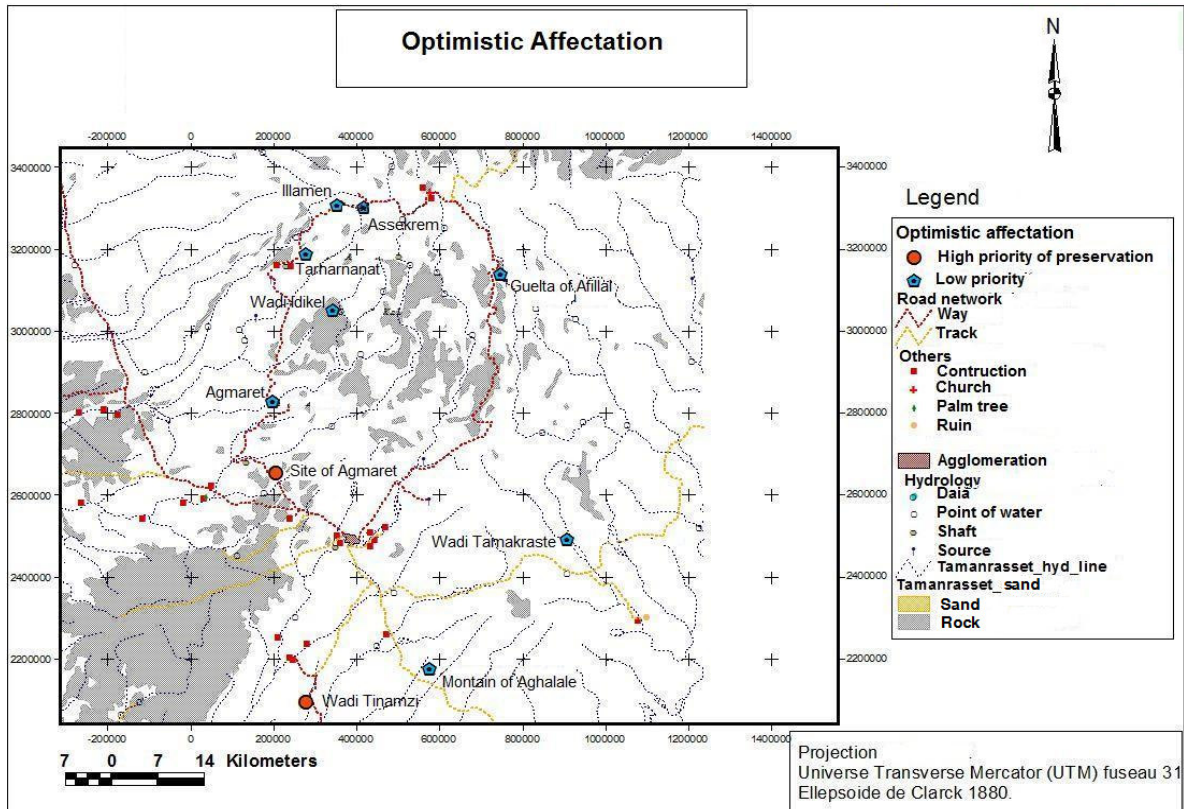


Figure 6-8 Affectation optimiste -Electre Tri

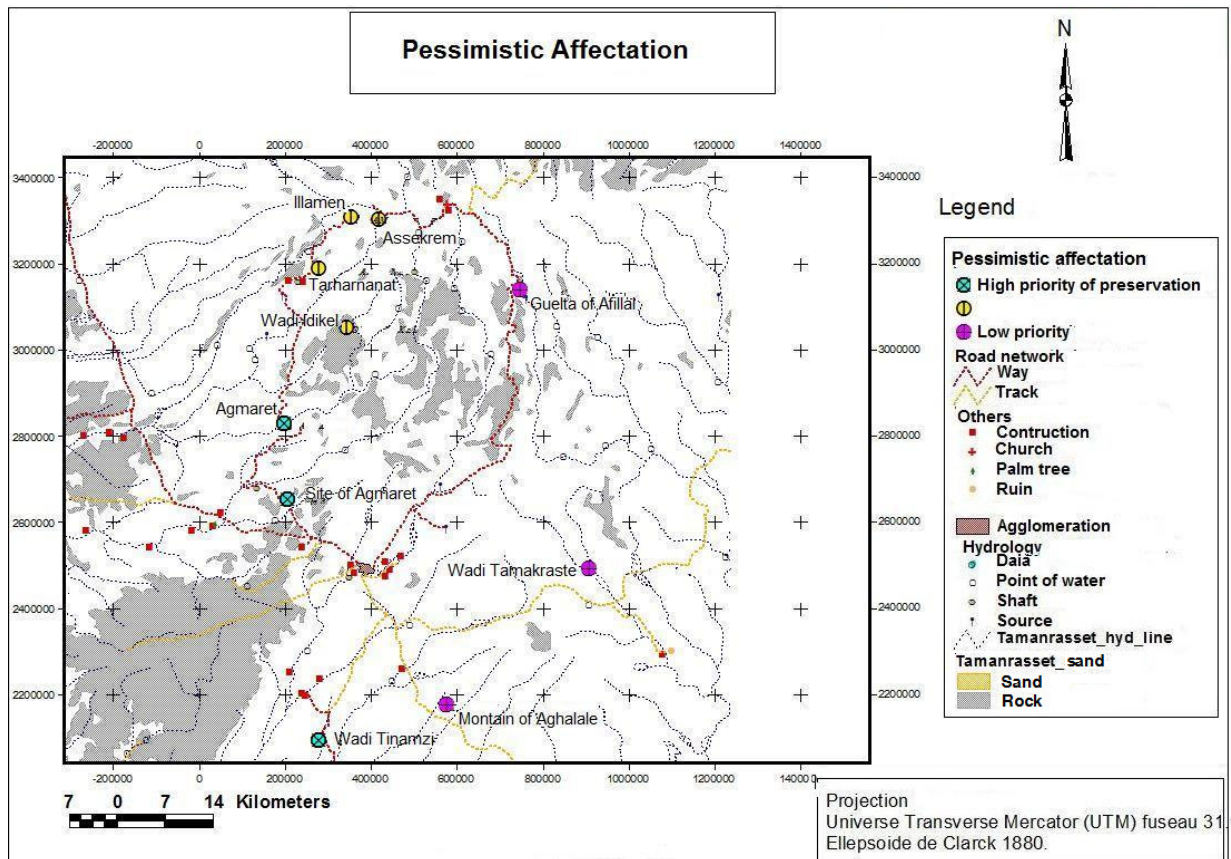


Figure 6-9 Affection pessimiste -Electre Tri

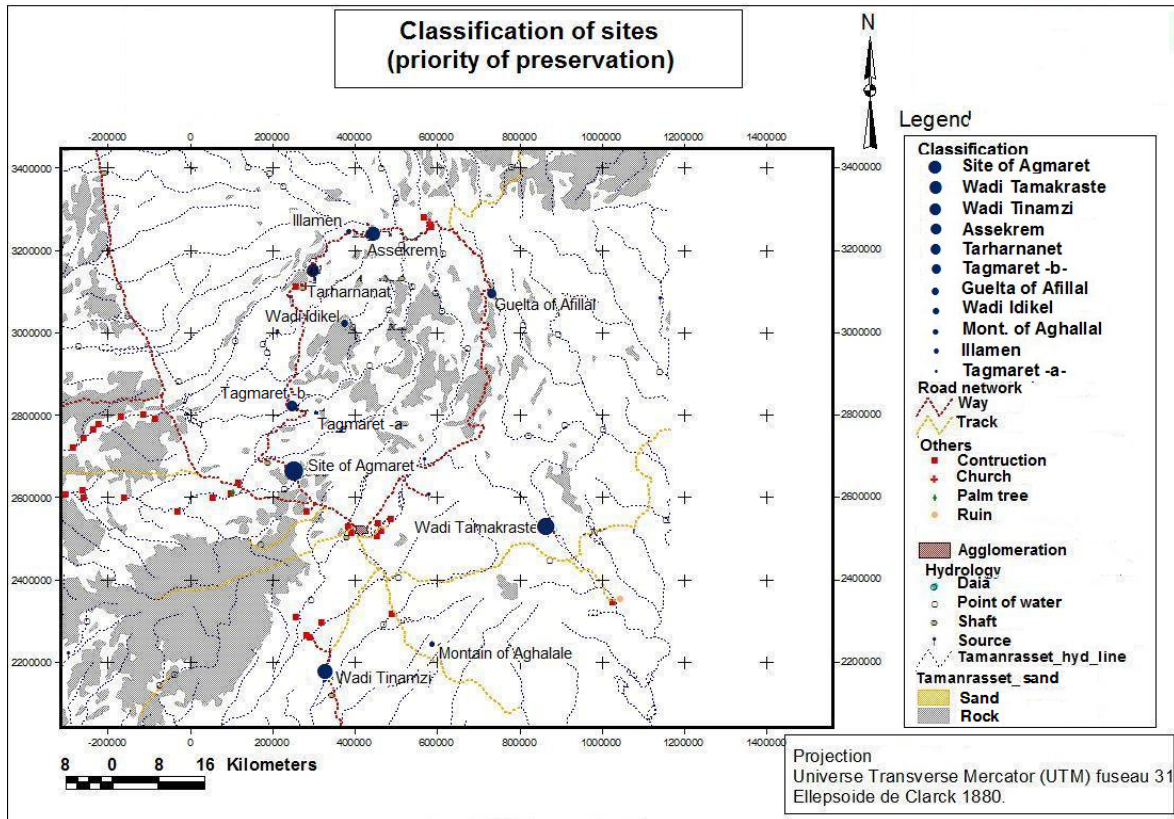


Figure 6-10 Classement par Electre III

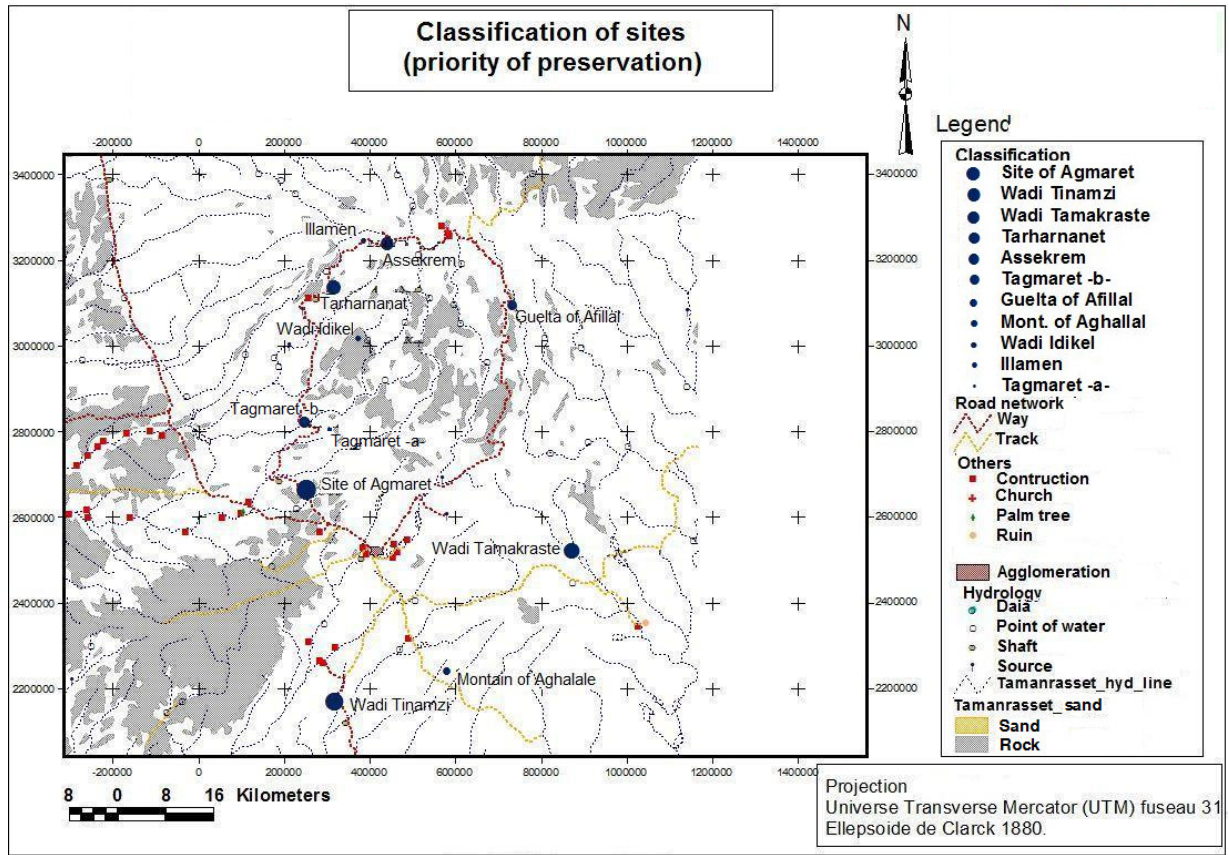


Figure 6-11 Classement par Prométhée

### 6.11 Analyse de sensibilité

En pratique, avant l'application de l'une ou l'autre méthode, on effectue le choix d'un jeu de paramètres jugé comme une "bonne approximation" de la réalité. On tente ainsi d'approcher la solution vraie du problème mais, si on se limite à cela, on néglige toute imprécision, incertitude ou mauvaise détermination.

Une première façon de remédier à ce problème est d'effectuer une analyse de sensibilité, c'est à dire faire varier chaque paramètre l'un après l'autre afin de voir dans quelle gamme de valeurs des paramètres le résultat reste inchangé (pas modifiés de manière importante)<sup>82</sup>. C'est en effectuant une telle analyse qu'il est possible de vaincre les réticences, aussi bien du décideur que de l'homme d'étude, quant aux valeurs initiales des paramètres.

Les paramètres choisis pour faire l'objet de l'analyse de sensibilité sont : (1) poids des critères, (2) seuil d'indifférence, (3) seuil de préférence, (4) seuil de veto, et (5) seuil de crédibilité. Tandis que les deux derniers paramètres ne sont pas valables pour la méthode Prométhée. Les résultats de l'analyse de robustesse sont synthétisés sur la Figure 6-12. Les solutions de base, est comme suit : Pour l'affectation pessimiste, la première catégorie (les bonnes actions) regroupe quatre actions potentielles telles que : Tagmaret, Gueltat d'Afilel, Oued Tamakraste, Montagne d'Aghallel . Les trois sites ; Tagmaret b, le site d'Agmaret et Oued Tinamzi ont été affectés à la troisième catégorie (actions qui nécessitent un plan de préservation). Pour l'affectation optimiste, deux actions potentielles (site d'Agmaret et Oued Tinamzi) sont exposées au risque de dégradation de la biodiversité. Toutes les autres actions sont attribuées à la troisième catégorie (aucun danger dégradation). La famille de solutions de base est décrite par les caractéristiques suivantes : pour l'affectation pessimiste, la première catégorie contient deux actions possibles, et il contient plus de quatre actions possibles pour l'affectation optimiste. La troisième catégorie contient entre 2 et 4 actions potentielles pour les deux procédures (pessimistes et optimistes).

---

<sup>82</sup> Dans ce cas, la recommandation est dite robuste.

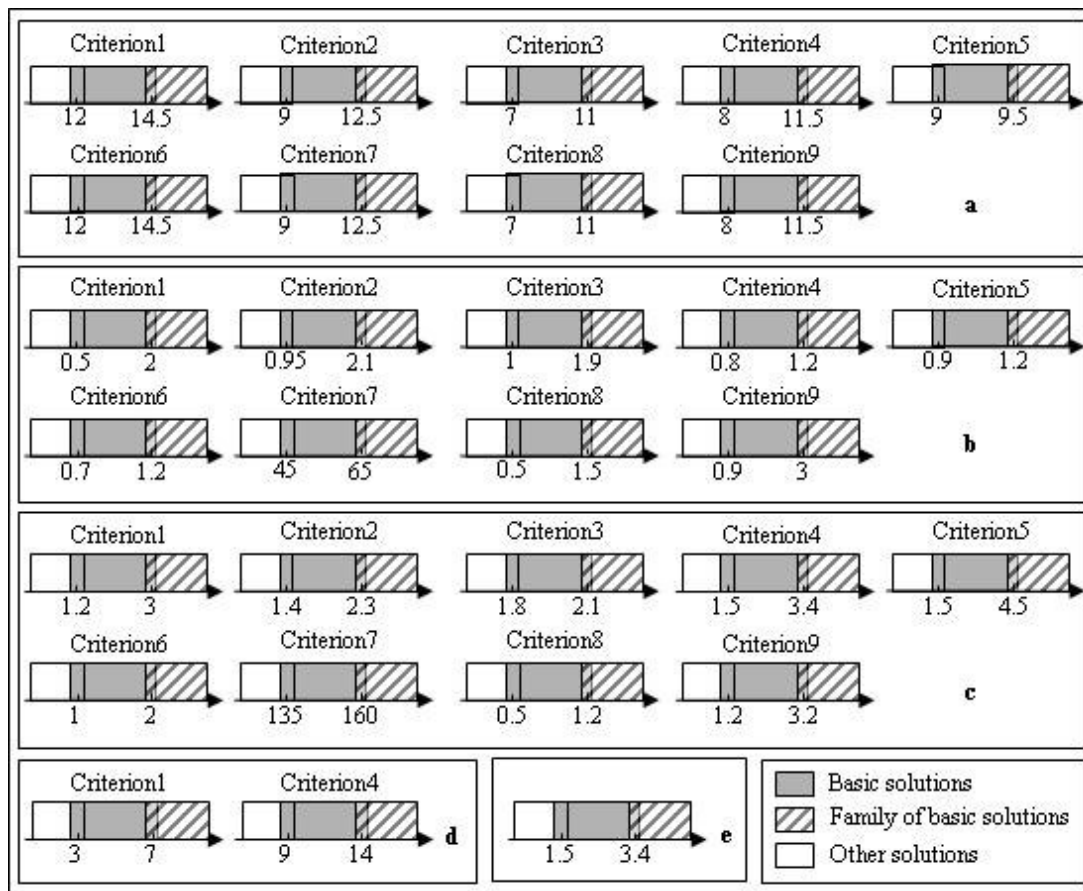


Figure 6-12 Résultats de l'analyse de sensibilité

Avec : (a) changement du poids des critères. (b) changement du seuil d'indifférence. (c) changement du seuil de préférence. (d) changement du seuil de véto. (e) changement du seuil de crédibilité.

## 6.12 Conclusion

L'approche intégrée SIG-AMC pour l'aide à la prise de décision spatiale est à la fois un but digne d'intérêts et un outil d'utilité répandue à ceux impliqués dans ce qui est une application de base de la technologie SIG. Ceci créera à leur tour l'occasion de l'utilisation accrue de la technologie à base des SIG comme une base des systèmes d'aide à la décision.

Cependant, les techniques du SIG et d'AMC sont tout simplement des outils qui fournissent des approches plus au moins importantes à un objectif spécifique, la raison que ces outils seraient inutiles sans la présence de connaissances et d'expertise de l'opérateur et du décideur d'une part, et sans données appropriées d'autre part. Néanmoins, les applications SIG-AMC semblent

représenter des zones potentiellement dégradées pour davantage des travaux de recherche et le développement (Carver, 1991).

La présente étude comporte deux objectifs principaux : (1) le développement des solutions conceptuelles et méthodologiques pour intégrer les méthodes d'AMC dans le logiciel de SIG pour combler ses limites tant qu'outils d'aide à la prise de décision, qui tient en compte la référence spatiale du problème, (2) l'utilisation de ces approches dans le cadre de la gestion et la préservation la biodiversité des aires protégées en Algérie.

L'utilisation des outils de la géomatique dans le cadre de la gestion et le suivi de la diversité biologique est complètement justifiée en prenant en considération une masse importante de données diverses qui se répartissent sur des surfaces étendues (Hamadouche, et al., 2011). En outre, le système d'information géographique (SIG) est dédié à la cartographie, la gestion et la planification du patrimoine naturel et culturel du parc national de l'Ahaggar (Algérie). L'utilisation des SIG dans cette discipline représente une approche plus efficace, plus pertinente que les méthodes manuelles ou les approches classiques d'évaluation de la biodiversité qui ne tiennent pas en compte de l'aspect spatiale de l'information.

Enfin, il est tout à fait justifié que l'approche intégrée SIG-AMC doit être utilisé par les offices des parcs culturels en Algérie pour gérer et surveiller la diversité biologique qui regroupe des données spatiale et/ou aspatiale (faune, flore, données socio-économiques, hydrologie, ...etc.). En effet, le prototype développé est puissant dans la mesure où il dispose de mécanismes, lui permet de sélectionner le plus grand nombre de sites exposés à un risque de dégradation. Ainsi, il est recommandé que la méthodologie adoptée dans cette recherche soit développée en intégrant des connaissances originaires qui pourraient conduire à une meilleure sélection de sites à risque de dégradation. En outre, il est indispensable que les travaux de terrain doivent être effectués sur les sites sélectionnés (e.g : prise d'échantillon) afin d'estimer plus précisément l'état de la biodiversité en se basant sur des indicateurs multiples. Par conséquent, les informations récoltées constitue l'outil clé pour la mise à jour de la base de données disponible sous le SIG et assure le suivi permanent de la biodiversité.

La cohérence des résultats reproduits ici augmente le degré de confiance des décideurs et affirme l'efficacité de l'approche utilisée. Avec l'outil SIG, les données peuvent être disponibles dans un format qui sera facilement interprétées, peuvent être interactivement affichées, est prêt à de nombreux types de traitement numérique et peuvent être facilement mises à jour. Cette approche n'a jamais été utilisée pour évaluer les zones les plus exposées au risque de dégradation de la biodiversité dans la région aride et semi-aride en Algérie. Ainsi, son utilisation par les services concernés en Algérie est souhaitable, voire nécessaire, compte tenu de ses multiples avantages.

Le travail mené actuellement vise à intégrer d'autres méthodes d'analyse multicritère pour que la prise de décision donne plus de finesse aux résultats prévus.

## SIG et télédétection pour la gestion et le suivi de la biodiversité

### Sommaire

7.1	Introduction .....	192
7.2	Approches méthodologiques .....	193
7.3	Sites d'étude .....	194
7.4	Données utilisées .....	195
7.5	Traitements numériques des images satellitaires .....	201
7.6	Création des néocanaux et traitements.....	205
7.7	Conclusion .....	218

### 7.1 Introduction

Le SIG est un outil très puissant, et peut être utilisé pour effectuer une variété d'analyses quantitatives. Il est la «colle» qui tient toutes les données ensemble, et qui permet l'affichage, l'analyse et la mesure de différentes informations provenant de différentes sources. Cependant, les SIG peuvent être utilisés pour le développement des modèles utiles pour tenter de trouver de nouvelles ressources basée sur l'analyse statistique des relations entre les données environnementales et culturelles (croisement de couches, zone buffer, opération arithmétique et logique sur des données de format raster, etc.).

L'intégration des données issues des techniques de la télédétection dans le cadre d'une application SIG a un important potentiel d'applications régionales de la gestion du patrimoine culturel et environnemental. Divers chercheurs du monde entier se servent de ces outils d'aujourd'hui. Certaines de ces applications comprennent l'emplacement de nouvelles fonctionnalités telles que les sites archéologiques, les segments de route, extraction du réseau hydrographique et des champs, ainsi que pour déterminer l'utilisation des terres et la couverture végétale actuelle.

## 7.2 Approches méthodologiques

Comme dans la plupart des études thématiques par télédétection, l'identification et le suivi des couverts végétaux reposent sur la réponse spectrale des surfaces dans les différentes longueurs d'onde (notion de signature spectrale des objets). Nous rappelons que la signature spectrale d'une surface correspond à la courbe de réflectance<sup>83</sup> de la surface en fonction des longueurs d'onde du spectre électromagnétique, dans des conditions données.

Les propriétés spectrales des couverts végétaux dépendent à la fois de la nature de la végétation qui les compose, de leur état physiologique, de leur teneur en eau, mais aussi du sol sous-jacent qui influera d'autant plus la mesure spectrale que la végétation sera clairsemée.

L'utilisation de la télédétection dans la cartographie de la végétation est facilitée par les avantages qu'elle présente :

- La rapidité et la répétitivité d'acquisition des données permettant de faire le choix de la scène la plus représentative et la moins bruitée. Cette répétitivité permet également de constater les changements et l'évolution des différents phénomènes dans le temps.
- La forme numérique des données qui offre un grand avantage de traitements numériques par les multiples programmes de traitement d'image, ce qui facilite le travail du cartographe.
- Le caractère multi-bande des données : la séparation de chaque bande (image) facilite la sélection de l'information recherchée, soit par la sélection directe d'une bande soit par l'application d'une fonction sur plusieurs bandes.
- La stéréoscopie qui donne une vision en trois dimensions, très utile dans l'interprétation des données. Cet aspect n'est pas utilisé dans le présent travail.

Il existe deux modes d'enregistrement en télédétection :

- Le mode actif qui utilise des appareils émetteurs récepteurs (radars).
- Le mode passif qui utilise des appareils uniquement récepteurs de l'énergie que les objets émettent ou réfléchissent. Pour ce mode, quatre types de capteurs sont utilisés : TM (*Thematic Mapper*), ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), MSS (*MultiSpectral Scanner*) et le capteur HRV (*Haute Résolution Visible*). Les deux premiers capteurs sont embarqués dans le satellite LANDSAT, et le troisième capteur est embarqué dans le satellite SPOT. Chaque capteur est constitué d'un nombre de bandes spectrales et d'une résolution spatiale, pour plus de détails consultez l'annexe 14.

---

<sup>83</sup> La réflectance correspond au rapport de l'intensité du rayonnement réfléchi par une surface à celle du rayonnement incident.

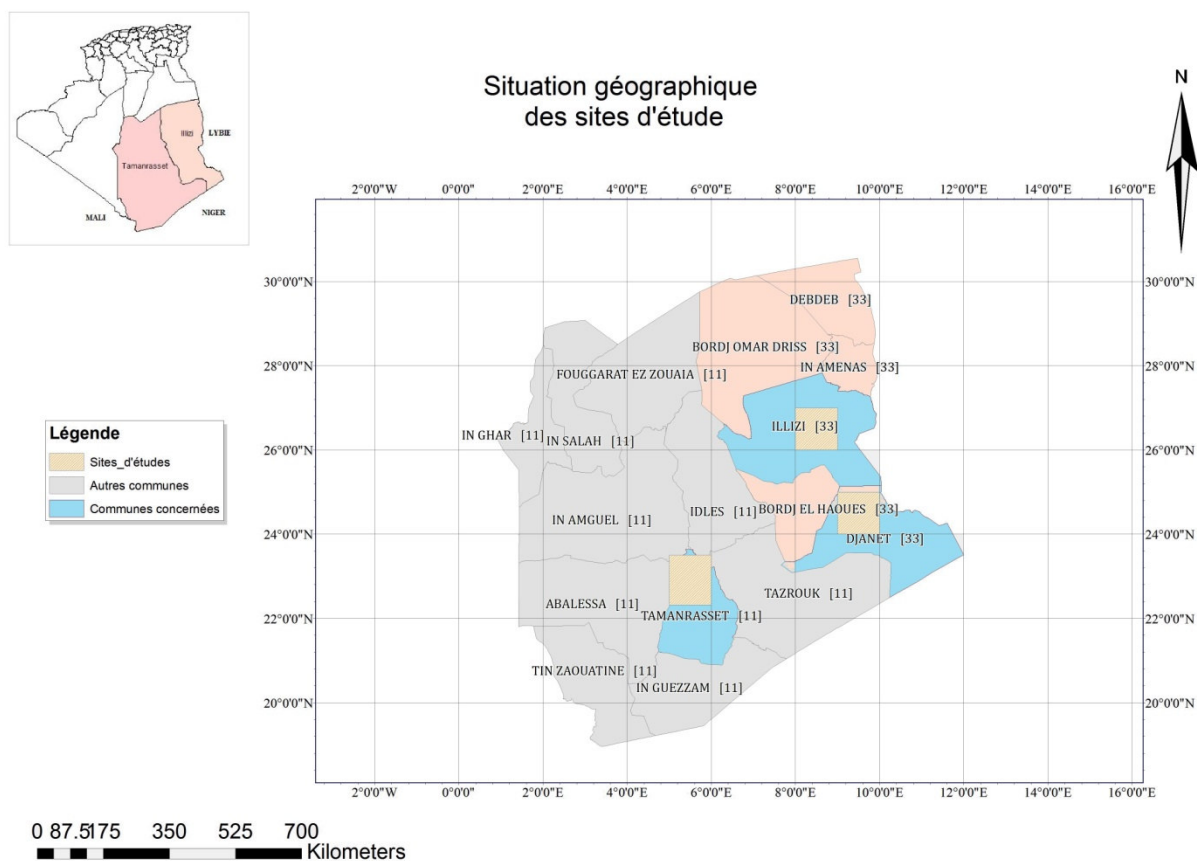
### 7.3 Sites d'étude

Notre choix s'est porté sur trois zones situées dans les parcs culturels de l'Ahaggar et de Tassili. Ainsi le choix de ces zones est justifié par plusieurs raisons : Les caractéristiques floristiques et faunistiques qui ont été citées dans plusieurs travaux ([Association les Amis du Tassili, 2001](#)) ; ([Traore, 2002](#)) ; ([Badi, 2004](#)) ; ([Benhouhou, et al., 2005](#)) ; les missions de terrain effectuées dans le cadre de ce travail (Tamanrasset et la partie Nord-Ouest du parc du Tassili). Les sites présentés dans la figure 7.1 sont les suivants :

(1) Site de Tamanrasset : situé entre  $5^{\circ}; 22^{\circ}.356$  et  $6^{\circ}; 23^{\circ}.536$  sur une superficie de 13440 km<sup>2</sup>, cette partie appartient au parc de l'Ahaggar et plus particulièrement la zone de la Taessa (les monts de l'Atakor au nord jusqu'au chef lieu de la wilaya de Tamanrasset au sud).

(2) Site de Djanet : situé entre  $8^{\circ}.389; 24^{\circ}.378$  et  $9^{\circ}.892; 25^{\circ}.319$  sur une superficie de 10920 km<sup>2</sup>, ce site couvre la partie Nord-Est de la commune de Djanet y compris la ville de Djanet, enfaite c'est une partie du plateau du Meddak qui regroupe des oueds importants comme : oued Tamrit, oued Adjemdjoum, oued Tissouanet (Tichouinet), oued Taoulaoulat (vers Tissouar) et bien évidemment autres.

(3) Site d'Illizi : situé entre  $8^{\circ}.410; 25^{\circ}.800$  et  $9^{\circ}.423; 26^{\circ}.780$  sur une superficie de 11000 km<sup>2</sup>



**Figure 7-1** Sites d'étude (Tamanrasset, Djanet, Illizi)

## 7.4 Données utilisées

### 7.4.1 Cartes topographiques

Huit (08) cartes à l'échelle de 1/250000 ont été utilisées pour assurer la couverture de la zone d'étude. Les cartes topographiques représentent un support sur lequel sont enregistrés plusieurs types d'information (lieux dits, toponymie, hydrographie, etc.) qui sont utilisés dans le cadre de cette recherche, en plus ces cartes sont nécessaires pour d'autres opérations comme la correction géométrique des images satellitaires. Les différentes cartes sont présentées dans le Tableau 7-1 :

Numérotation des cartes	Couverture	Source
NF31-4, NF31-8	région de Tamanrasset	<a href="http://loadmap.net/en/m25586">http://loadmap.net/en/m25586</a>
NG32-6, NG32-7	région d'Illizi	
NG32-10, NG32-11, NG32-14, NG32-15	région de Djanet	

Tableau 7-1 Cartes topographiques utilisées

### 7.4.2 Images satellitaires

Le choix des données adoptées pour atteindre notre objectif, a porté sur des images acquises par le capteur TM (Thematic Mapper) du satellite LANDSAT. Le choix de ces images est basé généralement sur leur disponibilité<sup>84</sup>, ainsi que sur la bonne résolution spectrale qu'elles offrent.

LANDSAT, satellite héliosynchrone par son système à balayage, offre des images disposées les une à proximité des autres avec un taux de recouvrement de 20%, ce qui donne la possibilité à un mosaïque des scènes afin d'assurer une couverture continue. Il est à noter que dans notre cas les trois zones sont dispersées de telle sorte que chacune des zones est située totalement sur une scène.

En effet, six scènes du capteur TM avec une résolution 30m, prises à des dates différentes ont été impliquées dans cette étude. Chaque scène se distingue par un numéro de série correspondant au numéro de ligne (*row*) et de colonne (*path*) et sa date de prise de vue. D'autres informations sont présentées dans le Tableau 7-2 :

Zone d'étude	Région	Satellite/Capteur	Path Row	Date	Heure	Qualité
ZE1	Tamanrasset	LANDSAT TM5	192/44	05-09-1990	09:24	Bonne
		LANDSAT TM5		05-04-2010	09:55	Bonne
ZE2	Djanet	LANDSAT TM5	190/43	23-05-1986	09:16	Bonne
		LANDSAT TM7		24-05-2001	09:41	Bonne
		LANDSAT TM5		17-01-2010	09:42:47	Bonne
ZE3	Illizi	LANDSAT TM5	190/42	17-01-2010	09:43:23	Bonne

Tableau 7-2 Caractéristiques des images satellitaires couvrant la zone d'étude

Pour les zones de Tamanrasset et Djanet, nous avons utilisé des dates différentes sur une période allant de 10 à 20 ans dont le but est la détection et le suivi du développement ou dégradation du couvert végétal. Tandis qu'une seule date a été retenue pour la zone d'Illizi parce que l'objectif du travail vise à comparer entre les résultats des différents indices de végétation. Les mois d'acquisition de ces données se situent entre janvier, avril, mai et septembre comme le montre le

<sup>84</sup> Téléchargeable à partir du serveur : <http://glovis.usgs.gov/>, et même la possibilité de faire une commande si le lien de téléchargement n'est pas disponible.

tableau 7.2. Les images, acquises durant cette période, sont de bonne qualité et se caractérisent par l'absence de nuages<sup>85</sup> et de vents de sable et de tout autre obstacle atmosphérique, ce qui permet une détection plus ou moins facile des objets.

#### • Résolution spatiale (pixels)

Le choix d'une bonne résolution spatiale est basé sur le phénomène étudié, de sorte que cette résolution ne soit pas trop inférieure ni trop supérieure à celle de l'objet détecté et se base surtout sur la disponibilité et la bonne qualité des images. Les images que nous utilisons dans la présente étude sont des images à moyenne résolution soit 30m × 30m au sol. Cette résolution peut être considérée comme suffisante pour le suivi de végétation dans les zones sahariennes puisque la plus part des espèces végétales se répartissent le long des oueds. En effet, les lits d'oued et les zone d'épandage où les sols présentent les caractéristiques pédologiques les plus favorables pour le maintien des espèces végétales, constituent l'habitat le plus propice au développement de la végétation (Benhouhou, et al., 2005).

#### • Résolution spectrale (canaux)

Le capteur TM de LANDSAT offre une prise de vue à bonne résolution spectrale en panchromatique (ETM+) et en multi spectrale (7 bandes spectrales : 3 dans le visible, 3 dans le poche infrarouge et 1 dans l'infrarouge thermique).

Le canal infrarouge thermique (TM6) n'est pas utilisé, car il n'apporte pas plus d'information pour notre étude, de plus, il présente une résolution au sol (résolution spatiale) différente (120m) de celle des autres canaux (30×30m), ce qui rend difficile la combinaison entre les autres canaux.

Bandes	Longueur d'onde (en $\mu\text{m}$ )	Résolution (en mètres)	Spectre
Bande 1	0.48500	30m x 30m	Bleu
Bande 2	0.56000	30m x 30m	Vert
Bande 3	0.66000	30m x 30m	Rouge
Bande 4	0.83000	30m x 30m	Proche Infrarouge visible
Bande 5	1.65000	30m x 30m	Infrarouge courte
Bande 7	2.22000	30m x 30m	Infrarouge courte
Bande 6	11.45	120m x 120m	Infrarouge thermique

**Tableau 7-3** Caractéristique spectrales et spatiales dus capteur TM de Landsat

<sup>85</sup> Nous avons constaté la présence de nuages et de vents de sable sur les scènes pour l'année 1990 concernant les mois de janvier, mars, avril, août, octobre. Cette caractéristique rend l'image inutilisable, la raison pour laquelle nous avons retenu celle du mois de septembre.

La richesse du capteur TM en matière de bandes spectrales offre la possibilité de combiner les données issues de plusieurs bandes, dans des intervalles spectraux différents, afin d'en extraire une information pertinente sur l'occupation du sol. Girard sépare l'utilisation des bandes spectrales en proposant pour la détection des phénomènes terrestres, les bandes du visible et de l'infrarouge et pour les phénomènes affectant les profondeurs les bandes ayant une certaine pénétration (hyperfréquences ou les infrarouges thermiques) ou intégrant un certain volume (Girard, et al., 1999).

### 7.4.3 Prétraitement des données brutes

Les images acquises par les différents capteurs et fournies par les organismes de diffusion des données de télédétection ne sont pas directement utilisables. Tout projet intégrant des images satellitaires exige préalablement un certain nombre de traitements numériques afin d'améliorer la qualité de l'information et la corriger de toute ambiguïté ou erreur. Cependant, ces traitements nécessitent l'utilisation de matériel informatique adéquat et la maîtrise des modèles et logiciels spécialisés dans cette matière. Plusieurs logiciels commerciaux ont été développés spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection. Ainsi notre choix s'est porté sur l'utilisation du logiciel ENVI (the Environment for Visualizing Images) qui offre la possibilité de visualisation et d'analyse complète des images. Le choix de cet outil peut être justifié par plusieurs raisons :

- l'expérience personnelle vis-à-vis l'utilisation de cet outil,
- la convivialité et la simplicité de son utilisation,
- la multitude de modules de traitements intégrés,
- la possibilité d'exporter/importer vers/depuis plusieurs formats des SIG (ArcView, ArcGis database, etc.)

Le prétraitement des images satellitaires est une opération primordiale afin d'assurer une mise en forme optimale des données sources et une meilleure interprétation des résultats. Les prétraitements regroupent les différentes corrections à savoir : les corrections géométriques et radiométriques.

#### 7.4.3.1 Corrections géométriques

Les images enregistrées par le système de télédétection spatiale d'un territoire donné, comportent des distorsions géométriques dues à plusieurs paramètres (la rotation de la terre, l'angle de prise de vue, la rotondité de la terre, l'orbite du satellite et les mouvements du satellite).

Pour pouvoir utiliser ces images, il faut corriger leurs distorsions géométriques. Les corrections géométriques désignent essentiellement la mise en conformité spatiale d'une image avec un référentiel c-à-d le géoréférencement (ou calage).

Nous avons utilisé la modélisation polynomiale, méthode globale, qui s'appuie sur la connaissance d'un nombre déterminé de points homologues entre l'image à corriger et la carte de

référence (points d'appui ou points d'Amer). Ces points d'appui permettent de calculer, selon un modèle polynomiale d'ordre 1, les coordonnées des points homologues dans l'image.

La méthode polynomiale d'ordre 1 donne des résultats plus satisfaisants (Girard, et al., 1999), malgré le fait qu'elle soit moins précise que la polynomiale d'ordre 2 et 3. Cependant, elle permet d'avoir un document plus homogène.

Pour compléter les corrections géométriques, une opération de rééchantillonnage est nécessaire. Chaque point  $(x, y)$  de l'image corrigée ne présente pas exactement la même valeur numérique du point d'origine  $(q', p')$  dans l'image brute. Donc le rééchantillonnage permet d'attribuer à chaque point de l'image corrigée une valeur numérique déterminée par interpolation entre les valeurs des pixels voisins de l'image brute, méthode du plus proche voisin qui est appliquée dans notre cas.

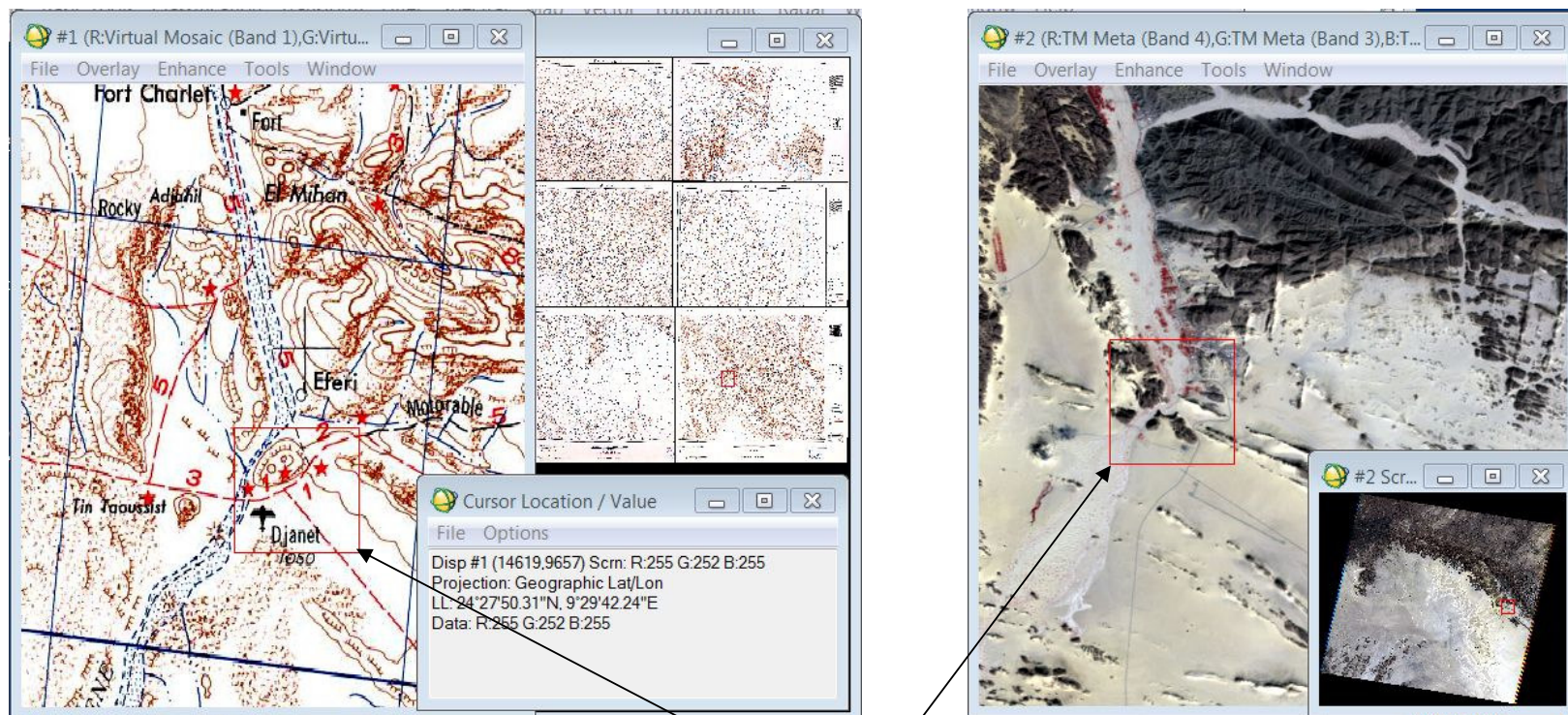
Choisissant un modèle polynomial d'ordre 1 avec un nombre suffisant de points d'appui d'après les cartes topographiques au 1/250000, nous avons obtenu des images géoréférencées. Le calage de l'ensemble des images nous a permis la construction d'une mosaïque et d'établir une liaison simultanée entre les cartes et les images corrigées (fig.7.2)

#### 7.4.3.2 Corrections radiométriques

Les corrections radiométriques consistent à convertir les comptes numériques de l'image (niveau de gris) en luminance ( $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ ) au niveau du capteur satellitaire et ensuite d'extraire de cette nouvelle variable les effets perturbateurs atmosphériques afin d'aboutir finalement à une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée. Ces corrections sont généralement appliquées pour diminuer l'effet des distorsions liées :

- à l'angle de balayage du couple capteur et vecteur ;
- à l'orbite du satellite ;
- à la différence de l'irradiance solaire due à la date de prise de vue et qui ne porte préjudice qu'en cas d'étude diachronique (Joly, 1984) ;
- aux perturbations atmosphériques qui se manifestent par la présence d'éléments accentuant les phénomènes de diffusion (les particules et les aérosols) et le phénomène d'absorption (l'eau).

Dans le cas de nos images, l'angle de balayage demeure faible. Il peut être assimilé à un angle constant. Les orbites de LANDSAT sont héliosynchrones et par conséquent aucune distorsion due à l'orbite ne sera remarquée. Par ailleurs, les différentes images ont été corrigées aux effets atmosphériques puisqu'il s'agit de données prises à des dates multiples.



L'image à droite est bien calée par rapport aux cartes. Le carré rouge représente la ville de Djanet. Aussi, l'oued qui traverse l'image du haut en bas est bien orienté (les deux fenêtres sont liées automatiquement sous ENVI).

**Figure 7-2** Mosaïque et liaison des images et cartes topographiques

## 7.5 Traitements numériques des images satellitaires

Les variations des propriétés spectrales des sols liées à leur couleur et à leur brillance perturbent considérablement la détection de la végétation éparse, dans les milieux hétérogènes, à l'aide des indices de végétation. Durant la dernière décennie, une nouvelle génération d'indices de végétation (NDVI, TNDVI, PVI, SAVI, MSAVI, TSAVI, TSARVI, et autres) a été développée dans le but de minimiser ces effets.

Pour la présente étude, les différents traitements peuvent être organisés comme suit : (1) le rehaussement, (2) la transformation, (3) la classification et (5) l'analyse de l'image.

Les fonctions de rehaussement ont pour but d'améliorer l'apparence de l'imagerie pour aider à l'interprétation et l'analyse visuelles. En effet, cette opération regroupe plusieurs techniques comme l'étalement de dynamique qui sert à augmenter la distinction des tons entre les différents éléments, l'application des différents filtres spatiaux pour rehausser les patrons spatiaux spécifiques sur une image. En général, les techniques de rehaussement sont applicable par bande.

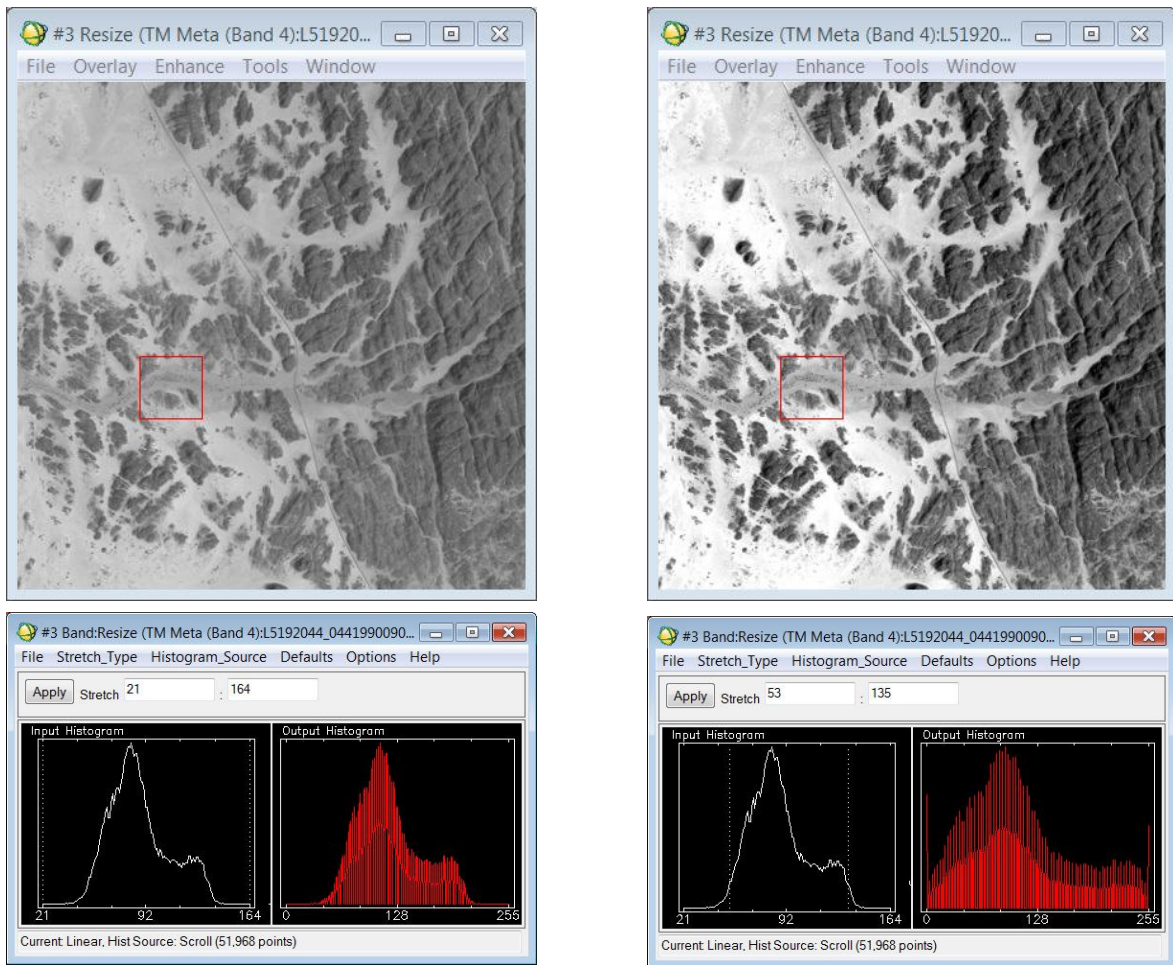
Les transformations d'images sont des opérations arithmétiques (addition, soustraction, multiplication, division) appliquées à plusieurs bandes spectrales. Leur but est de combiner et transformer les bandes originales en de nouvelles images appelées "néocanaux" qui montrent plus clairement certains éléments de la scène. On peut citer le NDVI, l'ACP et les différents rapports de bandes.

Les opérations de classification et d'analyse d'image sont utilisées pour identifier et classifier numériquement des pixels sur une image pour établir différentes cartes thématiques.

### 7.5.1 L'amélioration dynamique

Les améliorations dynamiques consistent à modifier la radiométrie de chaque canal, sachant que les données brutes sont codées sur 256 niveaux. Ces données ne couvrent presque jamais l'étendue des 256 valeurs disponibles (Girard, et al., 1999) représentées par les histogrammes de chaque canal. L'étalement dynamique permet l'utilisation maximale de cet intervalle réel. Ainsi une opération de seuillage, en éliminant les valeurs des pixels initialement inférieures ou égales à un certain seuil selon le cas, peut être utilisée.

En effet, l'objectif principal de l'amélioration dynamique est de construire l'image la plus contrastée et la plus lisible, ce qui permet l'optimisation de l'information (la figure 7.3 montre clairement la différence de netteté pour la même bande avant et après l'amélioration de sa dynamique).



a: état brute

b: après l'étalement de la dynamique

**Figure 7-3** Amélioration de la dynamique (bande TM4), région de Tamanrasset

### 7.5.2 Cartographie de la végétation

Le suivi dynamique de la biodiversité nécessite la collecte, le traitement et l'analyse rapide des informations (Salem, 2003), (Rajitha, et al., 2007). Dans ce contexte, les images TM de Landsat ont été retenues pour leur caractère synoptique sur une vaste zone, leur répétitivité, leur disponibilité sur une longue période et la possibilité qu'elles offrent par rapport à l'échelle des documents à élaborer. Une série des compositions colorées ont été établies avec la création de néocanaux à partir des images géoréférencées, orthorectifiées et améliorées en radiométrie à savoir : l'indice de brillance IB, l'indice de végétation (NDVI), l'indice de végétation transformé (TNDVI), l'indice de végétation ajusté pour le sol (SAVI), le second indice de végétation ajusté pour le sol modifié (MSAVI2) (Qi, et al., 1994), et l'analyse en composantes principales (ACP). L'idée est de combiner entre toutes ces techniques pour discriminer les différentes classes notamment la végétation qui est très faible avec une dégradation importante (Barry, et al., 1973), la présence de sources d'eau qui sont fréquemment temporelles, le type de sol qui se change d'un endroit à l'autre (sableux, rocheux). L'étude de l'état de la végétation et son développement sur une période de plus 20 ans a permis de détecter les changements positifs ou négatifs dans des endroits étendus et différents. Les classifications supervisées et non supervisées en appliquant les algorithmes adéquats à l'imagerie TM de Landsat avec l'intégration de données GPS (sortie terrain) ont permis d'éliminer les classes indésirables et enfin aboutir à une carte d'occupation de sol.

Les systèmes d'information géographique (SIG) permettent de disposer d'informations pertinentes, fiables et mises à jour (réseau hydrographique, points d'eau, agglomérations, limites géographiques, etc.), de valider l'analyse spatiales des données, d'offrir les différents outils pour l'édition des cartes (Jones, et al., 1997). L'approche méthodologique présentée dans la figure 7.4 montre l'utilisation combinée des outils de télédétection et SIG.

Le Tableau 7-4 illustre les différents néocanaux créés :

	Site de Tamanrasset	Site de Djanet	Site d'Illizi
NDVI	1990 et 2010	1986 et 2010	2010
Détection de changements	Période (1990-2010)	Période (1986-2010)	-
TNDVI	1990 et 2010	1986 et 2010	2010
SAVI	1990 et 2010	1986 et 2010	2010
MSAVI2	1990 et 2010	1986 et 2010	2010
Composition colorée	(TM4, TM3, TM2) (TM1, TM4, TM7)	(TM4, TM3, TM2)	(TM4, TM3, TM2)

**Tableau 7-4** les néocanaux utilisés

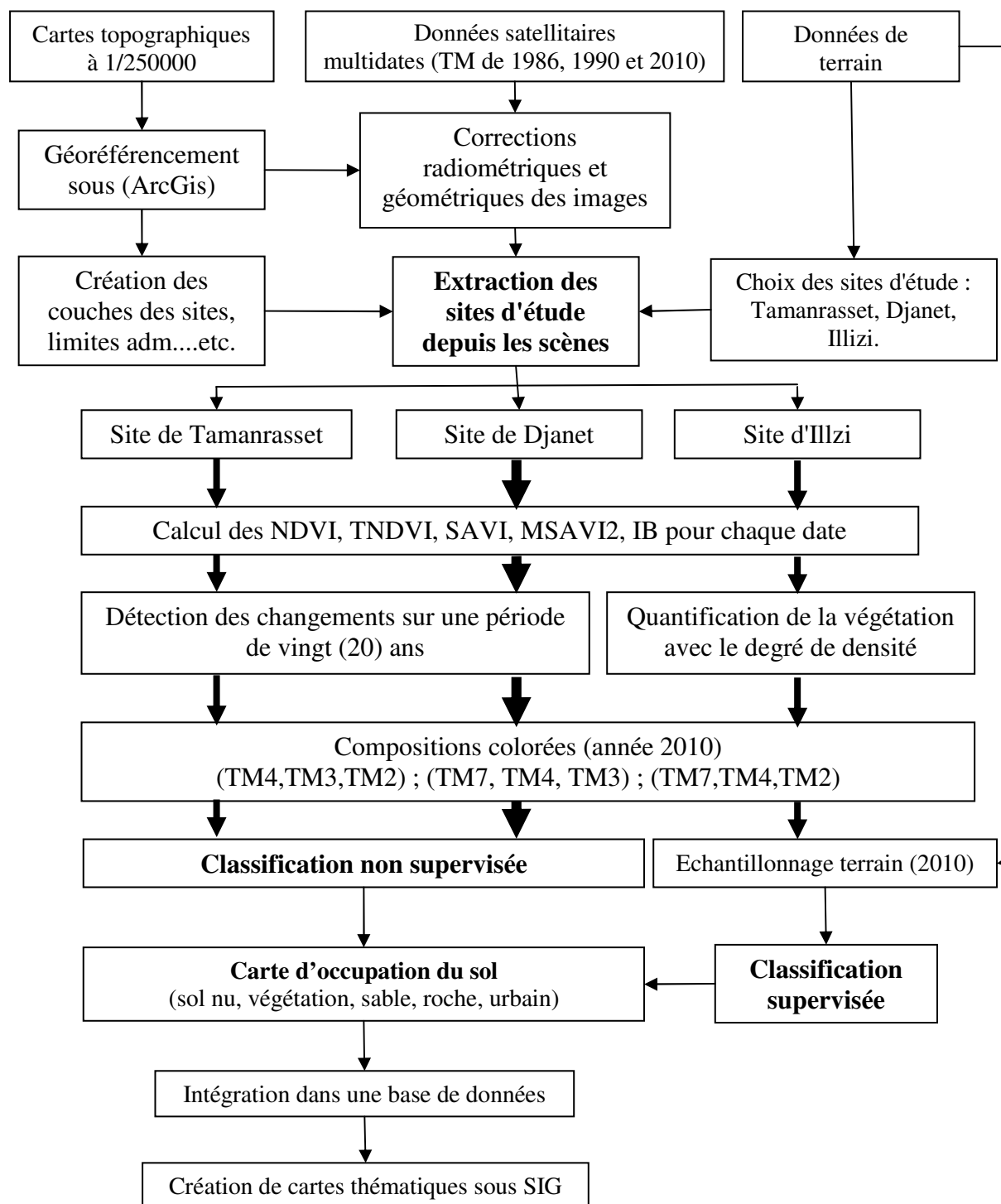


Figure 7-4 Méthodologie adoptée

## 7.6 Création des néocanaux et traitements

### 7.6.1 Site de Tamanrasset

#### 7.6.1.1 Compositions colorées

Les bandes TM1, TM2, TM3, TM4 et TM7 ont été sélectionnées pour faire l'objet de deux compositions colorées (CC) ; (TM1, TM4, TM7) et (TM4, TM3, TM2). Au préalable, un travail de photo-interprétation a été nécessaire pour aider à déterminer les types de sol existés en se basant aussi sur la signature spectrale des échantillons, la localisation géographique et la forme géométrique. Le mosaïque, des cartes topographiques, présenté dans la figure 7.2 a été retenu comme complément avec les CC.

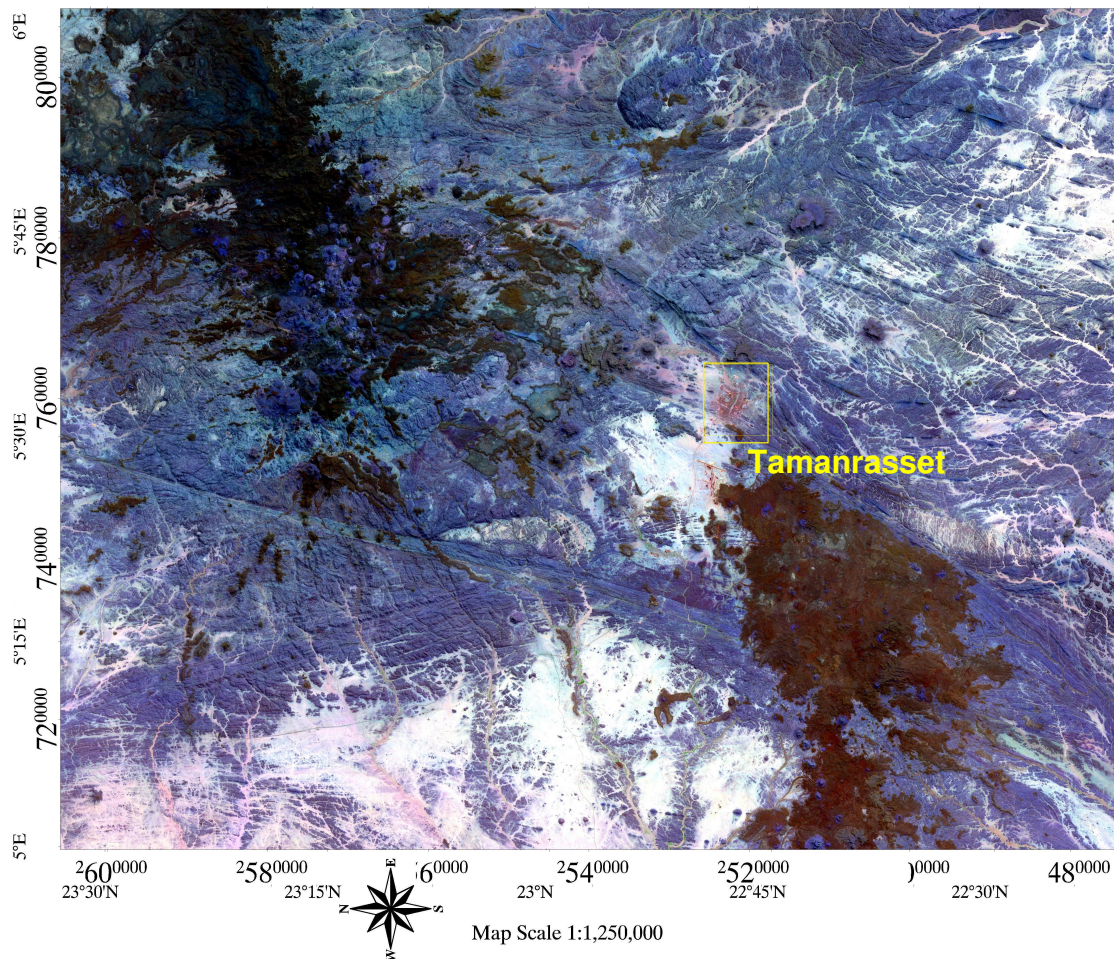


Figure 7-5 Composition colorée (TM1, TM4, TM7)

### 7.6.1.2 Indice de végétation et les indices dérivés

Il permet de visualiser sur un seul canal la dynamique des réponses liées à la densité d'un couvert végétal, en optimisant les contrastes entre le visible et le proche infrarouge. Cet indice est compris entre  $-1$  et  $+1$ , plus cet indice est élevé et plus la zone correspondante au sol a une activité chlorophyllienne forte. Après rehaussement du néocanal NDVI, la figure 7.4 illustre la répartition de la végétation en 1990 et 2010. En effet, ce couvert végétal se caractérise par une faible végétation (99% en 1990 et 98% en 2010 de sol nu selon le NDVI calculé) qui se localise généralement aux lits des oueds. Toutefois, l'indice NDVI est saturé pour les régions de haute biomasse et il est sensible à un certain nombre de facteurs perturbateurs, tels que les effets atmosphériques, nuage, effets de sol, et les effets anisotropes etc. Par conséquent, un certain nombre d'indices dérivés du NDVI ont été proposées dans la littérature pour répondre à ces limitations (Yang, et al., 2008). Tucker (1979) a présenté un indice transformé de végétation par différence normalisée (TNDVI) en ajoutant une constante de 0,5 à NDVI et en prenant la racine carrée. Il a toujours une valeur positive et la variance du rapport est proportionnelle à des valeurs moyennes.

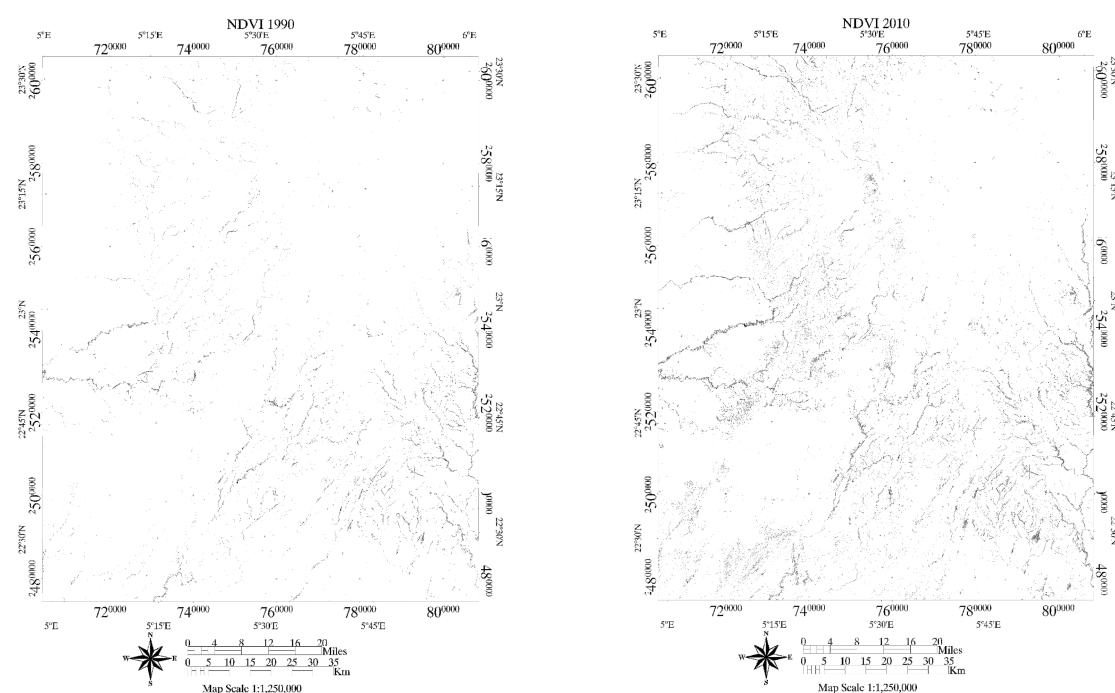


Figure 7-6 L'indice de végétation normalisé (1990 et 2010)

Le TNDVI indique une légère meilleure corrélation entre les quantités de biomasse et la valeur du pixel (Senseman GM, 1996) ; (Sandham, et al., 1997) ; (Yang, et al., 2008). Afin de réduire l'impact de variation du sol sur le NDVI dans les zones à faible couverture végétale, Huete (1988) a proposé un indice de végétation ajusté au sol (SAVI) en introduisant un facteur de

correction L (Yang, et al., 2008). Le SAVI présente une étape importante vers la création de modèle simple «global» qui permet de décrire la dynamique du système sol-végétation à partir de données de télédétection (Huet, 1988).

Le MSAVI2 (Qi, et al., 1994), est l'indice modifié de végétation ajusté au sol qui vise à répondre à certaines limites du NDVI lorsqu'il est appliqué à des zones avec un degré élevé d'exposition de sol. Le problème avec l'indice de végétation du sol ajusté originale (SAVI) est qu'il doit préciser le facteur de correction de la luminosité du sol (L) qui varie de 0, pour la couverture très élevé de la végétation, à 1 pour très une faible couverture végétale. La plupart des chercheurs utilisent la valeur 0,5, qui est pour une couverture végétale intermédiaire (Huet, 1988).

### 7.6.1.3 Indice de brillance

L'indice de brillance est construit à partir des canaux rouge et proche infra rouge, il représente la moyenne des brillances de l'image. Cet indice est donc sensible à la brillance des sols liée à son humidité et à la présence de sels en surface. Selon la valeur de l'indice de brillance, on déduit que les sols très humides voire couverts d'eau ou de végétation ont des petites valeurs et apparaissent alors très sombres (noires), tandis que les valeurs élevées représentent des sols nus avec peu d'humidité ou avec un couvert végétal faible, ces zones apparaissent très claires (Blanches). En fait, L'indice de brillance sert à distinguer les zones d'ombre des zones ensoleillées (Girard, et al., 1999).

Les formules de calcul des différents indices sont illustrées dans le Tableau 7-5:

Indices	Formule	Référence
NDVI	$(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$	Rousse et al., 1973
TNDVI	$\sqrt{(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)} + 0.5$	Tucker, 1979
SAVI	$(1 + L) * (TM4 - TM3)/(TM4 + TM3 + L)$ ; L=0.5	Huete, 1988
MSAVI2	$0.5 * ((2 * TM4 + 1 - \sqrt{(2 * TM4 + 1)^2 - 8 * (TM4 - TM3)})$	(Qi, et al., 1994)
IB	$\sqrt{(TM4)^2 + (TM3)^2}$	Robin, 1995

Avec : TM4: canal du Proche IR et TM3: canal du Rouge

Tableau 7-5 Formules associées aux indices de végétation utilisés

En plus de ces cinq indices, une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée. L'application de l'analyse en composantes principales aux 6 bandes spectrales du TM, suite à une combinaison linéaire (projection des pixels sur des axes), permet d'avoir 3 ACP non corrélées. L'information est essentiellement concentrée autour des néocanaux ACP1, ACP2 et ACP3.

Cette étude ne nécessitait pas absolument les calculs de l'ACP. En effet l'utilisation des logiciels ENVI permet la prise en considération d'un nombre illimité de canaux ou néocanaux dans la classification supervisée.

#### 7.6.1.4 Détection des changements

Une fois les images satellitaires corrigées, nous étions amenés à appliquer une approche qui est basée sur l'utilisation des données multidates (TM de 1990 et TM de 2010) pour la détection des changements. Le principe de cette approche repose sur le calcul, pour chaque date, les indices de végétation ainsi présentés après avoir ramené les images de départ à un même référentiel radiométrique et géométrique (Bildgen, et al., 1990). En effet, les valeurs des pixels pour l'image résultante représentent les numéros de classes selon la différence de valeur entre les deux années. Alors que cinq classes sont définies en précisant leurs intervalles : les classes "diminué", "peu diminué", "pas de changement", "peu augmenté", "augmenté" représentent respectivement les cas où on a enregistré "une grande différence négative", "une petite différence négative", "une différence nulle", "une petite différence positive" et "une grande différence positive".

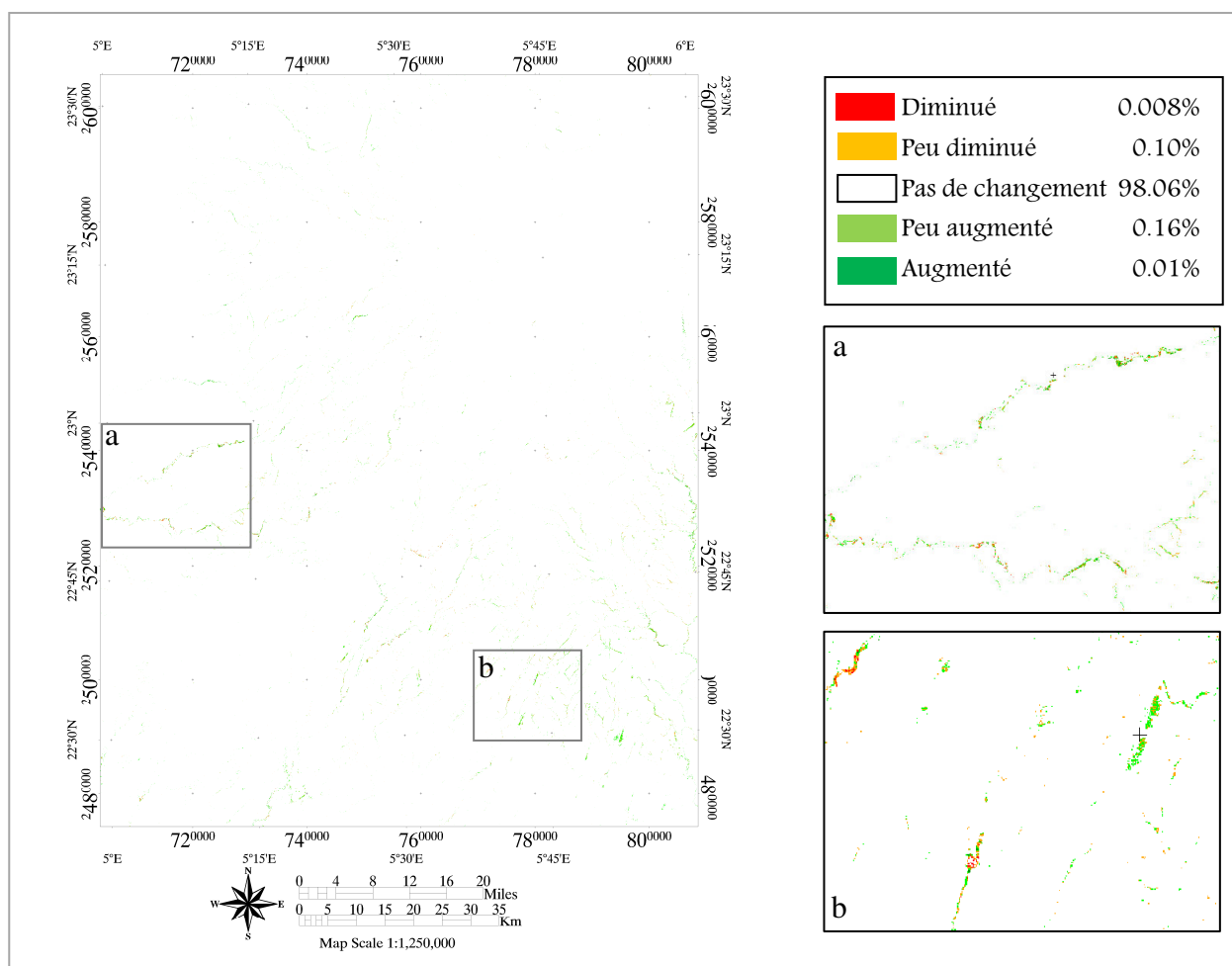
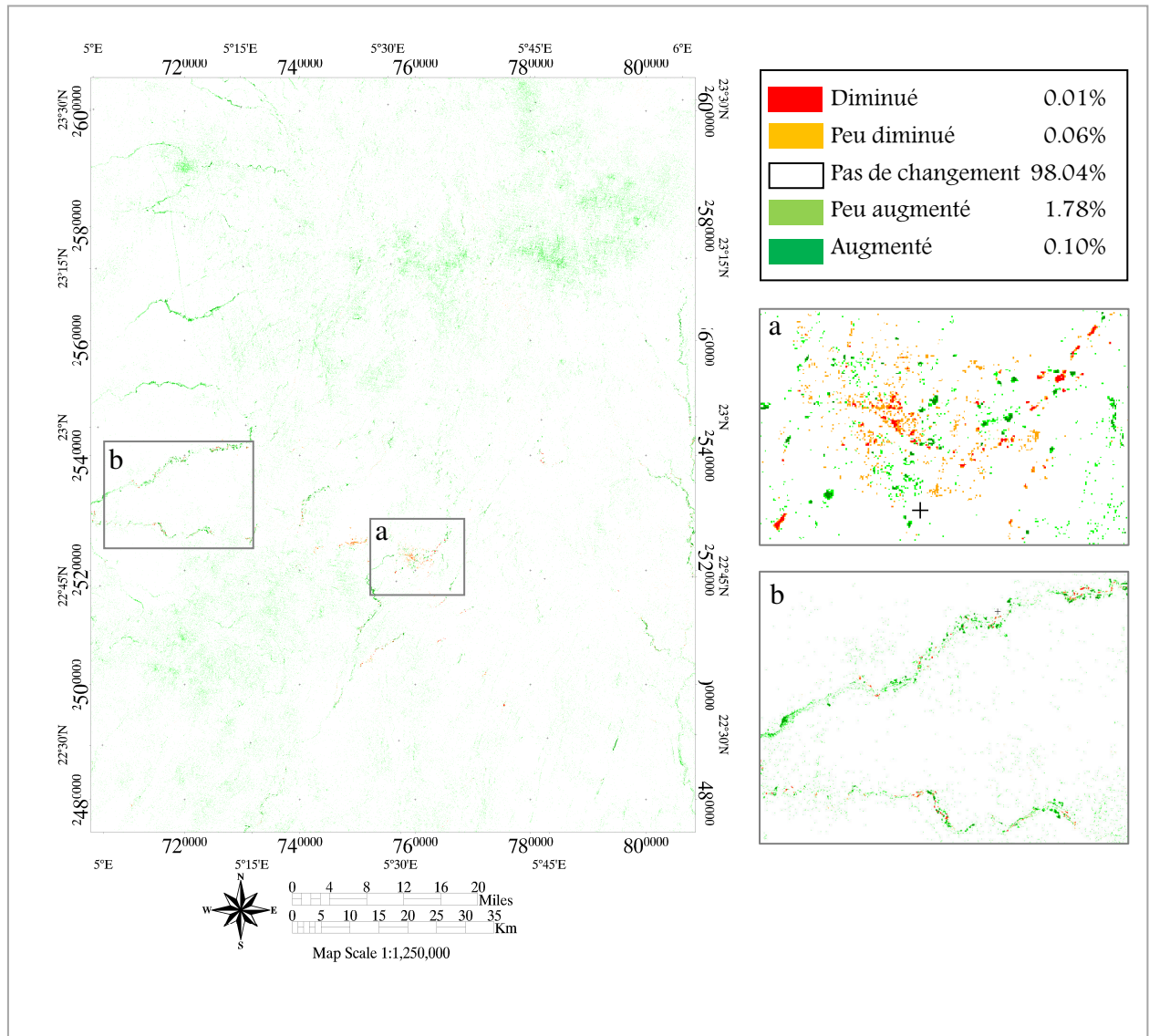
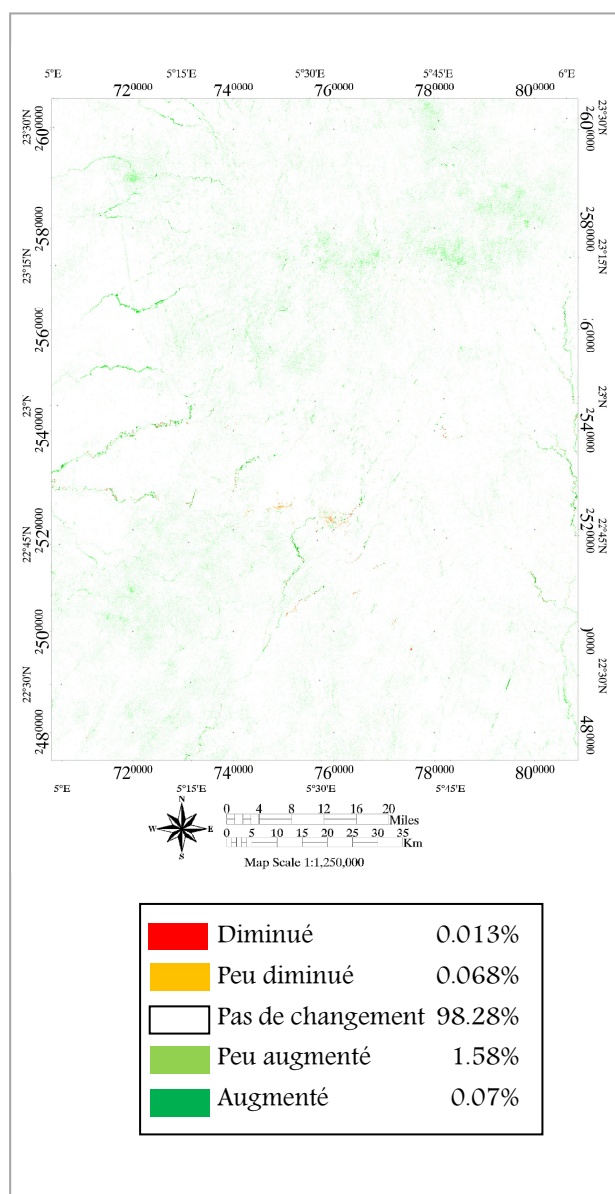


Figure 7-7 Changements détectés par l'indice NDVI (1990-2010)

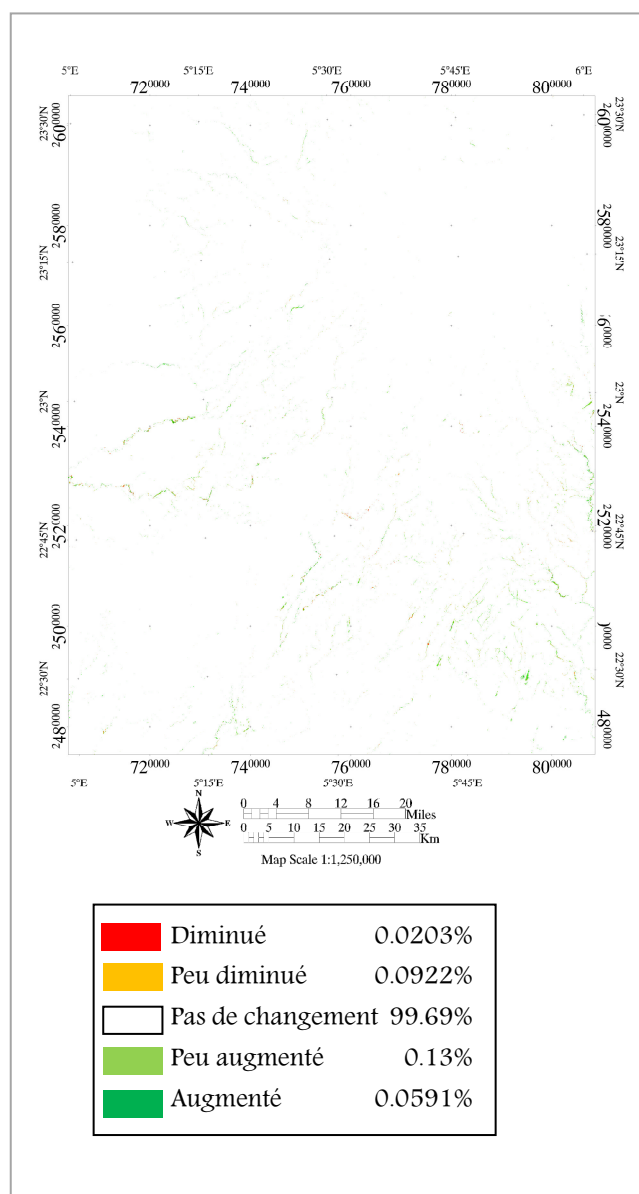


**Figure 7-8** Changements détectés par l'indice MSAVI2 (1990-2010)

Les changements détectés en utilisant l'indice SAVI et TNDVI sont présentés respectivement dans les figures 7.9 et 7.10. Ajoutant que pour le TNDVI, une modification aux comptes numériques (CN) des pixels a été menée afin d'éviter les valeurs d'erreur (la racine carrée d'une quantité négative) du fait que cet indice représente la racine carrée du NDVI plus la valeur "0,5". Ainsi, tout pixel avec la valeur d'erreur qui correspond à un NDVI négatif a été remplacé par zéro. Par conséquent, la valeur minimale de l'indice TNDVI pour les deux dates était de "0,5". En raison que les marges (min, max) des indices étaient différentes, un ajustement des seuils correspondants aux cinq classes définies a été nécessaire pour chaque indice.



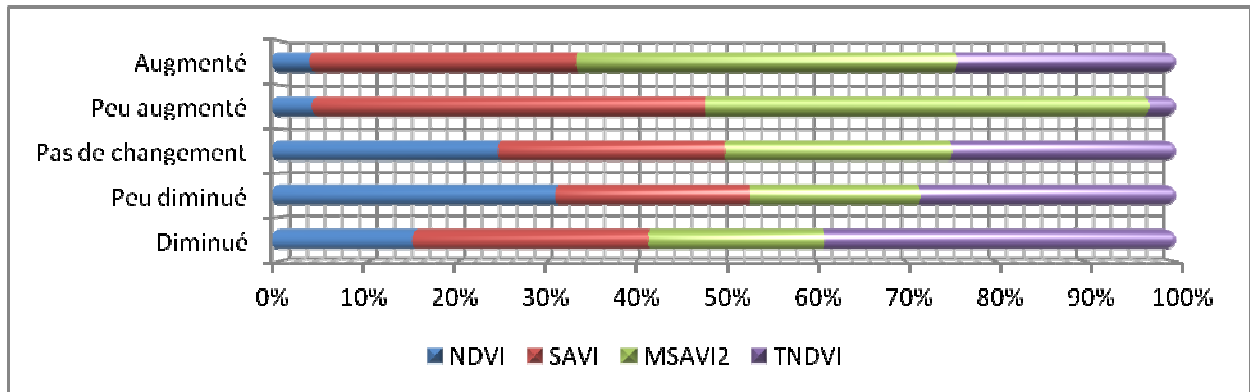
**Figure 7-9** Changements détectés par l'indice SAVI (1990-2010)



**Figure 7-10** Changements détectés par l'indice TNDVI (1990-2010)

La figure 7.11 présente une analyse comparative des quatre indices de végétation quantitativement évalués dans cette recherche. Selon les résultats, l'indice de végétation NDVI a montré une réduction minimale (ou dégradation) du couvert végétal tandis que pour le MSAVI2, le SAVI et le TNDVI les résultats étaient les mêmes, exprimés en figure 7.8, 7.9 et 7.10. Les indices MSAVI2, SAVI et TNDVI ont montré presque le même pourcentage pour la classe «peu diminué» légèrement différent pour le NDVI (figure 7.7). Pour la classe «peu augmenté» l'indice NDVI a montré une trop faible valeur vis-à-vis les autres indices qui ont enregistré des valeurs presque similaires, Dans la classe «augmenté», le MSAVI2 et le TNDVI ont montré une

augmentation maximale, le cas contraire pour le NDVI. En revanche, tous les indices ont montré avec le même pourcentage pour les surfaces qui n'ont pas changé. Le processus de modélisation est efficace pour estimer la couverture terrestre à partir d'images satellites, même en utilisant un nombre limité de données (Bocco, et al., 2007). Globalement, les indices MSAVI2, SAVI et TNDVI ont montré presque les mêmes résultats pour toutes les classes, la raison pour laquelle on recommande leurs utilisations pour les régions qui se caractérisent par un couvert végétal épars où la réflectance du sol influence fortement la réponse spectrale des objets.



#### 7.6.1.5 Classification

Une classification non-supervisée basée sur la méthode de *K-Means*, a été utilisée pour les canaux choisis (figure 7.12). L'image ainsi classée fait ressortir les thèmes suivants : sol nu, surfaces rocheuses, surfaces sableuses, surfaces montagneuses, surfaces urbanisées et le couvert végétal. Il est à noter, que l'application de la méthode K-means a fait apparaître 11 classes en premier. Après plusieurs séries de combinaisons des classes en se référant à chaque fois aux plusieurs supports : composition colorée (interprétation visuelle), indices déjà calculés, données de terrain et dans certains cas aux valeurs radiométriques des objets ; nous avons abouti aux 4 premiers thèmes (sol nu, roche, sable et montagne). Tandis que pour la végétation, la classification supervisée ou non-supervisée ne donne pas de résultats qui reflètent bien la réalité à cause de l'état dégradé et épars de la végétation dans cette région. A cet effet, nous avons fait appel à l'indice de végétation MSAVI2 pour le faire intégrer<sup>86</sup> dans cette classification. Les surfaces urbanisées ont été délimitées manuellement<sup>87</sup> sur la base des limites visibles de la ville de Tamanrasset.

<sup>86</sup> Nous avons utilisé uniquement les valeurs du MSAVI2 qui sont supérieures à 0.02, cette valeur est justifiée par la comparaison du MSAVI2 avec plusieurs compositions colorées, cela affirme qu'un pixel avec une valeur supérieur à 0.02 du MSAVI2 présente forcément la présence d'une végétation.

<sup>87</sup> Par la méthode *K-Means*, la zone urbanisée de Tamanrasset appartient à plusieurs classes, en faite c'est un mélange de sol nu, sable, roche, béton armé, bitume.

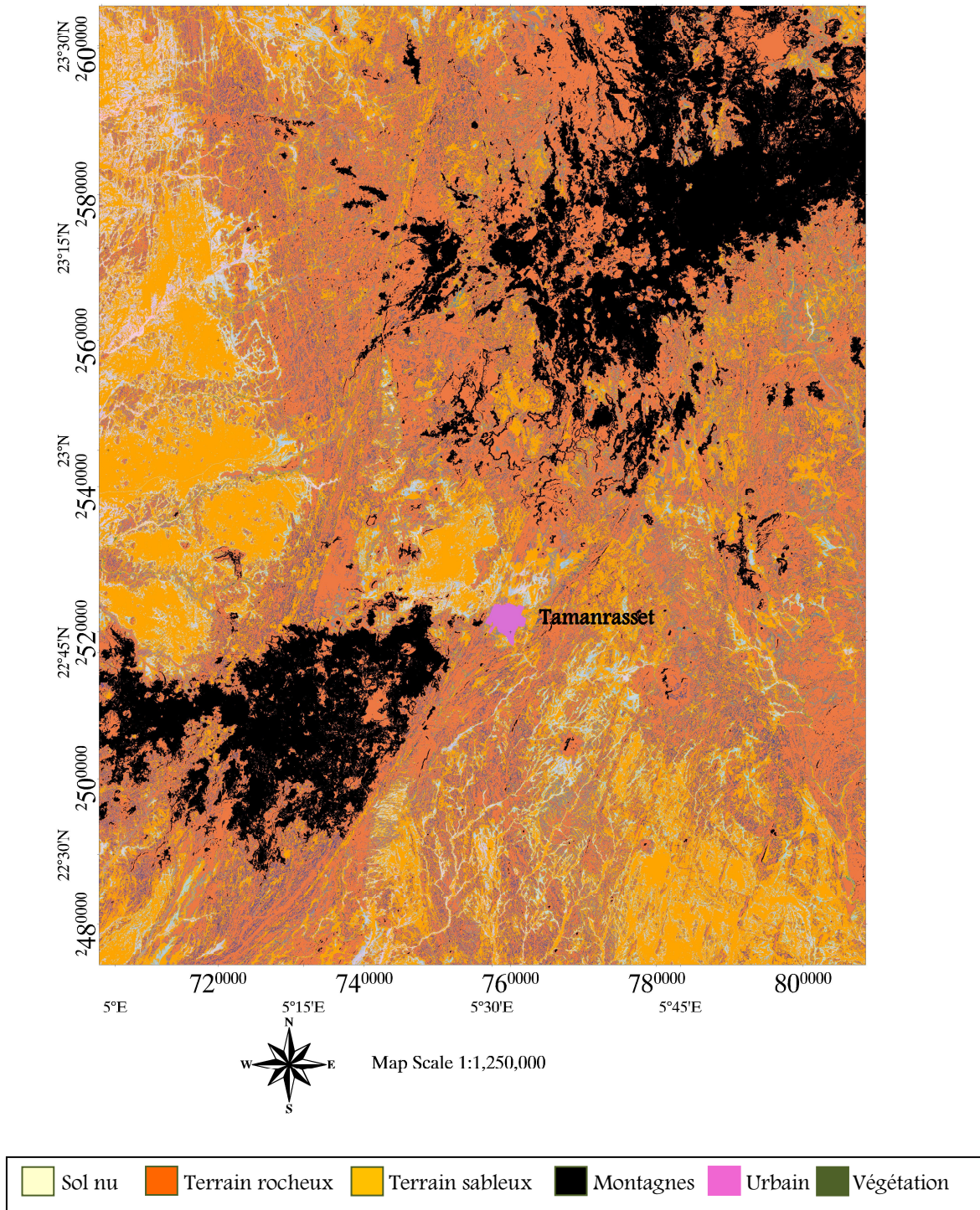


Figure 7-12 Carte d'occupation du sol 2010 (classification non-supervisée)

## 7.6.2 Site de Djanet

### 7.6.2.1 Suivi de la végétation

Le calcul d'une série d'indice pour l'étude de la végétation, particulièrement pour les régions à faible couverture végétale, a contribué à la localisation de la végétation d'une part, et a donné des explications pour les zones de chevauchement<sup>88</sup> d'autre part. Le calcul des néocanaux pour l'ensemble des indices a été effectué pour deux années différentes 1986 et 2010 sur la base des images satellitaires Landsat TM (190/43). Par conséquent, l'acquisition de données multidates a permis la détection des changements pour le couvert végétal sur une période de plus de vingt ans.

### 7.6.2.2 Détection des changements

La figure 7.13 présente une analyse comparative des quatre indices de végétation appliqués dans notre cas. Selon les résultats (tableau 7.6), l'indice de végétation NDVI a montré une réduction minimale (ou dégradation) du couvert végétal, au contraire, le SAVI a donné la plus grande valeur et valeurs intermédiaires ont été attribuées par le MSAVI2 et le TNDVI. Cependant, si on fusionne les deux catégories (diminué et peu diminué) qui caractérisent la dégradation, on trouve presque le même rapport (environ 0.60%).

Djanet	Diminué	Peu diminué	Pas de changement	Peu augmenté	Augmenté
<b>NDVI</b>	0.0186	0.61172	96.5631	2.4051	0.3782
<b>SAVI</b>	0.3674	0.5398	96.3046	2.2868	0.5014
<b>MSAVI2</b>	0.2448	0.4691	96.4025	2.497	0.3865
<b>TNDVI</b>	0.1369	0.4331	97.2995	1.6113	0.5209

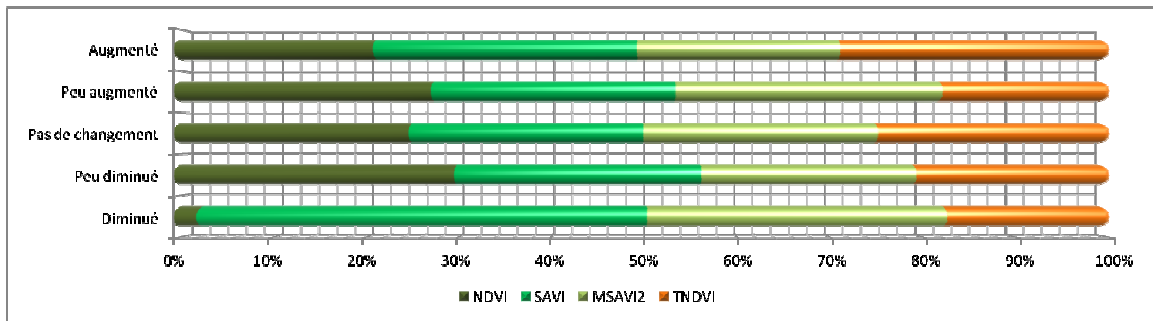
**Tableau 7-6** Détection des changements par les quatre indices (en %)

Pour la classe «peu augmenté» l'indice TNDVI a montré une faible valeur vis-à-vis les autres indices qui ont enregistré des valeurs presque similaires. Pour la classe «augmenté», une moyenne de 0.40% a été enregistrée pour l'ensemble des indices.

Les surfaces qui n'ont pas subi de changements, ont été marquées par une valeur de 97.2% pour l'indice TNDVI et avec une moyenne de 96.5% pour les autres indices.

Les résultats retenus semblent cohérentes ce qui affirme l'efficacité de la méthodologie adoptée qui est basée sur la comparaison entre plusieurs indices.

<sup>88</sup> Il y a des zones (ou pixels) où l'indice NDVI a donné une très faible valeur (logiquement, selon l'interprétation de cet indice, il n'y a pas de végétation), par contre ces mêmes zones présente des valeurs élevées pour les autres indices cela se justifie par la perturbation des indices par différents facteurs.



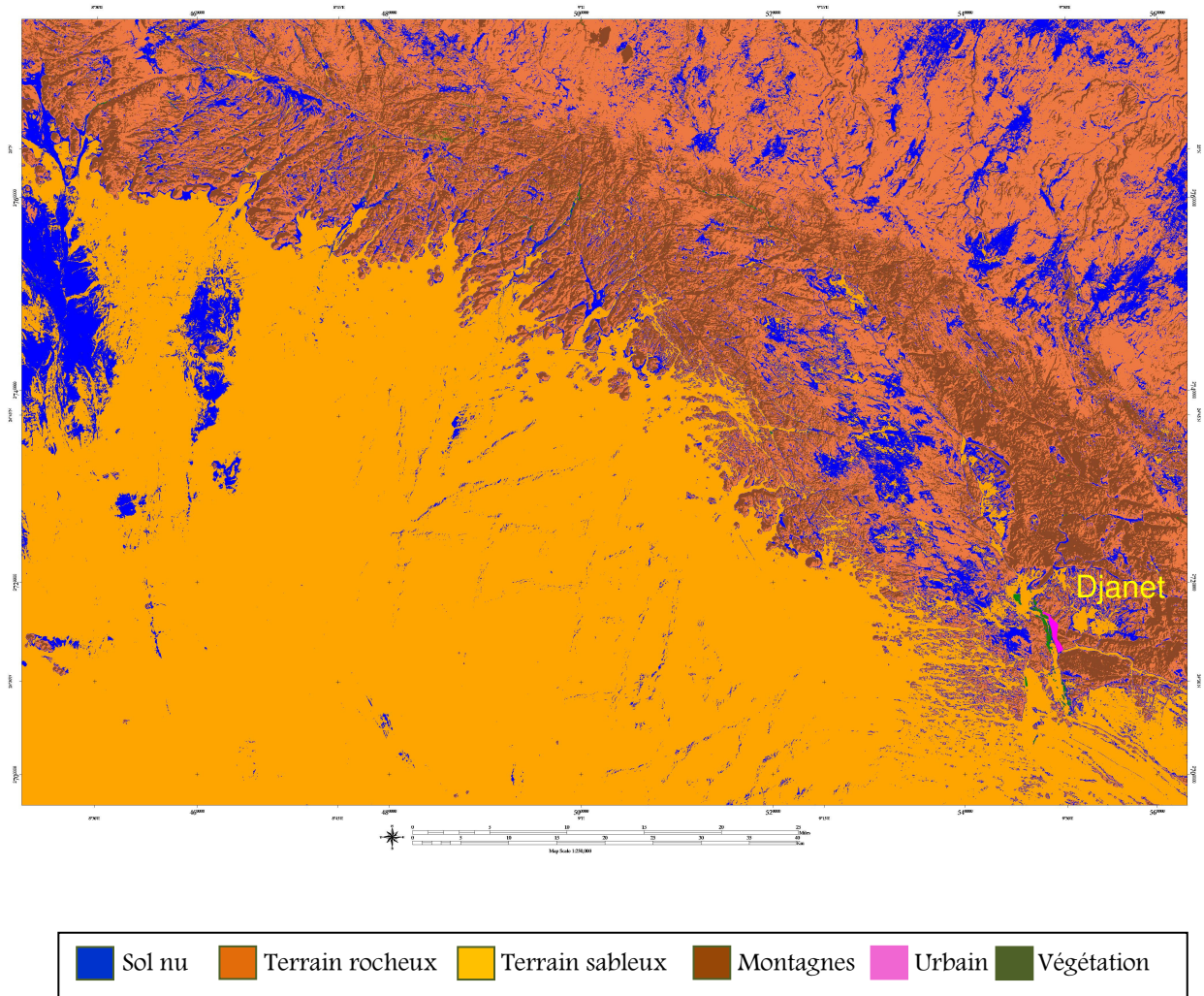
### 7.6.2.3 Classification

Une classification non-supervisée pour l'année 2010 basée sur la méthode de *K-Means*, a été utilisée pour le deuxième site d'étude (région de Djanet). La figure 7.14 illustre les différents thèmes retenus qui sont idem au cas du premier site à savoir : sol nu, terrain rocheux, terrain sableux, les monts de la région, l'urbain (ville de Djanet) et le couvert végétal. Les résultats obtenus par ce modèle ont fait l'objet de plusieurs étapes de traitements afin de mieux purifier les classes ainsi obtenues. L'occupation de sol présentée est ainsi le fruit de la combinaison entre plusieurs informations : la photo-interprétation des compositions colorées (couleur, forme, emplacement, réponse spectrale des objets), indices calculés (brillance, rougeur, végétation), analyse en composantes principales, image Google Earth.

## 7.6.3 Site d'Illizi

### 7.6.3.1 Cartographie de la végétation

L'image satellitaire utilisée était de Landsat TM du 17 janvier 2010 correspond aux coordonnées (path, row) = (190,44). La démarche suivie ici vise à étudier la possibilité de quantifier la végétation (en termes de superficie) et de même déterminer les endroits où le couvert végétal est dense, moyen et faible. A cet effet, nous avons utilisé les cinq indices de végétation (NDVI, TNDVI, SAVI et le MSAVI2) afin de permettre la comparaison des résultats. L'étude des statistiques associées aux indices calculés a montré clairement que les marges (min et max) se différencient fortement d'un indice à l'autre ; NDVI [-0.4 ; 0.65], TNDVI [0.5 ; 1.30], SAVI [-0.58 ; 0.97], MSAVI2 [-1.13 ; 0.78]. De ce fait, plusieurs compositions colorées et une analyse en composantes principales basée sur les trois composantes ACP1, ACP2 et ACP3, ont été impliquées afin de discriminer la marge des valeurs de chaque indice. Le tableau 7.7 montre les marges des trois classes de végétation.



**Figure 7-14** Occupation de sol région de Djanet 2010

	<b>NDVI</b>	<b>TNDVI</b>	<b>SAVI</b>	<b>MSAVI2</b>
Végétation dense	0.2311 – 0.6535	0.9974 – 1.3084	0.3468 – 0.9764	0.4086 – 0.7896
Végétation moyenne	0.1418 – 0.2311	0.8550 – 0.9974	0.2146 – 0.3468	0.2378 – 0.4086
Végétation faible	0.0526 – 0.1418	0.7125 – 0.8550	0.0823 – 0.2146	0.0670 – 0.2378

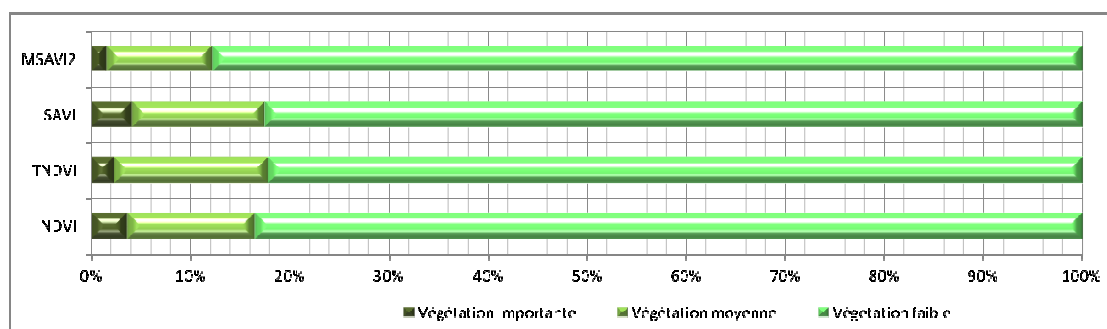
**Tableau 7-7** Les classes de végétation utilisées

Ainsi, le tableau 7.8 illustre les trois classes de végétation avec leurs pourcentages par rapport au site d'étude et éventuellement la surface occupée en km<sup>2</sup>. La classe "végétation dense" est presque identique pour les quatre indices, elle est environ 2 km<sup>2</sup> (soit 0.02%), tandis que pour la classe de "végétation moyenne", les indices NDVI et SAVI ont donné le même pourcentage (0.08%) soit une superficie de 9 km<sup>2</sup>, un pourcentage légèrement supérieur (0.12%) pour les deux autres indices. Le NDVI et le SAVI ont donné une surface moyenne de 60 km<sup>2</sup> pour la classe de "végétation faible", une surface de 72 km<sup>2</sup> a été enregistrée pour le cas du TNDVI, par contre presque le double de surface (environ 100 km<sup>2</sup>) pour le MSAVI2, l'indice qu'on a recommandé son utilisation pour les zones à faible couvert végétal (élimination moyenne de l'effet de sol).

	NDVI			TNDVI		
	%	nb pixel	Superficie (km <sup>2</sup> )	%	nb pixel	Superficie (km <sup>2</sup> )
Végétation dense	0.0245	3002	2.7018	0.0188	2307	2.0763
Végétation moyenne	0.0871	10675	9.6075	0.1243	15234	13.7106
Végétation faible	0.5638	69133	62.2197	0.6574	80600	72.54
	SAVI			MSAVI2		
Végétation dense	0.0247	3030	2.727	0.0172	2103	1.8927
Végétation moyenne	0.08	9804	8.8236	0.1129	13847	12.4623
Végétation faible	0.4935	60513	54.4617	0.9365	114828	103.3452

Tableau 7-8 Caractéristiques du couvert végétal (2010)

Une représentation des surfaces pour les trois classes est illustrée à travers la figure 7.15 :



### 7.6.3.2 Classification

Pour le cas du site d'Ilizi, une classification supervisée pour l'année 2010 basée sur la méthode de *Maximum de Vraisemblance (Maximum Likelihood)*, a été retenue. L'existence de plusieurs oueds importants tel que : oued Tekhammat, oued Allaïtala, oued Isakra, oued Tan Hankat, constitue un facteur clé à la formation d'un couvert végétal plus au moins important le long des lits des oueds. Ainsi, les thèmes choisis pour la classification supervisée sont présentés dans la figure 7.16 à savoir : sol nu, terrain rocheux, terrain sableux, les monts de la région, l'urbain (ville d'Ilizi et l'aéroport Thakhamalt d'Ilizi) et le couvert végétal.

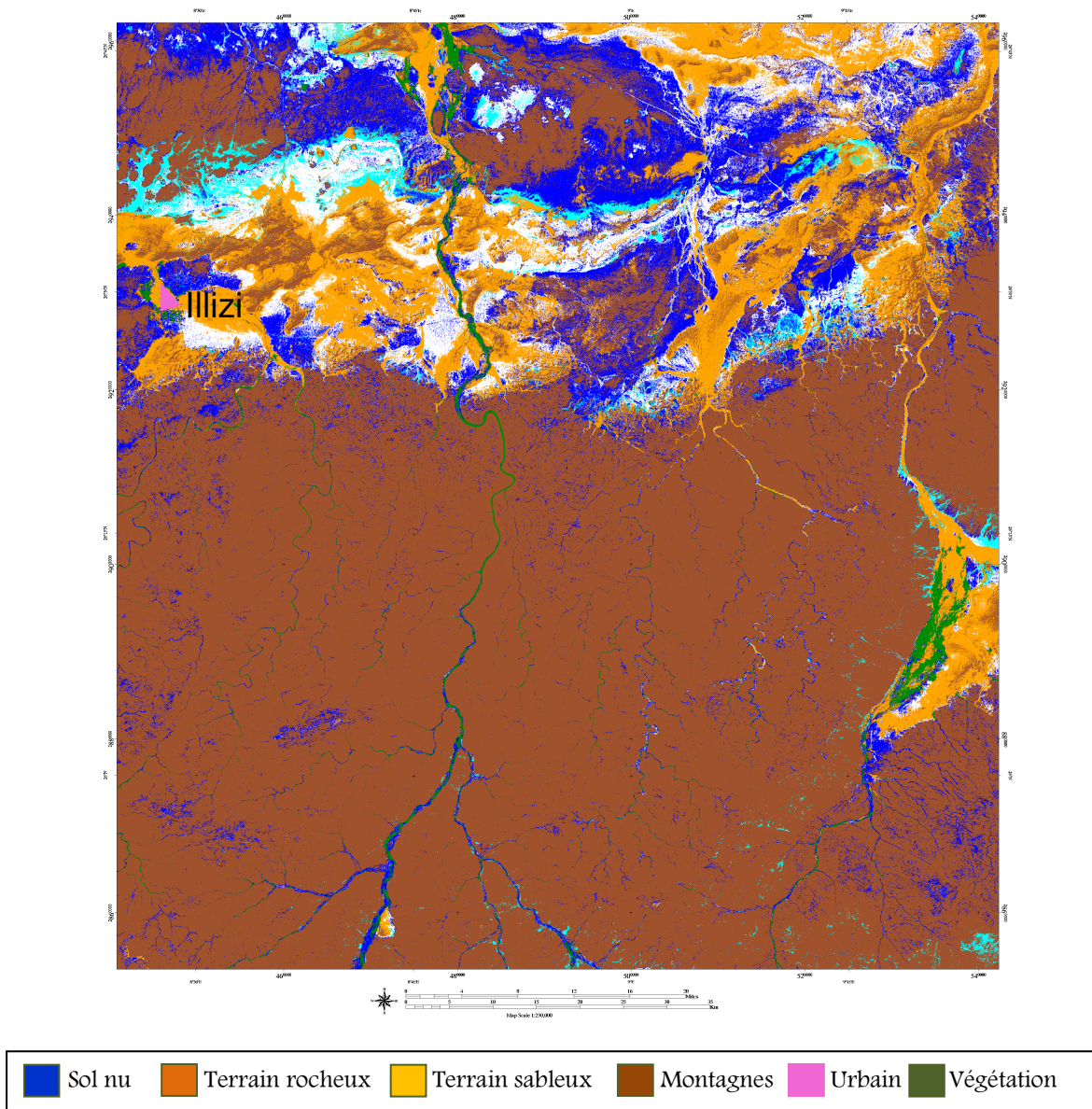


Figure 7-16 Occupation de sol région d'Ilizi 2010

## 7.7 Conclusion

L'intégration des données de la télédétection et les systèmes d'information géographique est une approche efficace, incontournable pour le suivi et la préservation de la biodiversité sur un étendu important où l'accès est souvent difficile. D'après les résultats retenus, on constate qu'il y a une dégradation du couvert végétal sur une période de vingt ans pour les trois sites. Toutefois, on a enregistré une bonne amélioration du couvert végétal pour certains emplacements, ce qui nous amène à confirmer la présence d'un indice fort pour l'activité des écosystèmes sahariens malgré les menaces diverses. Le couvert végétal de cette région se caractérise par une faible végétation qui se répartit le long des oueds, en conséquence, l'approche comparative, basée sur la combinaison entre plusieurs indices (végétation, brillance, rougeur de sol, ACP, etc.) d'une part, et la photo interprétation des différentes compositions colorées d'autre part, a contribué efficacement pour la localisation de la végétation et en même temps son suivi spatiotemporel sur des périodes étendues. La méthodologie basée sur l'intégration de plusieurs indices de végétation permet de quantifier la végétation en termes de surface occupée et de déterminer avec précision les endroits où le couvert végétal est dense, moyen et faible.

Les résultats obtenus constituent un référentiel et une base de travail qui a commencé de se créer. Cela est sans aucun doute subordonné aux convictions, à l'implication des uns et des autres pour une préservation durable de la biodiversité dans ces contrées.

## Conclusion générale et perspectives

Les problèmes de décision à référence spatiale sont complexes, de nature multicritère et se distinguent par leurs référence spatiale des données. Le système d'information géographique, SIG, par sa capacité dans le stockage, la gestion, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale, se présente comme l'outil le plus adéquat pour appréhender ces problèmes. Néanmoins, l'outil SIG actuelle présente un handicap majeur dans le domaine de l'aide à la décision à référence spatiale. Particulièrement, les SIG ne disposent pas de fonctionnalités de traitement pour intégrer les informations associées à un problème de décision spatiale multicritère. Plusieurs essais d'alliance entre les SIG et Méthodes d'AMC ont vu le jour.

Cependant, l'analyse multicritère offre des mécanismes permettant de prendre les problèmes décisionnel dans toute sa complexité (critères conflictuels, préférences et des objectifs divergents, valeurs qualitative et souvent quantitatives). L'utilisation intégrée de la technologie SIG avec les méthodes d'AMC est justifiée d'une à cause de la nature des problèmes de gestion du territoire, et d'autre part des capacités offertes par les SIG et les méthodes d'AMC.

L'approche intégrée SIG-AMC pour l'aide à la prise de décision spatiale est à la fois un but digne d'intérêts et un outil d'utilité répandue à ceux impliqués dans ce qui est une application de base de la technologie SIG. Ceci créera à leur tour l'occasion de l'utilisation accrue de la technologie à base des SIG comme une base des systèmes d'aide à la décision.

Cependant, les techniques du SIG et d'AMC sont tout simplement des outils qui fournissent des approches plus au moins importantes à un objectif spécifique, la raison que ces outils seraient inutiles sans la présence de connaissances et d'expertise de l'opérateur et du décideur d'une part, et sans données appropriées d'autre part. Néanmoins, les applications SIG-AMC semblent représenter des zones potentiellement dégradées pour davantage des travaux de recherche et le développement (Carver, 1991).

Le travail mené à travers cette thèse vise à vérifier trois objectifs principaux : (1) le développement des solutions conceptuelles et méthodologiques pour intégrer les méthodes d'AMC dans le logiciel de SIG pour combler ses limites entant qu'outils d'aide à la prise de décision, qui tient en compte la référence spatiale du problème. (2) L'utilisation de ces approches dans le cadre de la gestion et la préservation la biodiversité des aires protégées en Algérie. (3) L'intégration des données de télédétection pour la gestion et le suivi de la biodiversité.

En effet, l'utilisation des outils de la géomatique dans le cadre de la gestion et le suivi de la diversité biologique est complètement justifiée en prenant en considération une masse importante de données diverses qui se répartissent sur des surfaces étendues où l'accès est souvent difficile. En outre, le système d'information géographique (SIG) est dédié à la cartographie, la gestion et la planification du patrimoine naturel et culturel du parc national de l'Ahaggar (Algérie). L'utilisation des SIG dans cette discipline représente une approche plus efficace, plus pertinente que les méthodes manuelles ou les approches classiques d'évaluation de la biodiversité qui ne tiennent pas en compte de l'aspect spatiale de l'information.

D'après les résultats retenus, on constate qu'il y a une dégradation du couvert végétal sur une période de vingt ans pour les trois sites. Toutefois, on a enregistré une bonne amélioration du couvert végétal pour certains emplacements, ce qui nous amène à confirmer la présence d'un indice fort pour l'activité des écosystèmes sahariens malgré les menaces diverses. Le couvert végétal de cette région se caractérise par une faible végétation qui se répartisse le long des oueds, en conséquence, l'approche comparative, basé sur la combinaison entre les outils de la télédétection, a permis de découvrir le couvert végétal ainsi que son suivi spatiotemporel sur des périodes étendues. La méthodologie basée sur l'intégration de plusieurs indices de végétation a permis de quantifier la végétation en termes de surface occupée et de caractériser avec une certaine précision le couvert végétal.

Les résultats obtenus constituent un référentiel et une base de travail qui a commencé de se créer. Cela est sans aucun doute subordonné aux convictions, à l'implication des uns et des autres pour une préservation durable de la biodiversité dans ces contrées.

Enfin, il est tout à fait justifié que l'approche intégrée SIG-AMC doit être utilisée par les offices des parcs culturels en Algérie pour gérer et surveiller la diversité biologique qui regroupe des données spatiale et/ou non spatiale (faune, flore, données socio-économiques, hydrologie, ...etc.). En effet, le prototype développé est puissant dans la mesure où il dispose de mécanismes, lui permet de sélectionner le plus grand nombre de sites exposés à un risque de dégradation. Ainsi, il est recommandé que la méthodologie adoptée dans cette recherche soit développée en intégrant des connaissances originaires qui pourraient conduire à une meilleure sélection de sites à risque de dégradation. En outre, il est indispensable que les travaux de terrain doivent être effectués sur les sites sélectionnés (e.g : prise d'échantillon) afin d'estimer plus précisément l'état de la biodiversité en se basant sur des indicateurs multiples. Par conséquent, les informations récoltées constituent l'outil clé pour la mise à jour de la base de données disponible sous le SIG et assure le suivi permanent de la biodiversité.

La cohérence des résultats reproduits augmente le degré de confiance des décideurs et affirme l'efficacité de l'approche utilisée. Avec l'outil SIG, les données peuvent être disponibles dans un format qui sera facilement interprétées, peuvent être interactivement affichées, est prêt à de nombreux types de traitement numérique et peuvent être facilement mises à jour. Cette approche n'a jamais été utilisée pour évaluer les zones les plus exposées au risque de dégradation de la biodiversité dans la région aride et semi-aride en Algérie. Ainsi, son utilisation par les services concernés en Algérie est souhaitable, voire nécessaire, compte tenu de ses multiples avantages.

On recommande l'utilisation de tout type de sensibilisation des citoyens et de la population riveraine, en priorité aux sites classés dans un état de dégradation ou qui souffrent un danger d'extinction de ses richesses biologiques.

Il est à noter que notre prototype "SADARS" s'adapte facilement à d'autres problématiques territoriales à condition de comprendre ces dernières, dégager les actions potentielles, définir les critères pour enfin agréger les préférences des décideurs par la méthode adéquate disponible. Notamment, le prototype a été utilisé dans le cadre des projets nationaux de recherche (PNR) pour l'axe de la sécurité routière à la wilaya de Mascara. Les trois routes nationales qui traversent le territoire de la wilaya ont été prises en compte. Ainsi, le résultat final a été représenté sous forme de cartes de risque. Notons que ce projet a été sélectionné comme un PNR valorisable au salon de valorisation des PNR, Oran le 08 et 09 avril 2014.

Vu les capacités de traitement du prototype développé, nous avons généralisé l'application de l'analyse de la sécurité routière sur l'ensemble du réseau de routes nationales de wilaya de Mascara. Les fruits de ce travail ont fait l'objet d'une communication orale dans le cadre du séminaire "Sécurité routière : mesures, enjeux et stratégies d'acteurs", organisé par l'Université d'Oran en collaboration avec le Commandement de la Gendarmerie Nationale le 24 et 25 mai 2014.

## **Perspectives**

Nous terminons cette conclusion en évoquant les différentes perspectives de recherche que nous envisageons d'aborder dans le futur.

### *(1) Continué le développement du prototype.*

Le prototype développé ne prend pas tous les aspects des problèmes de décision spatiale notamment l'aspect multi-acteur (plusieurs scénarios). Notre première préoccupation dans le futur concerne l'incorporation mécanismes et solutions permettent gérer des points de vue multiples.

Actuellement, il existe des méthodes multicritères pour traiter différents types d'incertitude et d'imprécision comme les méthodes FLIP, STRANGE et Fuzzy TOPSIS (Yong, 2006). Il serait donc plus raisonnable de les considérer dans les travaux futurs d'intégration SIG-AMC.

Pour l'aspect méthodologie, nous visons à intégrer le reste des méthodes de surclassement. En effet, la disponibilité de plusieurs méthodes donne beaucoup d'avantages aux décideurs en terme de choix multiples, de comparaisons efficaces et en degré de confiance.

Pour le coté logiciel (SIG), nous envisageons de l'intégration du modèle développé dans un logiciel SIG plus performant, le cas d'ArcGis afin de profiter pleinement des fonctionnalités offertes par ce dernier (module de calculs statistique et géostatistique, traitement de l'information géographique, module de gestion de réseau, la possibilité de jumelage avec d'autres utilitaires cartographiques et bien d'autres...

### *(2) Le développement d'une solution webmapping.*

Les SIG en ligne connaissent depuis quelques années un développement soutenu. Ils permettent en effet la diffusion de l'information ainsi que la mutualisation des données et sont en cela complémentaires par rapport aux plateformes bureautiques ayant encore le quasi monopole de la production de données. Les problèmes de gestion de territoire, et notamment la gestion de la biodiversité des deux parcs culturels de l'Ahaggar et du tassili, impliquent généralement dans leurs processus plusieurs décideurs et utilisent un volume important de données. En effet, le partage de l'information via les réseaux d'internet et d'intranet joue un rôle clé, il permet d'accéder en toute sécurisé aux données stockées dans serveur cartographique. Le développement de cet outil vise deux objectifs :

Assurer l'accès rapide et sécurisé de tout type d'information, faire quelques opérations d'analyse spatiale, mettre à jour la base de données et enfin extraire de l'information sous diverses forme (carte, table, graphe...).

Nous envisageons aussi la solution web sera capable de déclencher une procédure multicritère, en introduisant en quelques étapes les informations nécessaires via le réseau internet. Cette étape nécessite une reformulation de certaines fonctions du prototype.

Le développement d'une solution webmapping n'est pas assez simple. Il nécessite une connaissance approfondie des outils de programmation, l'hébergement dans un serveur cartographique pour le stockage des données. Mais le droit de diffusion représente le grand obstacle pour l'application de ces outils.

*(3) l'implication du facteur temporel dans le processus décisionnel.*

L'intégration de méthodes et mécanismes qui prennent la dimension temporelle dans des problèmes d'aide à la décision est en faite l'un des défis majeurs que nous visons. Cependant, la prise en compte du facteur temps constitue un pas essentiel vers le développement d'un outil robuste d'aide à la décision spatio-temporelle.

## Bibliographie

### Bibliographie

**Abdelguerfi, A. et Ramdane, S.A. 2003.** Mises en œuvre des mesures générales pour la conservation in situ et ex situ et l'utilisation durable de la biodiversité en Algérie. Alger : s.n., 2003. p. 99, Rapport de synthèse. Tome 1. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. FEM/PNUD, Projet ALG/97/G31, Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité..

**Abdelkawy, O. R., et al. 2010.** A Developed GIS-based Land Evaluation Model for Agricultural Land Suitability Assessments in Arid and Semi Arid Regions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2010, Vol. 6, 5, pp. 589-599.

**Albert, D. 1996.** L'aide à la décision entre outils et organisation. Paris : Université Paris-Dauphine. Centre de gestion scientifique de l'école des mines de Paris, 1996.

**Albrecht, J., Jung, S. et Mann, S. 1997.** VGIS: A GIS shell for the conceptual design of environmental models. 1997. . In Z. Kemp, editor, Innovations in GIS 4, pages 154-165. Taylor & Francis, London, 1997.

**Almeida-Dias, J., Figueira, J.R. et Roy, B. 2010.** Electre Tri-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. European Journal of Operational Research, 2010, Vol. 204, 3, pp. 565-580.

**Andersson, F. O., Aberg, M. et Jacobsson, S. P. 2000.** Algorithmic approaches for studies of variable influence, contribution and selection in neural networks. Chemo-metrics and Intelligent Laboratory Systems, 2000, Vol. 51, 1, pp. 61-72.

**Aronoff, S. 1989.** Geographic Information Systems: A Management Perspective. Ottawa : s.n., 1989. WDC Publications, Canada.

**Association Française de l'information géographique.** <http://www.afigeo.asso.fr>. Afigeo. [En ligne] [Citation : 12 10 2012.] <http://www.afigeo.asso.fr/information-geographique.html>.

**Association les Amis du Tassili. 2001.** Promenade au tassili Azjer. Alger : ANEP, 2001. 9961-903-18-8.

**Bacour, C., Bréon, F.M. et Maignan, F. 2006.** Normalization of the directional effects in NOAA-AVHRR reflectance measurements for an improved monitoring of vegetation cycles. 2006. pp. 402-413. Vol. 102, REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT.

**Badi, D. 2004.** Les régions de l'Ahaggar et du Tassili n'Azjer, Réalité d'un mythe. Alger : ANEP, 2004. p. 220. 9947-21-149-5.

**Bagnoli, Ph., Goeschl, T. et Kovacs, E. 2008.** Politiques de la biodiversité : Impacts socio-économiques, enjeux et stratégies d'action des pouvoirs publics. s.l. : OCDE., 2008.

- Barry, J.P et Celles, J.C. 1973.** Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien (entre 0° et 6° de longitude est). *Naturalia monspeliensis Ser Bot Fasc*, 1973, pp. 5–48.
- Barry, J.P et Celles, J.C. 1972.** Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara Algérien (entre 0° et 6° de longitude est). *Naturalia monspeliensis Ser Bot Fasc*, 1972, pp. 23–24.
- Beinat, E. et Nijkamp, P. 1998.** Land-use management and the path toward sustainability. 1998. . In E. Beinat and P. Nijkamp, editors, *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*, pages 1–13. Kluwer, 1998. .
- Belacel, N. 2000.** Méthodes de classification multicritère. Méthodologie et application au diagnostic médical. 2000. p. 156. Thèse de Doctorat en Sciences orientation Recherche Opérationnelle.
- Belton, V. 1990.** Multiple Criteria Decision Analysis practically the only way to choose. Birmingham : L. C. Hendry, R. W. Eglese, Operational Society, 1990. Operational research, Tutorial papers.
- Ben Mena, S. 2000.** Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agrn. Soc Environ*, 2000, Vol. 4, 2, pp. 83–93.
- Ben Mena, S.. 2001.** Méthodes de surclassement et analyse de robustesse. *Environ, Biotechnol. Agrn. Soc*, 2001, Vol. 5, 1, pp. 37–41.
- Ben Mena, S. 1999.** Méthodes multicritères d'aide à la décision : méthodes de surclassement. 1999. p. 34. Note de cours. Assistant à la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (Unité de Mathématique)..
- Benhouhou, S., et al. 2005.** Le cyprès du Tassili: caractérisation floristique et écologique. *Mars* 2005, Vol. 16, 1, pp. 61–66.
- Bennett, D.A., Armstrong, M.P. et Wade, G.A. 1996.** Agent mediated consensus-building for environmental problems : A genetic algorithm approach. In *Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*, Santa Barbara, CA. Santa Fe, NM, National Center for Geographic Information and Analysis, 1996.
- Bildgen, P., et al. 1990.** Utilisation des données spectrales MSS et TM et SPOT exprimées en valeurs de réflectance exo-atmosphérique pour l'étude diachronique de l'évolution des sols, des zones d'exploitation minière ou du couvert végétal. Deuxième journée de télédétection de Bondy, Paris, 4–6 décembre, 1990, p. 7.
- Blomac, F. 1994.** ArcInfo: Concepts et applications en géomatique. s.l. : éd. Hermès, 1994.
- Bocco, M., et al. 2007.** Neural network model for land cover classification from satellite images. *Agricultura Técnica*, 2007, Vol. 67, 4, pp. 414–421.
- Bouchard, J., et al. 2001.** Politique de sécurité dans les transports, Volet routier. 2001. p. 113.

- Brahic, E. et Terreaux, J.Ph. 2009.** Évaluation économique de la biodiversité. Méthodes et exemples pour les forêts tempérées. s.l. : Édition IRD, Quæ. Paris., 2009.
- Brown, S., Schreier, H. et Vertinsky, L. 1994.** Linking multiple accounts with GIS as decision support system to resolve forestry wildlife conflicts. *Journal of Environmental Management*, 1994, Vol. 42, 4, pp. 349–364.
- Burrough, P. A. 2001.** GIS and geostatistics : Essential partners. *Environmental and Ecological Statistics*, 2001, Vol. 8, pp. 361–377.
- Burrough, P. A. 1997.** Environmental modelling with geographical information systems. 1997. In Z. Kemp, editor, *Innovations in GIS 4*, pages 143–153. Taylor & Francis, London, 1997.
- Caloz, R. et Collet, C. 2008.** Analyse spatiale et simulation. 2008. EPFL/LaSIG – IGUF, Lausanne, PFUR.
- Caro, F., et al. 2004.** School redistricting : Embedding GIS tools with integer programming. *Journal of the Operational Research Society*, 2004, Vol. 55, 8, pp. 836–849.
- Carver, S.J. 1991.** Integrating multi-criteria evaluation with geographical information system. *International Journal of Geographical Information Science*, 1991, Vol. 5, 3, pp. 321–339. DOI: 10.1080/02693799108927858.
- Centre Canadien de Télédétection. 2008.** Notios fondamentales de Télédétection. 2008. p. 266. Un cours tutorial.
- Chakhar, S. 2006.** Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique. s.l. : Thèse de doctorat, Université Paris Dauphine., 2006.
- Chakhar, S. et Martel, J.-M. 2003.** Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2003, Vol. 7, 2, pp. 47–71.
- Chakhar, S. et Martel, J.-M. 2004.** Towards a spatial decision support system : Multi-criteria evaluation functions inside geographical information system. *Annales du LAMSADE*, 2004, Vol. 2, pp. 97–123.
- Chakhar, S. et Mousseau, V. 2008.** GIS-based multicriteria spatial modeling generic framework. *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, Vol. 22, 11, pp. 1159–1196.
- Chakhar, S. et Mousseau, V. 2004b.** Towards a typology of spatial decision problems. *Annales du LAMSADE*, 2004b, Vol. 2, pp. 125–154.
- Chakhar, S. 2001.** Toward a Spatial Decision Support System .Multi-Criteria Evaluation Functions into Geographical Information Systems. 2001. p. 89. Mémoire de DEA en Modélisation et Informatique de Gestion. Université de Tunis. Institut Supérieur de Gestion. Département des Méthodes Quantitatives. Laboratoire AMID.

- Cherel, J-P. 2010.** Transformation d'images de télédétection. 2010. Support de cours M1 SIIG3T – Traitement d'images –.
- Chuvieco, E. 1993.** Integration of linear programming and GIS for land use modeling. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1993, Vol. 7, 1, pp. 71–83.
- Ciptomulyono, U. 2000.** Un modèle d'aide à la sélection des projets: l'intégration de la procédure analyse hiérarchique (AHP) et la programmation mathématique à objectif multiple (Application aux projets de développement de centrales électrique en INDONESIE. AIX-Marseille. : s.n., 2000. p. 112. Thèse de Doctorat, Université de droit, d'économie et des sciences.
- CJ, Tucker. 1979.** Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environ.*, 1979, Vol. 8, pp. 127–150.
- Clarke, K.C. 1990.** *Analytical and Computer Cartography*. 1990. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Constantin, Z. et Doumpos, M. 2004.** Multicriteria decision aid in Classification problems. 2004, Vol. 3, 10, p. 33. European Working Group Multiple Criteria Decision Aiding Technical University of Crete, Dept. of Production Engineering and Management, Financial Engineering Laboratory, University Campus, 73100.
- Damart, S., David, A. et Roy, B. 2002.** Comment organiser et structurer le processus de décision pour favoriser la concertation entre parties prenantes et accroître la légitimité de la décision. Paris : s.n., 2002. p. 63. LAMSADE Université Paris Dauphine.
- Dias, L.C. et Clímaco, J.N. 2000.** ELECTRE TRI for groups with imprecise information on parameter values. *Group Decision and Negotiation*, 2000, Vol. 9, pp. 355–377.
- Dias, L.C. et Mousseau, V. 2006.** Inferring ELECTRE's veto-related parameters from outranking examples. *European Journal of Operation Research*, 2006, Vol. 170, 1, pp. 172–191.
- Dias, L.C. et Mousseau, V. 2003.** IRIS – Interactive Robustness analysis and parameters Inference for multicriteria Sorting problems Version 2.0 User Manual. 2003. p. 47. Manuel d'utilisation de la méthode ELECTRE Tri. Institute of Systems Engineer and Computers. INESC Coimbra. .
- Dias, L.C., et al. 2002.** An aggregation/disaggregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI. *European Journal of Operation Research*, 2002, Vol. 138, pp. 332–348.
- Didier, G., et al. 2002.** Analyse multicritère spatiale pour l'identification de la vulnérabilité aux inondations. 2002. p. 12. Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, Centre SITE (Sciences, Information et Technologies pour l'Environnement).
- Didier, M. 1990.** *Utilité et valeur de l'information géographique*. s.l. : Hermès, 1990.
- Ding, Y. et Fotheringham, A.S. 1992.** The integration of spatial analysis and GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1992, Vol. 16, 1, pp. 3–19.

- Doe, 1987.** Handling Geographic information. Report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of enquiry into the Handling of Geographic information. Londres : s.n., 1987. pp. 208 – 210. Departement Of Environnement.Chairman Lord Chorley,HMSO..
- Dubois, O. 1997.** Annexe 7; Exemple d'une méthodologie d'analyse multicritères, comme aide à la décision/négociation. 1997. pp. 1-5. Evaluation interne du programme Eco-Développement Participatif du FENU..
- Dubost, D. 1992.** Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes. Séchresse, 1992, Vol. 3, 2, pp. 85-96.
- Ducheyne, E.I., De Wulf, R.R. et De Baets, B. 2006.** A spatial approach to forest management optimization : Linking GIS and multiple objective genetic algorithms. International Journal of Geographical Information Science, 2006, Vol. 20, 8, pp. 917-928.
- Eastman, J. R., Kyem, P. A. K. et Toledano, J. 1994.** Exploration in Geographic Information System Technology. 1994, Vol. 4. GIS and Decision making, UNITAR European office, Palais des Nations, CH-1211 Geneva 10, Switzerland. .
- Egenhofer, M.J. et Frank, A.U. 1990.** LOBSTER : Combining AI and database techniques for GIS. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1990, Vol. 56, 6, pp. 919-926.
- Eldrandaly, K.A. 2006.** A COM-based expert system for selecting the suitable map projection in ArcGIS. Expert Systems with Applications, 2006, Vol. 31, 1, pp. 94-1000.
- Fabre, J. 1976.** Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. I. la couverture phanérozoïque. Alger : SNED, 1976. p. 422.
- Feng, G. et Sharratt, B. 2005.** Sensitivity analysis of soil and pm10 loss in weps using the lhs-oat method. American Society of Agricultural Engineers, 2005, Vol. 48, 4, p. 1409-1420. ISSN 0001-2351.
- Figueira, J., Greco, S. et Ehrgott, M. 2005a.** Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art Surveys. s.l. : Springer-Verlag, New York, 2005a.
- Figueira, J., Mousseau, Y. et Roy, B. 2005b.** Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art Surveys, chapter ELECTRE methods,. s.l. : pages 133-162. Springer-Verlag, New York, 2005b.
- Fleming, G., Van der Merwe, M. et McFerren, G. 2007.** Fuzzy expert systems and GIS for cholera health risk prediction in southern Africa. Environmental Modelling & Software, 2007, Vol. 22, pp. 442-448.
- Foote, K.E. et Lynch, M. 1996.** Geographic information systems as an integrating technology : Context, concepts and definitions. s.l. : Technical report, Department of Geography, University of Texas at Austin, 1996. [URL : <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/note/>].

- Frank, A.U. et Mark, D.M. 1991.** Geographic Information Systems : Principles and Applications. s.l. : volume 1, chapter Languages issues for GIS, pages 147–163. Longman Scientific & Technical Inc, Esses, 1991.
- Frej, L. 2001.** Modèles de pondération par les méthodes de tri croisé pour l'aide à la décision collaborative en projet. Paris : s.n., 2001. p. 110. Thèse de doctorat. Ecole centrale Paris..
- Furon, R. ca 1967.** Géologie de l'Afrique. 3. Paris : Payot, ca 1967. pp. pp. 73–105. Vol. 3.
- Gaillet, R. 2003.** Analyse multicritère : étude de l'existant et application en analyse du cycle de vie. 2003. p. 52. Rapport de stage, directeur de stage : Pr. Bernard Sinclair-Despagné. .
- Galois, P., Ouellet, M. et Fortin, C. 2007.** Les parcs nationaux du Québec : herpétofaune, intégrité écologique et conservation. le naturaliste Canadien, 2007, 131, pp. 76–83. La société provancher d'histoire naturelle du Canada, .
- Gao, B.C. 1996.** NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. 1996. pp. 257–266. Vol. 58, REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT.
- Garlatti, S. 1997.** Multimédia et systèmes interactifs d'aide à la décision en situation complexe. 1997. p. 25. Laboratoire IASC, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne..
- Getis, A. et Ord, J.K.** Local spatial statistics : An overview. . In P. Longley and M. Batty, editors, Spatial analysis : Modelling in a GIS environment, pages 261–277. Geoinformation International, Cambridge, 1996.
- Gilgen, M. 2000.** Normes et standards pour données géographiques. 2000. p. 74. Accords de participation ASIT-VD – EPFL et VD-GE-NE – EPFL. Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE, Département de Génie Rural, Institut de Géomatique, Chaire de Systèmes d'Information à référence spatiale.
- Gilliot, J-M. 2000.** Introduction aux systèmes d'information géographiques; Introduction & information spatiale. Paris : s.n., 2000. Institut Agronomique Paris-Grignon..
- Gimblett, H.R. 2002.** Integrating geographic information systems and agent-based modeling techniques for simulating social and ecological processes. s.l. : Oxford University Press, London, 2002.
- Girard, C. et Keke Edgard, M. 2000.** Méthodologie multicritère d'exploitation des données imprécises et de fiabilité réduite : application à des manufactures congolaises. Belgique : s.n., 2000. p. 20. Bat. B31, Département de gestion, Université de Liège, Belgique.
- Girard, M.C. et Girard, C.M. 1999.** Traitement des données de télédétection. s.l. : Dunod, Paris, 1999. p. 529.

- Giupponi, C., Eiselt, B. et Ghetti, P.F. 1999.** A multicriteria approach for mapping risks or agricultural pollution for water resources : They Venice Lagon watershed case study. *Journal of Environmental Management*, 1999, pp. 259–269.
- Gomes, E.G. et Lins, M.P.E. 2002.** Integrating geographical information systems and multicriteria methods : A case study. *Annals of Operations Research*, 2002, Vol. 116, pp. 243–269.
- Goodchild, M. F. 1991.** Process on the GIS research agenda. 2–5 April 1991, Vol. 1, pp. 342–350. In *Second European Conference on GIS (ESIG'91)*.
- Goodchild, M. F., et al. 1996.** Systèmes d'information géographique. 1996. Notes de cours Volume1, Notions de base. LATIG, Département de géographie, Université Laval, Québec..
- Goodchild, M.F. 1977.** An evaluation of lattice solutions to the corridor location problem. *Environment and Planning*, 1977, Vol. A9, pp. 727–738.
- Goodchild, M.F. 1993.** Environmental modeling with GIS, chapter The state for GIS for environmental problem solving. s.l. : pages 8–15. Oxford University Press, New York, 1993.
- Goodchild, M.F.1992a.** Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 1992a, Vol. 18, pp. 401–408.
- Goodchild, M.F. 1992b.** Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992b, Vol. 6, 1, pp. 31–45.
- Goodchild, M.F. 2000.** Part 1 Spatial analysts and GIS practitioners : The current status of GIS and spatial analysis. *Journal of Geographical System*, 2000, Vol. 2, 1, pp. 5–10.
- Goodchild, M.F., et al. 1996.** Systèmes d'information géographique. 1996. Notes de cours Volume1 LATIG Département de géographie, Université Laval Québec..
- Goodchild, M.F., Haining, R. et Wise, S. 1992.** Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992, Vol. 6, pp. 407–423.
- Goodchild, M.F., Parks, B.O. et Steyaert, L.T. 1993.** Environmental modeling with GIS. s.l. : Oxford University Press, New York, 1993.
- Greco, S. 1997.** A new PCCA method : IDRA. *European Journal of Operation Research*, 1997, Vol. 98, 3, pp. 587–601.
- Gribi, A., Saï, N. et Younsi, N. 1992.** Carte hydrogéologique du Hoggar et des Tassillis au 1/1000.000 (Algérie). 1992, 1–2, pp. 69–79. Lab. des Tvx. publics du Centre , Hussein dey, (Algérie)..
- Guillaud, Y. 2007.** Biodiversité et développement durable. s.l. : Karthala – Édition UNESCO, 2007.

- Guinting, R. 2000.** Intégration du système d'aide à la décision multicritères et du système d'intelligence économique dans l'ERE concurrentielles. Application dans le choix de partenaire en Indonésie. 2000. p. 198. Thèse de doctorat à l'université de droit et des sciences d'AIX-Marseille.
- Hamadouche, M.A. 2006.** Contribution à la mise en place d'un système basé sur les SIG et l'AMC pour décider sur le territoire. s.l. : Mémoire de Magister, Centre National des Techniques Spatiales, Arzew-Algérie, 99p., 2006.
- Hamadouche, M.A., et al. 2011.** Gomatic tools and multicriteria analysis for managing and conserving the biodiversity of the national park of ahaggar (algeria). 1st First International Geomatics Symposium in Saudi Arabia Jeddah, 14 December 2011. <http://geomaticsksa.com/GTC2011/S3/PDF/12.pdf>.
- Hamadouche, M.A., et al. 2010.** SIG, télédétection et analyse multicritère: vers un outil de gestion et de préservation de la biodiversité du parc national de l'ahaggar (Algerie). The 5th international symposium GeoTunis, Tunisia, 2010. <http://magazine.geotunis.org/fr/2011/07/23/757.html>. Accessed 13 June 2011..
- Henri, P. 1995.** Les SIG. Mise en œuvre et applications. s.l. : Edition HERMES, 1995. p. 158. Traité des nouvelles technologies, série géographique assistée par ordinateur..
- Henry, N. Le Houérou. 1997.** Climate, flora and fauna changes in the Sahara over the past 500 million years? Journal of arid environments, 1997, Vol. 37, pp. 619-647. DOI : 10.1006/jare.1997.0315..
- Henry, N. Le Houérou. 1968.** La désertisation du Sahara Septentrional et des steppes limitrophes. Annales Algériennes de Géographie, 1968, Vol. 3, 6, pp. 57-94.
- Herwijnen, M. et Van Rietveld, P. 1999.** Multicriteria decision-making and analysis : A geographic information sciences approach, chapter Spatial dimensions in multicriteria analysis. s.l. : pages 77-99. Ashgate, New York, 1999.
- Huet, A.R. 1988.** A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). 1988. pp. 295-309. Vol. 25, REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT.
- Hunt, E.R.Jr. et Rock, B.N. 1989.** Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near- and Middle-Infrared Reflectances. 1989. pp. 43-54. Vol. 30, REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT.
- Hutchinson, M. 2004.** Analyse de perception des résidants multilogements à Montréal quant à la mise en place de stratégies visant l'augmentation de leur participation à la collecte sélective. 2004. p. 132. Mémoire en maîtrise en environnement. Université de CHERBROOKE (Quebec) Canada. Faculté de génie, département de génie civil..
- INRA. 2012.** Agriculture et biodiversité : Valoriser les synergies. s.l. : Édition IRD, Quæ. Paris, 2012.
- Itami, R.M., MacLaren, G.S. et Hirst, K.M. 2000.** Integrating the analytical hierarchy process with GIS to capture expert knowledge for land capability assessment. . In Proceedings 4th International Conference

on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4) : Problems, Prospects and Research Needs, Banff, Canada, September 2–8, 2000.

**Jafari, S. et Zaredar, N. 2010.** Land Suitability Analysis using Multi Attribute Decision Making Approach. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2010, Vol. 1, 5, pp. 441–445.

**Jankowski, P. et Richard, L. 1994.** Integration of GIS-based suitability analysis and multicriteria evaluation in a spatial decision support system for route selection. *Environment and Planning B*, 1994, Vol. 21, pp. 323–340.

**Jankowski, P. 1995.** Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1995, Vol. 9, 3, pp. 251–273.

**Janssen R., Rietveld P., 1990.** Multicriteria analysis and GIS : an application to agricultural landuse in the Netherlands. 1990. in *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, edited by H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Dordrecht, Kl.

**Joerin, F. 1997.** Décider sur le territoire, proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthode d'analyse multicritère. 1997. p. 269. Thèse n°1755 présentée au département de génie rural, école polytechnique fédérale de Lausanne..

**Joerin, F. et Musy, A. 2000.** Land management with gis and multicriteria analysis. *International Transactions on Operational Research*, 2000, Vol. 7, pp. 67–87.

**Joerin, F. 1995.** Méthodes multicritères d'aide à la décision et SIG pour la recherche d'un site. *Revue internationale de géomatique*, 1995, Vol. 5, pp. 37–51.

**Joerin, F., Thériault, M. et Musy, A. 2001.** Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, Vol. 15, pp. 153–174.

**John, N., Muriuki, Helen M. De Klerk, Paul H. Williams, Leon A. Bennun, Timothy M. et Crowe, Edward Vanden Berge. 1997.** Using patterns of distribution and diversity of Kenyan birds to select and prioritize areas for conservation. *Biodivers Conserv*, 1997, Vol. 6, 2, pp. 191–210. DOI: 10.1023/A:1018340002756.

**Joliveau, T. 2003.** Systèmes d'Information Géographique. 2003. Support de cours. Université Jean-Monnet. Saint-Etienne..

**Joliveau, T. 2000.** Systèmes d'Information Géographique. 2000. Support de cours. Saint-Etienne, Université Jean-Monnet.

- Joliveau, T., Molines, N. et Caquard, S. 2000.** Méthodes et outils de gestion de l'information pour les démarches territoriales participatives Un regard France-Québec. 2000. pp. 11-44. Rapport réalisé dans le cadre du 15ème appel d'offre Jacques Cartier. Centre de Recherches sur l'ENvironnement et l'Aménagement CNRS - UMR 5600. Université Jean Monnet - Saint Etienne..
- Joly, G. 1984.** Les données image. s.l. : Paradigme, Coll. "SAT", 1984. p. 128.
- Jones, P.G, et al. 1997.** The use of geographic information systems in biodiversity exploration and conservation. *Biodivers Conserv*, 1997, Vol. 6, pp. 947-958. DOI: 10.1023/A.1018311513176.
- Jordan, C.F. 1969.** Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. 1969. pp. 663-666. Vol. 50, *Ecology*.
- Keeney, R.L. et Raiffa, H. 1976.** Decision with multiple objectives: preferences and value tradoffs. 1976. John Wiley, New York, NY. .
- Khalil, W. A.-S., et al. 2003.** Use of chemometric methods and mulitcriteria decision-making for site selection for sustainable on-site sewage effluent disposal. *Analytica Chimica Acta*, 2003, Vol. 506, 1, pp. 41-56.
- Kiker, G.A., et al. 2005.** Application of multicriteria decision analysis in environmental decision-making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2005, Vol. 1, 2, pp. 1-14.
- Koo, B.K. et O'Connell, P.E. 2006.** An integrated modelling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution : 1. Framework and methodology. *International Journal of Science of the Total Environment*, 2006, Vol. 359, pp. 1-16.
- Kornbluth, J.S.H. 1992.** Dynamic multi-criteria decision making. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1992, Vol. 1, pp. 81-92.
- Laaribi, A. 2000.** SIG and analyse multicritère. Hermès Sciences Publications, Paris, 2000.
- Laaribi, A. 1994.** Systèmes d'information géographique et analyse multicritère : intégration pour l'aide à la décision à référence spatiale. 1994. Thèse de Doctorat, Université Laval, Faculté de foreste.
- Laaribi, A., Chevallier, J.J. et Martel, J.-M. 1996.** A spatial decision aid : A multicriterion evaluation approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 1996, Vol. 20, 6, pp. 351-366.
- Laaribi, A., Chevallier, J.J. et Martel, J.-M. 1993.** Méthodologie d'intégration des SIG et de l'analyse multicritère. *Revue Internationale de Géomatique*, 1993, Vol. 3, 4, pp. 415-435.
- Lahdelma, R., Salminen, P. et Hokkanen, J. 2000.** Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environment Management*, 2000, Vol. 26, 6, pp. 595-605.
- Landry. 1987.** Les rapport entre la complexité et la dimension cognitive de la formulation des problèmes. 1987. pp. 3-32. Association française des sciences et technologies de l'information et des systèmes. .

- Laurini, R et Thompson, D. 1992.** Fundamentals of Spatial Information Systems. 1992. p. 680. APIC series, Academic Press, London UK.
- Le Houerou, H.N. 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. CIHEAM/ACCT, Options méditerranéennes, série B, n°10. 1995. p. 396.
- l'Europe, Édition du Conseil de. 1998.** La communication et la biodiversité. Actes. s.l. : Direction de l'environnement et des pouvoirs locaux, Strasbourg (France), 27–26 Mai., 1998.
- Lévêque, C. 2008.** La biodiversité au quotidien. Le développement durable à l'épreuve des faits. s.l. : Édition IRD, Quæ. Paris., 2008.
- Maczewski, J, et Rinner, C. 2005.** Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers : A case study of residential quality evaluation. Journal of Geographical Systems, 2005, Vol. 7, pp. 249–468.
- Mainguet, M. 1990.** La désertification : une crise autant socio-économique que climatique. Sécheresse, 1990, Vol. 1, 3, pp. 187–195.
- Malczewski, J. 1996.** A GIS-based approach to multiple criteria group decision making. International Journal of Geographical Information Systems, 1996, Vol. 10, 8, pp. 955–971.
- Malczewski, J. 1999.** GIS and multicriteria decision analysis. 1999. J. Wiley, New York. .
- Malczewski, J. 2004.** GIS-based land-use suitability analysis : A critical overview. Progress in Planning. 2004, Vol. 62, pp. 3–65.
- Malczewski, J. 2006.** GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 2006, Vol. 20, 7, pp. 703 — 726. DOI: 10.1080/13658810600661508.
- Malczewski, J. 2000.** On the use of weighted liner combination method in raster GIS : Common and best practice approaches. Transactions in GIS, 2000, Vol. 4, 1, pp. 5–22.
- Malczewski, J., et al. 2003.** Gis multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA) : Case study of developing watershed management strategies. Environment and Planning A, 2003, Vol. 35, pp. 1769–1784.
- Mareschal, B. 2003.** Méthode d'aide à la décision. 2003. p. 64. note de cours. Université Libre de Bruxelles. Campus Plaine - Bâtiment NO Bureau 2.N.3.214..
- Mareschal, B. 2000.** Système d'information d'entreprise. 2000. p. 89. note de cours, Université Libre de Bruxelles. Campus Plaine - Bâtiment NO Bureau 2.N.3.214.
- Martel, J.-M. et Aouni, B. 1992.** Méthode multicritère de choix d'un emplacement : Le cas d'un aéroport dans le Nouveau Québec. INFOR, 1992, Vol. 30, 2, pp. 97–117.

- Martel, J.-M. et Rousseau, A. 1993.** Cadre de référence d'une démarche multicritère de gestion intégrée des ressources en milieu forestier. 1993. Projet de développement de la gestion intégrée des ressources, document technique 93/11, Université Laval, Québec..
- Martel, J.-M. 1999.** L'aide multicritère à la décision : méthodes et applications. 1999. Cors – SCRO 1999 ANNUAL CONFERENCE JUNE 7-9, 1999 – WINDSOR, ONTARIO..
- Maystre, L. Y., Pictet, J. et Simos, J. 1994.** Méthodes multicritère ELECTRE : Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. 1994. p. 192. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, CH-1015 Lausanne, Suisse..
- Maystre, L.Y. et Bollinger, D. 1999.** Aide à la négociation multicritère, coll. 'Gérer l'environnement'. 1999. p. 192. PPUR, Lausanne..
- Mederbal, K. 2006.** Méthodologie de mise en place d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) dédié à la cartographie, la gestion et la planification du patrimoine naturel et culturel des parcs nationaux du Tassili et de l'Ahaggar (Algérie). s.l. : Rapport n°3. Projet PNUD Algérie. (Préservation et utilisation durable de la diversité biologique d'intérêt mondial dans les Parcs nationaux de l'Ahaggar et du tassili). Code projet: 00034575, 2006. p. 27.
- Melina, F.L. et al. 2008.** Biodiversity 101 Science 101. London : Greenwood Press Westport, Connecticut, 2008.
- Mendas, A. et Delali, A. 2012.** Integration of MultiCriteria Decision Analysis in GIS to develop land suitability for agriculture. Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, Vol. 83, pp. 117-126.
- Mendas, A., Hamadouche, M.A. et Nechniche, H. 2007.** Elaboration d'un système d'aide à la décision spatiale. Journal of Decision Systems, 2007, Vol. 16, pp. 369-391.
- Molines, N. et Chevallier, J.-J. 2002.** Système d'information géographique et analyse multicritère : une association novatrice au service du processus d'évaluation des grandes infrastructures linéaires. 2002. pp. 195-211. Centre de Recherche sur l'ENvironnement et l'AMénagement (CRENAM.) Saint-Etienne le Centre de Recherche en Géomatique Université Laval..
- Molines, N. 2003.** Méthodes et outils pour la planification des grandes infrastructures linéaires et leur évaluation environnementale. 2003. p. 335. Thèse de doctorat effectuée en codirection pour l'obtention du grade de docteur en géographie de l'université de Saint-Etienne.
- Moor, P. 1994.** Définir l'intérêt public : une mission impossible ? Le partenariat public-privé; Un atout pour l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement ? 1994. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, CH-1015 Lausanne..
- Mousseau, V. 2005.** A general framework for constructive learning preference elicitation in multiple criteria decision aid. 2005. Cahiers du LAMSADE 223, University of Paris Dauphine, France.

- Mousseau, V. 2003.** Elicitation des préférences pour l'aide multicritère à la décision. 2003. . PhD thesis, Mémoire présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris-Dauphine.
- Mousseau, V. et Dias, L.C. 2004.** Valued outranking relations in ELECTRE providing manageable disaggregation procedures. *European Journal of Operation Research*, 2004, Vol. 156, 2, pp. 467–482.
- Mousseau, V. et Slowinski, R. 1998.** Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples. *Journal of Global Optimization*, 1998, Vol. 12, pp. 157–174.
- Mousseau, V. 1993.** Problèmes liés à l'évaluation de l'importance relative des critères en aide multicritère à la décision : Réflexions théoriques, expérimentations et implémentations informatiques. 1993. PhD thesis, Université Paris-Dauphine.
- Mousseau, V., Figueira, J. et Naux, J. 2000.** Using assignment examples to infer weights for ELECTRE Tri method : some experimental results. 2000. p. 23.
- Mousseau, V., Figueira, J. et Naux, J.P. 2001.** Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method : Some experimental results. *European Journal of Operation Research*, 2001, Vol. 130, 2, pp. 263–275.
- Mousseau, V., Slowinski, R. et Zielniewicz, P. 1999.** ELECTRE Tri 2.0a, Methodological guide and user's manual. 1999. p. 70. Document no. 111 of Lamsade.
- Office of the Deputy Prime Minister. 1998.** DTLR multi-criteria analysis manual. 1998. p. 145. Creating sustainable communities, manuel. .
- Organisation internationale de normalisation.** [En ligne] [Citation : 30 12 2013.] [http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?csnumber=32575](http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=32575).
- Parizeau, M.-H. 1997.** La biodiversité. Tout conserver ou tout exploiter ? s.l. : Sciences Ethiques sociétés. De Boeck Université., 1997.
- Pictet, J. 1996.** Dépasser l'évaluation environnementale, procédure d'étude et insertion dans la décision globale. 1996. p. 187. PPUR, coll. META, Lausanne..
- PNUD, Algérie. 2009.** Conservation et utilisation durable de la biodiversité d'intérêt mondial dans les deux parcs nationaux du Tassili et de l'Ahaggar. 2009. Fiche technique du projet..
- Prélaz-Droux, R. 2003.** L'aide multicritère à la décision. 2003. p. 47. Notes de cours Vol. 1.0 / dia 1. Département de génie Rural, IATE – Hydrologie et Aménagements..
- Prélaz-Droux, R. 1995.** Système d'information et gestion du territoire. Approche systémique et procédure de réalisation. Lausanne : Presse Polytechnique et Universitaire Romande, 1995. 2-88074-317-6.

- Qi, J., Kerr, Y. et Chehbouni, A. 1994.** External factor consideration in vegetation index development. Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS , 1994, pp. 723–730.
- Quodverte, P. 1994.** La cartographie numérique et l'information géographique : importance et conséquences du progrès des sciences et des techniques. 1994. Thèse de doctorat, université d'Orléans, France.
- Rajitha, K., Mukherjee, C.K. et Vinu Chandran, R. 2007.** Applications of remote sensing and GIS for sustainable management of shrimp culture in India. *Aquacultural Engineering* doi:10.1016/j.aquaeng.2006.05.003, 2007, Vol. 36, 1–17.
- Raju, K.S. et Pillai, C.R.S. 1999b.** Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system. *European Journal of Operation Research*, 1999b, Vol. 112, 3, pp. 479–488.
- Raju, K.S. et Pillali, C.R.S. 1999a.** Multicriterion decision making in river basin planning and development. *European Journal of Operation Research*, 1999a, Vol. 112, 2, pp. 249–257.
- Randremanana, R.V., et al. 2001.** Système d'Information Géographique et Santé : application à la ville d'Antananarivo. 2001, Vol. 67, 1–2, pp. 74–78. ISSN 0020–2495.
- REDDY, A. 2008.** Textbook of Remote Sensing and Geographical Information Systems, Third Edition. 2008. Institute of Science and Technology, Jawaharlal Nehru Technological University, Kukatpal/y, Hyderabad–72 (A.P.) India. BS Publications.
- Rigol, J.P., Jarvis, C.H. et Stuart, N. 2001.** Artificial neural networks as a tool for spatial interpolation. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, Vol. 15, 4, pp. 323– 343.
- Roche, S. 2000.** Les enjeux sociaux de Systèmes d'Information Géographique. 2000. Les cas de la France et du Québec, coll Géographie sociale. Edition de l'Harmattan, Paris..
- Roy, B. 1998.** A missing link in OR–DA : Robustness analysis. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 1998, Vol. 23, pp. 141–160.
- Roy, B. 1968.** Classement et choix en présence de points de vue multiples : La méthode ELECTRE. *Revue Française d'Informatique et de recherche Opérationnelle*, 1968, Vol. 2, 8, pp. 57–75.
- Roy, B. 1993.** Decision science or decision–aid science. *European Journal of Operation Research*, 1993, Vol. 66, 2, pp. 184–203.
- Roy, B. 1990a.** Decision–aid and decision–making. In C. Bana e Costa, editor, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pages 17–35. Springer–Verlag, Berlin, 1990a.
- Roy, B. 1988.** Des critères multiples en recherche opérationnelle : Pourquoi ? In Rand, editor, *Operational Research '87*, pages 829–842. North–Holland, Amsterdam, 1988.
- Roy, B. 1978.** ELECTRE III : Algorithme de classement basé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. *Cahier du CERO*, 1978, Vol. 20, 1, pp. 3–24.

- Roy, B. et Bertier, P. 1973.** La méthode ELECTRE II – Une application au média-planning. In Ross M., editor, OR'72, pages 291–302. North-Holland Publishing Company, 1973.
- Roy, B. et Bouyssou, D. 1987.** Famille de critères : Problème de cohérence et de dépendance. 1987. Document du LAMSADE 37, Université de Paris Dauphine, France.
- Roy, B. et Bouyssou, D. 1993.** Aide multicritère à la décision : Méthodes et cas. Paris : Economica, 1993.
- Roy, B. et Damart, S. 2002.** L'analyse Coûts–Avantages, outil de concertation et de légitimation ? 2002, 107–108, pp. 7–16. Métropolis, Paris, vol. 'Projet et politiques de transport : expertise en débat'.
- Roy, B. et Hugonnard, J. 1982.** Ranking of suburban line extension projects for the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research*, 1982, Vol. 16A, pp. 301–312.
- Roy, B. et Skalka, J.M. 1984.** ELECTRE IS—Aspects méthodologiques et guide d'utilisation. 1984. Document du LAMSADE 30, Université Paris Dauphine, Paris.
- Roy, B. et Vanderpooten, D. 1996.** The European school of MCDM : Emergence, basic features and current works. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1996, Vol. 5, 1, pp. 22–38.
- Roy, B. 1976.** From optimization to multicriteria decision aid : Three main operational attitudes. In H. Thiriez et S. Zionts, editor, *Multiple criteria decision making*, pages 1–32. Springer-Verlag, 1976.
- Roy, B. 1989.** Main sources of inaccurate determination, uncertainty and imprecision. *Mathematical and Computer Modelling*, 1989, Vol. 12, 10/11, pp. 1245–1254.
- Roy, B. 1985.** Méthodologie multicritère d'aide à la décision. s.l. : Paris Economica XXII, 1985. p. 423.
- Roy, B. 1992.** Science de la décision ou science de l'aide à la décision. *Revue Internationale de Systémique*, 1992, Vol. 6, 5, pp. 497–529.
- Roy, B. 1991.** The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 1991, Vol. 31, pp. 49–73.
- Roy, B. 1990b.** The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. In C. Bana e Costa, editor, *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*, pages 155–183. Springer-Verlag, Berlin, 1990b.
- Rubino, M.J. et Hess, G.R. 2003.** Planning open spaces for wildlife 2: modeling and verifying focal species habitat. *Landscape Urban Plan*, 2003, Vol. 64, pp. 89–104. DOI : 10.1016/S0169-2046(02)00203-7.
- Saaty, T.L. 1984.** Décider face à la complexité, une approche analytique multicritère d'aide à la décision. s.l. : Entreprise moderne d'édition. Les édition ESF de traduction française, 1984. Cet ouvrage est la traduction française du livre de L.T Saaty "Decision Making for Leaders", 1981..
- Saaty, T.L. 1994.** How to make a decision. the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 1994, Vol. 24, 6, pp. 19–43. DOI:10.1287/inte.24.6.19.

- Salem, B.B. 2003.** Application of GIS to biodiversity monitoring. *Journal of Arid Environments* , 2003, Vol. 54, pp. 91–114. DOI: 10.1006/jare.2001.0887.
- Sandham, L.A. et Zietsman, H.L. 1997.** Surface temperature measurement from space. A case study in the South Western Cape of South Africa. *South Afr. J. Enol. Viticulture*, 1997, Vol. 18, 2, pp. 25–30.
- Schärli, A. 1985.** Décider sur plusieurs critères, panorama de l'aide à la décision multicritère. 1985. p. 304. Collection Diriger l'entreprise, N°1, Presses Polytechniques et Universitaires Romande, 1015 Lausanne..
- Schärli, A. 1996.** Pratiquer Electre et Prométhée : un complément à décider sur plusieurs critères. 1996. p. 173. ISBN: 2-88074-340-0. Lausanne, Suisse : Presses polytechniques et universitaires romandes..
- Sengupta, R.R. et Bennett, D.A. 2003.** Agent based modeling environment for spatial decision support. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003, Vol. 17, 2, pp. 157–180.
- Senseman GM, Tweddale SA, Anderson AB, Bagley CF. 1996.** Correlation of land condition trend analysis (LCTA) rangeland cover measures to satellite-imagery-derived vegetation indices. URL:[http://www.cecer.army.mil/techreports/and\\_vegi/AND\\_VEGILLN.post.PDF](http://www.cecer.army.mil/techreports/and_vegi/AND_VEGILLN.post.PDF), 1996.
- Slowinski, R. et Stefanowski, J. 1994.** Rough classification with valued closeness relation. *New approaches in classification and data analysis*. 1994. Editors : Didey E., Lechevallier Y., Schader M., Bertrand P., Burtschy B., Springer-Verlag..
- Smallwood, K.S., et al. 1998.** Indicators assessment for habitat conservation plan of Yolo County, California. USA. *Environ Manage*, 1998, Vol. 22, 6, pp. 947–958. DOI: 10.1007/s002679900161.
- Stefanakis, E., Vazirgiannis, M. et Sellis, T. 1999.** Incorporating fuzzy logic methodologies into DBMS for the application domains of GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 1999, Vol. 13, 7, pp. 657–675.
- Sui, D.Z. 1993.** Integrating neural networks with GIS for spatial decision making. *Operational Geographer*, 1993, Vol. 11, 2, pp. 13–20.
- TAKKA, H. 2003.** Intégration des méthodes d'analyse multicritère dans un SIG – Application à la planification routière dans la wilaya d'Alger. s.l. : , Mémoire de Master, Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace en Langue Française CRASTE-, 2003.
- Tarp, P. et Helles, F. 1995.** Multi-criteria decision-making in forest management planning- an overview. *Journal of Forest Economics*, 1995, Vol. 1, 3, pp. 273–306.
- Teclé, A., Shrestha, B.P. et Duckstein, L. 1998.** Multiobjective decision support system for multiresource forest management. *Group Decision and Negotiation*, 1998, Vol. 7, pp. 23–40.

**Thériault, M. 1992.** Les SIG : entre le mythe et l'utopie – Journées d'études SIG et Gestion des sols : potentialités et limites d'application. s.l. : Institut d'aménagement des terres et des eaux et Société suisse de pédologie – Lausanne., 1992.

**Thériault, M. 1996.** Systèmes d'information Géographique, Concepts fondamentaux. 1996. Note de cours, IATIG, Département de géographie, Université Laval, Québec, notes et documents de cours numéro 12, 2ème édition..

**Tikniouine, A. et El Adnani, M. 2002.** Essai d'intégration des SIG à représentation multiple et des méthodes multicritères d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire. 2002. p. 10. Département d'Informatique, Faculté des sciences Semlalia de Marrakech.

**Togola, M. 1982.** Contribution à l'étude de la végétation sahélo-soudanienne et des potentialités pastorales de la région du Kaarta (Mali). 1982. p. 93. Thèse de Doctorat 3ème cycle. Eco. Vég. Université Paris-Sud centre d'Orsay. .

**Traore, B. 2002.** Contribution à l'étude de la caractérisation et de la germination de *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. dans la région de Tamanrasset (Ahaggar – Algérie méridionale). 2002. p. 178. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides CRSTRA..

**Tucker, J.C. 1979.** Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. 1979. pp. 127–150. Vol. 8, Earth Resources Branch, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

**Turban, R. 1992.** Decision support and Expert System. 1992. Management Support System Macmillan Publishing Company, New York..

**Urli, B., et al. 2003.** Méthodologie Multicritère de classification des sites routiers potentiellement dangereux en regard des infrastructures routières. 2003. p. 42. Université du Québec.

Utilisation des SIG en aménagement du territoire. **Thériault, M. et RELAZ-DROUX, R. 2001.** 3–4, s.l. : Paris, Ed. Hermès, pp. , 2001, Revue Internationale de Géomatique, Vol. 11, pp. 303–308.

**Vansnick, J.-C. 1988.** Principes et applications des méthodes multicritères. s.l. : Technical report, Université de Mons-Hainaut, 1988.

**Verlet, B. 1974.** Le Sahara. Coll. Que sais-je ? Paris : PUF, 1974. p. 126. 766.

**Vincke, P. 1994.** A short note on a methodology for choosing a decision-aid method. s.l. : Rapport Technique 94/07, Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences Appliquées p.8, 1994.

**Vincke, P. 1994.** Comment choisir une méthode d'aide à la décision ? Cahiers du CERO, 1994, Vol. 36, pp. 339–343.

**Vincke, P. 1989.** L'aide multicritère à la décision SMA. 1989. Université de Bruxelles. Bruxelles.

**Vincke, P. 1992.** Multicriteria decision-aid. s.l. : John Wiley & Sons, Chichester, 1992.

- Vincke, P. 1999a.** Robust and neutral methods for aggregating preferences into an outranking relation. *European Journal of Operation Research*, 1999a, Vol. 112, 2, pp. 405–412.
- Vincke, P. 1999b.** Robust solutions and methods in decision-aid. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1999b, Vol. 8, pp. 181–187.
- Vincke, P. 1982.** Using assignment examples to infer weights for ELECTRE Tri method : some experimental results. 1982. p. 23.
- Vodoz, L. 1994.** Enjeux et limites de recours à la négociation, la négociation son rôle, sa place dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement. 1994. Editer par Ruegg J., Mettan N., Vodoz L., presses polytechniques et universitaires .
- Wang, F., Hall, G.B. et Subaryono. 1990.** Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software : Database design and application. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1990, Vol. 4, pp. 261–283.
- Wise, S., Haining, R. et Ma., J. 2001.** Providing spatial statistical data analysis functionality for the GIS, the SAGE project. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, Vol. 15, 3, pp. 239–254.
- Wu, F. 1998.** Simland : A prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP derived transition rules. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998, Vol. 12, pp. 63–82.
- Yanar, T.A. et Akyürek, Z. 2006.** The enhancement of cell-based GIS analyses with fuzzy processing capabilities. *Information Sciences*, 2006, Vol. 176, 8, pp. 1067–1085.
- Yang, Z., Willis, P. et Mueller, R. 2008.** Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy, *The Future of Land Imaging, Going Operational. The 17th William T. Pecora Memorial Remote Sensing Symposium, Denver, Colorado., 2008.*
- Yashon, O., et al. 2011.** MCDA-GIS integrated approach for optimized landfill site selection for growing urban regions. an application of neighborhood-proximity analysis. *Annals of GIS*, 2011, Vol. 17, 1, pp. 43–62. DOI: 10.1080/19475683.2011.558021.
- Yialouris, C.P., et al. 1997.** An integrated expert geographical information system for soil suitability and soil evaluation. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 1997, Vol. 1, 2, pp. 89–99.
- Zhang, C. et McGrath, D. 2004.** Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different points. *Geoderma*, 2004, 119, pp. 261–275.
- Zionts, S. 1994.** *Multiple Criteria Decision Making.* [éd.] N.Y. Spring-Verlag. 1994, pp. 17–26. The challenge that lies ahead, in Tzeng H., Wang H.F., Wen U.P., Yu P.L. (eds).

# ANNEXE 1 :

## Décret n°83-509 du 20 août 1983 relatif aux espèces animales non domestiques protégées

Le Président de la République,  
Sur le rapport du secrétaire d'État aux forêts et à la mise en valeur des terres,

décète :

**Art.1er.** Conformément aux dispositions de l'article 11 de la loi n° 83-03 du 5 février 1983 susvisé, le présent décret a pour objet la protection des espèces animales non domestiques dont la préservation à l'état naturel et la multiplication sont d'intérêt national.

**Art.2.** Les espèces animales non domestiques sont celles qui :

- jouent un rôle dans l'équilibre naturel,
- sont menacées d'extinction,
- revêtent un intérêt scientifique et culturel particulier,

**Art.3.** Les espèces animales non domestiques sont :

### A Oiseaux:

- 1 . Avocette : RECURVIROSTA avosta.
- 2 . Bouvreuil à ailes roses : RHODOPECHYS sanguinea.
- 3 . Bruant ortlan : EMBERIZA hortulana.
- 4 . Butor étoilé : BOTAUROS stellaris.
- 5 . Cigogne blanche : CICONIA ciconia.
- 6 . Cigogne noire : CICONIA nigra.
- 7 . Cincle plongeur : CINCLUS cinclus.
- 8 . Cormoran huppé : PHALACROCORAX aristotelis.
- 9 . Courlis à bec grêle : NUMENTUS tenuirostris.
- 10 . Échasse blanche : HIMANTOPUS himantopus.
- 11 . Engoulevent à collier roux : CAPRIMULGUS ruficollis.
- 12 . Étourneau unicolore : STURNUS unicolore.
- 13 . Flamant rose : PHOENICOPTERUS ruber roséus.
- 14 . Fuligule Nyroca : AYTHYA nyroca.
- 15 . Goéland d'Audouin : LORUS audouini.
- 16 . Grand cormoran : PHALOCROCORAX carbo.
- 17 . Grande outarde : OTTIS tarda.
- 18 . Grue cendrée : GRUS grus.
- 19 . Ibis chauve : GERONTICUS eremita.
- 20 . Martinet à croupion blanc : APUS affinis.
- 21 . Oie cendrée : ANSER anser.
- 22 . Outarde houbara : CHLAMYDOTIS undulata.
- 23 . Petit pingouin : ALCA torda.
- 24 . Poule sultane : PORPHYRIO porphyrio.
- 25 . Sarcelle marbrée : ANAS angustirostris.
- 26 . Sittelle Kabyle : SITTA ledanti.
- 27 . Spatule blanche : PLATALEA leucorodia.
- 28 . Sterne hansel : GELOCHELIDON nilotica.
- 29 . Tadorne casarca : CASARCA tadorna.
- 30 . Tadorne de belon : TADORNA tadorna.

- 31 . Turnix d'Andalousie : *TURNIX sylvatica*.
- 32 . Tous les grands rapaces diurnes et nocturnes et les charognards.

### **B . MAMMIFÈRES:**

- 1 . Addax : *ADDAX nasomaculatus*.
- 2 . Belette : *MUSTELA numidica*.
- 3 . Cerf de Barbarie : *CERVUS elaphus barbarus*.
- 4 . Chat des sables : *FELIS margarita*.
- 5 . Chat sauvage : *FELIS libyca*.
- 6 . Daman des rochers : *PROCAVIA capensis*.
- 7 . Ecureuil de Barbarie : *ATLANTOXERUS getulus*.
- 8 . Fenec : *FENNECUS zerda*.
- 9 . Gazelle d'Atlas : *GAZELLA cuveiri*.
- 10 . Gazelle dama : *GAZELLA dama*.
- 11 . Gazelle dorcas : *GAZELLA dorcas*.
- 12 . Gazelle du Sahara : *GAZELLA libyca*.
- 13 . Genette : *GENETTA genetta*.
- 14 . Goundi d'Afrique du Nord : *CTENODACTYLUS gundi*.
- 15 . Goundi du M'zab : *MASSOUTIERA mzab*.
- 16 . Goundi du Sahara : *CTENODACTYLUS vali*.
- 17 . Guépard : *ACINONYX jubatus*.
- 18 . Hyène rayée : *HYENA hyena*.
- 19 . Lérot : *ELIOMYS quercinus*.
- 20 . Loutre : *LUTRA lutra*.
- 21 . Lynx caracal : *FELIS caracal*.
- 22 . Mangouste : *HERPESTES ichneumon*.
- 23 . Mouflon à manchettes : *AMMOTRAGUS lervia*.
- 24 . Oryx : *ORYX dammay*.
- 25 . Panthère : *PANTHERA pardus*.
- 26 . Phoque moine : *MONACHUS monachus*.
- 27 . Porc épic : *HYSTRIX* .
- 28 . Rat des sables : *PASAMMOMY obesus*.
- 29 . Rattel : *MALLIVORA capensis*.
- 30 . Renard famélique : *VULPUS ruppelli*.
- 31 . Serval : *FELIS serval*.
- 32 . Singe magot : *MACACA sylvanus*.
- 33 . Zorille de Libye : *POECILICTIS libyca*.

### **C . REPTILES:**

- 1 . Agame de Biberon : *AGGAMA bibroni*.
- 2 . Agame variable : *AGGAMA mutabilis*.
- 3 . Caméléon commun : *CHAMAELEO vulgaris*.
- 4 . Clatude : *EMYS orbicularus*.
- 5 . Fouette queue : *UROMASTIX acanthinurus*.
- 6 . Tortue clémmyde : *CLEMMYS leprosa*.
- 7 . Tortue grecque : *TESTUDO graeca*.
- 8 . Varan du désert : *VARANUS griseus*.

**Art.4.** La liste figurant à l'article 3 ci-dessus peut être complétée, en tant que besoin, par arrêté du ministre chargé de la protection de la nature.

**Art.5.** Le ministre chargé de la protection de la nature peut exceptionnellement autoriser la chasse ou la capture des espèces animales non domestiques figurant sur la liste de l'article 3 ci-dessus.

**Art.6.** Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 20 août 1983.

Chadli BENDJEDID

## ANNEXE 2

### Création des parcs nationaux

Les parcs nationaux constituent le maillon le plus important en matière de conservation in situ du réseau national d'aires protégées. Couvrant une superficie de plus de 50.000.000 d'hectares, les parcs nationaux qui existent en Algérie sont représentés dans tous les Secteurs écologiques des Domaines biogéographiques de l'Algérie.

La création des parcs nationaux en Algérie s'est effectuée chronologiquement en 06 phases échelonnées sur une trentaine d'années (tableau 1 en annexe):

- 1972 : Création du Parc national du Tassili, premier parc national créé depuis le recouvrement de l'indépendance de l'Algérie ;
- 1983 : création de 04 parcs nationaux dans le Nord du pays : parcs nationaux d'El-Kala, de Chréa, du Djurdjura et de Théniet-El-Had ;
- 1984 : création de 03 autres parcs nationaux, toujours dans le Nord du pays : parcs nationaux du Bélezma, de Gouraya et de Taza ;
- 1987 : création du parc national de l'Ahaggar, deuxième parc saharien et réorganisation du Parc national du Tassili ;
- 1993 : création du Parc national de Tlemcen, toujours dans la frange Nord du pays ;
- 2003 : classement du dernier parc national en Algérie : parc national de djebel Aïssa (wilaya de Nâama), sur 24.600 hectares (décret exécutif n° 03-148 du 29 mars 2003 portant classement du parc national de djebel Aïssa). Ce parc est localisé sur l'Atlas saharien. C'est le premier parc national implanté sur l'Atlas saharien.

La superficie totale des 11 parcs nationaux d'Algérie (du Nord et du Sud) est de 53.193.837 ha, soit une proportion de 22,33 % du territoire national. La proportion dans le monde est très

## ANNEXE 3 :

### Les sites Ramsar en Algérie

D'après la liste Ramsar "The List of Wetlands of International Importance", publié le 11 Septembre 2014, les sites Ramsar en Algérie sont au nombre de 50 et couvrent une superficie totale de 2 991 013 hectares. <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>

#### ALGERIA / ALGÉRIE / ARGELIA (50 Ramsar Sites, 2,991,013 hectares)

Site Ramsar	Date de désignation	Wilaya	Surface	Coordonnées
* Aulnaie de Aïn Khiar	04/06/03	El Tarf	180 ha	36°40'N 008°20'E
* Chott Aïn El Beïda	12/12/04	Ouargla	6,853 ha	31°58'N 005°22'E
* Chott de Zehrez Chergui	04/06/03	Djelfa	50,985 ha	35°15'N 003°30'E
* Chott de Zehrez Gharbi	04/06/03	Djelfa	52,200 ha	34°58'N 002°44'E
* Chott Ech Chergui	02/02/01	Saïda	855,500 ha	34°27'N 000°50'E
* Chott El Beïdha – Hammam Essoukhna	12/12/04	Sétif, Batna	12,223 ha	35°55'N 005°45'E
* Chott El Hodna	02/02/01	M'Sila, Batna	362,000 ha	35°18'N 004°40'E
* Chott Melghir	04/06/03	El Oued, Biskra, Khenchela	551,500 ha	34°15'N 006°19'E
* Chott Merrouane et Oued Khrouf	02/02/01	El Oued	337,700 ha	33°55'N 006°10'E
* Chott Oum El Raneb	12/12/04	Ouargla	7,155 ha	32°02'N 005°22'E
* Chott Sidi Slimane	12/12/04	Ouargla	616 ha	33°17'N 003°45'E
* Chott Tinsilt	12/12/04	Oum El Bouaghi	2,154 ha	35°53'N 006°29'E
* Complexe de zones humides de la plaine de Guerbes-Sanhadja	02/02/01	Skikda, El Tarf	42,100 ha	36°53'N 007°16'E
* Dayet El Ferd	12/12/04	Tlemcen	3,323 ha	34°28'N 001°15'W
* Garaet Annk Djemel et El Merhsel	12/12/04	Oum El Bouaghi	18,140 ha	35°47'N 006°51'E
* Garaet El Taref	12/12/04	Oum El Bouaghi	33,460 ha	35°41'N 007°08'E
* Garaet Guellif	12/12/04	Oum El Bouaghi	24,000 ha	35°47'N 006°59'E
* Garaet Timerganine	18/12/09	Oum El Bouaghi	1,460 ha	35°40'N 006°58'E
* Grotte karstique de Ghar Boumâaza	04/06/03	Tlemcen	20,000 ha	34°42'N 001°18'E
* Gueltates Afilal	04/06/03	Tamanrasset	20,900 ha	23°09'N 005°46'E
* Ile de Rachgoun	05/06/11	Wilaya de Aïn Temouchent	66 ha	35°19'N 001°28'W
* La Réserve Naturelle du Lac des Oiseaux	22/03/99	El Kala	120 ha	36°42'N 008°07'E
* La Vallée d'Iherir	02/02/01	Illizi	6,500 ha	25°24'N 008°25'E
* Lac de Fetzara	04/06/03	Annaba	20,680 ha	36°47'N 007°32'E
* Lac de Têlamine	12/12/04	Oran	2,399 ha	35°43'N 000°23'E
* Lac du barrage de Boughezoul	05/06/11	Commune de Boughezoul	9,058 ha	35°44'N 002°47'E
* Le Cirque de Aïn Ouarka	04/06/03	Nâama	2,350 ha	32°44'N 000°10'E
* Les Gueltates d'Issakarassene	02/02/01	Tamanrasset	35,100 ha	22°25'N 005°45'E
* Les Salines d'Arzew	12/12/04	Oran, Mascara	5,778 ha	35°40'N 000°81'E
* Marais de Bourdim	18/12/09	El Tarf	11 ha	36°48'N 008°15'E
* Marais de la Macta	02/02/01	Mascara, Mostaganem, Oran	44,500 ha	35°41'N 000°10'W
* Marais de la Mekhada	04/06/03	El Tarf	8,900 ha	36°48'N 008°00'E
* Oasis de Moghrar et de Tiout	04/06/03	Nâama	195,500 ha	32°53'N 000°40'E
* Oasis de Ouled Saïd	02/02/01	Adrar	25,400 ha	9°24'N 000°18'E
* Oasis de Tamantit et Sid Ahmed Timmi	02/02/01	Adrar	95,700 ha	27°45'N 000°15'E
* Oglat Ed Daïra	12/12/04	Nâama	23,430 ha	33°18'N 001°48'W
* Oum Lâagareb	05/06/11	Wilaya El Tarf	729 ha	36°49'N 008°13'E
* Réserve Intégrale du Lac El Mellah	12/12/04	El Tarf	2,257 ha	36°53'N 008°20'E
* Réserve Intégrale du Lac Oubeïra	04/11/83	El Tarf	3,160 ha	36°50'N 008°23'E
* Réserve Intégrale du Lac Tonga	04/11/83	El Tarf	2,700 ha	36°53'N 008°31'E
* Réserve Naturelle du Lac de Béni-Bélaïd	04/06/03	Jijel	600 ha	36°53'N 006°05'E
* Réserve Naturelle du Lac de Réghaïa	04/06/03	Alger	842 ha	36°46'N 003°20'E
* Sebkhâ d'Oran	02/02/01	Oran	56,870 ha	35°22'N 000°48'W
* Sebkheth Bazer	12/12/04	Sétif	4,379 ha	36°05'N 005°41'E
* Sebkheth El Hamiet	12/12/04	Sétif	2,509 ha	35°55'N 005°33'E
* Sebkheth El Melah	12/12/04	Ghardaïa	18,947 ha	30°25'N 002°55'E
* Site classé Sebkheth Ezzmoul	18/12/09	Oum El Bouaghi	6,765 ha	35°53'N 006°30'E
* Site Ramsar du lac Boulhilet	18/12/09	Oum El Bouaghi	856 ha	35°45'N 006°48'E
* Tourbière du Lac Noir	04/06/03	El Tarf	5 ha	36°54'N 008°12'E
* Vallée de Poued Soummam	18/12/09	Kabylie	12,453 ha	36°42'N 005°00'E

# ANNEXE 4

## ELECTRE III (exemple numérique)

Localisation d'une usine :

Voici l'évaluation de quatre actions par rapport à cinq critères :

	C1	C2	C3	C4	C5
UNITE	sur10	Km	Sur4	sur2	Indice
POIDS	25	45	10	12	8
Site 1	120	284	5	3,5	18
Site 2	150	269	2	4,5	24
Site 3	100	413	4	5,5	17
Site 4	60	596	6	8	20
<b>Indifférence</b>	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>
<b>Préférence</b>	<b>40</b>	<b>350</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>	<b>5</b>
<b>Veto</b>	<b>100</b>	<b>850</b>	<b>5</b>	<b>4,5</b>	<b>8</b>
<b>Sens du préférence</b>	<b>Min</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Max</b>	<b>Max</b>

On calcule les indices de concordance pour toutes les hypothèses :

	Site 1	Site 2	Site3	Site 4
Site 1	1	0,9	0,89	0,61
site 2	0,75	1	0,68	0,53
site 3	0,918	0,813	1	0,58
Site 4	0,613	0,528	0,828	1

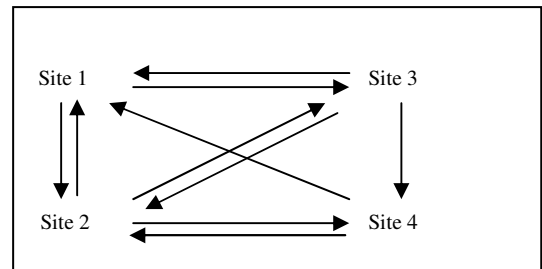
Ensuite, les indices de discordance par critère :

		C1	C2	C3	C4	C5
Site 1	site 2	0	0	0	0	0,33
	site 3	0	0	0	0	0
	Site 4	0	0	0	1	0
Site 2	site 1	0	0	0	0	0
	site 3	0	0	0	0	0
	Site 4	0	0	0,5	0	0
Site 3	site 1	0	0	0	0	0
	site 2	0,1667	0	0	0	0,67
	Site 4	0	0	0	0	0
Site 4	site 1	0,3333	0	0	0	0
	site 2	0,8333	0	0	0	0
	Site 3	0	0	0	0	0

Utilisant le tableau des concordances et de discordance partielle, on calcule les indice de crédibilité :

	Site 1	Site 2	Site3	Site 4
Site 1	1	0,9	0,89	0
site 2	0,75	1	0,68	0,53
site 3	0,92	0,81	1	0,58
Site 4	0,613	0,19	0,83	1

On représente les relations entre les actions en fonction de leur indices de crédibilité :

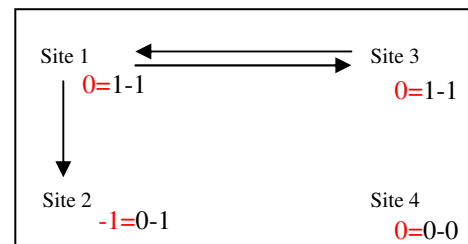


Graphe de surclassement

### La distillation descendante

On choisit un niveau de coupe<sup>171</sup> (ex. : 0.85)

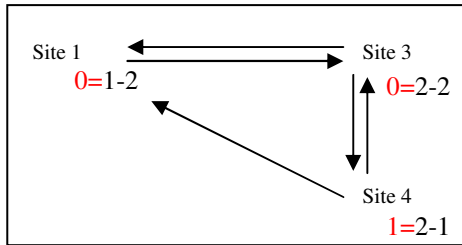
On nettoie le graphe de surclassement par l'élimination de toutes les relations d'une crédibilité inférieure au seuil de coupe. On obtient le graphe suivant :



Graphe de surclassement (seuil de coupe 0.85)

<sup>171</sup> Le seuil de coupe doit être compris entre 0 et 1.

Par la suite, on calcule la qualification<sup>172</sup> de chaque action. On retient que les actions à qualification maximale. Ici Site 1, 3, 4. On diminue le seuil de coupe, pour enrichir le dernier graphe.



Graphe de surclassement (seuil de coupe 0.50)

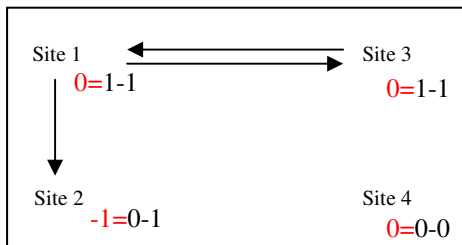
On retient le site 4; donc la première classe de la distillation descendante sera constituée de l'action site 4. On reprend le premier graphe, mais cette fois sans l'action site 4, et on recommence le processus. Le résultat final sera :

Site 2
Site 4
Site 1, site3

Distillation descendante

**Distillation ascendante**

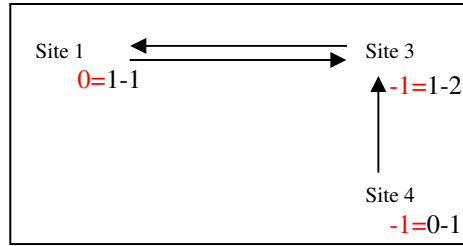
Pour cette distillation, on fait la même chose, mais dans l'autre sens. C'est-à-dire on extrait les actions qui sont les moins bonnes :



Graphe de surclassement (seuil de coupe 0.85)

Au premier lieu, on a l'action **site 2** qui est la moins bonne<sup>173</sup>. Donc elle représente la première classe de cette distillation.

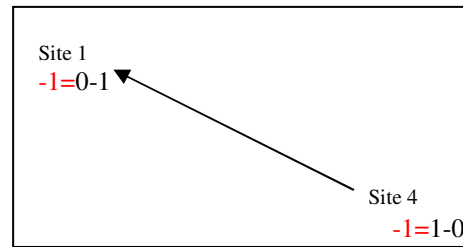
On reprend le graphe, sans l'action site 2, et on diminue le seuil de coupe à 0.70, on aura ainsi :



Graphe de surclassement (seuil de coupe 0.70)

On retient deux actions (3,4), on diminue le seuil de coupe à 0.80, l'action la moins bonne est le **site 3**.

On reprend le graphe initial, avec un seuil de coupe de 0.60, en gardant les actions site 1 et site 4. En résultat il y a :

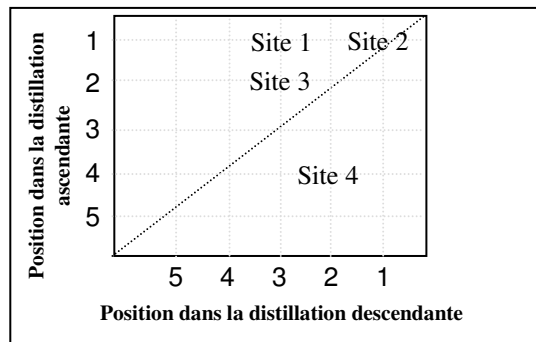


Donc la troisième classe de la distillation contient le **site 1**. le résultat final sera :

Site 2
Site 3
Site 1
Site 4

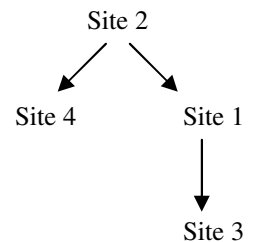
Distillation ascendante

Le classement final est :



**Le classement médian**

Rang	Action
1	Site 2
2	Site 1, site 3
3	Site 4



**Le classement final**

<sup>172</sup> La qualification = nb des actions surclassées – nb. des action surclassantes

<sup>173</sup> Elle a une qualification minimale.

# ANNEXE 5

## ELECTRE Tri (exemple numérique)

l'hypothèse ai S b1		<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
	a1	0,8	1	1	1	1
	a2	0	1	0,5	1	1
	a3	1	1	1	1	1
	a4	1	1	1	1	1
	a5	1	0,11	1	1	1
	a6	1	1	1	1	1
	a7	1	1	1	1	0,75
l'hypothèse b1 S ai		<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
	a1	1	0	1	1	0,50
	a2	1	0	1	1	1
	a3	1	0	1	0,67	0,75
	a4	0	0	0,50	0	0
	a5	0	1	0	0	1
	a6	0,80	0,31	1	1	0
	a7	0,20	1	0	0	1

l'hypothèse ai S b2		<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
	a1	0,8	1	1	1	1
	A2	0	1	0,5	1	1
	A3	1	1	1	1	1
	a4	1	1	1	1	1
	a5	1	0,11	1	1	1
	a6	1	1	1	1	1
	a7	1	1	1	1	0,75
l'hypothèse b2 S ai		<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
	a1	1	0	1	1	0,50
	a2	1	0	1	1	1
	a3	1	0	1	0,67	0,75
	a4	0	0	0,50	0	0
	a5	0	1	0	0	1
	a6	0,80	0,31	1,00	1	0
	a7	0,20	1	0	0	1

Matrice des évaluations :

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>
Unité	Fr/m <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> km/an	/10	/ 10	points
Poids	<b>25</b>	<b>45</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>8</b>
a1	120	284	5	3,5	18
a2	150	269	2	4,5	24
a3	100	413	4	5,5	17
a4	60	596	6	8	20
a5	30	1321	8	7,5	16
a6	80	734	5	4	21
A7	65	982	7	8,5	13
Réf. b1	100	1000	4	4	15
Réf. b2	50	500	7	7	20
Q	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>
P	<b>40</b>	<b>350</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>	<b>5</b>
V	<b>100</b>	<b>850</b>	<b>5</b>	<b>4,5</b>	<b>8</b>

On calcule les indices de concordance par critère de l'hypothèse "ai S b1" et "b1 S ai" ainsi que "ai S b2" et "b2 S ai". Voici les résultats :

**Concordance par critère :**

Voici les indices de concordance de chaque hypothèse :

	ai S b1	b1 S ai	ai S b2	b2 S ai
a1	0,95	0,51	0,56	0,77
a2	0,70	0,55	0,57	0,69
a3	1,00	0,49	0,57	0,99
a4	1,00	0,05	0,97	0,98
a5	0,60	0,53	0,49	0,95
a6	1,00	0,56	0,44	1,00
a7	0,98	0,58	0,47	0,96

Par le calcul des indices de discordance correspondent aux différentes hypothèses de

	ai S b1	b1 S ai	ai S b2	b2 S ai
a1	<b>0,95</b>	0,28	0,56	<b>0,77</b>
a2	0,70	0,00	0,00	0,00
a3	<b>1,00</b>	0,49	0,57	<b>0,99</b>
a4	<b>1,00</b>	0,02	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>
a5	0,60	0,53	0,06	<b>0,95</b>
a6	<b>1,00</b>	0,56	0,44	<b>1,00</b>
a7	<b>0,98</b>	0,00	0,30	<b>0,96</b>

surclassement, on calcule ensuite les indices de crédibilité:

Par la suite, on fixe un seuil de crédibilité (par exemple :  $\lambda = 0.75$ ).

**Pour ELECTRE Tri pessimiste :**

- a1 -> C2 car a1 S b1 et a1 NonS b2,
- a2 -> C1 car a2 NonS b1 et a2 NonS b2,
- a3 -> C2 car a3 S b1 et a3 NonS b2,
- a4 -> C3 car a4 S b2,
- a5 -> C1 car a5 NonS b1 et a5 NonS b2,
- a6 -> C2 car a6 S b1 et a6 NonS b2,
- a7 -> C2 car a7 S b1 et a7 NonS b2,

**Pour ELECTRE Tri optimiste :**

- a1 -> C2 car b1 NonS a1 et b2 S a1,
- a2 -> C3 car b1 NonS a2 et b2 NonS a2,
- a3 -> C2 car b1 NonS a3 et b2 S a3,
- a4 -> C2 car b1 NonS a4 et b2 S a4,
- a5 -> C2 car b1 NonS a5 et b2 S a5,
- a6 -> C2 car b1 NonS a6 et b2 S a6,
- a7 -> C2 car b1 NonS a7 et b2 S a7,

**Représentation des résultats :**

		Pessimiste		
		C1	C2	C3
Optimiste	C3	a2	*	*
	C2	a5	a1,a3,a6,a7	a4
	C1	*	*	*

## ANNEXE 6

### Changement de dénomination du parc national de Tassili

**Décret exécutif n° 11-86 du 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011 portant changement de la dénomination du parc national du Tassili.**

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de la culture,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, notamment son article 38 ;

Vu le décret n° 72 -168 du 27 juillet 1972 portant création du parc national du Tassili et de l'établissement public chargé de sa gestion ;

Vu le décret n° 87-88 du 21 avril 1987 portant réorganisation de l'office du parc national du Tassili ;

Vu le décret n° 87-89 du 21 avril 1987 portant réglementation du parc national du Tassili ;

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Joumada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Après approbation du Président de la République ;

#### **Décète :**

Article 1er. . La dénomination du « parc national du Tassili » est remplacée par celle du « parc culturel du Tassili » dans toutes les dispositions des décrets n° 72-168 du 27 juillet 1972, n° 87-88 et n° 87-89 du 21 avril 1987, susvisés et ce, conformément aux dispositions de l'article 38 de la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

Art. 2. . Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011.

*Source :*

Ahmed OUYAHIA.

## ANNEXE 7

### Changement de dénomination du parc national de l'Ahaggar

**Décret exécutif n° 11-87 du 18 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 21 février 2011 portant changement de la dénomination du parc national de l'Ahaggar.**

Le Premier ministre,

Sur le rapport de la ministre de la culture,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-3° et 125

(alinéa 2) ;

Vu la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, notamment son article 38 ;

Vu le décret n° 87-231 du 3 novembre 1987 portant création de l'office du parc national de l'Ahaggar ;

Vu le décret n° 87-232 du 3 novembre 1987 portant réglementation du parc national de l'Ahaggar ;

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 Jomada Ethania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Après approbation du Président de la République ;

Décète :

Article 1er. . La dénomination du « parc national de l'Ahaggar » est remplacée par celle du « parc culturel de l'Ahaggar » dans toutes les dispositions des décrets n° 87-231 et n° 87-232 du 3 novembre 1987, susvisés et ce, conformément aux dispositions de l'article 38 de la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

Art. 2. . Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 18 Rabie El Aouel 1432 correspond au 21 février 2011.

*Source :*

Ahmed OUYAHIA.

## ANNEXE 8

### Le Parc culturel de l'Ahaggar

Le Massif de la Taessa

Tab. 1. État de l'oued Akaiour

<b>Altitude (m)</b>	<b>1700</b>	<b>1720</b>	<b>1776</b>	<b>1838</b>
Nombre de Taxons	11	13	08	18
Recouvrement %	30	30	Éparses	60
Endémiques	02	02	03	02
Vigueur	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne

Le Massif de la Tefedest

Tab. 2. État de l'oued Ahor

<b>Altitude (m)</b>	<b>1450</b>	<b>1490</b>	Les terrasses alluviales attenantes à l'oued Ahor en aval sont souvent exploitées par les habitants de Mertoutek.
Nombre de Taxons	04	17	
Recouvrement %	30	50	
Endémiques		03	
Vigueur	Bonne	Bonne	

L'oued **Adjeli**

Tab. 3. État de l'oued Adjeli

<b>Altitude (m)</b>	<b>1225</b>	* L'année 2007 a été particulièrement favorable en termes de développement de la flore et de la végétation sur les terrasses alluviales de cet oued.
Nombre de Taxons	40	
Recouvrement %	30	
Endémiques	03	
Vigueur *	Très Bonne	

L'oued **Amghah**

Tab. 4. État de l'oued Amghah

<b>Altitude (m)</b>	<b>1115</b>	<b>1120</b>	<b>1137</b>
Nombre de Taxons	07	13	08
Recouvrement %	15	30	50
Endémiques	01	01	00
Vigueur	Satisfaisant	Bonne	Bonne

## L'oued In Takoufé,

Tab. 5. Quelques variables sur l'Oued In Takoufé

Altitude (m)	Nombre de Taxons/100m <sup>2</sup>	Recouvrement (%)	Nous remarquons que le nombre de taxons diminue avec l'altitude et les flancs de montagnes mais le recouvrement demeure satisfaisant. Les formations arborées constituent un refuge aux espèces phares dans cette dition
1150	17	30	
1203	16	40	
1210	09	30	
1236	05	20	

## Les oueds de la Tefedest

Tab.6. Etat des oueds de la Tefedest

Station/altitude (m)	Nombre de taxons	Recouvrement (%)	Etat de conservation	Observations
- <b>Ahor</b> /- 1450	05	20	Satisfaisant	Proximité du poste de Mertoutek
/ - 1490 à 1500	19	30	Satisfaisant	
- <b>Adjeli</b> / 1200	19	40	Satisfaisant	Est- Nord- Est de Mertoutek Pâturage appréciable
/ 1225	19	30	Satisfaisant	
Impluvium > 1225	30	30	Satisfaisant	
- <b>Amghah</b> / 1115	10	20	Pâturé	Pression remarquable en amont de l'oued, moins en aval Oued à <i>Acacia raddiana</i> Taxons endémiques
/ 1120	12	20	Satisfaisant	
/ 1140	13	40	Satisfaisant	
/ 1190	08	60	Satisfaisant	
- <b>Ouhat</b> 1210 à 1215	08	80	Etat Moyen	Poste OPNA, Z'Riba fréquentée 6mois/12 ; cultures vivrières printanières et estivales ; Exploitation de <i>Typha elephantina</i>
- <b>In Takoufé</b> / 1150	17	30	Pâturé	Groupement à <i>Solenostema argel</i> en aval et phytocénose arborée en amont dominée par <i>Acacia raddiana</i> .
/ 1203	16	40	Pâturage moyen	
/ 1210	09	30	Satisfaisant	
/ 1236	05	20	Satisfaisant	
			Satisfaisant	
- <b>Abézou</b> / 1301	06	70	Satisfaisant	Groupement à <i>Artemisia judaica ssp sahariensis</i> sur l'ensemble de l'oued y compris sur son affluent l'oued <b>Afessous</b> .

## ANNEXE 9

### Le Parc culturel du Tassili N°Ajjers

#### Le plateau du Meddak

Nous avons une phytocénose diversifiée dont le nombre de taxons est élevé et leur vigueur satisfaisante (Tab 7).

Les principaux groupements sont et leurs caractéristiques sont données ci-dessous (Tab. 7)

#### Oued Tamrit

Tab.7. Caractères des stations de l'oued Tamrit

Station	Nombre de taxons	Groupe ment à	Rcg %	Etat de conservation
Station 1	10	<i>Pulicaria crisper</i>	40	Satisfaisant
Station 2	09	<i>Globularia alypum</i>	50	Satisfaisant
Station 3	15	<i>Lavandula antinaea</i>	60	Satisfaisant

Certains sites du plateau du Meddak méritent plus d'attention tant au point de vue de la préservation (Maâder et oued Ghayeye), les oueds Tamrit, Adjemdjour où l'activité touristique est intense. Le nombre de taxons demeure sensiblement le même que celui déjà évoqué par Barry et al. (1970) (Tab 8 et 9).

#### Oueds Adjemdjour et Ghayeye

Tab.8. Caractères des stations des oueds Adjemdjour et Ghayeye

Station	Altitude (m)	Nombre de taxons	Groupe ment à	Rcg %
Oued Adjemdjour	1654	14	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> et <i>Asteriscus graveolens</i>	30
Oued Ghayeye	1660	17	<i>Artemisia campestris</i> et <i>Calligonum comosum</i> <i>Artemisia campestris</i> et <i>Calligonum comosum</i>	40

Tab. 9. Comparaison du nombre d'espèces entre 1970 et 2007

Stations	Données	N° Rel /Nbre Esp Barry et al. 1970	N° Rel /Nbre Esp. Barry et al. 1970	N° Rel /Nbre Esp Barry et al. 1970	Données 2007 Abdelkrim et al.
	Tamrit		3/16	4/19	6/19
Tin Allouane		11/24	12/29	13/22	
Adjemdjour		14/32			
Ghayeye		15/14	16/20	18/17	01/20
Tissouanet =Tichouinet		19/26	20/26		

## L'Anhef et le Serkout

### L'Erg Tihoudayine

Nous donnons ci-dessous quelques résultats se rapportant aux différentes phytocénoses du site prioritaire (Tab. 10).

Tab. 10. Caractères des stations du complexe de l'erg Tihoudayine

Station	Groupement à	Alt. (m)	Rec. (%)
Griffes d'oueds et éboulis	<i>Acacia raddiana</i> et <i>Rhus Tripartitum</i>	1135	30
Sol sablo limoneux	<i>Drinn</i> , <i>Panicum turgidum</i> et <i>Stipa sp</i>	1130	60
Cordon dunaire et dunes de l'erg	<i>Calligonum azel</i> et <i>Moltkia callosa</i>	1278	40
Zone dépressionnaire	<i>Hyocyamus muticus</i> et <i>Capparis spinosa</i>	1128	20

Entre le cordon dunaire qui a rendu ce site célèbre, la dépression, les plateaux tassiliens limitant la dépression et les zones d'atterrissement des eaux, les communautés végétales particulières et spécialisés offrent des **possibilités de pâturage illimitées**.

## ANNEXE 10

### Synthèse de l'état de l'art des applications sur l'intégration SIG et AMC

Référence	SIG et AMC	Application
Janssen et Rietveld (1990)	Pas d'intégration, les deux outils sont indépendants: SIG (ArcInfo) et AMC (INFINITE)	Utilisation agricole des terres aux Pays Bas
Carver (1991) lière intégration effective	SIG / ArcInfo puis macro-commandes via AML (langage program du SIG) pour intégrer trois techniques multicritères préalablement existant sous Fotran 77	Choix de sites potentiels en fonctions de critères définis
Eastman et al. (1993b), le plus significatif des lières tentatives d'intégration SIGAMC	IDRISI 4.1, outils d'analyse (AMC) incorporé dans ce logiciel SIG dédié aux applications de télédétection. Il intègre la Somme pondérée, la détermination de poids par paire => AHP de Saaty (1980), l'analyse de séries "floues" etc.	Aide à la décision en générale et multicritère en particulier.
Can (1993)	AMC ELECTRE I, écrit en langage C, dans Arc/Info via son langage de macrocommandes AML.	Evaluation de la qualité résidentielle dans la ville de Syracuse (New York)
Banai (1993)	Intégration de AHP dans le SIG Idrisi. Ce travail est parmi les premiers à utiliser la logique floue dans un système SIG-AMC	Problématique de localisation.
Jankowski et Richard (1994)	Optimisation hiérarchique et fonction d'évaluation multicritère intégrée dans le SIG (Idrisi)	Identification d'un corridor destiné à l'implantation d'une autoroute
Jankowski (1995)	Intégration indirecte et/ou encadré proposés par Nyerges (1993) pour incorporer différents logiciels AMC existants (Best Choice, Expert Choice, MADM Windows etc.) dans le SIG Arc/Info.	Analyse environnementale
Jain et al. (1995)	L'optimisation hiérarchique (Jankowski et Richard, 1994) et une technique ad hoc de pondération intégrée dans le SIG Arc Info. Visualisation des résultats par ARC PLOT (Arc/Info) et ArcView.	planification durable de la production animale dans la région de Southern Iowa aux États-Unis.
Malczewski (1996)	Incorporation dans IRISSE de la méthode multicritère TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de Hwang et Yoon (1981) et la règle du choix de Borda (Borda, 1781).	Problématique hypothétique de localisation d'un complexe nocif impliquant trois décideurs.
Laaribi et al. (1996)	La Méthode PROMETHEE II incorporée dans le SIG Arc/Info. Laaribi et al. (1996) sont les premiers à proposer une méthodologie de guidage "systématique" pour le choix d'une méthode multicritère dans une	Problématique de conservation des eaux et du sol en Tunisie.

	perspective d'intégration dans un SIG.	
Jankowski et al. (1997)	Ils proposent Spatial Group Choice (SGC), destiné à la prise de décision de groupe et composé de deux modules dont un d'évaluation multicritère et l'autre de visualisation basé sur ArcView 2. Les deux modules communiquent via un protocole d'échange dynamique.	Problème de choix de trois localisations pour le développement d'habitat impliquant cinq décideurs.
(Joerin, 1997)	Il propose MEDUSAT («Méthode d'aide à la Décision par l'Utilisation de SIG pour l'Aménagement du Territoire»), un cadre méthodologique qui doit être précisé par les utilisateurs (approche acteurs) lors de chaque Application. Il intègre Electre Tri et Electre Is comme méthode d'AMC.	L'application porte ici sur la localisation de l'emplacement d'une usine de traitement de déchets au Nord-Est de la Tunisie. Les traitements SIG ont été effectués dans ce cas sous Idrisi.
Wu (1998)	Il propose SimLand qui est une intégration encadrée du SIG Arc/Info, de l'automate cellulaire et de la méthode multicritère AHP. Cette dernière a permis de déterminer les règles de transition de l'automate cellulaire.	Simulation de l'évolution de l'utilisation du sol dans la ville de Guangzhou dans le sud de la Chine.
Giupponi et al. (1999)	Analyse multicritère : (somme pondérée) et SIG sous IDRISI 2.0 pour mesurer le risque de pollution des ressources en eaux.	Evaluation et représentation des pollutions diffuses dans le bassin versant de la région de Lagon (Venise) en Italie.
Jiang et Eastman (2000)	Combinaison booléenne et combinaison linéaire pondérée "WLC (weighted linear combination)" intégrées dans IDRISI. Pour résoudre les différences conceptuelles entre les deux procédures, les auteurs proposent d'utiliser la logique floue pour normaliser les performances. Ils proposent un nouvel opérateur, OWA (Ordered Weighted Average, une combinaison pondérée avec poids d'ordre qui, selon eux, généralise les règles d'agrégation précédentes.	Application à un problème de localisation industrielle dans la ville de Nakuru au Kenya. Nous l'appliquons, sans l'approche OWA pour la localisation des sites agricoles dans la ville de Ouagadougou dans le cadre de la présente étude.
Jorein et Musy (2000) Jorein et al. (2001) (Joerin et Metzger, 2004)	Ils proposent MAGISTER (Multicriteria Analysis and GIS for Territory) construit sur la base du SIG MapInfo et de la méthode multicritère ELECTRE TRI programmée sous MapBasic. Les auteurs ont utilisé un indice d'homogénéité qui permet de calculer la similarité entre chaque élément du territoire (i.e. pixel) et les caractéristiques moyennes de la zone afin de subdiviser le domaine d'étude en zones homogènes, représentant les actions potentielles à classer, par ELECTRE TRI, dans trois catégories	Problématique de construction des habitats dans une zone rurale située dans le canton de Vaud en Suisse. Les auteurs mettent à disposition de tout utilisateur le désirant cet outil à condition qu'il respecte les règles de citation d'usage : <a href="http://www.adt.chaire.ulaval.ca">http://www.adt.chaire.ulaval.ca</a>

	de convenance : favorable, incertaine et non favorable.	
Itami et al. (2000)	Intégration de la méthode multicritère AHP de Saaty (1980) dans le SIG ArcView via son module Spatial Analyst pour la combinaison des différentes cartes attributs. Le prototype basé sur AHP permet ainsi de construire la hiérarchie objectifs/attributs et de pondérer les différents facteurs.	Application sur la gestion d'un bassin versant dans la région de Victoria en Australie. L'approche multicritère a permis de tenir compte de la complexité dans les problèmes de gestion et d'aménagement intégré des bassins versants
Jankowski et al. (2001)	Ils proposent DECADE (Dynamic, Exploratory Cartography for Decision Support). Ici, la carte, au delà d'un simple moyen de représentation et de visualisation est devenue un espace de décision où l'utilisateur, en se basant sur sa manipulation directe peut ranger les alternatives de décision, pondérer les cartes critères, et modifier l'espace de critères.	Implantation de centres hospitaliers dans les différents départements (countries) de l'état d'Idaho aux États-Unis. Selon Chakar (2006), il s'agit des premiers travaux destinés à la décision multicritère spatiale visuelle
Gomes et Lins (2002)	Stratégie d'intégration encadrée similaire à celle adoptée par Jankowski et Richard (1994) pour coupler le SIG et le logiciel VIG supportant la méthode de programmation mathématique adoptée	Application test pour localiser la mairie de la ville de Rio de Janeiro au Brésil en se basant sur quinze critères regroupés en cinq familles (infrastructure, éducation, sécurité, santé et emploi)
Sharifi et al. (2002)	Intégration du logiciel GeoChoice (prise de décision spatiale) et de DEFINITE (Janssen et al. 2001). La méthode multicritère élémentaire de la somme pondérée, incorporée dans DEFINITE, a été utilisée pour combiner les différentes cartes critères générées par GeoChoice (implémentant la pondération par paire de Saaty), et effectuer une analyse de sensibilité.	Re-localisation de la zone frontalière entre le "Tunari National Park" et la ville de "Cochabamba" en Bolivie. Ici, chaque action potentielle est représentée par une carte synthétique issue de la combinaison des cartes critères.
Martin et al. (2003)	un système intégré d'aide à la décision (SIAD) composé d'une banque de données, du SIG Mapinfo, d'une interface usager et deux logiciels d'AMC (PROMOCALC et GAIA 3.5) implémentant les méthodes PROMETHEE I et II.	Aménagement de la plaine alluviale de la Rivière Saint-Charles au Québec : évaluation de huit scénarios d'aménagement.
(Paegelow. 2004) (Camacho et al, 2007)	Approche SIG + EMC + EMO (Evaluation multiobjective) pour la modélisation (prospective et rétrospective) de dynamiques environnementales variables en vitesse et sens ; Modélisation géomatique sous IDRISI, AMC de Saaty (1980)	Application sur les paysages des Garoxttes (France) et de l'Alta Alpujarra Granadina (Espagne)
Malczewski et Rinner (2005)	Approche OWA (Ordered Weighing Average de Yager (1988)) implémenté dans le logiciel <b>CommonGIS</b> (Andrienko et Andeienko, 1999).	Application à un problème d'évaluation de la qualité résidentielle dans la ville de London, Ontario (Canada).

	<p>La technique OWA, que l'on pourrait traduire par « lissage selon les poids d'ordre », est identique à la CLP au détail près que l'on ajoute des poids d'ordre qui agissent de manière circonstancielle. Il s'agit, en effet, d'un ordre par rang des facteurs qui est propre à chaque localisation (pixel). Cette approche implémente les stratégies intermédiaires entre les stratégies extrêmes (optimiste et pessimiste) de prise de décision ; des expressions linguistiques, représentées par des nombres flous triangulaires, peuvent être utilisées.</p>	<p>L'objectif des auteurs a été de faciliter la définition de différentes stratégies de décision et d'analyse exploratoire multicritère. OWA permet non seulement de modéliser la prise de risque mais également de déterminer le niveau de compensation entre facteurs.</p>
Marinoni (2005)	<p>Intégration de deux versions de la méthode multicritère <b>PROMETHEE</b> (la version standard et une version stochastique) dans le <b>SIG ArcGIS d'ESRI</b>. Les actions sont construites ici par agrégation (spatiale) des pixels.</p>	<p>Choix d'une parcelle pour la construction de nouvelles habitations.</p>
Koo et O'Connell (2006)	<p>Ils distinguent l'analyse multicritère spatiale de l'analyse multicritère aspatial. Les auteurs supposent que le poids d'un critère varie d'une zone à une autre. Ils utilisent à cet effet des fonctions mesurant la distribution d'indicateur et la potentialité de chaque pixel pour prendre en compte la "spatialité" du poids. La méthode multicritère utilisée est celle de la Compromise Programming de Zeleny (1973).</p>	<p>Problématique de gestion de la pollution diffuse du nitrate en Angleterre.</p>
Marinoni (2006)	<p>Il propose l'intégration de la méthode AMC <b>PROMETHEE</b> dans le <b>SIG ArcGIS</b>. En comparant l'évaluation obtenue par son approche à une évaluation existante obtenue par l'application de la méthode AHP, il a conclu que les méthodes de surclassement de synthèse se comportent plutôt bien pour des problèmes avec un grand nombre d'actions</p>	<p>Application test itérative basée sur une variation spatiale dans la géométrie (forme) des régions. Les zones homogènes sont alors définies comme une agrégation spatiale des pixels basée sur une relation de voisinage.</p>
(Chakhar, 2006) (Chakhar et Mousseau 2007)	<p>Ils proposent des solutions conceptuelles, méthodologique et informatique à travers le développement d'un système informatique d'aide multicritère à la décision à référence spatiale nommé MCD-GIS (GIS-based MultiCriteria spatial Decision). Le système intègre ARCGIS comme SIG, plusieurs méthodes d'AMC peuvent être intégrées (Electri III, Promethe etc.) et il a été développé sous VBA comme</p>	<p>Une validation du système à été faite à travers son application au problème de génération des corridors avec la méthode d'AMC Electre III.</p>

	langage de programmation	
Mendas et Hamadouche (2006 et 2007)	Le prototype développé exploite, principalement, les SIG ainsi que les méthodes d'AMC tels que : ELECTRE TRI et PROMETHEE.	Application sur une partie de la route nationale n°11 (Oran-Macta) pour la détermination des zones noires (sécurité routière)
(Younsi et al. 2009)	Le processus décisionnel proposé exploite, principalement, les SIG ainsi que les techniques de télédétection (GISWorkSpace) pour l'extraction des données géoréférencées. Ces dernières sont analysées et agrégées par l'utilisation des méthodes d'aide MultiCritère à la décision (AMCD) à savoir la méthode ELECTRE III.	Application sur un quartier de la ville d'Oran pour chercher l'emplacement la plus adéquate pour l'implantation d'une future gare routière.
(Mitchébon, 2010)	Il propose PADAGIR (Processus d'Aide à la Décision pour l'Aménagement et la Gestion Intégrée de Ressources) basée sur l'intégration de Electre Tri, et d'une méthode de tri fondée sur une fonction de valeur additive dans ArcView et ArcGIS ; le modèle AMC développé sous Avenue, ensuite sous VBA n'a pu être intégré complètement d'un point de vue architecture informatique au sein du logiciel SIG.	L'étude de cas a porté sur l'identification des actions durables pour la lutte contre la dégradation des paysages du bassin versant de Loulouka au Burkina Faso
Mendas et al. (2010)	Le prototype développé exploite, principalement, les SIG ainsi que les méthodes d'AMC tels que : ELECTRE TRI et PROMETHEE.	Le choix du meilleur site d'emplacement d'une retenue collinaire (wilaya d'Oran)
Hamadouche et al. (2010)	Le prototype développé exploite, principalement, les SIG ainsi que les méthodes d'AMC tels que : ELECTRE TRI et PROMETHEE.	Application dans le domaine de la sécurité routière ; route nationale n°7 traversant la wilaya de Mascara (Algérie).
Mendas et Delali (2012)	Intégration de la méthode multicritère ELECTRE Tri dans ArcGis.	Application à l'aptitude des terres pour l'agriculture : application à la culture de blé dur dans la région de Mleta en Algérie
Hamadouche et al. (2014)	Le prototype développé exploite, principalement, les SIG ainsi que les méthodes d'AMC tels que : ELECTRE TRI et PROMETHEE.	Application à la préservation de la biodiversité dans le parc culturel de l'Ahaggar (Algérie).
Hamadouche (à paraître)	Le prototype développé exploite, principalement, les SIG ainsi que les méthodes d'AMC tels que : ELECTRE TRI, ELECTRE III et PROMETHEE.	Application dans le domaine de la sécurité routière ; réseau des routes nationales qui traversent la wilaya de Mascara (Algérie). En effet, il s'agit d'un problème à grandes dimensions (563 actions évaluées sur 15 critères).

# ANNEXE 11

## Calcul de la cohérence selon la méthode de saaty

Extrait de Caloz et Colet, 2008, EPFL – Chapitre 8

### La méthode SAATY

Pour comprendre la méthode de Saaty, il est d'abord nécessaire de définir la notion de cohérence. Elle est, dans ce cas, basée sur le respect de la *transitivité* de notre jugement. Si A est préféré à B et que B est préféré à C, la transitivité exige que a est préféré à C.

Saaty (\$\$\$) a développé une méthode permettant d'évaluer le degré de cohérence de la matrice de pondération issue du processus. Nous en présentons le principe.

Une aptitude d'une zone dépendante de plusieurs variables est définie par une somme pondérée de chacune des variables.

$$I_a = \sum_i \omega_i z_i \quad \text{les } z_i \text{ sont normalisées}$$

Le problème est de rechercher les "meilleurs" poids à accorder aux variables.

La pondération est difficile dès que plusieurs critères sont pris en compte. L'expérience a montré que l'esprit humain est capable en moyenne de hiérarchiser correctement 6 à 8 variables. Au-delà, il introduit souvent des incohérences.

Il est plus facile de comparer les critères ou variables par paires. Le choix est la plupart du temps clair et facile à opérer. Un problème, cependant, survient. Il est fort possible que les choix successifs entraînent des incohérences, p.e. le non respect de la transitivité ou des rapports de poids qui n'assurent pas l'unicité du jeu de poids désiré.

Une solution a été proposée par Saaty (1977).

Les comparaisons par paire sont formulées au sein d'une matrice carrée réciproque. On fixe une échelle de notes, p.e. 1, 3, 5, 7, 9 (les valeurs intermédiaires sont aussi permises). Si la variable 1 est jugée 3 fois plus importante que la variable 2, il reçoit la note 3; le jugement inverse, la variable 2 par rapport à la variable 1 reçoit la note 1/3.

Le résultat de toutes les pondérations forme la matrice *réciproque* **A** dont la forme est la suivante :

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

#### Matrice de cohérence

Les poids accordés lors de l'établissement de la matrice réciproque sont susceptibles d'apporter, comme nous l'avons formulé, des incohérences. Saaty a développé une procédure d'analyse de cette matrice de manière à déterminer dans quelle mesure elle est cohérente.

Sa démonstration part de l'hypothèse que les poids sont connus et parfaitement cohérents.

$$\text{Nous avons } \sum \omega_i = 1 \text{ et } \vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$$

On obtient par construction

$$\begin{pmatrix} \omega_1/\omega_1 & \omega_1/\omega_2 & \dots & \omega_1/\omega_n \\ \omega_2/\omega_1 & \omega_2/\omega_2 & \dots & \omega_2/\omega_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_n/\omega_1 & \omega_n/\omega_2 & \dots & \omega_n/\omega_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_n \end{pmatrix} = \mathbf{n} \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_n \end{pmatrix}$$

On obtient par calcul

$$\mathbf{A} = \mathbf{n}\bar{\omega}$$

Ceci constitue l'équation caractéristique d'une matrice réciproque. Dans ce cas, on obtiendra une seule valeur propre différente de 0 et égale à  $\mathbf{n}$ .

Notons que  $\mathbf{n}$  est l'ordre de la matrice et le nombre de variables prises en compte.

Si  $\bar{\omega}$  est inconnu et seule la matrice  $\mathbf{A}$  est connue, il est nécessaire de résoudre l'équation :

$$(\mathbf{A} - \mathbf{nI})\bar{\omega} = \mathbf{0}$$

Cette équation n'a de solution que si  $\mathbf{n}$  est une valeur propre de  $\mathbf{A}$ . Il s'en suit que toutes les valeurs propres  $\lambda_i$  (avec  $i=1,2,\dots, n$ ) sont nulles sauf une de sorte que

$$\sum \lambda_i = \text{tr}(\mathbf{A}) = \mathbf{n}$$

Il n'y a qu'une seule valeur propre  $\lambda_{\max} = \mathbf{n}$

Dans le cas où  $\bar{\omega}$  n'est pas connu, la solution peut être n'importe quelle colonne de  $\mathbf{A}$  puisque chaque colonne contient un jeu complet de poids.

Saaty démontre que toute perturbation de la matrice  $\mathbf{A}$  (qui en fait est une modification de la cohérence!) conduit à une valeur propre maximale  $>\mathbf{n}$ , soit  $\lambda_{\max} > \mathbf{n}$ .

De ce résultat, Saaty propose un indice de *cohérence*  $\mathbf{CI}$  basé sur l'écart de  $\lambda_{\max}$  à  $\mathbf{n}$ , soit

$$\mathbf{CI} = \frac{\lambda_{\max} - \mathbf{n}}{\mathbf{n} - 1}$$

Par expérience, Saaty a proposé une table contenant un indice d'incohérence aléatoire (qu'est-ce qui se passe, si les poids sont fixés aléatoirement?). Il en déduit un coefficient de cohérence  $\mathbf{CR}$  tel que

$$\mathbf{CR} = \frac{\mathbf{CI}}{\mathbf{RI}}$$

On admet empiriquement que les poids sont cohérents si  $\mathbf{CR} \leq 0.10$

## ANNEXE 12

### Dictionnaire de données

Entités	Attributs	Descriptions
Critères	Fonction_De_Préférence .	Cet attribut est utilisé dans le cas de la méthode Promethee. Il existe six fonctions de préférence.
	Seuil_D'Indifférence.	La plus petite différence jugée significative..
	Seuil_De_Préférence.	La différence minimale entre deux évaluations qui constitue un avantage considérable.
	Seuil_De_Gaus.	Relatif à une fonction de préférence gaussienne.
	Seuil_De_Veto.	Permet d'empêcher qu'une action soit meilleure qu'une autre malgré qu'elle est, sur un critère, nettement moins bonne.
	Effet_De_Veto.	Permet de prendre ou ne pas prendre en compte la valeur de veto par critère dans le calcul.
	Echelle_Critère.	Peut être quantitative ou qualitative.
Echelle	Id_Echelle.	Identifiant de l'échelle.
	Nom_Echelle.	Nom de l'échelle.
Actions	Id_Action.	Identifiant de l'action.
	Nom_Action.	Nom de l'action.
	Flux_Sortant	Le flux positif - puissance - (pour Prométhée)
	Flux_Entrant..	Le flux négatif - faiblesse - (pour Prométhée)
	Flux_Net.	La différence entre le flux sortant et le flux entrant
	Rang.	Le classement affecté à l'action selon la méthode Prométhée
	Rang_Affectation_Pessemiste.	Le classement de l'action dans l'affectation pessimiste (cela propre à la méthode Electre Tri seulement).
	Rang_Affectation_Optimiste.	Le classement de l'action dans l'affectation optimiste (cela propre à la méthode Electre Tri seulement).
Evaluations	Id_Action.	Identifiant de l'action.
	Nom_Action.	Nom de l'action.
	Critère (i).	Evaluation de l'action sur le critère (i) <sup>174</sup> .
Profiles	Code_Profile.	Code de l'action de préférence.
	Nom_Profile.	Nom de l'action de préférence.
	Critère (i).	Evaluation de l'action de référence sur le critère (i) <sup>1</sup> .

<sup>174</sup> Les entités "Evaluation" et "Profiles" contient autant d'attributs que le nombre des critères.

# ANNEXE 13

## Interfaces du SADARS

### 8.1 Interfaces du SADARS

#### 8.1.1 L'ouverture du projet SIG

On lance ArcView et on spécifie le chemin complet du projet. On appuyant sur le bouton 'Ok' (figure 8.1) d'autres interfaces (figure 8.2) apparaissent et le projet s'ouvre.

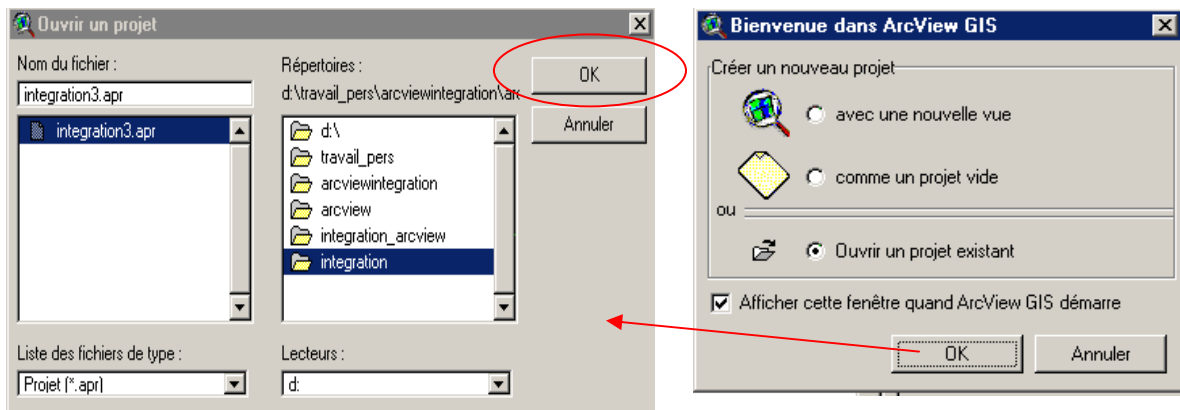


Figure 8.1 : Choisir le projet à ouvrir.

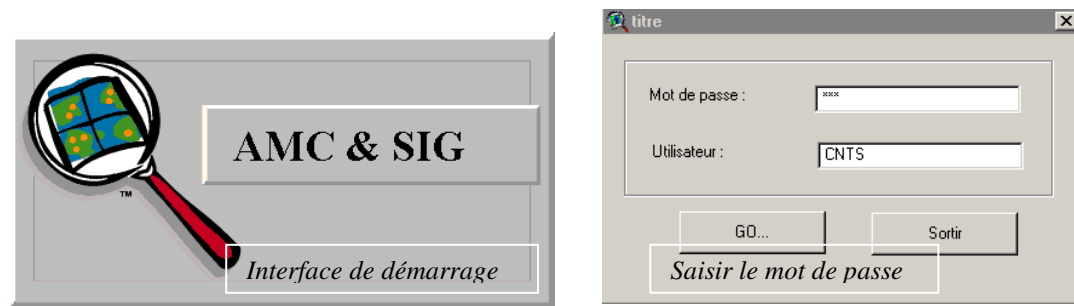
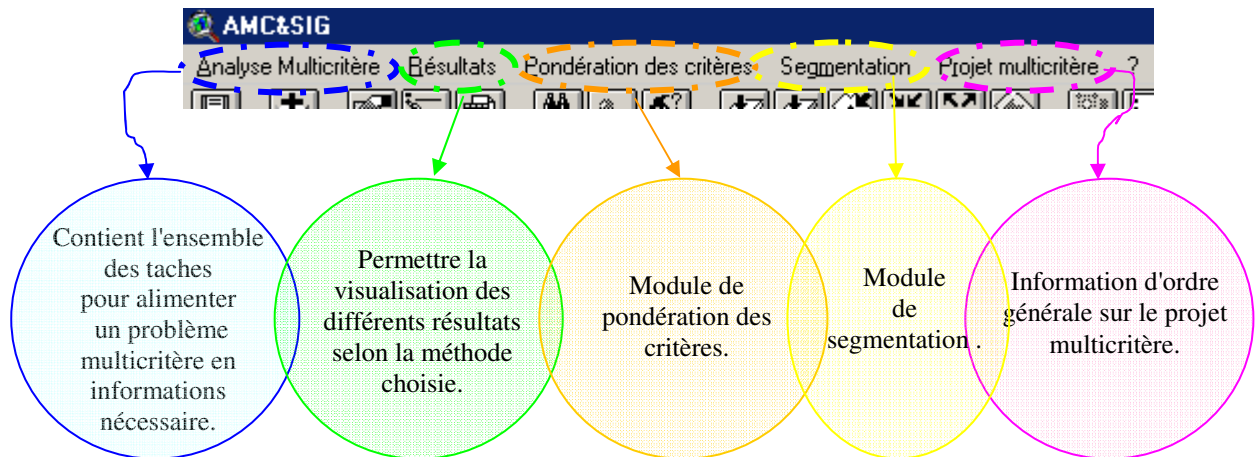


Figure 8.2: Autres interfaces.

### 8.1.2 La nouvelle interface d'ArcView

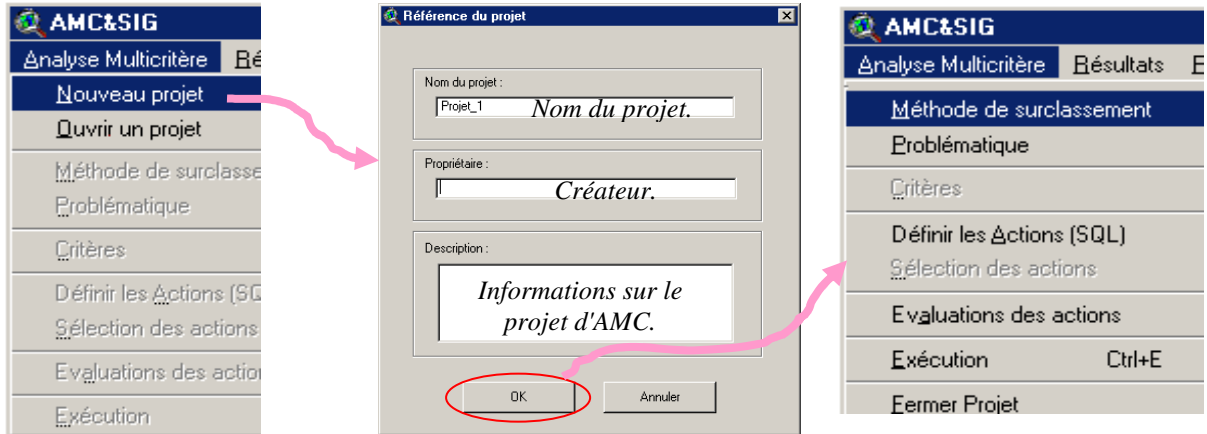
De nouveaux menus sont ajoutés à l'interface originale d'ArcView (figure 8.3), afin d'assurer l'interactivité du système.



*Figure 8.3 : Menus ajoutés à l'interface d'ArcView.*

#### 8.1.2.1 Menu Analyse Multicritère

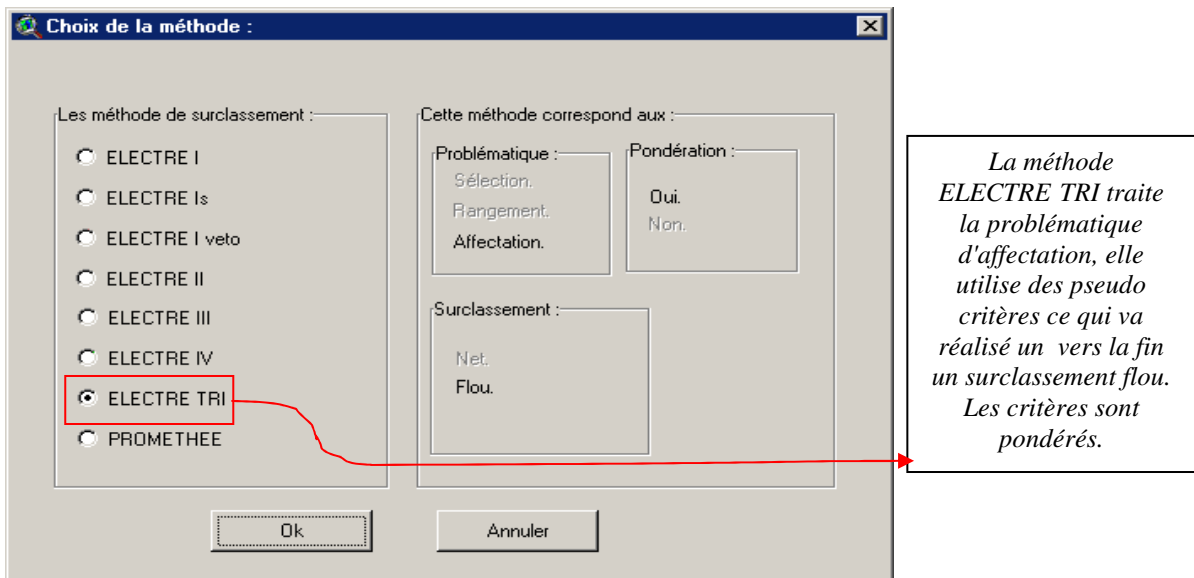
A ce niveau, on doit charger ou créer un projet d'analyse multicritère dans le logiciel SIG. Un simple clic sur le sous-menu "Nouveau projet" permet de créer un nouveau projet d'AMC en spécifiant son nom, le nom du créateur et d'autres informations dans la boîte de dialogue qui apparaisse (figure 8.4). Après avoir créer le nouveau projet, le menu "Analyse Multicritère" se change en activant d'autres sous menus (figure 8.4).



**Figure 8.4 : Création d'un nouveau projet d'AMC sous Arc View.**

### **Méthode de surclassement**

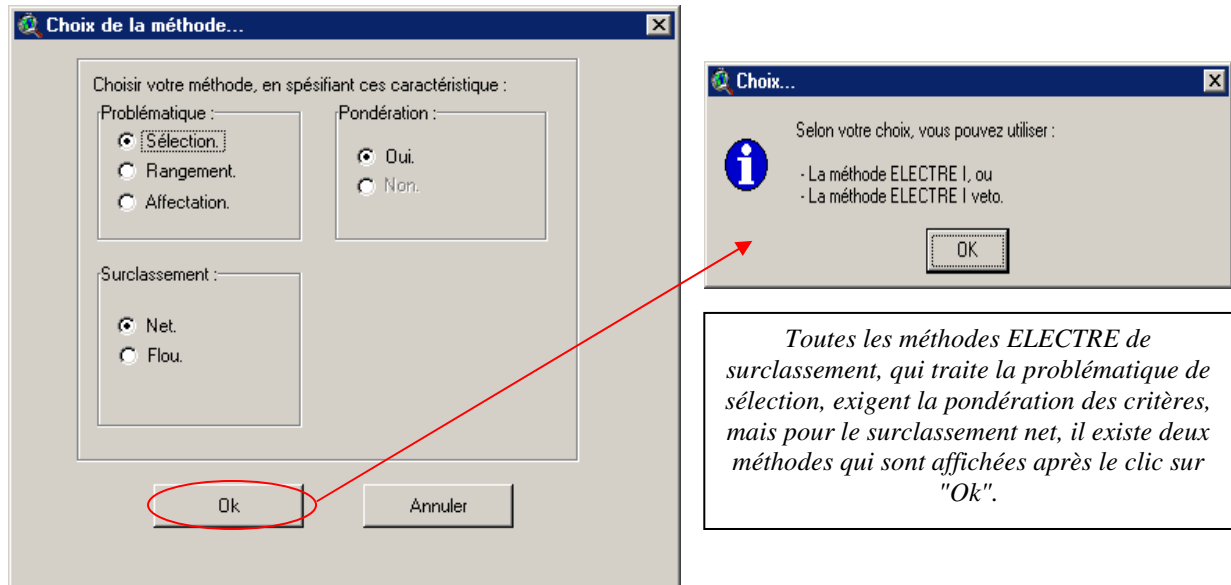
Ce sous-menu permet de choisir une méthode d'analyse multicritère. Par le choix de la méthode (figure 8.5), le système va automatiquement indiquer les principales caractéristiques de la méthode (problématique, présence ou non de la pondération, ...etc.).



**Figure 8.5 : Le choix de la méthode d'AMC.**

## Problématique<sup>175</sup>

Un simple clic sur ce sous-menu ouvre une fenêtre qui regroupe l'ensemble des caractéristiques des méthodes d'AMC. L'utilisateur doit choisir ce qui répond à son problème (problématique, critères...etc.), au lieu de choisir directement la méthode.



**Figure 8.6 : Le choix de la méthode d'AMC.**

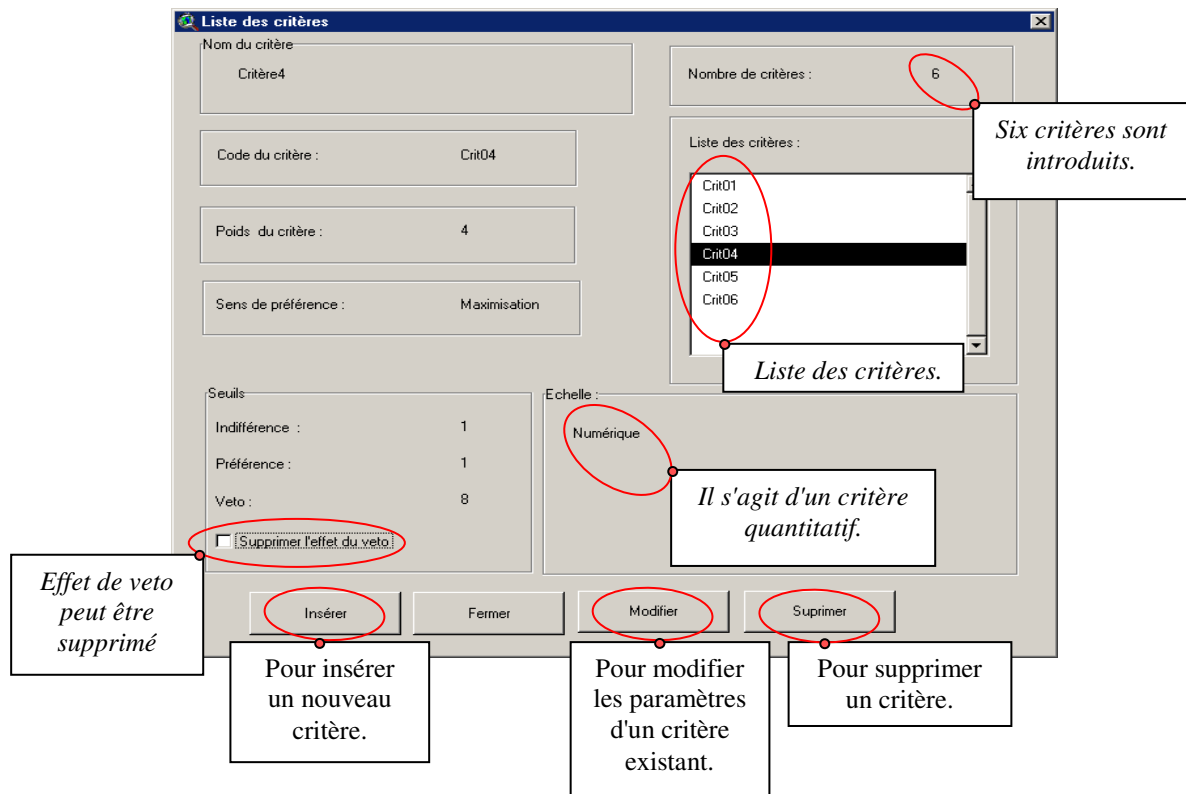
## Critères

Il devient actif après avoir choisi la méthode multicritère<sup>176</sup>. Ce sous-menu génère une interface, qui se change selon la méthode multicritère, prenant par exemple la méthode ELECTRE TRI; cette méthode utilise des pseudo-critères (dont on doit introduire un seuil de préférence, et d'indifférence par critère. Par contre, le seuil de veto n'est pas obligatoire<sup>177</sup>), chaque critère doit être mentionné comme qualitatif (définir des valeurs qualitatives) ou quantitatif, un poids est, également, introduit pour chaque critère. La figure 8.7 illustre l'ensemble des informations nécessaire pour la méthode ELECTRE TRI, ainsi que d'autres (le nom et le code du critère, le nombre des critères) :

<sup>175</sup> Le sous-menu **Problématique** donne le même résultat que le sous-menu **Méthodes de surclassement**, sauf que dans le cas où il existe plusieurs méthodes qui répondent aux caractéristiques choisies, seulement la première méthode de la liste est sélectionnée.

<sup>176</sup> Les paramètres subjectifs des critères varient selon la méthode multicritère, c'est la raison pour laquelle, le sous-menu **Critère** est activé qu'après le choix de la méthode.

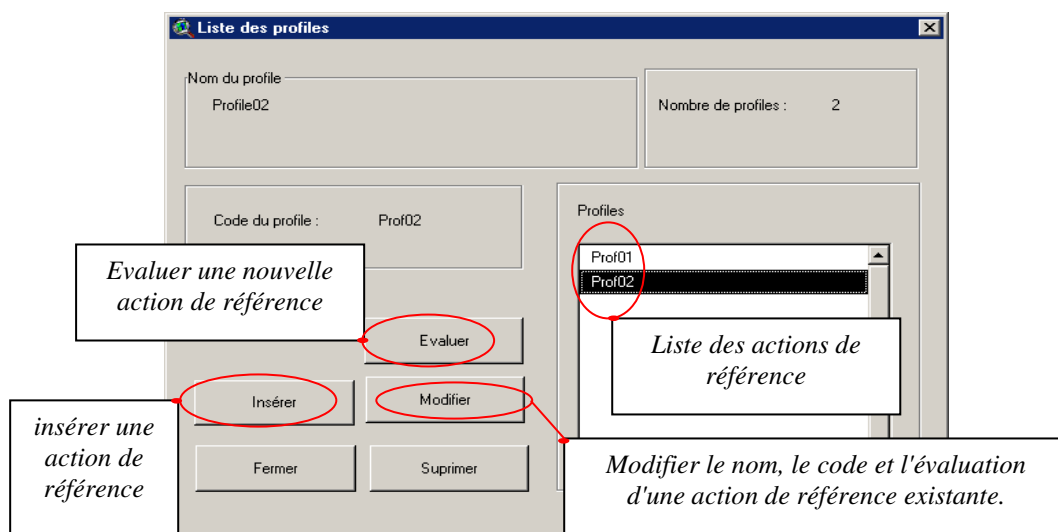
<sup>177</sup> A travers cette interface, on peut supprimer ou activer l'effet de veto.



**Figure 8.7 : Représentation des critères pour la méthode ELECTRE TRI.**

### **Action de référence**

Ce sous-menu sera visible par le choix de la méthode ELECTRE TRI seulement. Il permet de définir les différentes actions de référence à travers une fenêtre (figure 8.8) qui contient l'ensemble des éléments nécessaires pour insérer, modifier, supprimer et évaluer l'action de référence sur l'ensemble des critères.



**Figure 8.8 : Fenêtre des actions de référence.**

### Définir les Actions (SQL)

Il existe deux manières de choisir les actions potentielles : soit de les sélectionner directement, par la souris, sur la vue (couche d'information) ou la table qui corresponde, soit par l'exécution d'une requête SQL ( un simple clic sur le sous-menu "Définir les Actions (SQL)" va générer la figure 8.9 qui assure aux utilisateurs de composer des requêtes simples ou complexes).

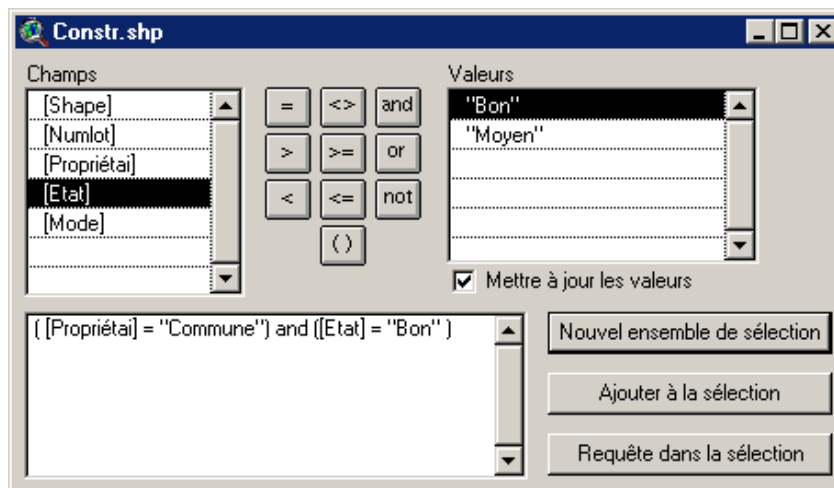


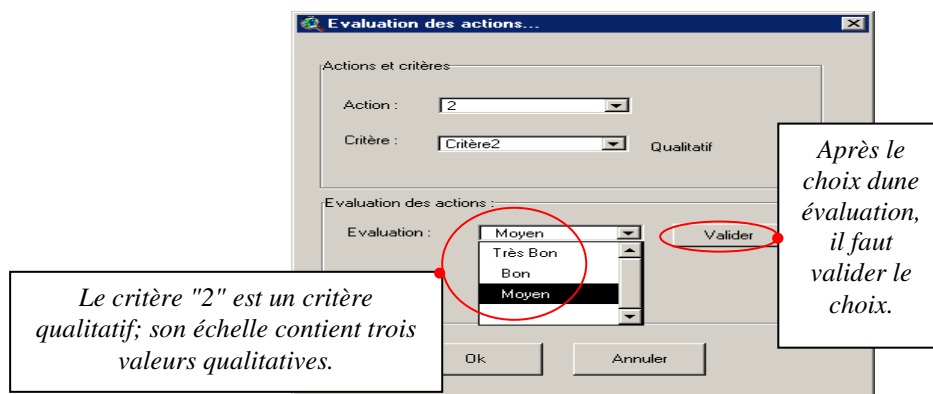
Figure 8.9 : Exemple d'une requête SQL.

Après avoir choisir les actions potentielles (par la souris ou par une requête SQL), le sous-menu Sélection des actions se rend active<sup>178</sup> afin de permettre : l'extraction des actions potentielles et les enregistrer dans une nouvelle couche.

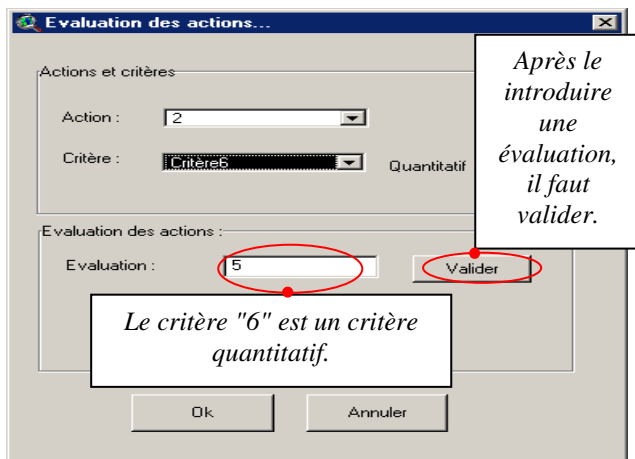
### Evaluation des actions

Le principe consiste à choisir, dans la fenêtre qui apparaisse (figure 8.10), l'action et le critère puis d'introduire une évaluation. Cette évaluation peut être une valeur numérique dans le cas où le critère est quantitatif ou une valeur qualitative si le critère est qualitatif. Dans le deuxième cas; l'utilisateur doit choisir une valeur qualitative parmi les valeurs d'une liste déroulante qui contient l'échelle saisie auparavant dans la phase d'insertion des critères.

Figure 8.10.a :  
Evaluation d'une  
action.



<sup>178</sup> A une condition que le nombre des actions sélectionnées soit supérieur ou égale à deux.



**Figure 8.10.b : Evaluation d'une action.**

### **Exécution**

Permet d'enclencher le processus de calculs de la méthode choisie et d'activer, vers la fin, les différents sous-menus du menu **Résultats**.

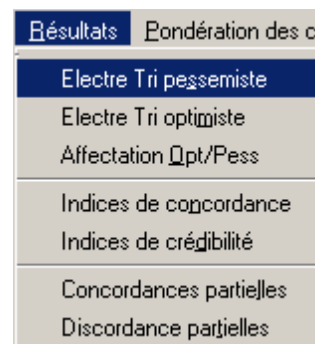
### **Fermer projet**

Réinitialise le menu **Analyse Multicritères** à l'état initial.

#### **8.1.2.2 Menu Résultats**

Après l'exécution des calculs, les différents résultats sont accessibles par le contenu de ce menu, qui se change selon la méthode utilisée (figure 8.11).

Pour la méthode ELECTRE TRI, les résultats de l'affectation optimiste et pessemiste sont représentés par des diagrammes. Les autres résultats sont représentés sous forme de listes.

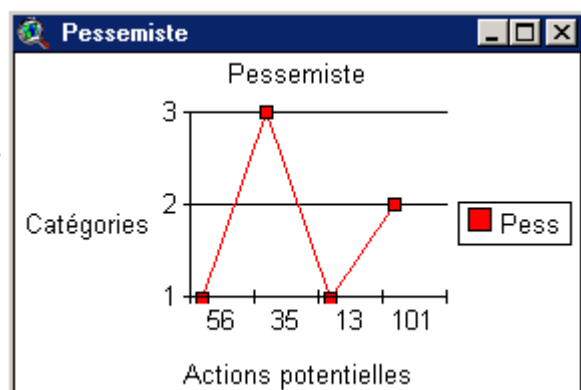


**Figure 8.11 : Menu résultats.**

### ***ELECTRE TRI pessemiste et optimiste***

Permet de créer un diagramme qui représente l'affectation pessemiste ou optimiste des actions aux catégories prédéfinies (figure 8.12).

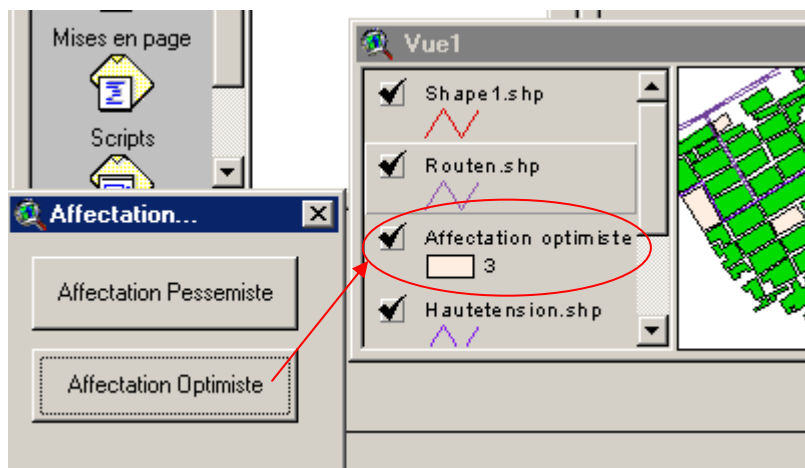
**Figure 8.12 : Affectation pessemiste.**



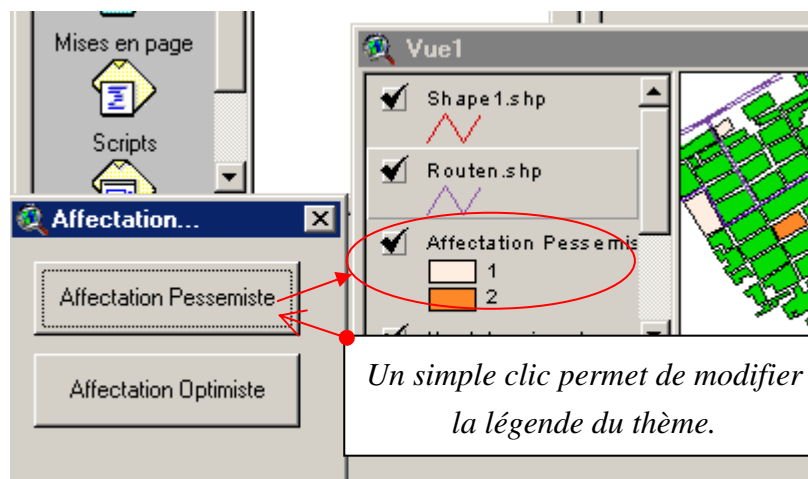
### *Affectation Opt/Pess*

Représente les deux affectations (optimiste et pessemiste) dans un même diagramme afin de permettre une vision générale.

Après avoir lancé le processus de calcul de la méthode ELECTRE Tri, une boîte de dialogue s'affiche au coin bas à gauche de l'écran afin de permettre le choix entre autres : l'affichage des résultats de l'affectation pessimiste ou optimiste dans une couche d'information (figures 8.13.a, 8.13.b).



*Figure 8.13.a : Choix d'affichage des résultats de la méthode ELECTRE Tri.*



*Figure 8.13.b : Choix d'affichage des résultats de la méthode ELECTRE Tri.*

### *Indices de concordance et de crédibilité, concordances et discordance partielles*

Ils sont représentés sous forme des tableaux ; les lignes représentent l'hypothèse de surclassement et les colonnes représentent les critères pour la concordance.

### 8.1.2.3 Menu Pondération des critères

Ce module permet la pondération des critères selon l'échelle de SAATY : au premier lieu, on va réaliser une comparaison entre les critères en affectant, pour chaque critère, une importance relative aux autres critères (par paire).

#### Comparaison

Permet, évidemment, de faciliter la phase de comparaison des critères, en utilisant une interface qui demande aux utilisateurs de choisir, par un simple clic, l'importance à affecter pour une paire des critères en question (figure 8.14).

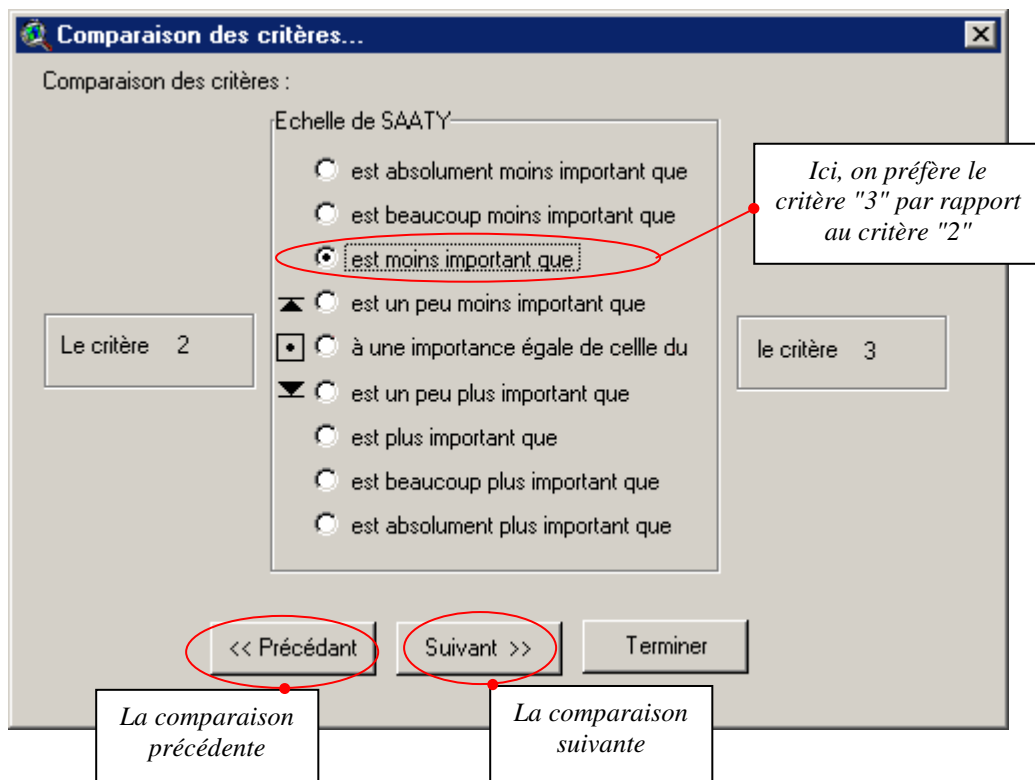
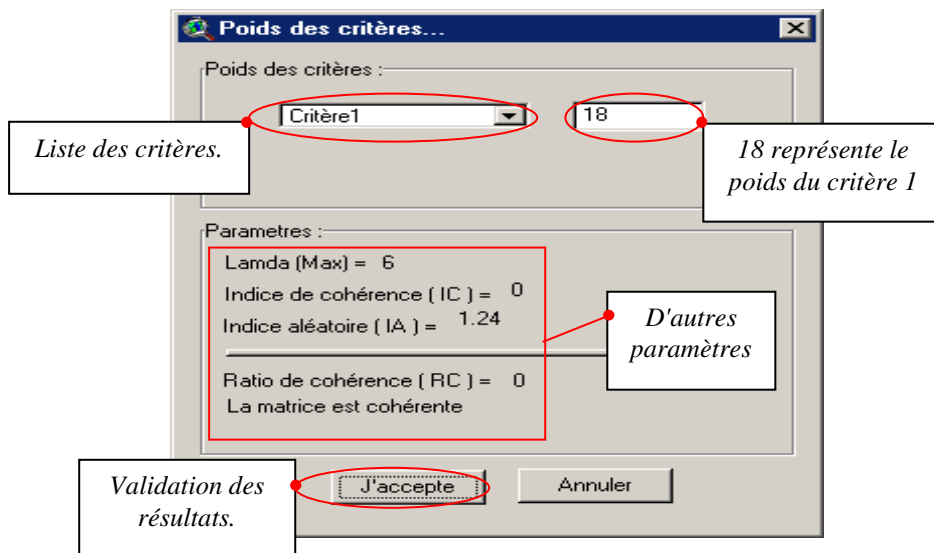


Figure 8.14 : Comparaison des critères (critère 2 % au critère 3)

#### Poids des critères

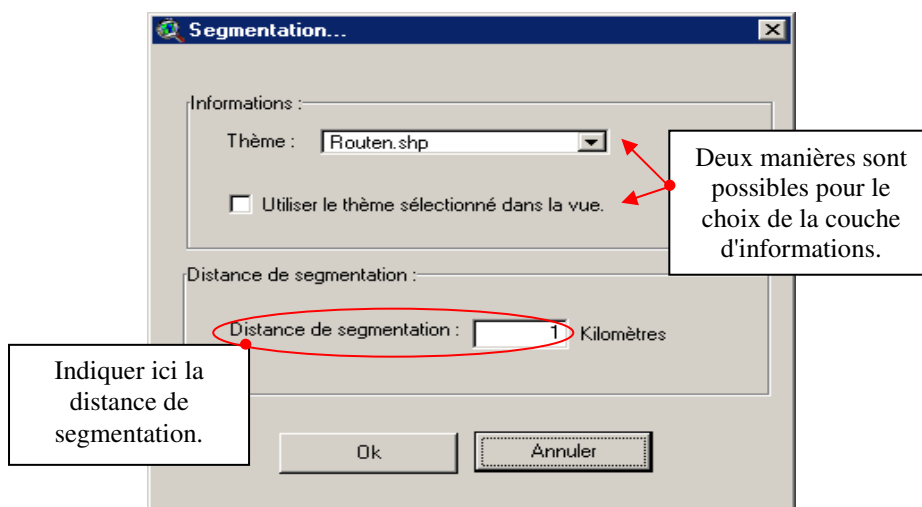
Après la comparaison des critères par paire, ce sous-menu permet de visualiser les différents résultats (poids retenus, et d'autres paramètres comme IC, IA et RC). Si l'utilisateur accepte ces poids, il doit les valider par le clic sur le bouton "J'accepte" de la même fenêtre (figure 8.15)



**Figure 8.15 : Résultats des comparaisons.**

#### 8.1.2.4 Menu Segmentation

C'est un outil dédié pour la segmentation des entités linéaires. Il suffit donc, de choisir le thème qui contient les entités linéaires, puis de spécifier la longueur du segment (il est à noter que le prototype SADARS a été utilisé dans d'autres problématiques). L'interface utilisée pour assurer le choix du thème et l'introduction de la distance de segmentation est présenté dans la figure 8.16 :



**Figure 8.16 : informations nécessaires pour effectuer une segmentation.**

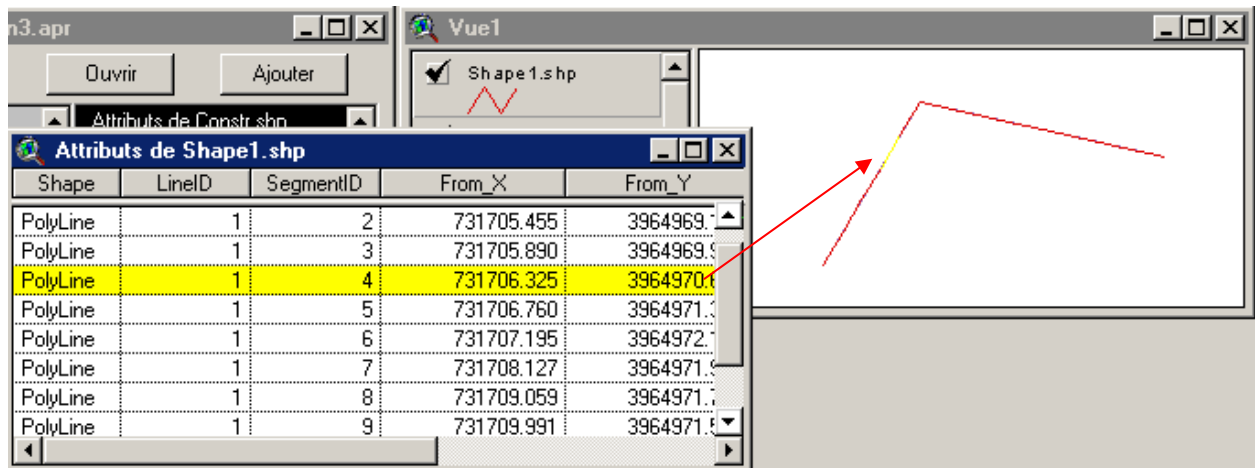
Un simple clic sur le sous menu *segmentation* va charger l'interface de la figure 8.16 qui regroupe :

- Une liste des thèmes des objets linéaires seulement, cette liste doit être vide s'il n'existe pas un thème de type linéaire ;
- Une case à cocher, indique au programme d'effectuer les opérations de segmentation sur le thème sélectionné, cette case à cocher est désactivée si le thème sélectionné est non linéaire;

- Une partie est réservée à l'introduction de la valeur de segmentation, l'unité de mesure utilisée est homologue à l'unité de distance de la vue.

Prenant un exemple de segmentation d'un objet linéaire :

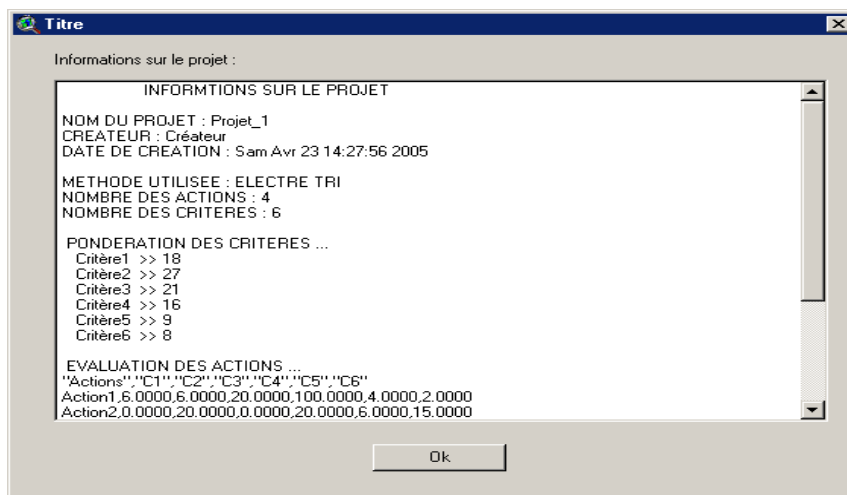
Soit un objet linéaire (un tronçon de route de 10.08 km de longueur), il est stocké dans le thème nommé (*Routen.shp*), le résultat de segmentation est présenté dans un nouveau thème (*Shape1.shp*) qui contient onze (11) éléments (figure 8.17).



**Figure 8.17 : Résultats de la segmentation.**

### 8.1.2.5 Menu *Projet multicritère*

Informations d'ordre général sur le projet d'analyse multicritère (le nom du projet, information sur le créateur, la méthode utilisée, le nombre des critères, les actions et leurs évaluations sur l'ensemble des critères). la figure 8.18 présente une partie de ces informations :



**Figure 8.18 : Informations sur le projet d'analyse multicritère.**

## ANNEXE 14

### Liste des scripts réalisés dans le prototype SADARS

Num	Nom du script	Fonctionnalités
1	PR_1	Evaluer des actions potentielles à travers une boîte de dialogue contenant les informations nécessaires.
2	PR_Action	Ecrire une requête SQL pour sélectionner les actions potentielles.
3	PR_Affec	Modifier la légende du thème des actions potentielles selon l'affectation pessimiste, optimiste ou le rangement.
4	PR_AffectationClose	Assure la fermeture de la boîte de dialogue "Affectation".
5	PR_ChoixFlouUpdate	Rend inactifs certains boutons de type "radio bouton" de la boîte de dialogue "Choix de la méthode" si le "radio bouton" "Flou" est sélectionné.
6	PR_ChoixMethode	Affiche la boîte de dialogue qui permet le choix d'une méthode d'AMC.
7	PR_ChoixMethodeCaractUpdate	Définir les méthodes multicritères qui peuvent être utilisées selon les caractéristiques définies par l'utilisateur.
8	PR_ChoixMethodeOK	Valider le choix de la méthode multicritère.
9	PR_ChoixMethodeOKUpdate	Rend actif le bouton "Ok" de la boîte de dialogue "Choix de la méthode" dans le cas du choix.
10	PR_ChoixMethodeUpdate	Active et désactive les éléments de la boîte de dialogue "Choix de la méthode" selon le choix effectué.
11	PR_ChoixNetUpdate	Rend inactifs certains boutons de type "radio bouton" de la boîte de dialogue "Choix de la méthode" si le "radio bouton" "Net" est sélectionné.
12	PR_ChoixNonUpdate	Rend inactifs certains boutons de type "radio bouton" de la boîte de dialogue "Choix de la méthode" si le "radio bouton" "Non" est sélectionné.
13	PR_Comparaison_au_profiles	Affiche les relations de surclassement des actions potentielles avec les actions de référence.
14	PR_Concordance	Affiche les indices de concordance globale.
15	PR_Concordance partielle	Affiche les indices de concordance partielle.
16	PR_CreateTab	Créer une table spécifique.
17	PR_CritCodeUpdate	Mettre à jour le code du critère.
18	PR_CritFoncChanged	Mettre à jour les éléments (Indifférence, préférence et gauss) selon le changement de la fonction de préférence du critère.
19	PR_CritFoncUpdate	Mettre à jour la fonction de préférence correspond au critère sélectionné.
20	PR_CritGausUpdate	Mettre à jour le seuil de Gauss correspondant au critère.
21	PR_CritIndifUpdate	Rend visible ou invisible la case de "Indifférence" selon la méthode choisie.
22	PR_CritNameUpdate	Mettre à jour le nom du critère.
23	PR_CritPoidsUpdate	Mettre à jour le poids du critère.
24	PR_CritPondAccepte	Introduit les poids calculés dans la table des critères si l'utilisateur l'accepte
25	PR_CritPondCheckUpdate	Active le bouton "suivant" de la boîte de dialogue "Comparaison des critères" si seulement une valeur de l'échelle de Saaty est sélectionnée.

### Liste des scriptes (suite)

Num	Nom du script	Fonctionnalités
26	PR_CritPondComparaison	Affiche une boîte de dialogue qui permet la comparaison entre critères.
27	PR_CritPondComparaisonClose	Fermer la boîte de dialogue "Comparaison des critères" et lance les calculs des poids.
28	PR_CritPondComparaisonRC	Affiche les poids calculés des critères et d'autres paramètres (IC, RC etc.).
29	PR_CritPondDialogClose	Permet la fermeture de la boîte de dialogue "Poids des critères" sans changement des poids.
30	PR_CritPondPrecedant	Affiche la comparaison des deux critères qui précèdent la comparaison actuelle.
31	PR_CritPondPrecedantUpdate	Rend le bouton "Suivant" de la boîte de dialogue "comparaison des critères" actif ou inactif selon celui qui convient.
32	PR_CritPondSelf	Exécute le script de mise à jour.
33	PR_CritPondSelfUpdate	Met à jour la valeur du poids dans la boîte de dialogue "Poids des critères".
34	PR_CritPondSuivant	Permet le passage à la comparaison suivante et stocke la précédente.
35	PR_CritPondSuivantUpdate	Rend le bouton "Précédent" de la boîte de dialogue "comparaison des critères" actif ou inactif selon celui qui convient.
36	PR_CritPondUpdate	Active ou désactive les sous menus "Comparaison" et "Poids des critères" du menu "Pondération des critères".
37	PR_CritPrefUpdate	Rend visible ou invisible la case de "Préférence" selon la méthode choisie et met à jour la valeur de préférence.
38	PR_CritSensPrefUpdate	Met à jour le sens de préférence du critère.
39	Pr_CritUpdate	Active ou désactive le sous menu "Critère".
40	PR_CritVetoUpdate	Rend visible ou invisible la case de "veto" selon la méthode choisie.
41	PR_CritVetoUpdateEffet	Rend visible ou invisible la case du veto (supprime l'effet de veto ou inversement).
42	PR_Crédibilité	Affiche les indices de crédibilité calculés.
43	PR_DefinirProjet	Crée un nouveau projet d'AMC.
44	PR_DefinirProjetOk	Valide les différentes informations sur le projet, active les sous menus et crée la base de données décisionnelle.
45	PR_DeleteRow	Permet la suppression d'un critère (méthode Electre Tri).
46	PR_DeleteRowPro	Permet la suppression d'un critère (méthode Promethee).
47	PR_DialogClose	Ferme la boîte de dialogue courante sans faire aucun changement.
48	PR_DialogClose1	Ferme la boîte de dialogue courante.
49	PR_DiscordancePartielle	Affiche les indices de discordance partielle.
50	PR_EchelleNouvelleOkButton	Permet l'insertion d'une nouvelle échelle.
51	PR_EchelleOpen	Permet de choisir une échelle existante.
52	PR_EchelleOpenM	Permet l'ajout d'une nouvelle échelle.
53	PR_EchelleSupp	Permet la suppression d'une échelle.
54	PR_EchelleUpdate	Met à jour le nom de l'échelle dans la boîte de dialogue "Liste des critères" et active ou désactive ses valeurs selon le type de l'échelle (quantitative ou qualitative).
55	PR_EchelleUpdateQuali	Met à jour les valeurs de l'échelle qualitative dans la boîte de dialogue "Liste des critères"

### Liste des scripts (suite)

Num	Nom du script	Fonctionnalités
56	PR_EchelleValeurNumUpdate	Assure l'affichage des informations sur une échelle sélectionnée.
57	PR_EchelleValeurNumUpdate1	Active ou désactive les boutons "Modifier" et "Supprimer" de la boîte de dialogue "Echelle" si une échelle est sélectionnée.
58	PR_EchelleValeurNumUpdateV	Met à jour les valeurs d'une échelle sélectionnée (de type qualitative), il les désactive pour une échelle quantitative.
59	PR_EchelleValider	Ajoute une nouvelle échelle.
60	PR_EchelleValiderM	Valide la modification d'une échelle.
61	PR_EditerCritere	Affiche la boîte de dialogue qui permet l'édition d'un critère.
62	PR_EditerCritereOkButton	Valide l'édition d'un critère.
63	PR_EditerCriterePROM	Affiche la boîte de dialogue qui permet l'édition d'un critère (Promethee).
64	PR_EditerProfile	Affiche la boîte de dialogue qui permet l'édition d'un profile.
65	PR_EditerProfileOkButton	Valide l'édition d'une action de référence.
66	PR_ElectreTriOpt	Affiche les résultats de l'affectation optimiste sous forme de diagramme.
67	PR_ElectreTriOptPess	Affiche les résultats de l'affectation pessimiste et optimiste dans un même diagramme.
68	PR_ElectreTriPess	Affiche les résultats de l'affectation pessimiste sous forme de diagramme.
69	PR_ElectreTriResultatUpdate	Active ou désactive les sous menus du menu "résultats" qui concernent la méthode Electre Tri.
70	PR_Encrypted	Permet de coder les scripts.
71	PR_EvaluationUpdate	Permet la mise à jour automatique du contenu de l'ensemble des éléments dans la boîte de dialogue d'évaluation des actions.
72	PR_EvaluationValider	Permet l'enregistrement de l'évaluation d'une action sur un critère.
73	PR_EvaUpdatebutton	Rend visible ou invisible la case réservée à l'évaluation selon que le critère soit qualitatif (affiche une liste) ou quantitatif (affiche une zone de texte).
74	PR_EvaUpdateText	Met à jour l'évaluation de l'action en fonction du choix de l'action et le critère.
75	PR_ExecuterUpdate	Active ou désactive le sous menu "Execution".
76	PR_FermerProjet	Permet la fermeture du projet d'AMC en désactivant les sous menus.
77	PR_Fermeture	Affiche une fenêtre qui indique la fermeture du projet d'AMC.
78	PR_InformationsProjet	Affiche une boîte de dialogue regroupant le maximum des informations sur le projet.
79	PR_InformationsProjetUpdate	Active ou désactive le sous menu "Informatios" du menu "Projet multicritère".
80	PR_Lancement	Active des sous menus, rend d'autres invisibles et initialise certaines variables.
81	PR_LireEcrireTXT	Permet d'écrire les informations dans un fichier texte.
82	PR_LireTXT	Permet de lire un fichier texte.
83	PR_ListeCriteres	Affiche une boîte de dialogue qui regroupe l'ensemble des critères et les informations subjectives.
84	PR_ListeCritSelect	Rend active les boutons "Modifier" et "Supprimer" de la boîte de dialogue "Liste des critères" si un critère est sélectionné.

### Liste des scriptes (suite)

Num	Nom du script	Fonctionnalités
85	PR_ListeCritSelectPROM	Rend actifs les boutons "Modifier" et "Supprimer" de la boîte de dialogue "Liste des critères", pour la méthode Promethee, si un critère est sélectionné.
86	PR_ListeCritSelectUpdate	Exécute le script de mise à jour des éléments de la même boîte de dialogue ayant une relation avec l'élément associé à ce script.
87	PR_ListeCritSelectUpdatePROM	Lance le script de mise à jour des éléments de la même boîte de dialogue ayant une relation avec l'élément associé à ce script (méthode Promethee).
88	PR_ListeProfileSelect	Active les boutons "Evaluer", "Modifier" et "supprimer" de la boîte de dialogue "Liste des profils" dans le cas du choix d'un profil.
89	PR_Long_Calc	Calcule la longueur des objets linéaires.
90	PR_MaBoite1	Crée une boîte de dialogue.
91	PR_MethElectre1	Réservé pour la méthode Electre I (script vide).
92	PR_MethElectre1s	Réservé pour la méthode Electre Is (script vide).
93	PR_MethElectre1v	Réservé pour la méthode Electre Iv (script vide).
94	PR_MethElectre2	Réservé pour la méthode Electre II (script vide).
95	PR_MethElectre3	Processus de la méthode Electre III.
96	PR_MethElectre4	Réservé pour la méthode Electre IV (script vide).
97	PR_MethElectreTRI	Processus de la méthode Electre Tri.
98	PR_MethExecuter	Lance le processus de calcul de la méthode choisie.
99	PR_Methode_ELECTRE	Lance le processus de la méthode choisie.
100	PR_MethPROMETHEE	Processus de la méthode Promethee.
101	PR_ModifCrit	Affiche la boîte de dialogue qui permet la modification d'un critère.
102	PR_ModifCritButton	Permet la validation des modifications attribuées au critère.
103	PR_ModifierProfilButton	Permet la validation des modifications attribuées au profil.
104	PR_ModifProf	Affiche la boîte de dialogue qui permet la modification d'un profil.
105	PR_ModifProfUpdate	Met à jour les objets de la boîte de dialogue "Liste des profils".
106	PR_MPOpen	Affiche la boîte de dialogue qui permet d'introduire le mot de passe et le nom d'utilisateur.
107	PR_MPUpdate	Active ou désactive le bouton "Go" de la boîte de dialogue "Mot de passe" selon les informations saisies (mot de passe et utilisateur).
108	PR_NombCritGanged	Met à jour le nombre des critères.
109	PR_Ouvrir_Projet	Permet d'ouvrir un projet d'AMC existant.
110	PR_OuvrirTab	Permet l'ouverture d'une table parmi l'ensemble du table de projet.
111	PR_Panels_cpa_PanelOpen	Exécute script de mise à jour.
112	PR_Panels_lbt_Click	Lance les scripts de mise à jour de tous les éléments ayant une relation avec l'élément associé à ce script.
113	PR_PreferenceGlob	Affiche les indices de préférence globale entre les actions potentielles.
114	PR_PreferencePart	Affiche les indices de préférence partielle entre les actions potentielles (selon les critères).
115	PR_ProfCodeUpdate	Met à jour le code du profil.
116	PR_ProfEvaUpdate	Met à jour l'évaluation du profil (modification d'un profil).

### Liste des scripts (suite)

Num	Nom du script	Fonctionnalités
117	PR_ProfEvaUpdate2	Met à jour l'évaluation du profile (édition d'un profile).
118	PR_ProfEvaValider	Valide l'évaluation du profile (modification d'un profile).
119	PR_ProfEvaValider2	Valide l'évaluation du profile (édition d'un profile).
120	PR_ProfEvaValiderUpdate	Rend visible ou invisible le bouton qui permet l'évaluation du profile (modification du profile).
121	PR_ProfEvaValiderUpdate2	Rend visible ou invisible le bouton qui permet l'évaluation du profile (édition du profile).
122	PR_Profiles	Affiche la boîte de dialogue qui permet d'éditer, de modifier etc. les actions de référence (propre à la méthode Electre Tri).
123	PR_ProfileUpdate	Active ou désactive le sous menu "Action de référence" selon la méthode d'AMC choisie.
124	PR_ProfNomUpdate	Met à jour le nom du profile.
125	PR_PROMResultatUpdate	Active ou désactive les sous menus du menu "Résultats" qui concernent la méthode Promethee.
126	PR_Pronlématique	Permet le choix d'une méthode d'AMC à travers la problématique.
127	PR_RangementFin	Affiche les résultats de rangement (par Promethee) sous forme de diagramme à bar.
128	PR_Resultatupdate	Met à jour les résultats d'affectation par Electre Tri.
129	PR_SC	Active ou désactive le bouton "Ok" de la boîte de dialogue "Seuil de crédibilité" selon certaines conditions.
130	PR_ScOk	Valide le seuil de crédibilité introduit.
131	PR_ScriptDesable	Affiche les scripts dans le guide du projet.
132	PR_ScriptDesabled	Masque l'ensemble des scripts dans le guide de projet.
133	PR_ScriptDesabledUpdate	Rend inactive le bouton "Masqué les scripts" et active le bouton "Afficher les scripts" de la barre des boutons.
134	PR_ScriptDesableUpdate	Rend inactif le bouton "Afficher les scripts" et active le bouton "Masquer les scripts" de la barre des boutons.
135	PR_Segmentation	Lance le script "PR_Séparation", crée un nouveau thème qui regroupe l'ensemble des objets linéaires résultants à l'aide de ce dernier et ajoute d'autres informations pour sa table (coordonnées, longueur etc.)
136	PR_SegmentationCheck	Permet de désactiver ou d'activer la liste des thèmes dans la boîte de dialogue "Segmentation" selon le choix effectué.
137	Pr_SegmentationDialog	Affiche une boîte de dialogue pour permette aux utilisateurs d'introduire ses propres paramètres de segmentation.
138	PR_SegmentationUpdate	Active ou désactive le sous menu segmentation selon des conditions.
139	PR_SelectionAction	Crée une couche contenant les actions potentielles qui sont sélectionnées par une requête SQL
140	PR_SelectionActUpdate	Active ou désactive le sous menu "Sélection des actions".
141	PR_Separation	Permet la segmentation de tous les objets linéaires du thème sélectionné.

### Liste des scriptes (suite)

<b>Num</b>	<b>Nom du script</b>	<b>Fonctionnalités</b>
142	PR_Tab2Tfw	Créée un fichier de calage ArcView (de format .tfw) � partir d'un fichier de calage MapInfo (de format .tab). (Source : ESRI).
143	PR_TabEvaUpdate	Active ou désactive le sous menu "Evaluations des actions" du menu "Analyse Multicritère" selon des conditions.
144	PR_Update	Active ou désactive des sous menus selon certaines conditions.
145	PR_Updates	Exécute les scripts de mise à jour des boutons.
146	PR_U tilisUpdate	Active ou désactive la zone de texte "Utilisateur" de la boite de dialogue "Mot de passe".

## ANNEXE 14 : Types de capteurs en télédétection

	<b>Landsat-5</b>	<b>SPOT-2</b>	<b>ERS</b>	<b>JERS-1</b>	<b>NOAHH-12,14</b>
	USA	France	Europe	Japan	USA
Date de lancement	1984	Janvier 1990	Juillet 1991(ERS-1) jusqu'à juin 1996 Avril 1995 (ERS-2)	Février 1992	Mai 1991 (NOAA-12) Décembre 1994 (NOAA-14)
Altitude	705 km	832 km	782-785	586 km	833 km (NOAA-12) 870 km (NOAA-14)
Durée d'une révolution	99 min	101 min	100 min	96 min	102 min (NOAA-12) 101 min (NOAA-14)
Répétitivité	16 jours	26 jours 1-3 jours	3,35 et 168 jours (ERS-1) 35 jours (ERS-2)	44 jours	14.5 jours
Capteurs	MSS 0.5-0.6 µm 0.6-0.7 µm 0.7-0.8 µm 0.8-0.1 µm Thematic Mapper 0.45-0.52 µm TM1 0.52-0.60 µm TM2 0.63-0.69 µm TM3 0.76-0.90 µm TM4 1.55-1.75 µm TM5 10.4-12.5 µm TM6 2.10-2.35 µm TM7 ETM+ 10.4-12.5 µm	2 HRVs (High Resolution visible) : Panchromatique 0.50-0.59 µm XS1 0.61-0.69 µm XS2 0.79-0.90 µm XS3 0.51-0.73 µm P	Altimètre radar Diffusomètre vent Sondeur hyperfréquences Capteur Infrarouge	SAR (Synthetic Aperture Radar) OPS (Optical Sensor)	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 0.55-0.68 µm 0.73-1.10 µm 3.33-3.93 µm 10.50-11.50 µm 11.00-12.50 µm
Résolution spatiale	56 × 79 km 30 m 120 m	20 m 10 m XS	P 30 m SAR	18 m (SAR), 18.3 x 24.2 m (OPS)	1.1 km
Fauchée au sol	185 km	60 km	100 km (SAR)	75 km	2800 km
Etat	Opérationnel	Opérationnel. SPOT-4 en orbite depuis mars 1998	ERS-2 : Opérationnel	Opérationnel	opérationnels

