

Liste des Abréviations

- **AD** : Aide à la Décision.
- **AT** : Aménagement du Territoire
- **ASAL**: Agence Spatiale Algérienne.
- **CNTS** : Centre National des Techniques Spatiale.
- **DMS**: Data Mining Spatiale.
- **CMF**: C-Means Floue
- **ESRI**: Environmental Systems Research Institute (USA)
- **FAH**: File d'Attente Hierarchique
- **FDS**: Fouille de Données Spatiales.
- **GOES** : Geostationary Operational Environmental Satellite
- **GTRG**: Graphical and Tabular Report Generators
- **IA**: Intelligence Artificielle
- **KDD**: Knowledge Discovery in Database.
- **LPE**: Ligne de Partage des Eaux
- **MM** : Morphologie Mathématique
- **NASA**: National Aeronautics and Space Administration.
- **RO**: Recherche Operationnelle
- **RT**: Recherche Tabou
- **SDSS**: Spatial decision Support System
- **SGBD**: Système de Gestion de Bases de Données.
- **SGBDR**: Système de Gestion de Bases de Données Relationnel.
- **SGIU** : Système de Gestion d'Interface Utilisateurs:
- **SIG**: Système d'Information Géographique.
- **TI** : Traitement d'Image
- **TM** : Thematic Mapper
- **UML**: Unified Modeling Language.

Table des Matières

Table des matières

Liste des Figures

Liste des Tables

Liste des Abréviations

Introduction générale.....	1
Contexte de l'étude et Problématique	1
Délimitation de la zone d'étude et Motivations de la thèse.....	2
Contributions.....	3
Travaux connexes.....	5
Organisation de la thèse.....	6
Partie 1 : Synthèse de l'état de l'art.	
1. Chapitre 1 : L'Aide à la Décision Spatiale.....	8
1.1. Introduction.....	8
1.2. Le Processus d'aide à la décision de SIMON.....	8
1.3. L'aide à la Décision Spatiale.....	9
1.3.1. Processus d'aide à la décision spatiale.....	9
1.3.2. Typologie des systèmes d'Aide à la Décision Spatiale.....	12
1.3.3. Architectures des SDS.....	14
1.4. SDSS, Travaux connexes.....	17
1.4.1. Elaboration des cartes d'occupation du sol à partir des images satellitaires de la région d'Oran (Algerie).....	17
1.4.2. Apport des nouveaux outils d'investigations pour les prédictions des inondations... ..	18
1.4.3. Utilisation des données satellitaires TM de landsta pour le suivi de l'état hydrique d'un couvert végétal dans les conditions semi-arides en Algérie.....	18
1.4.4. Développement d'un algorithme de Correction Atmosphérique Absolue pour les images Satellitaires Multitemporelles, Application pour la Région d'Oran (ouest d'Algérie)	20
1.4.5. Un système d'aide à la décision pour optimiser la gestion des ressources forestières.....	20
1.4.6. Cartographies des périmètres irrigués de Mogtedo et de Karfiguela à l'aide de Google Earth.....	21
1.4.7. Mise en place d'un Système d'Aide à la Décision Spatiotemporel et Multicritère pour la Surveillance Epidémiologique.....	22
1.5. Conclusion.....	22
2. Chapitre 2 : L'Analyse des Images Satellitaires.....	24
2.1. Introduction.....	24
2.2. Traitement des Imagess Satellitaires : Concepts élémentaires.....	24
2.2.1. Les Images Satellitaires.....	24
2.2.2. Le Processus de traitement des images Satellitaires.....	26
2.2.3. Les techniques de prétraitement des images.....	26
2.2.4. Segmentation des images satellitaires.....	27
2.3. La Morphologie Mathématique (MM).....	28
2.3.1. Opération de la Morphologie Mathématique (MM).....	29
2.3.2. La Ligne de Partage des Eaux.....	31
2.4. La fouille de Données Spatiales.....	32
2.4.1. Spécificités de la fouille de données spatiales.....	32

2.4.2. Caractéristiques des données spatiales.....	33
2.5. Les Méthodes de classification : Etat de l'art.....	33
2.5.1. C-Means Floue.....	34
2.6. Conclusion.....	36
3. Chapitre 3 : L'optimisation Multi Objectifs.....	37
3.1. Introduction.....	37
3.2. Les éléments de l'optimisation.....	37
3.2.1. Formulation d'un problème multi-objectif.....	38
3.3. Typologie des méthodes d'optimisation.....	39
3.3.1. Méthodes de résolution en Recherche Opérationnelle (RO).....	40
3.3.2. Méthodes de résolution en Intelligence Artificielle (IA).....	40
3.4. Les Méthodes Exactes.....	40
3.4.1. Branch and Bound.....	41
3.4.2. Programmation dynamique.....	41
3.4.3. Programmation Linéaire.....	42
3.5. Les méthodes approchées	42
3.5.1. Les heuristiques dédiées.....	42
3.5.2. Les méta heuristiques.....	43
3.6. Conclusion.....	47
Partie 2 : Le Système d'aide à la décision AQUAZONE.....	49
4. Chapitre 4 : Approche Décisionnelle proposée.....	49
4.1. Introduction.....	49
4.2. Présentation globale du cadre d'application.....	49
4.2.1. Objectifs visés.....	49
4.2.2. Description de la zone d'étude.....	50
4.2.3. Données Utilisées.....	51
4.3. Le Système Décisionnel Spatial proposé AQUAZONE.....	52
4.3.1. Le modèle décisionnel adopté par AQUAZONE.....	55
4.3.2. Modélisation UML d'AQUAZONE.....	57
4.3.3. Processus Décisionnel proposé.....	59
4.4. Conclusion.....	69
5. Chapitre 5: Le Système AQUAZONE.....	70
5.1. Introduction.....	70
5.2. Les étapes du processus décisionnel.....	70
5.2.1. L'étape de prétraitement.....	70
5.2.2. L'étape de traitement.....	73
5.3. Discussion des Résultats.....	85
5.3.1. C-Means Floues.....	85
5.3.2. Recherche Tabou.....	85
5.3.3. LPE par FAH.....	85
5.4. Conclusion.....	87
Conclusion Générale et Perspectives.....	88
1. Synthèse des travaux présentés dans cette thèse.....	88
2. Perspectives	90
3. Publications liées à la thèse (Bibliographie Personnelle).....	91

Partie 3: Annexes

A. Annexe A : La Ligne de Partage des Eaux.....	94
A.1. Introduction.....	94
A.2. Notions élémentaires.....	94
A.2.1. Technique de l’immersion.....	95
A.2.2. Les opérations de la LPE.....	95
A.3. Construction de la LPE.....	96
A.4. LPE par FAH.....	97
A.4.1. L’algorithme de la LPE par FAH.....	97
A.5. Conclusion.....	99
B. Annexe B: Résultats Expérimentaux.....	100
B.1. Introduction.....	100
B.1. Synthèse des Résultats.....	100
B.1.1 Résultats de Prétraitement.....	100
B.1.2. Résultats C-Means Floues.....	104
B.1.3. Résultats de la segmentation : CMF-LPE par FAH.....	105
B.2. Conclusion.....	108

Liste des figures

1.1. Processus décisionnel de Simon.....	8
1.2. Processus d'aide à la décision territoriale.....	10
1.3. Processus d'aide à la décision spatiale de Chakhar.....	11
1.4. Processus d'aide à la décision spatiale de Joerin.....	11
1.5. Processus d'aide à la décision spatiale de Hamdadou.....	12
1.6. Architecture SDSS proposée par Densham.....	14
1.7. Architecture SDSS proposée par Sugumara et al.....	16
1.8. Image de l'indice de stress hydrique (CWSI) : plaine de Bousfer.....	19
1.9. Image de l'indice de stress hydrique (CWSI) : plaine de Misserghine.....	19
1.10. Exemple de numérisation : les parcelles cadastrales.....	20
1.11. Périmètre irrigué de Mogtedo.....	21
1.12. Périmètre irrigué de Karfiguela.....	21
1.13. Géolocalisation et affichage cartographique- Représentation par commune : du nombre de cas (a) ; du taux d'incidence par âge (b) ; du taux d'incidence (c) ; du taux d'incidence par type de maladie (d).....	22
2.1. Numérisation d'une image.....	25
2.2. L'histogramme d'une image numérique.....	27
2.3. Relations spatiales.....	33
3.1. Eléments indispensables en optimisation.....	38
3.2. Classification des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation.....	40
3.3. Principe de la recherche Tabou.....	46
4.1. Zone d'étude: Landsat 5 TM image d'Oran Algérie Oran Nord (A) Sebkha Lac (B). 52	52
4.2. Les trois canaux TM 1, 3, 4 (de gauche à droite).....	52
4.3. Architecture du système d'aide la décision AQUAZONE.....	53
4.4. Le Modèle Décisionnel proposé AQUAZONE.....	56
4.5. Diagramme UML de cas d'utilisation.....	58
4.6. Diagramme de séquences.....	59
4.7. Organigramme du processus décisionnel proposé.....	60
4.8. Principe d'inondation du relief.....	63
4.9. Principales étapes de l'algorithme de segmentation par LPE.....	63
4.10. Algorithme général de la recherche tabou.....	66
5.1. La composition colorée.....	71
5.2. AQUAZONE-Affichage Image Sebkha et application Histogramme.....	71
5.3. Etalement dynamique d'une image colorée.....	72
5.4. AQUAZONE- Interface Morphologie Mathématique.....	72
5.5. CMF paramétrique k=4, (a) Uik équitable (Oran), (b) Uik non équitable	74
5.6. CMF paramétrique k=6 (a) Uik équitable (Oran), (b) Uik non équitable.....	74
5.7. CMF paramétrique k=10 (a) Uik équitable (Oran), (b) Uik non équitable.....	75
5.8. CMF automatique (Oran Nord).....	75

5.9. CMF paramétrique k=3 et (a) Uik équitable (Sebkha), (b) Uik non équitable.....	76
5.10. CMF paramétrique k=5 et (a) Uik équitable (Sebkha), (b) Uik non équitable.....	76
5.11. CMF automatique (Sebkha)	77
5.12. Transfert en niveau de gris, (a) Oran Nord, (b) Sebkha.....	78
5.13. AQUAZONE-Onglet LPE (Sebkha).....	79
5.14. Résultat du traitement de LPE sur l'image d'Oran région SEBKHA.....	80
5.15. AQUAZONE-Optimisation Recherche Tabou-Sélection d'une zone.....	81
5.16. AQUAZONE-Optimisation Recherche Tabou- Configuration initiale.....	82
5.17. AQUAZONE-Optimisation Recherche Tabou- Coûts de raccordement.....	82
5.18. AQUAZONE-Optimisation- Génération de la solution initiale.....	83
5.19. AQUAZONE-Optimisation- Maquette du réseau de raccordement.....	84
5.20. AQUAZONE-Optimisation- Interface Journal des calculs des solutions voisines...	84

Liste des Tableaux

Tableau B.1 : Synthèse des résultats de Prétraitement.....	87
Tableau B.2 : Synthèse des résultats CMF.....	89
Tableau B.3 : Résultats- CMF-LPE par FAH.....	91

ClicCours.com

Introduction Générale

Introduction Générale

Contexte de l'étude et Problématique

La terre, grande planète, troisième par ordre de croissance, du système solaire et la seule habitable de ce système. Elle abrite l'espèce humaine, des milliers d'espèce animale et végétale. Dans ces vastes contrées, il existe plus de 180 pays, et dans chacun d'eux des dizaines de milliers de kilomètres de terre. Afin d'optimiser l'aménagement de ces espaces immenses, l'homme créa, d'abord, des cartes sommaires pour connaître plusieurs données comme l'étendue d'une surface par exemple. Ces cartes ont assez vite vu naître leur point faible : la précision. Ces cartes s'avèrent peu précises engendrant divers conflits entre nations.

Avoir une vue d'ensemble d'une zone donnée est mieux qu'une vue locale de celle-ci. De là est née l'image spatiale. Grâce à des satellites en orbite autour de notre planète, l'homme a pu avoir une image de cette dernière avec une précision, de plus en plus élevée au fil des années.

Grâce à la télédétection, la surface terrestre est maintenant scrutée avec un recul ajustable permettant d'intégrer les distances avec une prodigieuse capacité, de passer du détail à la globalité et de jongler avec les échelles du temps et des distances. Toutefois, l'être humain éprouve quelques problèmes à interpréter, les images qu'il reçoit avec précision car à l'état brut, les images satellitaires ou autres, ne reflètent pas vraiment la réalité du terrain à cause des mesures effectuées qui sont bruitées et peu contrastées, et dans une géométrie difficilement exploitable. Cela est dû à plusieurs facteurs liés à la position de l'objet, aux effets du relief, et aux transitions entre régions.

L'évolution des nouvelles technologies n particulier l'aide à la décision permet de pallier à ce problème surtout lorsqu'il s'agit de l'observation de la terre pour les études de la climatologie, la géologie ou la foresterie ou tout simplement pour l'occupation du sol ou la gestion des ressources naturelles. En effet, l'intérêt d'une gestion rationnelle des ressources aquatiques n'est plus à démontrer aussi bien aux plans agricole et socio-économique qu'écologique. Par ailleurs, les décideurs confrontés à un problème spatial complexe ont souvent de multiples objectifs conflictuels pour sa résolution. Pour être acceptable, une solution doit concilier ces objectifs contradictoires. Une variété de techniques d'analyse a été développée pour aider les décideurs à résoudre des problèmes avec des critères multiples.

A cette fin, les décideurs se tournent, de plus en plus, vers les Systèmes d'Aide à la Décision Spatiale afin d'être aidé à résoudre des problèmes spatiaux complexes. Les systèmes classiques ne prennent pas adéquatement en compte la prise de décision, parce qu'ils manquent de capacités de modélisation analytiques, et ne s'accommodent pas facilement aux différentes variations du processus de prise de décision spatiale. Avec l'avènement des technologies d'images par satellite, les décideurs dans plusieurs domaines spécifiques, tel que l'Aménagement du Territoire (AT), se sont tournés vers ces technologies pour les aider dans leur travail. En effet, disposé d'une image satellite bien détaillée d'une zone, il est beaucoup plus facile d'aménager. Seulement la gestion environnementale des territoires doit s'appuyer sur une connaissance approfondie de la dynamique de nombreux systèmes spatialisés. La gestion de l'espace géographique lui-même constitue d'ailleurs l'un des enjeux principaux du développement durable. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont largement utilisés pour l'Aide à la Décision Spatiale. Cependant, ces systèmes donnent une vision statique alors que la planification environnementale nécessite des outils de simulation, basés sur des modèles dynamiques.

Délimitation de la zone d'étude et Motivations de la thèse

Nous nous intéressons, dans la présente étude, à la ville d'**Oran**, deuxième capitale d'Algérie et une des plus importantes du Maghreb. C'est une ville portuaire, située au bord de la rive sud du bassin méditerranéen; au nord-ouest de l'Algérie, à 432 km à l'ouest de la capitale Alger [Aug, 39]. Elle s'élève au fond d'une baie ouverte au nord sur le golfe d'Oran. Au sud, elle est bordée par une grande sebkha (mot arabe, qui désigne une dépression temporairement occupée par un lac généralement salé. Les eaux proviennent du ruissellement, mais aussi des nappes phréatiques d'après le dictionnaire de géologie [Fou et al, 01].

La grande Sebkha [Ben et al, 12] au sud d'Oran, dans le bassin hydrographique d'Oranie Chott Chergui, est alimentée par un réseau hydrographique complexe venant du Murdjajo au nord et du Tessala au sud, elle est le noyau d'un problème entre le développement local et la conservation écologique. Les plaines ont un grand potentiel agricole, alors que le Nord et le Sud de la Sebkha ont connu deux types différents de développement. Ce réseau hydrographique fait l'objet de tractations entre les partisans du développement des riches plaines agricoles environnantes d'une part, et les défenseurs de l'écosystème d'autre part. La partie septentrionale de la Sebkha a tiré profit de l'expansion et du développement de la ville d'Oran et de son activité industrielle.

Que ce soit dans un cadre économique telle que la recherche des hydrocarbures encouragée par la découverte d'indices, ou dans un cadre purement scientifique (reconstitution de l'histoire du bassin pour comprendre sa mobilité et sa dynamique), L'Algérie a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques d'importance diverse depuis 1830 jusqu'à nos jours.

Seulement les cas rapportés à l'utilisation de SAD pour la gestion de l'eau en Algérie sont peu nombreux. Ce qui nous a motivé à la collecte et à l'organisation de données multi-sources, des SIGs, et des approches de gestion afin de mettre en place une démarche décisionnelle spatiale.

Dans cette étude, une attention particulière est donnée à l'étude multidisciplinaire (sédimentologie, tectonique, hydrogéologie, géomorphologie, chimie et biologie) effectuée sur la zone d'Oran par Moussa. [Mou, 06], qui a permis la détermination des conditions de création et des modalités de fonctionnement de la Sebkha d'Oran (Ouest Algérien) du Miocène à l'Actuel. Le même auteur cite deux facteurs importants qui ont régi l'édification de cette dépression; tectonique et climat qui auraient conditionné ultérieurement le réseau hydrographique et la végétation de la zone d'Oran en place. Les analyses sédimentologiques ont révélé que le milieu primitivement lacustre aurait évolué progressivement en Sebkha, traduisant le passage d'un climat subhumide à un autre semi-aride. Les auteurs donnent un bon état de l'art, avec un historique des principales études consacrées à la géologie oranaise, et une bonne étude comparative des Sebkhas dans le monde. Les chercheurs montrent que cette évolution correspondait à une transformation du bilan hydrique au cours d'un pluvial. En même temps qu'une atténuation de l'aridité, par des arrivées d'eaux profondes à partir de nappes artésiennes, un rafraîchissement du climat amène une évaporation. L'auteur démontre les impacts de l'instabilité climatique sur les Sebkhas.

Le manque d'informations et d'études sur les eaux souterraines, et surfaciques de cette ville nous ont motivé à mener une étude autour de ce thème. Par ailleurs une étude structurale à partir des photos aériennes et des images Satellitales, nous permet de comprendre la mobilité et la dynamique de la Sebkha. Un autre problème a mérité notre attention, la corrélation entre les deux marges (nord et sud) de la Sebkha : *Est-ce qu'il y a une continuité des couches ou non sous la Sebkha ?*.

Contributions

L'aide à la Décision Spatiale constitue un domaine de recherche à part entière. Dans cette optique, l'objectif principal de cette thèse est la mise en place d'un Système d'Aide à la Décision Spatiale exploitant des outils de traitement d'Images Satellitales et des techniques de Data Mining Spatiale (DMS).

Analyser une Image Satellitale consiste à en extraire des informations caractéristiques relatives aux objets d'intérêt présents dans son champ de vue. Il s'agit par exemple, à partir d'Images Satellitales, d'étudier : le nombre, la répartition, la forme ou la taille **des classes** (zone urbaine, forêt, eau, etc.).

L'approche préconisée prend en compte toutes les phases de la chaîne du traitement des images Satellitales, depuis les opérations de visualisation jusqu'à l'analyse des résultats.

La démarche décisionnelle proposée permet l'extraction automatique de régions homogènes (classes : zone urbaine, forêt, eau...etc.) à partir d'une image *Landsat 5 TM* pour la région d'Oran (Algérie) en exploitant la fusion de deux méthodes : le C-Means Flou (CMF) et la Ligne de Partage des Eaux. La première est appliquée sur des images multi spectrales tandis que la deuxième méthode est utilisée pour segmenter les images après que celles-ci aient été transformées en niveau de gris afin de délimiter les Zones Aquatiques ainsi que les zones aménageables pour la ville d'Oran [Sek et al, 13c].

En effet, le point de départ est notre travail de Magistère [Sek, 11a], dont l'objectif était d'élaborer un Système d'Aide à la Décision Spatiale nommé FCMAT destiné à aider les décideurs du territoire à traiter sur des zones homogènes et texturés [Sek et al, 12a].

Par la suite, plusieurs études ont été menées, pour améliorer les performances de FCMAT. Dans [Sek et al, 11b], nous avons tenté d'automatiser d'une manière significative les paramètres du C-Means Floues en proposant une formule (FMQC : Fuzzy Measurement Quality of Classification), qui permet d'aider les décideurs à faire les meilleurs choix initiaux (paramètres : nombres de classes et degrés d'appartenances).

Nous avons, également, tester notre approche (Système d'aide à la décision, modèle décisionnel, et algorithmes proposés) dans d'autres domaines d'application en exploitant d'autres types d'images. Ceci, afin de vérifier l'exactitude, d'améliorer les techniques, les valider, et générer ainsi un modèle générique susceptible d'aider d'autres décideurs dans d'autres disciplines, comme les physiciens dans les problèmes d'analyse des fluides dans les systèmes métalliques opaques utilisant des images Neutroniques, les résultats sont très satisfaisants voir [Sek et al, 13a] [Sek et al, 13b] [Sek et al, 13c] [Sek et al, 14a].

L'objectif de cette étude est de concevoir un Système d'Aide à la Décision Spatiale nommé AQUAZONE, intégrant les méthodes de traitement et d'analyse d'images de télédétection.

La présente étude vise également :

- l'élaboration de la carte d'Occupation du Sol pour la région d'Oran [Sek et al, 14c].
- l'extraction automatique des Zones Aquatique (à savoir : Sebkha au sud, et la Mer méditerranéenne au nord) à partir d'une image *Landsat 5 TM* pour la région d'Oran (Algérie) [Sek et al, 15].
- l'optimisation des résultats obtenus, et la recherche des solutions voisines par application de l'algorithme de la Recherche Tabou.

Le choix de ce thème a été motivé par son utilité et la diversité de ses applications. Le défi est donc le développement d'une méthode d'extraction automatique des Zones Aquatiques à partir d'une Image Satellitale avec comme contrainte la fiabilité du résultat. Néanmoins, il paraît illusoire d'espérer générer une reconnaissance avec une fiabilité absolue. Le résultat doit donc forcément être vérifié par un opérateur humain « Décideur », pour que cet outil soit réellement utilisable, il faut donc minimiser les fausses détections et surmonter les

artefacts qui peuvent parfois occulter certaines parties. Pour se faire, on a besoin des connaissances préalables des experts du domaine pour analyser les besoins. Ensuite appliquer son savoir-faire pour pouvoir modéliser une approche, et appliquer les méthodes adéquates sur des images multi-spectrales afin d'extraire des connaissances utiles aux experts (décideurs) du territoire, enfin améliorer le SDSS (Spatial Decision Support System).

La conception des SDSS, les types de problèmes auxquels ils peuvent être appliqués, le processus élémentaire de prise de décision, les supports, et un cadre pour leur mise en œuvre ainsi que l'évolution ultérieure de ces systèmes, sont également examinés dans cette thèse.

Travaux connexes

Cette thèse présente un travail transversal qui nécessite de regrouper toute une panoplie de méthodes dans un seul modèle dédié à la prise de décision spatiale, cela nécessite plusieurs outils d'investigations; plusieurs travaux, dans plusieurs domaines sont à mettre en relief :

Il n'y a pas de grands cas rapportés à l'utilisation de SAD pour la gestion de l'eau en Algérie, le seul projet est la convention RAMSAR, grâce à une coopération bilatérale entre l'Algérie et des étrangers. Ces projets font partie d'un Plan Régional pour l'Eau (PRE) autour du sujet de la Sebkhah d'Oran [Ram, 01].

Plusieurs Systèmes d'Aide à la Décision en Aménagement territoriale ont retenu notre attention: Dans [Joe et al, 98], MEDUSAT est proposé pour la localisation de l'emplacement d'une usine de traitement des déchets en Tunisie. Le système MEDUSAT allie un outil SIG qui permet de constituer des zones homogènes déterminées à partir de caractéristiques spatiales et données terrains communes (constituant un indice de similarité), ces zones constituent l'ensemble des actions qui sont ensuite traitées par l'analyse multicritère. Dans [Pen et al, 11], les auteurs ont étalé un état de l'art et proposent un cadre de gestion des informations des incidents sur la base de l'intégration de données, Data Mining, et l'Aide à la Décision Multi-Critères.

De nombreux SAD intègrent à divers niveaux les outils d'analyse multicritères (AMCD) couplés aux SIG, toutefois ils considèrent les critères comme indépendants et sont incapables de modéliser une quelconque interaction entre eux (interchangeabilité, corrélation, dépendance préférentielle, etc.). Dans [Ham et al, 07d], les auteurs abordent de manière significative la prise en compte de corrélation entre critères en introduisant l'Intégrale de Choquet (au lieu de la somme arithmétique) comme opérateur d'agrégation dans les méthodes d'AMCD particulièrement Electre Tri.

La discipline de l'aménagement du territoire est présentée aujourd'hui à équilibrer un nombre croissant d'objectifs souvent contradictoires, défendues par une variété d'acteurs (individus ou organisations) donnant naissance à des SAD de groupe. [Ham et al, 09] [Ham et al, 12].

Pour une éventuelle étude comparative, quelques travaux sur la classification des Images satellitales d'Oran (Algerie), sont pris en considération. Dans [Lao et al, 11], une nouvelle méthode pour la cartographie de la région d'Oran utilisant les images multi spectrales, et dans [Ift, 03], les auteurs appliquent les Réseaux de Kohonen pour créer la carte d'occupation du sol d'Oran.

Dans la même optique, de nombreux auteurs se sont penchés sur l'utilisation de la LPE pour la gestion de ressources naturelles d'Algérie, en essayant de définir des algorithmes permettant de la générer à partir des données topographiques. Dans [Ben, 06], l'auteur utilise un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie). Dans [Ham et al, 99], les auteurs démontrent l'utilité et l'impact de l'utilisation des données TM de Landsat pour le suivi de l'état hydrique du couvert végétal en Algérie.

Organisation de la thèse

Cette thèse présente un travail transversal qui se situe au carrefour de plusieurs domaines à savoir: les Systèmes D'Aide à la Décision Spatiale, les techniques de traitement des Images Satellitales, la télédétection, les techniques d'optimisation, les Systèmes d'Information Géographique et les méthodes de Data Mining Spatial (DMS). La présente thèse est organisée en deux parties et une annexe :

La première partie (Synthèse de l'état de l'art)

Nous présentons, dans cette partie, les concepts fondamentaux liés à la problématique abordée dans cette étude, elle comprend trois chapitres :

Chapitre 1 : L'Aide à la Décision Spatiale

Ce chapitre étale un état de l'art sur les systèmes d'aide à la décision dédiés à la résolution des problèmes spatiaux.

Chapitre 2 : L'analyse des images satellitales

Nous nous intéressons, dans ce chapitre, au domaine du Data Mining Spatial (DMS). Ce dernier soulève de réels challenges, tant scientifiques que technologiques.

Dans ce chapitre, nous abordons également les concepts fondamentaux se rapportant au traitement d'images spatiales tout en rappelant les notions élémentaires de la Morphologie Mathématique (MM). Nous introduirons par la suite des algorithmes innovants de segmentation des images multispectrales: à savoir le C-Means Floue (CMF) et la Ligne de Partage des Eaux (LPE).

Chapitre 3 : Optimisation Multi Objectif

Ce chapitre introduit les méthodes d'optimisation, une attention particulière est réservée à la Recherche Tabou

La deuxième partie (Le Système d'aide à la décision AQUAZONE)

La seconde partie de cette thèse détaille notre contribution portant sur la modélisation et la mise en place d'un système d'aide à la décision spatiale capable d'aider les décideurs du territoire dans l'élaboration de la carte d'occupation du sol de la région d'Oran (Algérie), ainsi que l'extraction de la ligne de partage des eaux. Les résultats obtenus sont optimisés en utilisant la Recherche Tabou. Cette partie comporte deux chapitres :

Chapitre 4 : *L'Approche décisionnelle proposée*

Ce chapitre est dédié à la description de notre contribution. Nous présentons d'une manière détaillée notre approche décisionnelle basée sur les C-Means Floues (CMF) et la Ligne de Partage des Eaux (LPE).

Nous présentons, également, notre approche d'optimisation, s'articulant autour des C-Means Floues (CMF) et la Recherche Tabou.

Ce chapitre décrit succinctement le SAD proposé AQUAZONE ainsi que le modèle et la démarche décisionnels appropriés. Les données utilisées sont décrites et les choix des différentes méthodes sont justifiés.

Chapitre 5 : *Le système AQUAZONE*

Ce chapitre détail la démarche décisionnelle menée, pour des données réelles, et les résultats fournis par le SDSS proposé seront également discutés.

Annexe A : *La ligne de partage des eaux*

Cette annexe constitue une présentation générale de la méthode de la Ligne de Partage des Eaux (LPE) qui vient, avec son mode d'emploi, citer les avantages de l'utilisation de la File d'Attente Hiérarchique (FAH) dans la création de la LPE.

Cette thèse s'achève par une *Conclusion et des Perspectives* où nous récapitulerons l'apport de notre approche en ouvrant des perspectives à cette étude.

Annexe B : *Résultats Expérimentaux*

Dans cette Annexe, nous présentons les principaux résultats obtenus après les différentes expérimentations effectuées dans le contexte de la présente thèse.

Première Partie

Synthèse de l'Etat de l'Art

Cette partie étale les concepts fondamentaux liés à la problématique abordée dans cette étude.

Chapitre 1

L'Aide à la Décision Spatiale

Ce chapitre aborde l'aide à la décision, d'une manière générale en mettant le point sur les Systèmes d'Aide à la Décision dédiées à la Résolution des problèmes spatiaux complexes.

Chapitre 1

L'Aide à la Décision Spatiale

1. Introduction

La majeure partie des activités humaines nécessite de prendre quotidiennement des décisions; que cela soit au niveau d'un pays, d'une région, d'une administration, d'une collectivité locale, d'une entreprise, au sein de la cellule familiale ou tout simplement à l'échelle de l'individu.

Les décideurs se tournent, de plus en plus, vers les Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour les aider à résoudre des problèmes spatiaux complexes. Toutefois, ces systèmes ne prennent pas adéquatement en compte l'aide à la décision, car ils manquent de capacités de modélisation analytiques. La réponse à ces lacunes est le développement de Systèmes d'Aide à la Décision Spatiale (SADS), explicitement conçus pour répondre à des problèmes à caractère spatial. La conception de ces systèmes a vu un bond en avant ces dernières décennies pour devenir des outils très performants.

2. Le Processus d'aide à la décision de SIMON

De manière générale, un processus décisionnel consiste à restreindre un ensemble de possibilités à un sous ensemble stricte et à évaluer cette restriction. Simon [Sim, 77] détaille ce processus en quatre étapes, non nécessairement séquentielles (Figure 1.1).

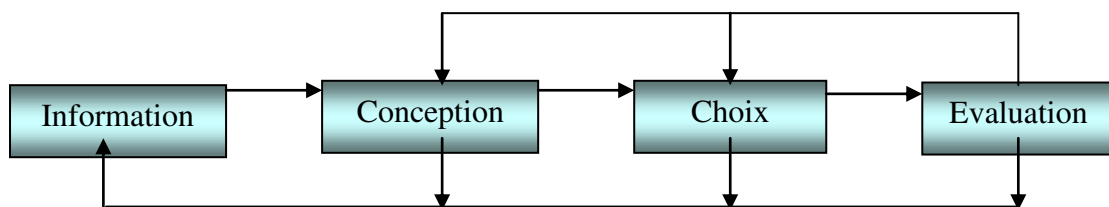


Figure 1.1: Processus décisionnel de Simon

- **L'Information:** C'est la phase qui détermine l'ensemble des données nécessaires (mais pas forcément suffisantes) qui seront utilisées lors des phases suivantes;

- **La Conception:** Cette phase génère les différentes alternatives qui forment l'ensemble des possibilités. Les différentes solutions sont donc élaborées à ce stade;
- **Le choix :** C'est la phase consistant à restreindre l'ensemble des possibilités au sous-ensemble des possibilités sélectionnées ;
- **L'évaluation :** En regard des trois phases précédentes, de la solution provisoirement retenue comme satisfaisante, cette phase peut amener à la réactivation de l'une des trois phases précédentes ou, au contraire, à la validation de la solution.

Ces quatre niveaux de processus décisionnel sont dans l'ordre de leurs types de problématiques proposées par Simon et reprises par [Lev et al, 89] :

- a. **Problème structuré :** problème posé d'une façon claire, les données sont fiables et numériques. Les modèles associés sont clairement définis, ils permettent une résolution algorithmique programmable du processus décisionnel.
- b. **Problème semi structuré :** le problème peut ne pas être clairement posé, les données sont souvent qualitatives et la résolution est difficilement exprimable sous forme de programme, telle que la problématique de choix du site adéquat pour une construction donnée en Aménagement du Territoire (AT).
- c. **Problème non structuré :** le problème n'est pas clairement posé, le principe de la rationalité limitée¹ s'applique à toutes les étapes du processus décisionnel. La décision prise est difficilement justifiable.

3. L'aide à la Décision Spatiale

L'aide à la décision spatiale se concentre sur les décisions qui ont un effet sur le territoire. Il peut s'agir de : [Lab, 07]

- La localisation d'une infrastructure publique ou privée.
- L'organisation d'un réseau de services.
- La mise en place d'une politique publique à incidence spatiale, telle qu'une politique de transport ou d'aménagement d'un quartier.

3.1. Processus d'aide à la décision spatiale

L'Aide à la Décision Spatiale opère sur des processus basés sur la récolte, l'analyse et l'échange d'information qui permettent aux acteurs concernés par la décision de construire, de renforcer ou de modifier leurs préférences. Le processus décisionnel dédié aux problématiques spatiales et territoriales illustré par la Figure opère classiquement en quatre principales étapes :

The logo for Clicours.COM is displayed in white text on a blue rectangular background. A horizontal line is positioned below the logo.

1. **Constituer l'état des lieux** : C'est une étape de description du territoire, elle met le point sur l'ensemble des informations disponibles relativement à la question posée et en recherche d'autres lorsque le besoin est défini.
2. **Réaliser le diagnostic** : Cette étape vise à évaluer ces données pour mieux définir les problèmes à traiter, les informations manquantes, les acteurs à intégrer au processus et les moyens disponibles.
3. **Elaborer les scénarios** : Cette étape concerne la définition des actions et de leurs conséquences, ainsi que l'élaboration des scénarios correspondants.
4. **Choisir les stratégies** : C'est l'étape de choix d'un scénario. Elle définit la mise en œuvre concrète des actions, ce qui peut se traduire par des aménagements ou des règlements fournissant des contraintes pour les niveaux décisionnels intérieurs.

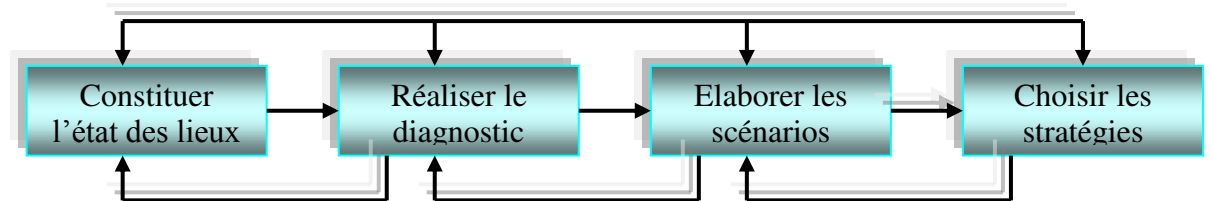


Figure 1.2 : Processus d'aide à la décision territoriale

Nous distinguons également d'autres processus décisionnels spatiaux comme celui proposé par Mintzberg en 1976 et celui de Tsoukias en 2003 [Ham, 08].

Le modèle de Simon ainsi que les extensions qui y sont apportées ne prennent pas en compte trois éléments clés de la prise de décision dans un contexte spatial : [Cha et al, 05]

- **Participation** : mettre à contribution l'expérience et le savoir-faire de chaque participant.
- **Négociation** : valable dans un contexte conflictuel, caractérisé par l'affrontement et l'antagonisme.
- **Concertation** : s'opère dans un climat coopératif, caractérisé par la synergie et la volonté de résolution des problèmes.

Afin de pallier à ces problèmes, d'autres processus de décision dans le domaine territorial et urbain ont été proposés, nous présentons, dans ce qui suit, les processus les plus usuels [Cha et al, 05], [Joe, 02],

a. Processus d'Aide à la de Décision Spatiale proposé par Chakhar

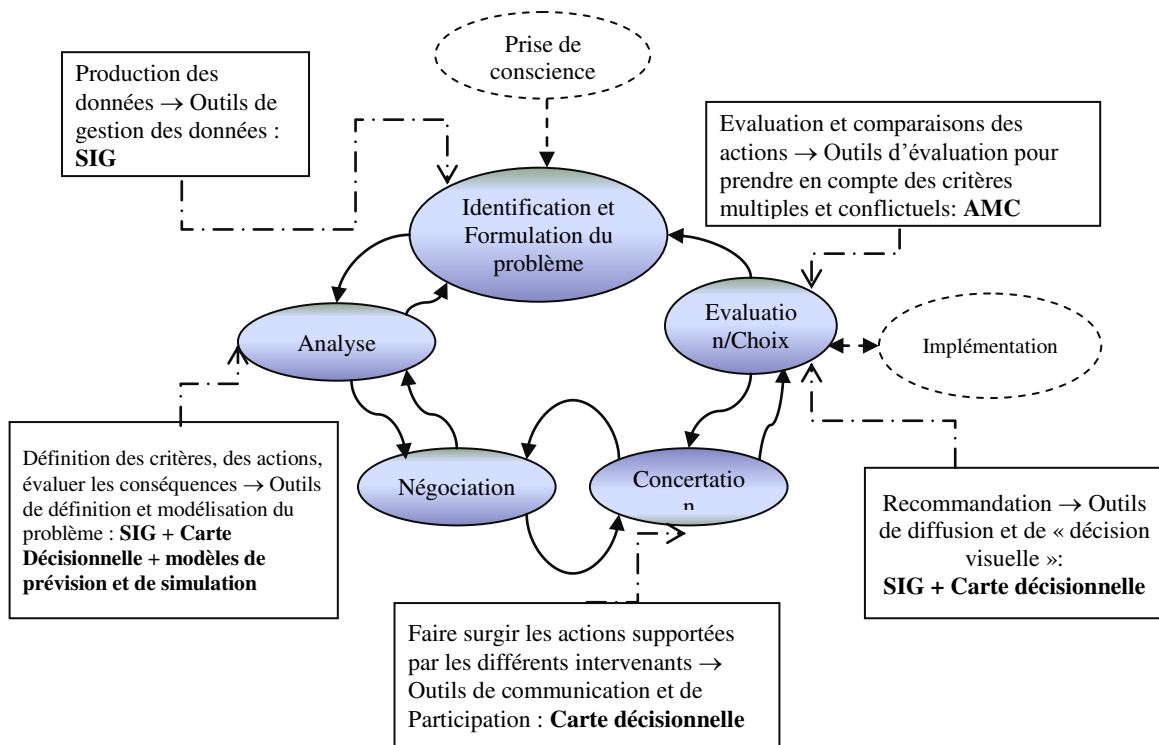


Figure 1.3: Processus d'aide à la décision spatiale de Chakhar

b. Processus d'Aide à la de Décision Spatiale proposé par Joerin

Dans son processus, Joerin [Joe, 02] propose de procéder comme suit :

- **Formalisation du problème** : En fixant les critères, les variantes, la pondération, etc.
- **Agrégation** : Cela revient à la recherche de la solution au problème en procédant par l'agrégation mathématique.
- **Choix** : Suggestion de la solution trouvée.

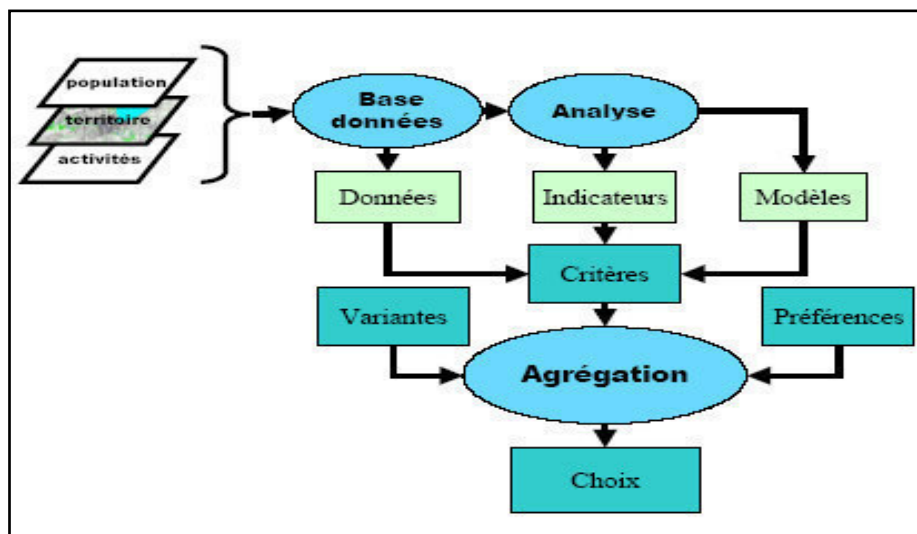


Figure 1.4: Processus d'aide à la décision spatiale de Joerin

c. Processus d'Aide à la de Décision Spatiale proposé par Hamdadou

Dans [Ham, 08], l'auteur met en place système interactif d'aide multicritères à la décision collective dans l'objectif de soutenir efficacement la problématique de localisation ponctuelle spatiale en Aménagement du Territoire (AT): La problématique qui consiste en la recherche d'une surface satisfaisant au mieux certains critères parmi un ensemble de variantes (exemple : la localisation d'une infrastructure, centre commercial, centre hospitalier, etc.).

A ce titre, le processus décisionnel proposé (Figure 1.5) permet de prendre en compte à la fois la dimension spatiale ainsi que les intérêts spécifiques et divergents des différents décideurs afin de parvenir à un accord acceptable par les différents acteurs du territoire. Le système proposé est basé, principalement, sur un couplage de deux représentations de la réalité : les Systèmes Multi Agents (SMA) et les Systèmes d'Information Géographique (SIG).

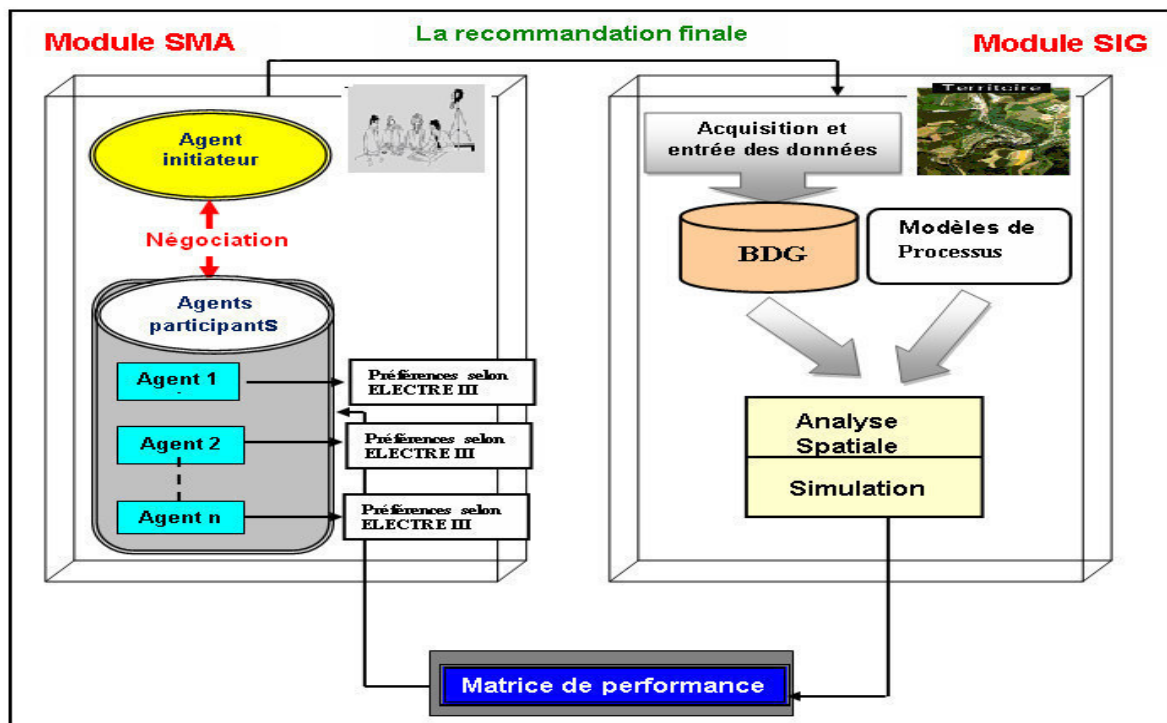


Figure 1.5: Processus d'aide à la décision spatiale de Hamdadou

3.2. Typologie des systèmes d'Aide à la Décision Spatiale

A partir de la classification des problèmes établie ci-dessus, quatre types de systèmes d'aide à la décision spatiale peuvent être distingués [Ham, 13].

- Spatial Data Processing Systems (SDPSs) :** Toutes les données sont disponibles et bien définies, comme les contraintes, les procédures standards peuvent être appliquées, il n'y a pas besoin de stratégie complexe pour générer et évaluer les alternatives. L'ordinateur incorpore tous les éléments du problème décisionnel dans un modèle représentant le problème, et utilise des algorithmes pour l'analyse du

modèle. Différents algorithmes peuvent être utilisés pour l'analyse d'un même problème. SDPSs n'a par contre pas la capacité de générer des stratégies flexibles.

- b. Spatial Decision Support Systems (SDSS) :** ces systèmes ont évolué en parallèle avec les DSS. Un SDSS peut être défini comme un système interactif et informatisé conçu pour soutenir un utilisateur ou un groupe d'utilisateurs en réalisant une efficacité plus élevée de prise de décision tout en résolvant un problème spatial de décision semi-structuré.

Le SDSS a les caractéristiques suivantes :

- c. Spatial Expert Systems (SES) :** c'est un système informatisé employant des méthodologies de raisonnement dans un domaine spatial particulier afin de prodiguer les mêmes conseils ou recommandations, qu'un expert humain. Le SES est appelé aussi SKBS (Spatial Knowledge-based System). Les principales caractéristiques d'un SES est que le système :

- est capable de résoudre des problèmes spatiaux aussi bien voire mieux que les experts humains puissent le faire.
- emploie la connaissance experte sous forme de règles
- agit l'un sur l'autre avec des décideurs tandis que la plupart d'ESs représente des règles en termes d'opérations booléennes, un SES prolonge la syntaxe de règle pour inclure des opérations spatiales, telles que « north of », « within », « outside », and « farther than ».

Le développement de la technologie SES possède quelques limites :

- Beaucoup de processus géographiques et de problèmes liés à la décision spatiale ne sont pas bien compris et il y a peu de règles convenues régissant les processus spatiaux.
- L'expertise humaine sur des processus liés à la prise de décision est habituellement complexe et se compose de beaucoup de différents niveaux de connaissance.
- Les différents experts peuvent résoudre des problèmes spatiaux différemment, et donc ils peuvent discuter ou même critiquer une autre méthode employée.
- Il existe souvent une barrière de communication entre « l'ingénieur de la connaissance » (knowledge engineer) et les experts

- d. Spatial Expert Support Systems :** le but fondamental du SDSS et du SES est à la base le même. Ils recherchent à améliorer la qualité de la prise de décision. La principale différence entre le SDSS et le SES est que l'objectif du SDSS est de soutenir la prise de décision plutôt que de remplacer un preneur de décision. En intégrant un SES avec un SDSS, il est possible d'augmenter la qualité et l'efficacité des deux. . En effet tandis qu'un SDSS fournit l'expérience de la collecte et de l'exécution de données aussi bien que le conseil aux utilisateurs pour assortir leurs modèles de décision, un SES lui,

fournit le conseil et l'explication intelligente, et augmente ainsi le processus décisionnel sur ordinateur. La synergie entre ces deux technologies donne naissance à deux nouveaux systèmes : ISDSSs (Intelligent SDSSs), ou SESSs (Spatial Expert Support Systems).

3.3. Architectures des SDSS

Un SDSS contient typiquement 3 composants : un **DBMS** (Database management system) ainsi qu'une base de données géographique, un **MBMS** (Model-based Management system) ainsi qu'un modèle de base, et un **DGMS** (Dialogue Generation and Management System).

Dans cette thèse, une attention particulière est réservée à la stratégie de développement de SDSS proposée par Densham [Den, 03]. Facilité par un design modulaire, l'architecture proposé consiste en un groupe de 5 modules logiciels. Chaque module fournit un groupe de fonctionnalités relatives aux capacités ; il y a un module pour la base de données et la gestion du système, un affichage et un générateur de rapports et une interface utilisateur (Figure 1.6).

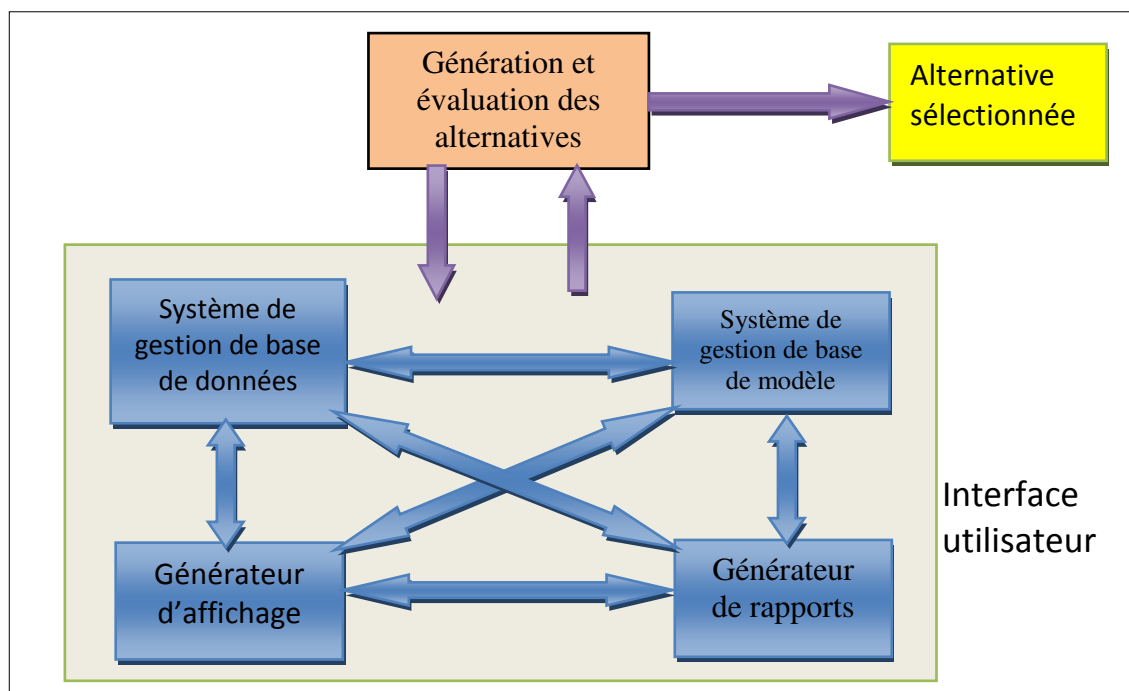


Figure 1.6 : Architecture SDSS proposée par Densham

a- Système de Gestion de Base de Données : Le cœur d'un SDSS est son *Data Base Management System (DBMS)*. Il doit être capable de stocker et manipuler des données de localisations, topologiques et thématiques afin de supporter l'affichage cartographique, les requêtes spatiales et la modélisation analytique.

Les données de localisations sont des primitives spatiales comme les coordonnées. Les données topologiques sont des objets qui incluent des points, nœuds et des lignes (exemple :

intersections de routes, voies ferrées, puits, etc.). En dernier les données thématiques sont les attributs des données topologiques (comme : la profondeur des puits, l'absence ou la présence de feux de signalisations sur routes...etc.). Le DBMS doit permettre à l'utilisateur de construire et d'exploiter les relations entre ces trois types de données sur différents niveaux, degrés de résolution et niveaux d'agrégations.

b- Système de Gestion de Base de Modèles : Trois approches peuvent être utilisées pour intégrer les techniques de modélisation dans les SDSS :

1. La première et la plus simple est d'utiliser le langage de programmation des DBMS afin d'implémenter les capacités des DBMS elles-mêmes. Cette approche est très attrayante du fait que les capacités sont déjà fournies et, de ce fait, facilite les requêtes et manipulations de base de données.
2. La seconde approche consiste en un développement de bibliothèques de routines analytiques. Chaque bibliothèque doit être une modélisation et optimisation d'un sous-programme de la bibliothèque principale. L'atout de cette approche est qu'un large nombre de modèles peut être facile d'accès. L'utilisateur peut faire appel à ces sous-programmes depuis son propre programme via une interface standard.
3. La dernière approche est le développement de *ModelBase Management System (MBMS)* et l'intégration de modèles dans un SDSS. Un MBMS exécute une tâche qui ressemble aux fonctions d'un DBMS. Au lieu de sauvegarder les données, il sauvegarde les éléments des modèles. Sa fonction principale, comme celle d'un DBMS, est d'utiliser une structure organisée avec un minimum de redondance et de supporter la représentation et l'exploitation des relations entre éléments.

c- Générateur Graphique et Tabulaire : Le *Graphical and Tabular Report Generators GTRG* devrait fournir bon nombre de capacités dans un SDSS. La première est la génération d'affichage cartographique haute résolution. Ces affichages doivent être épaulés par d'autres formes d'images. Par exemple, un usage général d'images statistiques, incluant des images 2D et 3D pour des diagrammes de dispersion. Tout cela pour des utilisations spécifiques, comme les analyses géologiques par exemple. Enfin, le '*Tabular Reports*' doit supporter chacune des capacités graphiques.

d- Interface utilisateur : L'interface utilisateur d'un SDSS représente l'espace de deux façons : espace objectif et plan espace. L'espace objectif représente les paramètres et solutions d'un modèle analytique, tant dis que le plan espace est la représentation cartographique d'une zone à étudier. De ce fait nous pouvons dire que le plan espace peut être affiché comme un graphique et l'espace objectif comme un graphique ou un tableau.

Par exemple, dans un contexte de modèle de localisation de feux par rapport aux casernes de pompiers, en plan espace cette représentation est faite à l'aide d'une série de points entre les feux et les casernes de pompiers, tant dis qu'en espace objectif cela se fait par un tableau. L'utilisateur doit être en mesure de voir ces espaces en même temps.

Conceptuellement, un SDSS est un ensemble de modules logiciels connectés (Figure 1.7). Au niveau primaire, il existe trois grandes composantes: la base de données, le modèle et l'interface utilisateur. Il intègre un système d'information géographique et un système de modélisation. En outre, une base de données géo-référencées, des outils d'analyse et les options d'affichage existent souvent [Sug et al, 11].

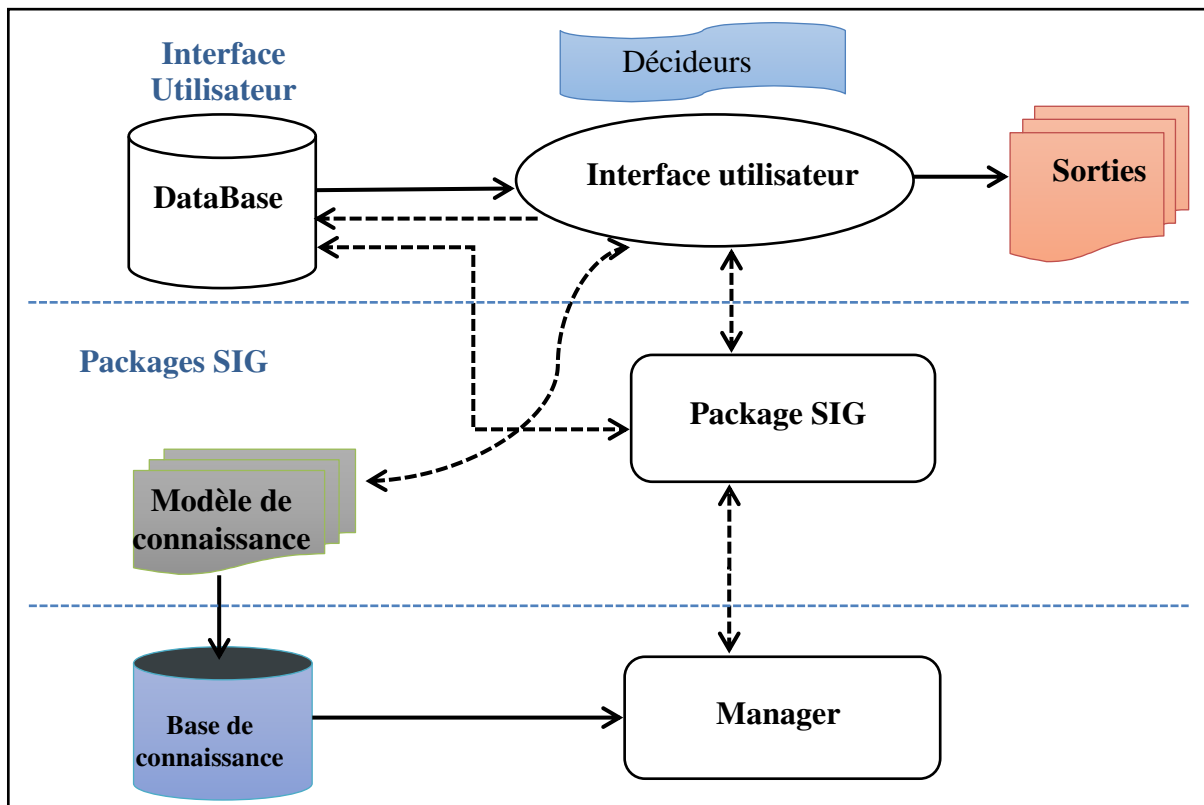


Figure 1.7: Architecture d'un SDSS proposée par Sugumara et al.

- a- **Interface utilisateur** : le principal lien entre les décideurs et le système de décision spatiale donne accès à de multiples fonctionnalités et les bases de données permettant aux décideurs de générer les résultats voulus.
- b- **Packages SIG** : ce sont des logiciels se référant à une application de système d'information géographique spécifique qui sera utilisée comme base pour le SDSS pour aider les fonctionnalités de production, de gestion, d'organisation, d'analyse et de visualisation de données géo-spatiales.
- c- **Manager** : il est au cœur du modèle analytique, qui comprend de nouvelles caractéristiques / fonctionnalités requises pour générer les sorties nécessaires par le système d'aide à la décision spatiale.

Dans [Cro et al, 95], les auteurs pensent que les SDSSs peuvent être représentés comme étant l'engrenage manquant entre la politique et les modèles informatisés. Cela peut être constaté en comparant une prise de décision sur un cas réel à la fois avec et sans SDSS. Il se trouve

que les décisions prises en utilisant un SDSS ont été rapides et disposent de moins d'erreurs. Sur un investissement pour une infrastructure de grande envergure, un SDSS peut épauler les décideurs sur la prise des meilleures décisions à partir de toutes les alternatives. Qui plus est, pour l'aménagement de territoires, SDSS a prouvé qu'il était de taille pour donner des résultats satisfaisants. Même pour les régions touristiques il est capable de prendre en compte tous les critères pour atteindre un plan ou une décision spécifique.

4. SDSS, Travaux connexes

Dans le contexte de l'aide à la décision spatiale, une littérature abondante existe dans le domaine de l'analyse d'image spatiale, domaine largement antérieur à l'apparition des premiers SIGs [Ham et al, 07a] [Sek et al, 08]. Ces derniers demeurent des outils parmi tant d'autres impliqués dans processus décisionnel spatial. Par ailleurs, un Système d'Aide à la Décision Spatiale est un outil d'observation et de description qui vise, à partir de données spatiales/ou de statistiques, à fournir aux décideurs les moyens d'identifier les objets et de suivre l'évolution de l'activité. Il ne fournit pas les explications ni les commentaires qui relèvent d'une phase de travail postérieure à l'observation des sujets ou phénomènes particulier [Ade et al, 09].

Récemment, le web rajoute une autre dimension aux SDSS, et une nouvelle catégorie de système d'aide à la décision nommée Web Spatial Decision Support System (Web SDDS) sont développés. Dans [Sug, 05], les auteurs donnent un bon état de l'art de l'émergence des SDSS, leurs architectures et applications, et discutent les challenges pour le développement et le déploiement futur des SDSS.

Différents projets exploitant les images satellites pour l'aide à la décision furent développés.. Nous présentons, dans ce qui suit, les projets les plus significatifs :

4.1.Elaboration des cartes d'occupation du sol à partir des images satellitales de la région d'Oran (Algerie)

Dans [Ifit et al, 03], une approche basée sur les réseaux de neurones et utilisant les cartes topologiques de Kohonen a été élaborée. Ces cartes présentent une nouvelle stratégie de classification utilisant un principe de compétition et de coopération pouvant remédier aux aléas liés aux classifications classiques. L'étude réalisée consiste à utiliser les cartes topologiques de Kohonen pour effectuer une classification sur des images TM de Landsat de la région d'Oran, prise comme zone test, en raison de la variété des thèmes en présence (eau, forêt, céréaliculture, zones urbaines, etc.) et son relief relativement accidenté. L'apprentissage du réseau est conçu à partir d'un échantillonnage aléatoire ou systématique aléatoire. Après la phase de généralisation, la calibration sert à préciser, pour chaque thème de l'image de classes, un intervalle de radiométrie dans les bandes spectrales utilisées, pour un étiquetage des neurones de la couche de sortie. Enfin, l'intégration d'une donnée dérivée du modèle numérique d'altitude, la pente sert à lever certaines confusions parmi celles observées lors de la classification basée uniquement sur les données spectrales, notamment entre les zones

d'ombre et l'eau, ainsi qu'entre les zones urbaines et la Sebkhah. L'image classifiée ainsi obtenue sert à élaborer la carte d'occupation du sol de la région d'Oran-Ouest.

4.2. Apport des nouveaux outils d'investigations pour les prédictions des inondations

Les conditions d'existence d'une inondation dépendent directement du comportement hydrologique d'un bassin versant. Par conséquent l'étude des champs d'inondation implique la connaissance de certaines caractéristiques physiographiques, météorologiques des bassins versants et la capacité d'évacuation des exutoires qui sont les principaux facteurs d'inondation.

Cette étude est pluridisciplinaire, présente un bon apport entre des techniques nouvelles (SIG, Télédétection, cartographie numérique), et les données météorologiques (hyéto-gramme), l'hydrogramme simulé à l'exutoire du bassin versant ainsi que la transformation des débits max en hauteur à l'aval du bassin versant.

Tout ces outils pour à l'extraction des caractérisations spatio-temporelle d'un bassin versant, à l'aide d'un SIG décisionnel. L'Application s'est faite sur un bassin versant non jaugé d'une superficie de 60 km² de Oued Mohgnoun qui se trouve à l'amont de la ville d'Arzew, discrétisé selon un maillage de 100x100m [Chi et al, 04].

4.3. Utilisation des données satellitaires TM de Landsat pour le suivi de l'état hydrique d'un couvert végétal dans les conditions semi-arides en Algérie

Cette étude [Ham et al, 99] a pour objectif le développement d'une méthodologie pour le suivi d'un couvert végétal, pour l'estimation de son évapotranspiration réelle et pour le diagnostic de son état hydrique à travers la résolution de l'équation du bilan d'énergie à la surface par le biais du modèle SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) par télédétection. Le jeu de données est constitué de sept bandes TM et des mesures agro météorologiques de terrain. Pour l'estimation du flux de chaleur sensible, les auteurs ont opté pour une méthode basée sur utilisation des profils dans la couche de surface, afin de calculer la densité du flux de chaleur sensible et d'estimer l'évapotranspiration réelle à partir de la résolution de l'équation du bilan d'énergie. Enfin, différents indices d'humidité, dérivés de l'évapotranspiration, ont été calculés : l'indice CWSI, le paramètre de Priestley et Taylor et la résistance de surface à l'évaporation. Ces indices permettent le diagnostic quantitatif de l'état de stress hydrique du pixel.

Le site d'étude correspond à deux zones choisies dans la région littorale ouest algérienne: les deux plaines à savoir Bousfer (Figure 1.8) et de Misserghine (Figure 1.9). Ces deux plaines, physio graphiquement bien distinctes, sont séparées par les monts du Murdjajou.

En outre, le choix de ce site a été guidé par deux critères essentiels : une diversité de l'occupation du sol et une présence d'aires sèches et de parties irriguées fortement contrastées sur le plan hydrique

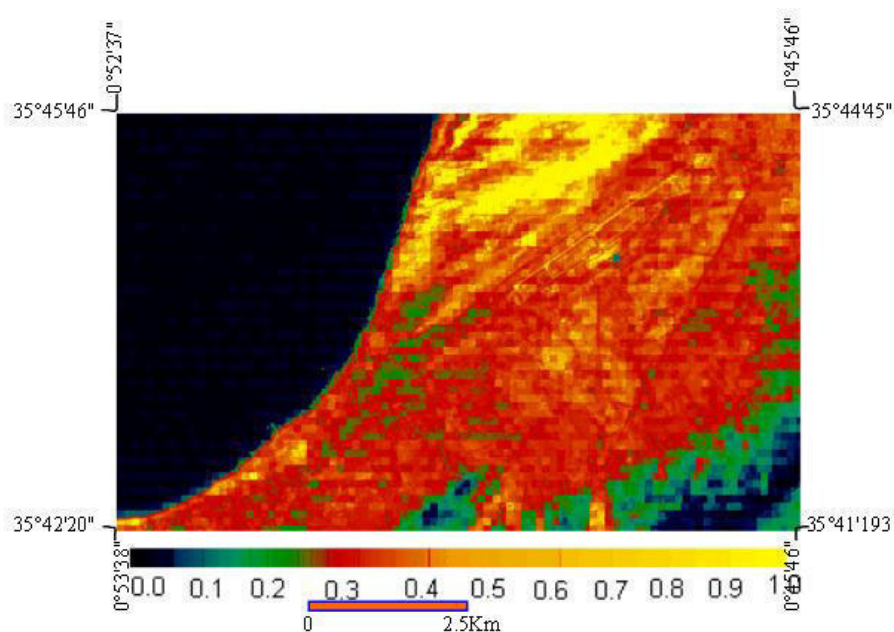


Figure 1.8 : Image de l'indice de stress hydrique (CWSI) : plaine de Bousfer

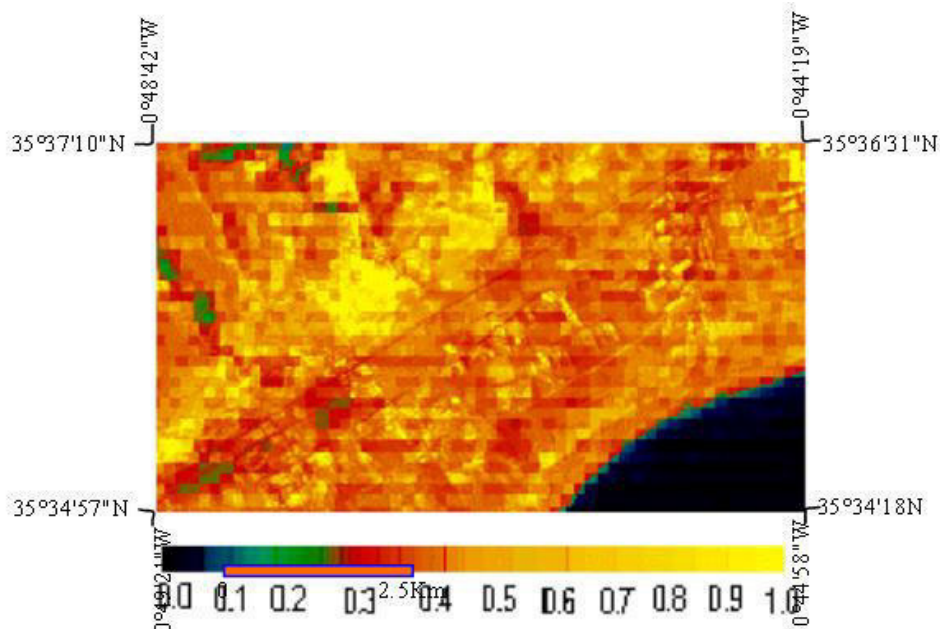


Figure 1.9 : Image de l'indice de stress hydrique (CWSI) : plaine de Misserghine

4.4. Développement d'un algorithme de Correction Atmosphérique Absolue pour les images Satellitales Multitemporelles, Application pour la Région d'Oran (Ouest d'Algérie)

Dans cette étude [Sma et al, 00]. Un algorithme pour la modélisation des différents paramètres qui influencent le reflectance au niveau du satellite a été proposé. Cet algorithme a été testé et validé en exploitant deux images de Landsat TM (1984,1993) de la région d'Oran (Ouest d'Algérie). Les résultats fournis montrent que, dans les zones éclairées comme l'eau de mer, sable, couvert végétal, la différence entre des reflectances des deux

dates est presque nulle. Cela, montre que ces zones ont été totalement rectifiées par l'algorithme. Excepté dans des zones de montagne où le problème d'ombre existe encore et il n'a pas été résolu. Par contre, dans les zones où les changements survenaient (Nouvelle route de Misserghine et les pistes opérés dans la forêt de M'sila), la reflectance est hautement différente entre les deux dates

4.5. Un système d'aide à la décision pour optimiser la gestion des ressources forestières

Ce projet a pour but de fournir un SDSS afin d'accroître le patrimoine forestier français. Le cadastre peut utiliser ce système pour voir si une parcelle de terre (contenant une forêt ou non) est une propriété privée ou non. Ci-dessous une image illustrant cela (Figure 1.10), avec une parcelle appartenant à l'état (en jaune) et celles au privé (vert) [Gad et al, 06].

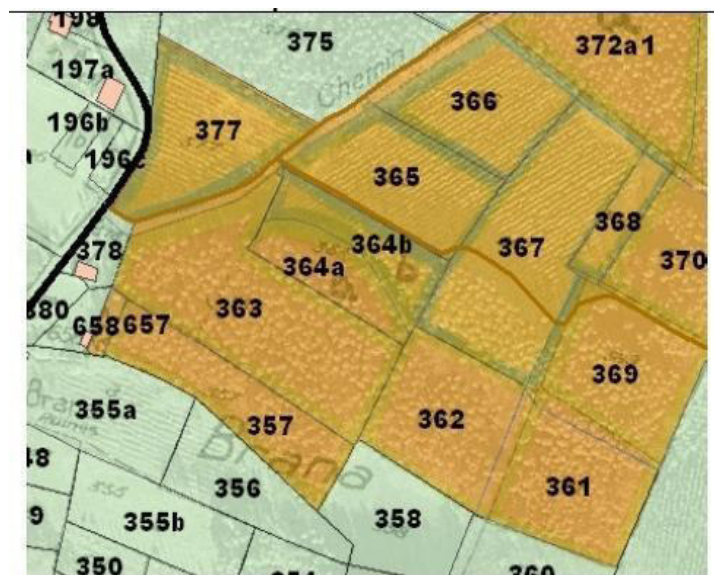


Figure 1.10 : Exemples de numérisation : les parcelles cadastrales

4.6. Cartographie des périmètres irrigués de Mogtedo et de Karfiguela à l'aide de Google Earth:

Des études diagnostics ont démontré l'absence d'une cartographie récente des périmètres irrigués rendant toute planification et gestion de l'eau aléatoire. Cette étude avait comme objectif de développer une technique à moindre coût pour la cartographie des périmètres irrigués à partir de l'imagerie issue de Google Earth [Dim, 06]. Des captures d'écran, géoréférencées et mosaiquées à l'aide d'ArcGIS, ont permis la création d'une seule image détaillée et géoréférencée par périmètre irrigué. A travers ces images détaillées, il a été possible de rapidement et clairement mettre en place un SIG et une base de données décrivant les canaux, ouvrages et parcelles des périmètres. L'utilisation d'images en provenance de Google Earth ainsi qu'ArcGIS pour l'établissement d'une carte satellite détaillée des points d'eaux dans les régions de *Mogtedo* et *Karfiguela* dans le cadre de la lutte contre l'insécurité alimentaire au Burkina Faso. [Dim et al, 06]

Voici les résultats obtenus pour les zones irriguées des rizières des deux régions *Mogtedo* (Figure 1.11) et *Karfiguela* (Figure 1.12). Les zones irriguées sont coloriées en bleue .

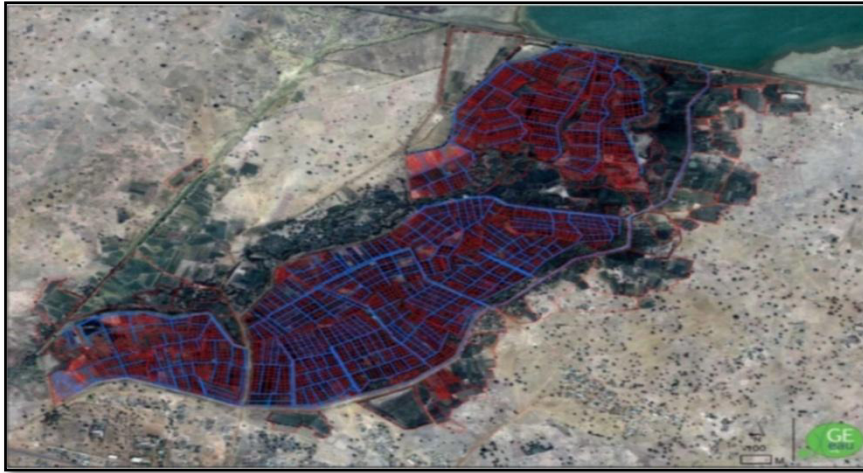


Figure 1.11 : Périmètre irrigué de Mogtedo

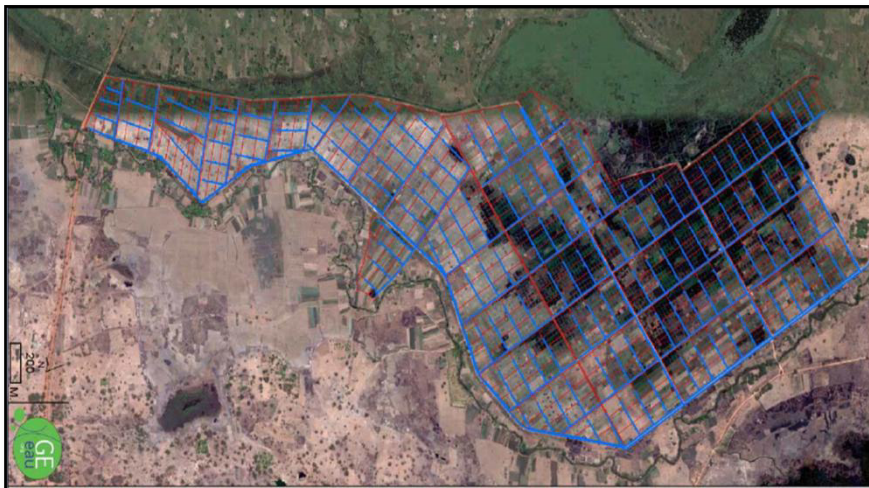


Figure 1.12: Périmètre irrigué de Karfiguela

4.7. Mise en place d'un Système d'Aide à la Décision Spatiotemporel et Multicritères pour la Surveillance Epidémiologique.

Dans [Zem et al, 15], les auteurs proposent un modèle efficace dédié à la surveillance épidémiologique, en termes de représentation des informations pertinentes aux décideurs en santé publique leur permettant de visualiser les relations entre les phénomènes, tout en les incitant à découvrir les connaissances et produire la bonne décision pour agir efficacement dans le temps et dans l'espace. Le processus de prédiction généré par l'intégration de la technologie SOLAP (Spatial On Line Analysis Process) et des méthodes d'aide à la décision multicritères d'une part, et les techniques de fouille de données spatiales d'autre part, fait toute l'originalité de cette étude .

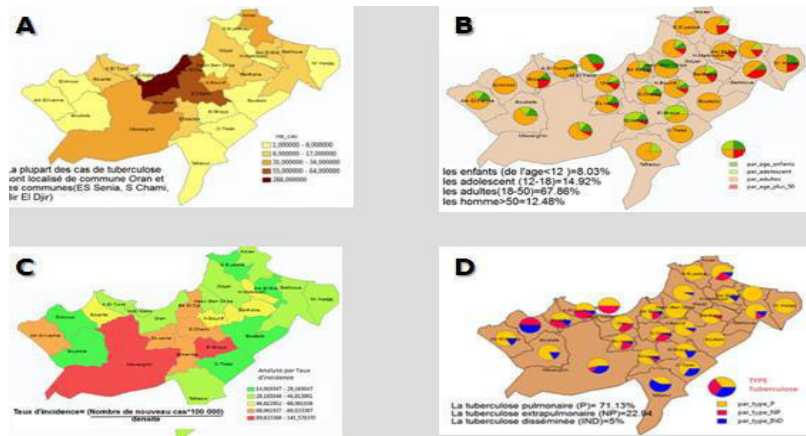


Figure 1. 13 : Géolocalisation et affichage cartographique- Représentation par commune : du nombre de cas (A) ; du taux d'incidence par âge (B) ; du taux d'incidence (C) ; du taux d'incidence par type de maladie (D)

5. Conclusion

Nous avons abordé, dans ce premier chapitre, l'aide à la décision spatiale ainsi que les différents concepts se rapportant à cette activité. Les SDSS sont destinés aux aménagistes régulièrement confrontés à des circonstances complexes, exigeant des décisions fondées sur de nombreux objectifs, qui se chevauchent sur de grandes superficies et sur un long horizon de temps.

Etant donné que les sources de données sont d'origine très divers tels que les satellites, il serait donc nécessaire de les intégrer, les traiter, afin de pouvoir les analyser, et prendre les bonnes décisions. Dans cette optique, le traitement des données satellites, au travers des différentes couches d'information permet d'effectuer une analyse spatiale très rigoureuse.

Le chapitre suivant présente une synthèse des méthodes d'analyse d'images satellitaires en général, intégrables dans les SDSS, pouvant être utiles, car, d'un côté pratique, c'est une démarche qui, en la suivant, permet d'extraire de nouvelles informations à partir des données. Par conséquent, le terme « Analyse » englobe tout un processus de découverte de connaissances, ainsi que des méthodes de fouille de données spatiales et des techniques de traitement d'images satellitaires.

Ces méthodes sont de plus en plus utilisées dans des domaines différents où la localisation de l'information est importante. Leur succès revient à leur capacité de traitement des données à référence spatiale. Ils fédèrent diverses informations dans le but de leur donner une dimension territoriale afin de produire et de visualiser des cartes thématiques permettant la gestion des données spatiales et **l'aide à la décision.**

Chapitre 2

L'Analyse des Images Satellitales

Ce chapitre présente un état de l'art sur les principales méthodes de la fouille de données spatiale en donnant quelques définitions, et présentant les concepts fondamentaux se rapportant au traitement d'images spatiales tout en rappelant les notions élémentaires de la Morphologie Mathématique (MM). Nous introduirons par la suite des algorithmes innovants de segmentation des images multispectrales: à savoir le C-Means Floue (CMF) et la Ligne de Partage des Eaux (LPE).

Chapitre II

L'Analyse des Images Satellitaires

1. Introduction

Les décideurs du territoire sont, de plus en plus souvent, confrontés à des problèmes spatiaux complexes. Pour faire face à ces problèmes et prendre les bonnes décisions, les spécialistes ont pensé à concevoir des systèmes d'aide à la décision spatiales, qui combinent des données géographiques (cartes satellitaires et données alphanumériques), et des techniques de fouille de données spatiales et des techniques de traitement d'images satellitaires, afin de satisfaire les besoins des décideurs.

Ce chapitre présente une étude des techniques de traitement d'images satellitaires et des méthodes de fouille de données spatiales, nécessaire pour résoudre des problèmes spatiaux complexes, et relatives à notre contribution.

2. Traitement des images satellitaires : Concepts élémentaires

Nous désignons par traitement d'images satellitaires l'ensemble des techniques permettant de modifier une image dans le but de l'améliorer ou d'en extraire des connaissances utiles [Ric, 99].

2.1. Les images satellitaires

La compréhension du traitement d'images commence par la compréhension de ce qu'est une image. Le mode et les conditions d'acquisition et de numérisation des images traitées conditionnent largement les opérations qu'il faudra réaliser pour extraire des connaissances

Dans ce qui va suivre nous allons présenter quelques notions relatives à l'image satellitaire :

2.1.1. La télédétection

Elle est définie comme étant l'ensemble des connaissances scientifiques et techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques physiques et biologiques d'un objet, par des mesures effectuées à distance [Con et al, 91]. Les données fournies par les satellites d'observation de la terre jouent un rôle essentiel dans un grand nombre d'applications :

cartographie, agriculture, forêts, aménagement, météorologie, défense, télécommunications, etc.

Nous distinguons deux types d'images satellitaires [Ham et al, 07c]: image mono spectrale et image multi spectrale.

2.1.2. La numérisation :

C'est la conversion du signal électrique continu (dans l'espace ou temps et en valeur) en un signal numérique discret (image numérique). Les différentes étapes de numérisation sont illustrées par la Figure (2.1).

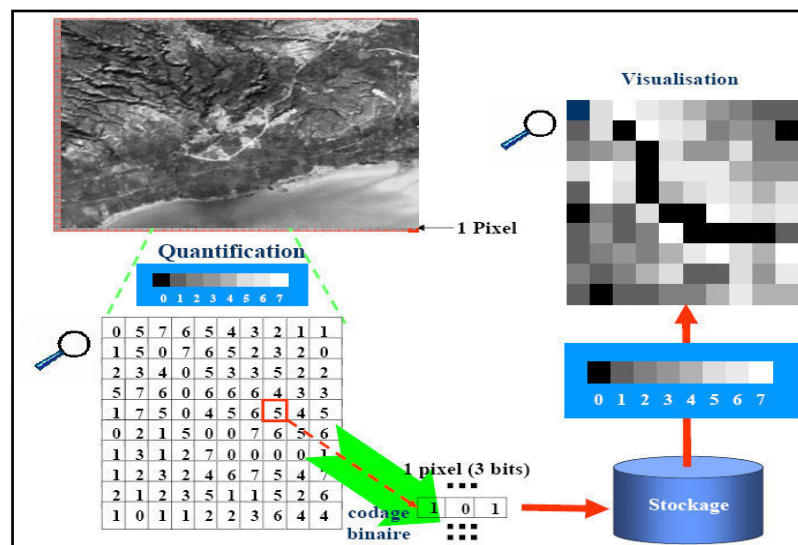


Figure 2.1: Numérisation d'une image

- **L'échantillonnage :** L'échantillonnage est le procédé de discrétisation des images consistant à associer à chaque zone rectangulaire (défini par le pas d'échantillonnage) une unique valeur $I(x,y)$.
- **Quantification :** discrétisation de l'espace des couleurs ou niveaux de gris, elle définit le nombre de couleurs utilisé pour dessiner l'image.
- **Codage :** Les niveaux de quantification sont codés sous la forme d'un mot binaire sur k bits ($\Rightarrow 2^k$ niveaux possibles).
- **Pavage :** C'est la forme du pixel. Le pavage est choisi pour couvrir au mieux le plan image.

2.2. Le processus de traitement des images Satellitaires

Le traitement d'images est une discipline de l'informatique et des mathématiques appliquées qui étudie les images numériques et leurs transformations dans le but d'améliorer leur qualité ou d'en extraire de l'information [Luk et al, 06]. Ce traitement regroupe toutes les techniques visant à améliorer la qualité d'une image. Dans l'objectif de satisfaire l'œil humain.

Le traitement numérique d'une image passe par 6 étapes [Ric, 99]:

- a. **Les prétraitements** : ce sont les opérations requises avant l'analyse principale et l'extraction de l'information, elles se divisent en correction radio métrique et en correction géométrique. Le prétraitement regroupe plusieurs opérations parmi ces opérations nous allons décrire la détection des contours, le seuillage pour amélioration des contours et les opérations morphologiques.
- b. **La restauration**: consiste en la reconstitution d'une image qui a subi des dégradations plus ou moins importantes lors des divers processus à savoir : le filtrage et le rehaussement.
- c. **La transformation de l'image** : ce sont des opérations similaires à ceux de rehaussement de l'image sauf que la transformation de l'image combine le traitement des données de plusieurs bandes spectrales.
- d. **L'amélioration de l'image** : afin de rendre plus aisée la tâche du photo-interprète et d'améliorer son efficacité, il existe un ensemble de techniques visant à transformer les données pour mettre en évidence les phénomènes ou les objets d'intérêt.
- e. **La segmentation**: Dans une image numérique, les couleurs ne sont en fait qu'une transposition conventionnelle de valeurs numériques, il est également possible d'exploiter la puissance de calcul d'un ordinateur pour classer les pixels en fonction de leurs valeurs numériques et des propriétés spectrales des objets correspondants.
- f. **L'analyse**: Consiste à extraire des paramètres ou des fonctions représentatives de l'image ou des régions.

2.3. Les techniques de prétraitement des images

Les techniques de prétraitements les plus courantes sont [Ric, 99]:

- La modification d'histogramme ;
- La réduction du bruit par filtrage ;
- Le lissage local ou semi-local ;
- L'utilisation de la couleur (fausses couleurs).

2.3.1. Notion d'histogramme

Un histogramme simple est un tableau donnant, pour chaque valeur de niveau de gris, le nombre de pixels ayant ce niveau. Un histogramme cumulé est un tableau donnant pour chaque valeur de niveau de gris le nombre de pixels ayant un niveau de gris inférieur ou égal à cette valeur (Figure 2.2).

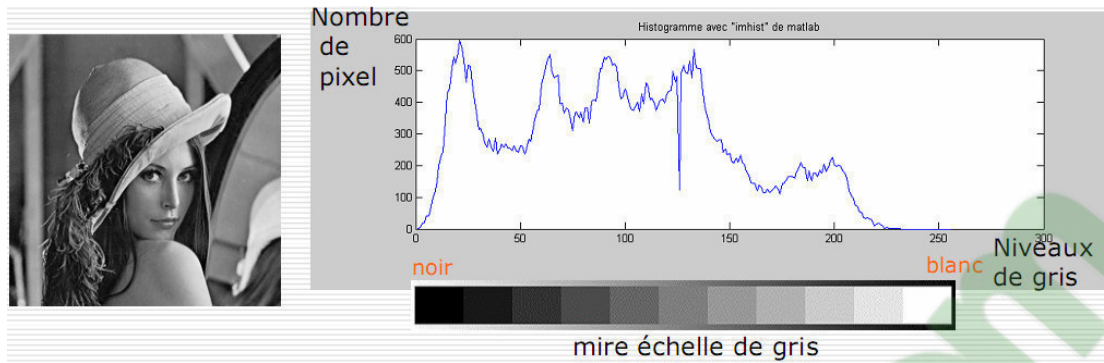


Figure 2.2: L'histogramme d'une image numérique.

- **Egalisation d'histogramme (linéarisation)** : il s'agit de déterminer une transformation f des niveaux d'intensité qui rend l'histogramme aussi plat que possible dont l'objectif est d'améliorer certaines images de mauvaise qualité.
 - Distribution uniforme des niveaux de gris ;
 - Image donnant une information maximale.

2.3.2. Notion du bruit

Le bruit d'image est un phénomène parasite aléatoire (caractérisé par des fluctuations autour de l'intensité moyenne d'une région) qui affecte la qualité visuelle de l'image. Il apparaît sur une photo numérique sous la forme d'une répartition régulière ou aléatoire de pixels superposés à l'image. Son intensité dépend de plusieurs paramètres (sensibilité, luminosité, température, taille des photosites du capteur...).

2.3.3. Notions du filtrage

Le filtrage est une opération qui consiste à réduire le bruit contenu dans une image. Il est considéré comme une transformation de l'image.

Il existe deux types de filtres : Filtres linéaires (Moyenneur, Gaussien...), et filtres non linéaires (Médian...).

2.3.4. Notions de lissage

Le lissage est utile dans le cas des bruits "poivre et sel", c'est-à-dire dans le cas des bruits très localisés et très perturbants. Ces bruits induisent des trous ou des coupures sur des formes ou des frontières pas très nettes.

2.4. Segmentation des images satellitaires

Après avoir filtré le bruit, réduit la dimension et classifié les pixels des images multispectrales, nous cherchons à générer des classes connexes. En effet pour la classification fournissant des classes non connexes, il est nécessaire d'introduire une étape de segmentation afin d'obtenir une partition connexe.

2.4.1. Principe de la segmentation

La segmentation est utile pour des besoins de différenciation ou de reconnaissance, elle peut aussi servir à reconnaître un élément et à suivre son évolution au cours du temps dans une séquence d'images [Mau et al, 08]. La segmentation est un traitement de bas niveau travaillant directement sur les images. Elle effectue des modifications sans « comprendre » l'image et consiste à créer une partition de l'image I en sous ensembles R_i , appelés régions, tels que :

$$1. I = \cup \mathcal{R}_i, \quad i \in [1..n] \quad (2.1)$$

$$2. \mathcal{R}_i \text{ est connexe, } \forall i \in [1..n] \quad (2.2)$$

$$3. P(\mathcal{R}_i) = \text{vrai}, \forall i \in [1..n], \text{ avec } P \text{ prédicat d'homogénéité.} \quad (2.3)$$

$$4. P(\mathcal{R}_i \cup \mathcal{R}_j) = \text{faux}, \forall i \neq j, \text{ pour tout couple } (\mathcal{R}_i, \mathcal{R}_j) \text{ de régions connexes.} \quad (2.4)$$

C'est une opération qui consiste à trouver des zones homogènes appelées régions selon un critère déterminé comme, le niveau de gris, la couleur, la texture, le gradient, l'indice, etc.

2.4.2. Approches de la segmentation d'images

Plusieurs techniques existent dans la littérature et permettant de segmenter les images, elles sont généralement fondées sur la recherche de discontinuités locales comme la « détection de contours », et la détection de zones de l'image présentant des caractéristiques d'homogénéité « régions » [Beu, 90]. Il ya deux approches fondamentales la première est l'approche région, et la deuxième est l'approche contour, qui définit un contour fermé par une région . Dans ce travail, il se contentera de détailler la segmentation morphologique des images Multispectrales. [Noy et al, 07].

3. La Morphologie Mathématique (MM)

La Morphologie Mathématique (MM) est une théorie essentiellement non linéaire, utilisée en particulier en analyse d'images, dont le but est l'étude des objets en fonction de leur forme, de leur taille, des relations avec leur voisinage (en particulier topologiques), de leur texture, et de leurs niveaux de gris ou de leur couleur [Ser, 88]. Par les transformations qu'elle propose, elle se situe à différents niveaux du traitement d'images (filtrage, segmentation, mesures, analyse de texture) et fournit ainsi des outils pour la reconnaissance des formes.

La Morphologie Mathématique (MM) a vu le jour à l'Ecole des Mines de Fontainebleau, France, par l'équipe de Jean Serra [Ser, 82]. Basée sur un cadre mathématique formel, la MM offre un grand nombre d'outils très puissants de traitement et d'analyse d'images, présents de nos jours dans plusieurs logiciels et outils de traitement et de retouches d'images. Les outils proposés ont été développés au départ pour traiter des images binaires, dès lors que l'on fait de la Morphologie Mathématique (MM) ensembliste. Leur utilisation a été ensuite

étendue aux images en niveaux de gris [Soi, 96]: on parle, à ce moment, de Morphologie Mathématique (MM) fonctionnelle [Beu, 10].

Elle utilise un ensemble d'opérations telles que l'union, l'intersection et la complémentation, ainsi que la dilatation, l'érosion, l'amincissement et d'autres opérations dérivées. Terminons en disant que la recherche d'une configuration géométrique de pixels particulière n'est utilisée qu'en Morphologie Mathématique (MM) ensembliste mais qu'elle pourrait théoriquement tout à fait être transposée à la Morphologie Mathématique (MM) fonctionnelle [Blo, 99].

3.1. Opérations de la Morphologie Mathématique (MM)

Nous présentons, dans ce qui suit, les principales opérations de la Morphologie Mathématique (MM) [Ser, 88].

3.1.1. Erosion et dilatation binaires

Cette méthode consiste à effectuer une dilatation et une érosion de l'image initiale, puis de soustraire ces 2 images (équation (1)). Cette méthode est plus intuitive : la dilation agrandit les objets, l'érosion les rétrécit, la différence des deux (on travaille en niveaux de gris) donne les contours.

$$Grad_morpho(I) = 1/2 (Dilate(I) - Erode(I)) \quad (2.5)$$

En général, la dilatation et l'érosion sont appliquées pour éliminer les parasites. Lorsqu'une image est bruitée, sa binarisation fait apparaître des points noirs ou des points blancs parasites et isolés dont il faut se débarrasser utilisant la dilatation et l'érosion .

a- L'érosion : elle est définie comme suit : Soit un élément B. L'élément structurant B, repéré par son centre, est déplacé pour occuper successivement toutes les positions de l'espace E.

L'érosion consiste à éliminer les points "blancs" isolés : on érode les parties "noires" ce qui "mange" les points "blancs". Il s'agit ici d'éliminer les points blancs isolés. On balaie l'image avec une fenêtre de taille $(2n+1)(2n+1)$. On place le centre de la fenêtre sur le pixel courant et on effectue l'opérateur min. on prend la valeur maximale des $(2n+1)^2-1$ pixels environnants.

b- La dilatation : elle consiste à éliminer les points "noirs" isolés : on dilate les parties "blanches" ce qui "mange" les points "noirs". La dilatation est une transformation en tout ou rien basée sur l'intersection. L'élément structurant B, repéré par son centre, est déplacé pour occuper successivement toutes les positions de l'espace E.

La méthode est assez similaire à celle de la dilatation La dilatation consiste à éliminer les points noirs isolés : on dilate les parties blanches qui éliminent les points noirs. La méthode est le balayage de l'image par une fenêtre $(2n+1)(2n+1)$ avec utilisation du l'opérateur max. On place le centre de la fenêtre sur le pixel courant et on prend la valeur maximale des $(2n+1)^2-1$ pixel environnants

3.1.2. Ouverture et fermeture binaires

L'ouverture élimine dans une figure toutes les parties les plus étroites que l'élément structurant, et en déforme les coins convexes.

L'ouverture possède les propriétés algébriques suivantes :

- a- elle est anti-extensive ;
- b- elle est croissante ;
- c- elle est idempotente (même effet après une ou plusieurs applications) ;

Etant donné que ces propriétés font de l'ouverture un filtre morphologique, donc elles sont fondamentales.

L'ouverture binaire d'une image consiste à appliquer une érosion binaire suivie d'une dilatation binaire.

La fermeture rebouche toutes les parties du fond plus étroites que l'élément structurant, et déforme les coins concaves de la figure.

Les propriétés algébriques de la fermeture sont les suivantes :

- a- elle est extensive
- b- elle est croissante
- c- elle est idempotente

3.1.3. Les chapeaux hauts de forme

Le chapeau haut de forme (ou top hat en anglais) est une transformation qui permet d'extraire tous les détails d'une image qui ne dépassent pas une certaine taille et qui ont été éliminées par l'ouverture ou la fermeture morphologique.

En Morphologie Mathématique (MM), deux chapeaux de hauts de forme sont définis :

- a- **Le chapeau haut de forme blanc** : permet de détecter ce que l'ouverture a fait disparaître, c'est-à-dire les pics ou structures claires de l'image originale, il est calculé par une différence algébrique entre l'image et son ouverture.
- b- **Le chapeau haut de forme noir** : permet d'extraire les vallées ou les structures sombres de l'image, il est calculé par la différence entre la fermeture et l'image.

3.1.4. Filtres alternés séquentiels (FAS)

En Morphologie Mathématique (MM), filtrer c'est simplifier l'image. Cela se fait en supprimant certaines structures géométriques, qui sont généralement implicitement définies par un ou plusieurs éléments structurants. Donc, le filtre morphologique simplifie l'image en préservant sa structure aux prix de la perte d'information.

Parmi les filtres morphologiques les plus évoluées, les Filtres Alternés Séquentiels (FAS) sont sans doute les plus populaires, permettant la réduction de la complexité d'une image sans dégrader les contrastes les plus importants.

Seulement, ces filtres FAS sont gourmands en temps de calcul et conduisent à une bonne réduction du bruit grâce à une élimination progressive des pics et des creux de faible surface [Man, 06].

3.2. La ligne de Partage des Eaux

En Morphologie Mathématique, la méthode la plus classique et est la Ligne de Partage des Eaux (LPE) (« Watershed » en anglais), calculée sur l'image gradient à partir des marqueurs des régions à extraire. Dans cette partie nous rappelons brièvement le principe de cet outil de segmentation.

La Ligne de Partage des Eaux, comme son nom le laisse imaginer, trouve son origine dans une interprétation topographique de l'image. La LPE a été introduite et formalisée par Lantuejoul et Beucher [Beu, 79], avec des contributions très importantes de Meyer et Beucher sur la notion de marqueurs [Mey, 90] ainsi que sur son implémentation par Files d'Attente Hiérarchiques (FAH) [Mey, 91]. L'algorithme original a été amélioré par Vincent et Soille [Vin et al, 91].

Plusieurs auteurs ont réalisé la segmentation des images Multi Spectrales en exploitant la LPE, nous citons, dans ce qui suit, les principaux travaux :

Les auteurs dans [Flo et al, 98], ont utilisé une segmentation spatio-spectrale à partir d'un graphe d'adjacence de régions construit sur l'image. Dans [Li et al, 04], l'objectif est de calculer un gradient morphologique multi-échelles par sommation de gradients morphologiques avec des tailles croissantes d'éléments structurants. Comme la LPE nécessite la norme d'un gradient (i.e. une image scalaire), les gradients sont sommés entre eux avec les mêmes poids. Après un filtrage morphologique sur le gradient, les minima locaux sont utilisés pour la LPE.

De la même manière, Scheunders [Sch, 01] calcule un gradient par sommation des gradients marginaux (i.e. sur chacun des canaux) avant d'effectuer une LPE.

Soille [Soi, 96] combine la classification spectrale sur des histogrammes et la segmentation spatiale. L'histogramme multivarié est segmenté par la LPE pour obtenir une image classifiée. Sur cette dernière, les minima du gradient de l'image hyperspectrale sont fixés par une connaissance a priori. La classification est ensuite filtrée pour obtenir des marqueurs. Avec le gradient et les marqueurs, il effectue une segmentation par LPE.

Les détails relatifs à la méthode LPE seront présentés en Annexe A.

4. La Fouille de Données Spatiales

L'ECD (Extraction des Connaissances à partir de Données) est un processus de découverte de connaissances dans des bases de données. A ce titre, chaque nouvelle information, utile, intéressante, non triviale et non redondante, extraite des données, entre sous l'appellation de connaissance. Parmi les étapes qui rentrent en jeu dans le processus de l'ECD nous citons [Atm et al, 07] :

- la collecte des informations et leurs organisations dans une base de données.
- le nettoyage de la base par un prétraitement ou des transformations des données.
- l'élaboration du modèle en appliquant les méthodes de Fouille de Données.
- l'évaluation des résultats obtenus par l'extraction de connaissances.

Dans ce processus, c'est dans la troisième étape que des méthodes de classification seront appliquées et des modèles seront bâtis, elle est appelée '*étape de Fouille de Données*', et est considérée comme la plus importante. La fouille de données (Data Mining « DM ») est l'action d'extraire automatiquement de la connaissance intéressante, intelligible et cachée dans les bases de données. Cette fouille concerne une part importante du processus d'ECD (en anglais : **Knowledge Discovery in Databases KDD**) [Zig et al, 00].

Le terme DM est souvent employé pour désigner l'ensemble des outils permettant d'accéder aux données et de les analyser. Le facteur majeur d'émergence du DM est l'évolution des technologies informatiques de la décision (Volumes des données, Nombre de variables, Seulement 5% à 10% des données collectées sont analysées) ce qui implique que nous sommes noyés dans les données mais affamés en connaissances surtout avec l'explosion des données SIG et de Télédétection (données cartographiques, données satellitales)).

Les principales tâches du Data mining sont [Zei, 06] :

1. **Description** : Généralise, résume et compare les données
2. **Classification**: Catégorise les données en classes
3. **Regroupement**: Identifie des groupes homogènes de données
4. **Association**: Extrait des corrélations entre les données
5. **Prédiction**: Prédit des données manquantes

4.1. Spécificités de la fouille de données spatiales

La fouille de données spatiales désigne l'extraction des connaissances implicites, les rapports spatiaux et d'autres modèles qui ne sont pas explicitement stockés dans une base de données géographiques. Le SDM (Spatial Data Mining) n'est qu'une partie du processus GKD (*Geographic knowledge discovery*) [Sek et al, 01]. Cette discipline a pour objectif d'exploiter, dans un but décisionnel, des données spatiales, produites, importées ou

accumulées au fil du temps et qui sont susceptibles de délivrer des informations ou des connaissances [Zei, 06],[Han et al, 97].

4.2. Caractéristiques des données spatiales

Les relations spatiales traduisent une caractéristique essentielle du monde réel. Elles mettent en évidence les relations et l'influence du voisinage entre les entités spatiales. La notion de dépendance spatiale est endémique aux données géographiques et est connue comme la première loi en géographie [Han et al, 97]. Il est donc essentiel d'en tenir compte dans l'analyse et l'interprétation des données localisées.

La Figure (2.3) illustre les relations spatiales: elles peuvent être métriques (distance), topologiques (intersection, inclusion, union, etc.) ou directionnelles (nord, ouest, sud, etc.) Il est aussi clair que les relations spatiales peuvent exister explicitement ou implicitement dans une BD spatiale. D'autre part les données spatiales sont liées et les relations entre les objets spatiaux sont multiples,

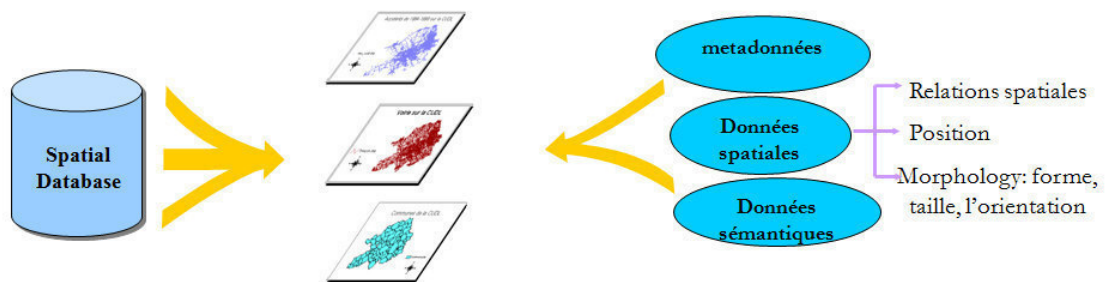


Figure 2.3: Relations spatiales.

5. Les méthodes de classifications : Etat de l'art

Analyser une image consiste à en extraire des informations caractéristiques relatives aux objets d'intérêt. Il s'agit par exemple, à partir d'images satellitaires, d'étudier le nombre, la répartition, la forme ou la taille des classes visibles. Une grande variété de techniques dites la segmentation d'image permet d'obtenir une représentation de l'image avec un nombre restreint de classes, elle est généralement fondée sur la recherche des discontinuités locales basée sur la détection de zone de l'image présentant des caractéristiques d'homogénéité. Cette approche est duale à la détection de contours où une région définit une ligne par son contour et qu'une ligne fermée définit une région. Donc le but de la segmentation est de diviser l'image originale en plusieurs régions distinctes.

L'analyse d'image a pour objectif la description aussi complète que possible d'une image, mais celle-ci est constituée d'objets. La classification des images multi-spectrale, y compris la classification supervisée et non supervisée [Oul et al, 98] est une procédure analytique majeure dans la télédétection [Ric, 99].

Plusieurs traitements peuvent être appliqués sur une telle image afin d'obtenir l'information souhaitée, telle que la segmentation, pour découper l'image sur ses composants (extraction de région ou détection de contour) ou classification pour déterminer ses différentes classes.

Une méthode de classification d'une image de télédétection est appelée supervisée si elle nécessite une information a priori sur la zone d'étude. Ce traitement est non supervisé au cas où la méthode ne nécessite pas d'informations sur l'image à classer [Oul et al, 98] [She et al, 02].

Plusieurs méthodes basées sur les mathématiques ont été utilisées pour la classification:

L'algorithme Support Vector Machine [Luk et al, 06], maximum de vraisemblance [Edi et al, 97], K-means [Dar et al, 90], classificateur bayésien [Kai et al, 00] et analyse en composantes principales [Chi et al, 01]. Les approches bio-inspirés ont également été largement utilisées par exemple: les différents types de réseaux de neurones [Atm et al, 11], tels que le Perceptron multicouches [Gun et al, 02], et le Réseau de Kohonen [Yan et al, 06] [Ift et al, 03], un autre exemple d'algorithmes inspirés de la biologie, nous citons les systèmes immunitaires artificiels [Xia, 08].

Nous reportons, dans les sections suivantes, quelques notions de base relatives à l'algorithme des C-Means Floue, et aux opérateurs morphologiques.

5.1.C-Means Floue

Le but d'une classification d'image est de la découper en zones homogènes, c'est-à-dire regroupant des pixels d'intensité comparable. Les contours sont les frontières entre les zones homogènes. L'œil excelle à ce travail, qui est toujours considéré comme semé d'embûches en vision artificielle en raison, d'une part, du bruit dans les images et, d'autre part, de l'ambiguïté inhérente au concept de *zone homogène*. Il y a donc là manifestement un terrain d'application privilégié pour les techniques floues.

5.1.1. Logique Floue pour la classification des images satellitales

Le rôle des méthodes de classification traditionnelles (y compris les réseaux de neurones) est d'affecter chaque exemple à une classe. Or, dans la pratique, il est fréquent qu'une telle affectation non ambiguë ne puisse se faire, et cela pour plusieurs raisons :

- les informations, disponibles sur l'exemple sont incomplètes ou incertaines (bruit), et ne permettent donc pas une identification certaine ;
- les classes qui doivent recevoir les affectations peuvent se recouvrir dans une certaine mesure, et la frontière entre les deux peut ne pas être franche. Ainsi, en reconnaissance de caractères manuscrits, on peut passer continûment d'un chiffre 3 correctement dessiné, à un chiffre 8 correctement dessiné, en passant par une zone intermédiaire où un ensemble d'observateurs de bonne foi se diviseront sur le point de savoir si un graphisme donné est un 3 mal dessiné, ou bien un 8 mal dessiné.

Seul le contexte peut alors lever l'ambiguïté, mais en l'absence de ce contexte, l'incertitude demeure ; un exemple peut effectivement appartenir partiellement à plusieurs classes. Ainsi, dans une représentation des couleurs RVB, dans quelle classe ranger une couleur arbitraire? La réponse est qu'elle doit être classée partiellement dans chacune des trois couleurs de base, avec des valeurs d'appartenance appropriées. Ainsi un colorimètre basé sur la spectrophotométrie est-il un instrument authentiquement *flou*.

Il apparaît que le flou est un élément non seulement utile, mais parfois indispensable aux problèmes de classification et de reconnaissance des formes. Le flou peut intervenir sous différentes formes [Guo et al, 08].

Cette brève présentation de la logique floue montre que celle-ci intervient tout à fait naturellement en classification, puisqu'une classe doit en effet regrouper des individus *semblables*, concept éminemment flou [Bez et al, 93].

5.1.2. Classification des images satellitales par les C-Means Floues

Dans le domaine de la segmentation des images, et particulièrement satellitales, les algorithmes trouvés dans la littérature font généralement intervenir l'algorithme de classification dit "C-Means Floues (CMF)" développé par J.C. Bezdeck [Bez, 73].

L'algorithme des C-Means Floues est un algorithme de classification non supervisée flou, issu de l'algorithme C-Moyennes (C-Means). Il introduit la notion d'ensemble flou dans la définition des classes, et chaque point dans l'ensemble des données appartient à chaque classe avec un certain degré d'appartenance et toutes les classes sont caractérisées par leurs centres de gravité. Il est fondé sur l'optimisation d'un critère quadratique, de type moindre carré. L'algorithme nécessite de connaître le nombre de classes au préalable et il génère les classes par un processus itératif en minimisant une fonction objective [Bez et al, 85].

Cet algorithme est donc basé sur la minimisation de la somme aux carrés des distances euclidiennes entre les objets et les centres des classes, qui minimise indirectement la variance. Le principal avantage de l'utilisation cette méthode est que les structures ou les groupes intéressants peuvent être trouvés directement à partir des données des images sans utiliser les connaissances de base [Mau, 08], [Rej, 08]. Le second avantage dans l'utilisation des algorithmes de classification floue est que nous pouvons sélectionner dynamiquement le nombre approprié de groupes en fonction de la force des adhésions entre les régions [Mou et al, 07].

Nombreux travaux, dans divers domaines, utilisent cette méthode. Dans [Tri et al, 86], un algorithme utilisant les ensembles flous pour la segmentation des images aériennes est proposé. Dans [Hal et al, 92], les auteurs segmentent des images à résonances magnétique (IRM) cérébrales utilisant les CMF. Keller [Kel et al, 90], a proposé une version modifiée de la CMF pour la segmentation d'images. Les centres de classes sont mis à jour en utilisant la formule de la CMF et de nouvelles valeurs d'appartenance pour chaque point sont calculées en utilisant une fonction de type S-basée sur la valeur caractéristique de chaque point.

L'algorithme CMF a été utilisé dans une grande variété d'applications de traitement d'image telles que l'imagerie médicale et de la télédétection [Bez et al, 93], [Haf et al, 05] [Sof et al, 05]. Ses avantages incluent une mise en œuvre simple, un comportement assez robuste, une applicabilité aux données multicanaux, et une capacité à modéliser l'incertitude dans les données. Un inconvénient majeur de son utilisation dans des applications d'imagerie, cependant, est que le CMF ne prend pas en considération les informations sur le contexte spatial, il peut arriver que le CMF soit sensible au bruit [Bez, 11].

6. Conclusion

Cette thèse présente un travail transversal qui nécessite de regrouper toute une panoplie de méthodes dans un seul modèle générique dédié à la prise de décision spatiale, cela nécessite plusieurs outils d'investigations; plusieurs travaux, dans plusieurs domaines sont pris en considération.

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes méthodes de fouille de données spatiales, ainsi que les différentes techniques d'images satellitaires, utilisées au cours du processus d'extraction des connaissances à partir de ces images, Nous avons détaillé par la suite, les algorithmes innovants de segmentation des images Multi spectrales liés à notre contribution: Le C-Means Floue (CMF) la Ligne de Partage des Eaux (LPE), pour pallier aux deux types de problèmes (ou opérations): la Segmentation (pour l'extraction de région) et la détection de contour

Le chapitre suivant décrit brièvement les techniques d'optimisation. En majeure partie, ces méthodes interviennent après l'étape de classification afin de parvenir à une classification optimale avec moins d'erreurs. L'intégration de ces méthodes dans les systèmes d'aide à la décision spatiale proposé s'avère intéressante, offrant aux décideurs toutes les alternatives possibles.

Chapitre 3

Optimisation multi objectifs

Ce chapitre introduit, tout d'abord, les notions fondamentales des méthodes d'optimisation, une attention particulière est réservée à la Recherche Tabou.

Chapitre III

L'Optimisation Multi Objectifs

1. Introduction

Actuellement, tous les systèmes susceptibles d'être décrits par un modèle mathématique sont optimisés. La qualité des résultats et des prédictions dépend de la pertinence du modèle, de l'efficacité de l'algorithme et des moyens pour le traitement numérique.

L'objectif principal de cette thèse est d'améliorer l'efficacité de la prise de décision spatiale, en incorporant des jugements du décideur et des programmes d'analyse d'images, dans le processus décisionnel. A cet effet, parmi les différents traitements d'images impliqués dans le processus décisionnel proposé, la segmentation par CMF, a pour objectif d'exploiter les informations concernant une image, servir à reconnaître un élément et à suivre son évolution au cours du temps dans une séquence d'images.

Cette méthode offre de grands avantages, mais le choix du degré d'appartenance joue un rôle essentiel dans le partitionnement des régions. Ce choix pose le problème de défavoritisme des régions lorsque nous attribuons des degrés sans connaissance préalable du terrain.

Ce problème, et un grand nombre d'autres en aide à la décision spatiale peuvent, en effet, être décrits sous forme de problèmes d'optimisation. L'optimisation " ou "programmation mathématique " sont des termes utilisés pour recouvrir toutes les méthodes qui servent à déterminer l'optimum d'une fonction avec (ou sans) contraintes.

Dans ce chapitre, nous allons aborder les problèmes d'optimisation tout en présentant un panorama de méthodes susceptibles d'être utilisées dans divers domaines et contextes.

2. Les éléments de l'optimisation

L'optimisation est une méthode mathématique consacrée à l'étude du (ou des) minimum(s)/maximum(s) d'une fonction à une ou plusieurs variables sur un certain domaine de définition. En général, elle passe par la mise en œuvre d'un algorithme et par la suite d'un programme. Pour mener à bien cette opération, plusieurs éléments sont

indispensables et conditionnent la solution trouvée. La Figure (3.1.) Illustre les quatre éléments essentiels à la résolution d'un problème d'optimisation [Jim et al, 04].

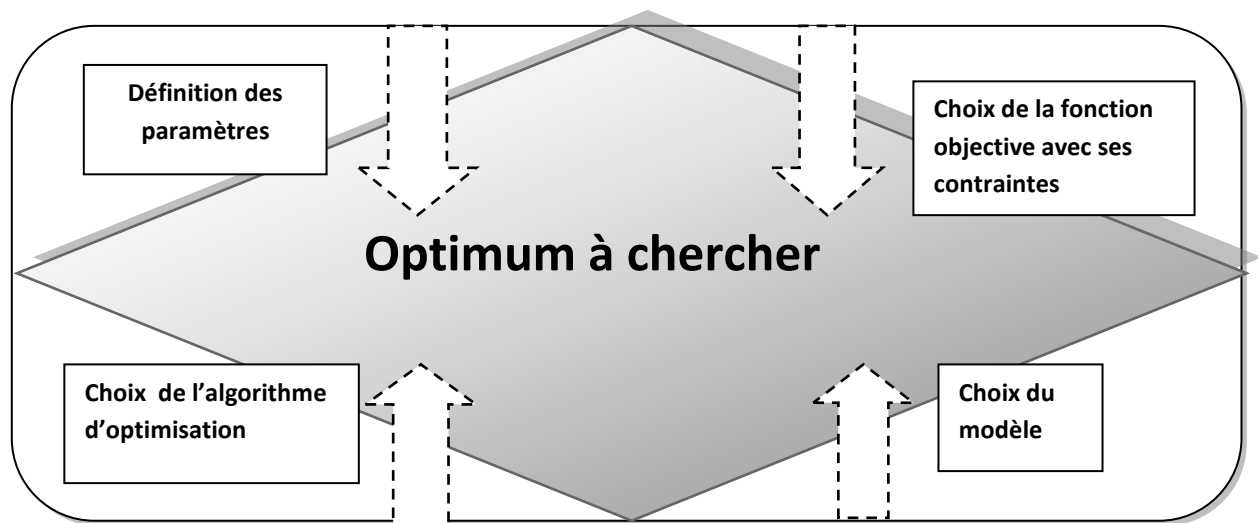


Figure 3.1 : Éléments indispensables en optimisation.

- a. **Définition des paramètres** : en général, un grand nombre de paramètres est indispensable, il faut être capable de définir les paramètres utiles à l'optimisation. Certains paramètres ont une influence sur la fonction choisie. Etant donné le coût des simulations, seuls les paramètres influents sont à retenir :
- b. **Une fonction objective**: définie l'objectif à atteindre. La définition de cette fonction est en fait un problème délicat car le problème est formulé selon un problème d'optimisation par l'intermédiaire de la fonction objectif. Cette dernière est au centre de l'optimisation.
- c. **Un modèle** : précis, robuste et malléable. Ce modèle doit être utilisable sur le domaine d'étude le plus large possible.
- d. **Un algorithme d'optimisation** : permet de trouver la solution. Différentes méthodes d'optimisation existent.

2.1. Formulation d'un problème multi-objectif

Dans la très grande majorité des cas, en conception de produits, chaque solution dispose de plusieurs variables d'observation ; le problème est alors qualifié de multi-objectifs. Dans le cas où chaque solution n'est qualifiée qu'au moyen d'une seule variable d'observation (nous parlons de problème mono-objectif), la relation d'ordre entre elles reflète directement la relation de préférence entre solutions.

Afin de résoudre des problèmes difficiles (par exemple ceux qui présentent de nombreux extrema locaux pauvres), plusieurs techniques ont été conçues pour déterminer des solutions qui ne sont pas rigoureusement optimales, mais qui s'en approchent. Ces méthodes se basent généralement sur des phénomènes physiques, biologiques, socio-psychologiques

ou font appel au hasard. Les domaines d'application sont vastes et s'étendent souvent bien au-delà des problèmes pour lesquels elles ont été initialement conçues [Jim et al, 04].

3. Typologie des méthodes d'optimisation

Etant donnée l'importance des problèmes multi objectifs [Ham et al, 07b], de nombreuses méthodes de résolution ont été développées en Recherche Opérationnelle (**RO**) [Hil et al, 05] et en Intelligence Artificielle (**IA**) [Pha et al, 00]. Ces méthodes suivent quatre approches différentes pour la recherche d'une solution : l'approche de construction, l'approche de relaxation, l'approche de voisinage et l'approche d'évolution. Ces méthodes font partie de deux groupes de nature différente.

3.1. Méthodes de résolution en recherche opérationnelle (RO)

Avec l'émergence de la recherche opérationnelle, nous modélisons mathématiquement le problème de conception à résoudre afin de déterminer l'optimum d'une fonction de coût. Dans le cas où le modèle (contraintes et fonction objectif) est entièrement linéaire et les variables sont réelles, il existe de puissants outils comme l'algorithme du Simplexe ou bien encore la méthode des points intérieurs [Hil et al, 05].

En gardant un modèle linéaire, mais avec l'introduction de variables entières, ces méthodes sont encore utilisables, mais seulement pour travailler sur des relaxations du problème original. En conception, ces conditions sont peu fréquemment réunies; en particulier la présence de contraintes non linéaires rend ces méthodes inapplicables [Hil et al, 05].

3.2. Méthodes de résolution en Intelligence Artificielle (IA)

Très prometteuses à ses débuts, puis largement décriées, nous retrouvons souvent l'intelligence artificielle sous la dénomination de 'informatique avancée'. Ses premiers déboires sont en fait dûs à un déficit en méthodes et concepts, où nous avons oublié trop vite que manipuler de la connaissance est plus délicat que de traiter un simple ensemble d'octets [Pha et al, 00].

Selon le principe de fonctionnement, nous distinguons deux catégories de méthodes de résolution à savoir les méthodes exactes et les méta heuristiques illustrées par la figure (3.2.) et discutées dans les sections suivantes.

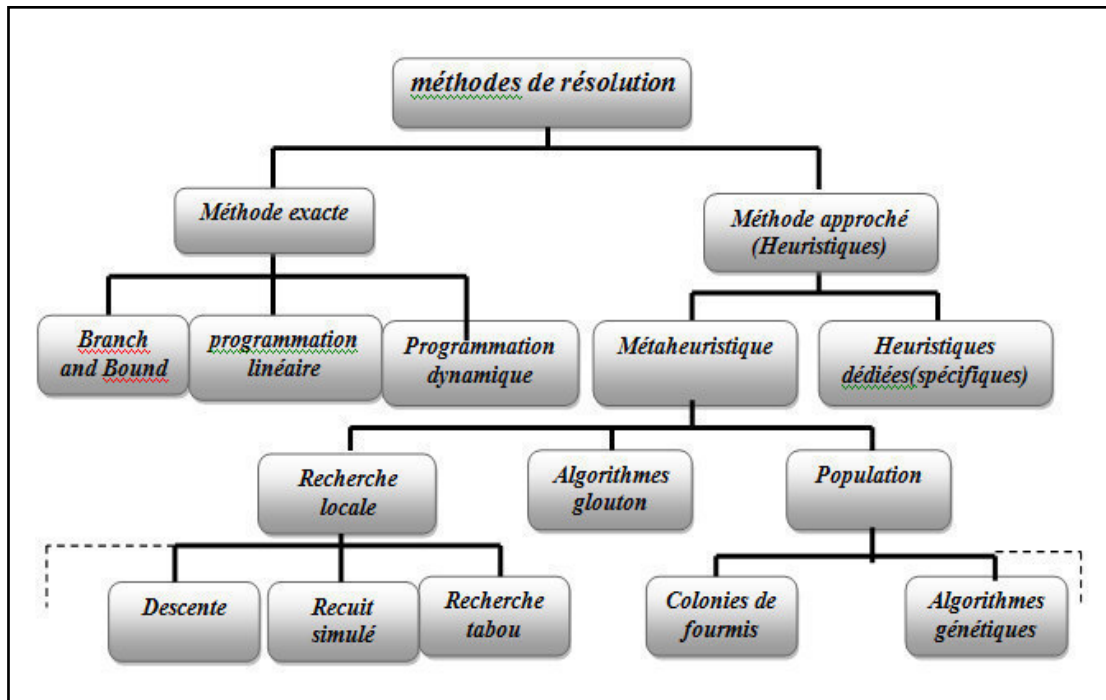


Figure 3.2: Classification des méthodes de résolution des problèmes d'optimisation

4. Les méthodes exactes

Le principe des méthodes exactes consiste à rechercher, souvent de manière implicite, une solution, la meilleure solution ou l'ensemble des solutions d'un problème. L'optimisation exacte concerne toutes les méthodes permettant d'obtenir un résultat dont nous savons qu'il est optimal à un problème précis. Cela va des méthodes du simplex aux méthodes de Lagrangien en passant par la programmation dynamique. Nous pouvons classer les méthodes exactes en quatre grandes classes [Pha et al, 00]:

1. La programmation dynamique,
2. La programmation linéaire continue ou en nombres entiers,
3. La programmation non linéaire avec ou sans contraintes,
4. Les méthodes de recherche arborescente (Branch & Bound) [Mic, 02].

Des recherches plus récentes ont permis de développer la programmation dynamique et la programmation linéaire en nombres entiers afin de trouver des solutions exactes à des problèmes réputés difficiles. Cependant, la résolution de problèmes par ces méthodes n'est pas toujours facile, notamment à cause de la difficulté à caractériser les problèmes susceptibles d'être traités. En effet, comme le temps de calcul nécessaire pour trouver une solution risque d'augmenter exponentiellement avec les dimensions du problème, les méthodes exactes sont néanmoins limitées par la taille des problèmes et les temps de calcul qui peuvent être prohibitifs avant que l'algorithme atteigne la solution exacte. Nous allons présenter ci-après quelques méthodes exactes parmi les plus connues [Hil et al, 05].

4.1. Branch and Bound

Branch and Bound est une technique qui effectue un parcours en profondeur de l'arbre de recherche afin de fournir une ou plusieurs solutions optimales à partir d'un ensemble de solutions potentielles. A chaque étape de la recherche, correspondant à un nœud de l'arbre de recherche, l'algorithme utilise une fonction Bound pour calculer une borne de l'ensemble des solutions du sous-arbre prenant sa racine à ce nœud. En début de résolution, cette borne est initialisée à une valeur maximale (en cas de minimisation).

Si cette évaluation est moins bonne que la meilleure solution trouvée jusqu'à ce niveau de recherche, tout le sous-arbre peut être coupé. Il importe de souligner que l'efficacité de l'algorithme Branche and Bound dépend étroitement du calcul de la borne utilisée [Jim et al, 04].

4.2. Programmation dynamique

La programmation dynamique est une des méthodes exactes les plus importantes dans la littérature pour la résolution des problèmes d'optimisation. La programmation dynamique permet de résoudre une catégorie particulière de problèmes d'optimisation sous contraintes.

Elle s'applique à des problèmes d'optimisation dont la fonction objectif se décrit comme la somme de fonctions monotones non-décroissantes des ressources. Elle est basée sur le principe d'optimalité selon lequel " toute sous politique, d'une politique optimale, est optimale", et peut être appliquée à de nombreux problèmes complètement différents tels que des problèmes statistiques, continus, discrets. Cette solution s'avère intéressante notamment quand les sous-problèmes sont extraits d'un problème plus grand comme le problème du sac à dos. De ce fait, la résolution d'un problème en programmation dynamique est basée sur une décomposition du problème en sous-problèmes plus simples. A chaque sous-problème correspond un ensemble d'options, représentant chacune un coût en terme de fonction objectif. Un ensemble de choix doit donc être effectué pour les différents sous-problèmes dans le but d'arriver à une solution optimale. D'autre part, certaines méthodes de la programmation dynamique permettent de résoudre un problème en combinant les solutions de ses sous-problèmes. Elles s'adaptent généralement aux problèmes pouvant être découpés en phases ou sous-problèmes i.e., le processus de prise de décision peut être organisé de manière séquentielle [Jim et al, 04].

Néanmoins, la programmation dynamique ne s'applique pas pour tous les types de problèmes d'optimisation combinatoire et son application sur des instances de grande taille est généralement très coûteuse voire impossible pour des raisons de complexité spatiale et/ou temporelle comme le problème d'alignement multiple de séquences biologiques [Jim et al, 04].

4.3. Programmation Linéaire

La programmation linéaire (PL) est une branche de l'optimisation permettant de résoudre de nombreux problèmes économiques et industriels. La programmation linéaire désigne la manière de résoudre les problèmes dont la fonction objectif et les contraintes sont toutes linéaires. Si l'ensemble de solutions possibles S est formulé comme un ensemble de variables à valeurs dans l'ensemble des réels R et si on a des contraintes à satisfaire des inégalités linéaires et si f est une fonction linéaire en ces variables, nous parlons alors d'un problème de programmation linéaire (PL).

Toutefois, une grande partie des problèmes réels ne se modélise pas sous la forme d'un programme linéaire pur. Dans plusieurs cas, les variables doivent prendre des valeurs entières et les problèmes qui en résultent sont souvent NP-difficiles.

5. Les méthodes approchées

Les méthodes approchées fournissent une solution approchée au problème traité, elles sont en général, conçues de manière à ce que la solution obtenue puisse être située au voisinage de la valeur optimale : de telles méthodes permettent d'obtenir des bornes inférieures ou supérieures de la valeur optimale [Jim et al, 04].

5.1. Les heuristiques dédiées

Les heuristiques dédiées, ou spécifiques, appartiennent à la catégorie des méthodes approchées. Une heuristique dédiée est un algorithme de résolution ne fournissant pas nécessairement une solution optimale pour un problème d'optimisation donné mais plutôt acceptable [Ree, 93]. Cette définition sous entend qu'une heuristique dépend du problème à résoudre et ne peut donc pas être généralisée à un ensemble de problèmes. Une bonne heuristique possède plusieurs caractéristiques :

- Elle est de complexité raisonnable (idéalement polynomiale mais en tout cas efficace en pratique) ;
- Elle fournit le plus souvent une solution proche de l'optimum ;
- La probabilité d'obtenir une solution de mauvaise qualité est faible ;
- Elle est simple à mettre en œuvre.

Comme les heuristiques ne garantissent pas l'atteinte d'un optimum global, leur utilisation est justifiée dans certains cas, soit [Ree, 93]:

1. Les données sont inexactes ou limitées.
2. Un modèle simplifié du problème est utilisé.
3. Aucune méthode exacte fiable n'existe.
4. Une méthode exacte existe, mais n'est pas intéressante au niveau informatique parce que trop vorace en temps de calcul ou en espace mémoire.
5. Elles sont utilisées pour améliorer la performance d'un optimiseur.
6. Il est requis de résoudre le même problème fréquemment.

7. Une solution heuristique est acceptable.
8. Nous cherchons une méthode simple et pouvant être comprise par les utilisateurs.
9. Elles servent de dispositifs d'apprentissage.

5.2 . Les méta heuristiques

Les méta heuristiques sont souvent employées pour leur facilité de programmation et de manipulation [Ree, 93]. Elles sont en effet facilement adaptables à tout type de problème d'optimisation.

Méta qui signifie «au delà » ou «plus haut» en grec et de «heuristique» qui signifie «trouver» permet de facilement comprendre le but premier de ces cas algorithmes : trouver des solutions à des problèmes en utilisant plusieurs (méta) heuristiques

Souvent inspirées d'analogies avec la réalité (physique, biologie, éthologie,...), elles sont généralement conçues au départ pour des problèmes discrets, mais peuvent faire l'objet d'adaptations pour des problèmes continus.

5.2.1. Les caractéristiques des méta heuristiques

Les méta heuristiques, du fait de leur capacité à être utilisées sur un grand nombre de problèmes différents, se prêtent facilement à des extensions. Pour illustrer cette caractéristique, citons notamment [Ree, 93] :

- **L'optimisation multi-objectif** : où il faut optimiser plusieurs objectifs contradictoires. La recherche vise alors non pas à trouver un optimum global, mais un ensemble d'optima formant la «surface de compromis» du problème.
- **L'optimisation multimodale** : où nous cherchons un ensemble des meilleurs optima globaux et/ou locaux.
- **L'optimisation des problèmes bruités** : où il existe une incertitude sur le calcul de la fonction objectif. Incertitude dont il faut alors tenir compte de la recherche de l'optimum. Les Métaheuristiques (M) sont souvent des algorithmes utilisant un échantillonnage probabiliste. Elles tentent de trouver l'optimum global(G) d'un problème d'optimisation difficile (avec des discontinuités -D-, par exemple), sans être piégé par les optima locaux.
- **L'optimisation dynamique** : où la fonction objectif varie dans le temps. Il faut alors approcher au mieux l'optimum à chaque pas de temps.
- **La parallélisations** : où l'on cherche à accélérer la vitesse de l'optimisation en répartissant la charge de calcul sur des unités fonctionnant de concert. Le problème revient alors à adapter les métaheuristiques pour qu'elles soient distribuées.
- **L'hybridation** : vise à tirer parti des avantages respectifs de métaheuristiques différentes en les combinant. Enfin, la grande vitalité de ce domaine de recherche ne doit pas faire oublier qu'un des intérêts majeurs des métaheuristiques est leur facilité d'utilisation dans des problèmes concrets. L'utilisation est généralement demandeur

de méthodes efficaces permettant d'atteindre un optimum avec précision acceptable dans un temps raisonnable. Un des enjeux de la conception des métaheuristiques est donc de faciliter le choix d'une méthode et de simplifier son réglage pour l'adapter à un problème donné. Par conséquent, une méta-heuristique est une méthode approchée générique dont le principe de fonctionnement repose sur des mécanismes généraux indépendants de tous les problèmes.

Les méta-heuristique sont souvent inspirées par des systèmes naturels, qu'ils soient pris en physique (les méthodes de voisinage tel que le recuit simulé et la recherche tabou), en biologie de l'évolution (les algorithmes évolutifs tels que les algorithmes génétiques [Ban et al, 01] et les stratégies d'évolution) ou encore en éthologie (les algorithmes de colonies de fourmis). Dans ce qui suit, nous présentons le principe de certaines méthodes.

5.2.2. Les algorithmes Gloutons

Sans perte de généralité, les heuristiques les plus fréquentes sont les algorithmes gloutons et leurs variantes. Un algorithme glouton est caractérisé par deux idées principales [Aro, 13]:

- A partir d'une solution partielle, nous construisons itérativement une solution réalisable en fixant à chaque étape une (ou plusieurs) composantes de celle-ci. Les éléments de E (ensemble des composantes) sont examinés dans un certain ordre.
- Le choix à chaque étape est définitif, il ne pourra plus être remis en cause ultérieurement. L'avantage de ces méthodes est dans la facilité d'implémentation.

5.2.3. Les métaheuristiques à population

Appelées aussi « les méthodes évolutives », représentent une classe de métaheuristiques qui sont basées sur le principe du processus d'évolution naturelle, ils doivent leur nom à l'analogie avec les mécanismes d'évolution des espèces vivantes [Ree, 93]. Un algorithme évolutif se compose de la population, un mécanisme d'évaluation, et un mécanisme d'évolution composé d'opérateurs. Nous pouvons distinguer dans cette catégorie les algorithmes génétiques, et les colonies de fourmis [Glo et al, 95].

a. Les algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques permettent d'obtenir une solution approchée, en un temps correct, à un problème d'optimisation, ils utilisent la notion de sélection naturelle développée par le scientifique Charles Darwin au XIX^{ème} siècle [Lab, 07].

L'utilisation d'algorithmes génétiques dans la résolution de problèmes est à l'origine des recherches de John Holland des 1960 [Glo et al, 95]. La nouveauté introduite a été la prise en compte de l'opérateur crossing over en complément des mutations, et c'est cet opérateur qui permet le plus souvent de se rapprocher de l'optimum d'une fonction en combinant les gènes contenus dans les différents individus de la population.

Les algorithmes génétiques classiques introduits par Holland s'appuient sur un codage universel sous forme de chaînes '0' et '1' de longueur fixe et un ensemble d'opérateurs

génétiques : les sélections, les crossing over ou recombinaison et les mutations. Un individu sous ce codage, appelé un chromosome, représente une configuration du problème. Les opérateurs « génétiques » sont définis de manière à opérer aléatoirement sur un ou deux individus sans aucune connaissance sur le problème [Ham et al, 07b] .

La génétique a mis en évidence l'existence de plusieurs opérateurs au sein d'un organisme donnant lieu au brassage génétique. Ces opérateurs interviennent lors de la phase de reproduction lorsque les chromosomes de deux organismes fusionnent.

b. Les algorithmes de colonies de Fourmis

Les algorithmes de fourmis ont été proposés par Colorni, Dorigo et Maniezzo en 1999 [Xia et al, 08]. Ces algorithmes s'inspirent du comportement naturel des fourmis que nous pouvons observer dans la nature. Celles-ci sont en effet capables de trouver le plus court chemin entre deux points en évoluant selon leur échange des informations au moyen d'un système de traces : la phéromone. Cette classe des algorithmes méta heuristiques évolutifs ont été appliqués pour résoudre avec succès divers problèmes [Jim et al 04]. Le premier algorithme *Ant System (AS)* fut conçu pour le problème du voyageur de commerce, ensuite les algorithmes de fourmis ont considérablement évolué et ont été appliqués à plusieurs problèmes d'optimisation combinatoires. Les fourmis artificielles adoptent deux stratégies pour concevoir une solution, la stratégie par construction et la stratégie par amélioration.

c. La recherche Tabou

La recherche Tabou, développée initialement par F. Glover [Glo, 90], est une amélioration des techniques de recherche locale conçue en vue de surmonter le problème des optimums locaux tout en évitant le phénomène de bouclage (possibilité d'accepter une solution même si elle dégrade la fonction coût). Cette propriété lui permet de sortir des creux ou vallées sous-optimales, mais fait apparaître la possibilité de déplacements cycliques. La parade est alors la création d'une liste de déplacements interdits, appelée « Liste Tabou », correspondant aux solutions déjà visitées par l'algorithme. Cet aspect s'apparente à une mémorisation du cheminement effectué dans l'espace de recherche. Afin de ne pas surcharger la mémoire, la liste Tabou ne contient pas la description complète des configurations Tabou mais les déplacements effectués ou mouvements. Un mouvement élémentaire est le passage d'une configuration vers sa voisine sélectionnée [Glo et al, 97] .

Le principe de base de l'algorithme de recherche Tabou est illustré sur la Figure (3.3). Il fonctionne avec une configuration unique appelée configuration courante. La configuration initiale est construite de manière aléatoire puis elle est modifiée de manière itérative à chaque pas de l'algorithme [Her et al, 95]. A chaque étape, le voisinage de la configuration courante est établi puis évalué. Le voisinage d'une configuration est défini comme étant l'ensemble des configurations accessibles en un seul mouvement. Le meilleur voisin est sélectionné à chaque pas même s'il est moins performant que la solution courante. La difficulté de la méthode réside dans la détermination de la taille de la liste Tabou [Han, 01].

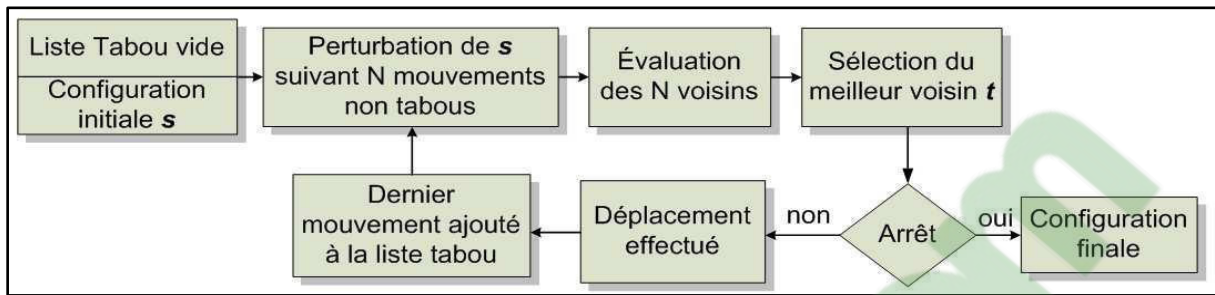


Figure 3.3: Principe de la recherche Tabou.

d. La Méthode de descente

L'idée générale d'une méthode de descente est de toujours prendre dans un voisinage une solution meilleure que la solution courante. En ce qui concerne l'exploration du voisinage de la solution courante, plusieurs attitudes peuvent être adoptées : exploration aléatoire, exploration systématique pour déterminer un voisin meilleur, ou exploration exhaustive pour déterminer le meilleur voisin.

La méthode de descente simple est inspirée de la minimisation de fonctions continues, la descente simple consiste tout simplement à choisir systématiquement un sommet du voisinage qui améliore le plus la solution courante. L'algorithme s'arrête donc quand il n'est plus possible d'améliorer la solution.

Cette descente simple n'est intéressante que dans le cas où le voisinage est suffisamment petit, car il faut systématiquement explorer le voisinage.

L'exploration stochastique (aléatoire) consiste à choisir aléatoirement une solution voisine, puis de tester si elle améliore la solution courante :

Initialiser une valeur réalisable pour X Tant que nécessaire faire Choisir aléatoirement et uniformément Y dans $V(X)$ si $H(Y) < H(X)$ alors $X < Y$ Cette descente aléatoire évite de visiter systématiquement un voisinage qui serait trop grand.

Le critère d'arrêt peut être un nombre d'itérations sans amélioration jugé suant, ou l'obtention d'une solution acceptable. Le défaut de ces méthodes de descentes pures est de rester dans un minimum local sans trouver le minimum global.

e. Le recuit Simulé

La méthode de recuit simulé s'inspire du processus de recuit physique. Ce processus utilisé en métallurgie pour améliorer la qualité d'un solide cherche un état d'énergie minimale qui correspond à une structure stable du solide. Les origines du recuit simulé remontent aux expériences réalisées par Metropolis et al dans les années 50 pour simuler l'évolution d'un tel processus de recuit physique. Metropolis et al utilisent une méthode stochastique pour

générer une suite d'états successifs du système en partant d'un état initial donné. Tout nouvel état obtenu en faisant subir un déplacement (une perturbation) aléatoire à un atome quelconque [Gae et al, 08]. L'utilisation d'un tel processus du recuit simulé pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire a été reportée dans le recuit simulé peut être vu comme une version étendue de la méthode de descente.

Le processus du recuit simulé répète une procédure itérative qui cherche des configurations de coût plus faible tout en acceptant de manière contrôlée des configurations qui dégradent la fonction de coût. A chaque nouvelle itération, un voisin de la configuration courante est généré de manière aléatoire. Selon les cas, ce voisin sera soit retenu pour remplacer celle-ci, soit rejeté. Si ce voisin est de performance supérieure ou égale à celle de la configuration courante, il est systématiquement retenu.

Dans le cas contraire, il est accepté avec une probabilité qui dépend de deux facteurs : d'une part l'importance de la dégradation (les dégradations plus faibles sont plus facilement acceptées), d'autre part un paramètre de contrôle, la température (une température élevée correspond à une probabilité plus grande d'accepter des dégradations).

Si ce voisin est de performance supérieure ou égale à celle de la configuration courante, il est systématiquement retenu. Dans le cas contraire, il est accepté avec une probabilité qui dépend de deux facteurs : d'une part l'importance de la dégradation (les dégradations plus faibles sont plus facilement acceptées), d'autre part un paramètre de contrôle, la température (une température élevée correspond à une probabilité plus grande d'accepter des dégradations).

La température est contrôlée par une fonction décroissante qui définit un schéma de refroidissement. Les deux paramètres de la méthode définissent la longueur des paliers et la fonction permettant de calculer la suite décroissante des températures. En pratique, l'algorithme s'arrête et retourne la meilleure configuration trouvée lorsque aucune configuration voisine n'a été acceptée pendant un certain nombre d'itérations à une température ou lorsque la température atteint la valeur zéro.

6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit une panoplie de méthodes d'optimisation. Très loin de constituer une liste exhaustive, ces méthodes sont extrêmement variées et leur utilisation permet de trouver une configuration idéale, d'obtenir un gain d'effort, de temps, d'argent, d'énergie, de matière première, ou encore de satisfaction en matière de complexité.

Dans le contexte de notre étude, l'aide à la décision spatiale constitue un domaine par excellence de l'utilisation des méthodes d'optimisation. A ce titre, notre choix a porté sur la recherche taboue afin de remédier aux irrégularités des méthodes de classifications, et la recherche de toute solution voisine possible, afin d'assurer une meilleure aide à la décision spatiale.

Les détails relatifs à la mise en œuvre de la stratégie d'optimisation par une recherche Tabou de la phase d'exploitation du modèle décisionnel AQUAZONE proposé sont décrits dans le chapitre 5.

Le chapitre suivant est consacré à la description de notre contribution. En effet, les détails de la modélisation du système AQUAZONE proposé seront succinctement discutés.

Deuxième Partie

Le Système d'aide à la décision

AQUAZONE

Cette partie détaille notre contribution portant sur la modélisation et la mise en place d'un système d'aide à la décision spatiale capable d'aider les décideurs du territoire dans l'élaboration de la carte d'occupation du sol de la région d'Oran (Algérie), ainsi que l'extraction de la ligne de partage des eaux. Les résultats obtenus sont optimisés en utilisant la Recherche Tabou.

Chapitre 4

L'Approche décisionnelle proposée

(AQUAZONE)

Ce chapitre est dédié à la description de notre contribution. Nous présentons d'une manière détaillée notre approche décisionnelle basée sur les C-Means Floues (CMF) et la Ligne de Partage des Eaux (LPE).

Nous présentons, également, notre approche d'optimisation, s'articulant autour des C-Means Floues (CMF) et la Recherche Tabou.

Chapitre 4 :

A

Approche décisionnelle proposée

1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de détailler notre contribution par la présente thèse, qui vise la conception et la mise en place du SAD AQUAZONE (modèle décisionnel et démarche associée) dédié à des décideurs spécialistes (géographes et thématiciens) ayant de fortes compétences techniques dans le domaine de la spatialisation des données.

AQUAZONE est susceptible d'apporter une aide aux décideurs dans la réalisation des différents projets d'aménagement. Il permet, également, d'améliorer l'efficacité de la prise de décision en incorporant des jugements du décideur et des méthodes d'analyse d'image satellitales ainsi que les techniques d'optimisation dans le processus décisionnel.

2. Présentation globale du cadre d'application

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche concernant la mise en place de systèmes d'acquisition, de gestion, et de traitement d'images satellitales pour résoudre différentes problématiques d'Aménagement du Territoire. Ce projet est initié par l'équipe de recherche «*Modélisation Spatio-Temporelle et Vision Artificielle : du Capteur à la Décision*» du Laboratoire d'Informatique d'Oran (LIO) en collaboration avec [Sek et al, 12b] :

- L'équipe du CTS « *Centre des Techniques Spatiales* » ;
- L'équipe DOC « *Données, Objets et Connaissances* » du laboratoire LIRMM de MontpellierII

2.1. Objectifs visés

Dans le contexte de la problématique générale qui nous préoccupe, nous devons répondre à un objectif principal et des objectifs spécifiques, respectivement :

2.1.1. Objectif principal

L'objectif principal visé est d'élaborer un système d'aide à la décision spatiale (SDSS) nommé AQUAZONE intégrant les méthodes de traitement et d'analyse d'images de télédétection, depuis les opérations de visualisation jusqu'à l'analyse des résultats par les méthodes de Fouille de Données Spatiales (FDS).

AQUAZONE est un système interactif conçu pour soutenir les décideurs en gestion des ressources naturelles et aquatiques en résolvant un problème de Décision Spatiale. Le système proposé permet, le traitement des données, et l'analyse des résultats.

En effet, nous proposons une démarche décisionnelle pour l'extraction automatique de la ligne de partage de la Sebkhia et du littoral, à partir des images Landsat 5 TM pour la région d'Oran (Algérie) [Sek et al, 15].

2.1.2. Objectifs spécifiques :

Le système AQUAZONE permet également:

- d'extraire les classes composantes de l'image à savoir (forêt, urbain, eau, etc...) en utilisant les C-Means Floues [Sek et al, 14c].
- d'optimiser et d'améliorer les résultats en recherchant les solutions voisines par une Recherche Tabou [Sek et al, 11c].
- de délimiter, d'une façon précise, le Bassin Sebkhia au sud, et le littoral au Nord, afin d'appréhender leur évolution par la suite, en utilisant la méthode du LPE par FAH

Une fois cette région segmentée, et la ligne de partage des eaux extraite, il est facile de compter le nombre de pixels qui lui appartiennent et d'en déduire ainsi le volume des bassins, ou la ligne côtière.

A cet effet, nous exploitons trois canaux de Landsat 5TM dans la mesure où les C-Means Floues sont applicables sur des images multi spectrales, et nous transformons ensuite l'image obtenue en niveau de gris afin qu'elle soit traitée avec la méthode de Morphologie Mathématique, offrant plusieurs transformations et à différents niveaux du traitement d'images (filtrage, segmentation, mesure, analyse de texture).

2.2. Description de la zone d'étude

Nous nous intéressons, dans la présente étude, à la ville d'Oran, deuxième capitale d'Algérie et une des plus importantes du Maghreb. C'est une ville portuaire, située au bord de la rive sud du bassin méditerranéen; au nord-ouest de l'Algérie. Cette ville est choisie comme une région test en raison de la diversité des ressources naturelles (Mer, forêt, zones urbaines, lacs, sables, etc.) et son relief relativement accidenté.

2.2.1. Géologie de la région

a. Situation

Oran, surnommée «La Radieuse», est la deuxième ville d'Algérie et une des plus importantes du Maghreb. Oran se trouve au bord de la rive sud du bassin méditerranéen; elle se situe au nord-ouest de l'Algérie, à 432 km à l'ouest de la capitale Alger.

La ville s'élève au fond d'une baie ouverte au nord sur le golfe d'Oran; elle est dominée à l'ouest par la montagne de l'Aïdour (429 m d'altitude) qui la sépare de la commune de Mers-el-Kébir. Au sud, elle est bordée par les communes d'Es Senia, par le plateau de Moulay Abdelkader al-Jilani (Moul el Meida), et, au sud-ouest, par une grande Sebkha (lac). La ville de Bir El Djir constitue sa banlieue Est [Kac, 06].

b. Hydrologie

Oran est alimentée en eau par plusieurs barrages notamment ceux du bassin hydrographique de l'Oued Tafna, situé à environ 80 km à l'ouest de la ville¹⁰ et sur le fleuve Cheliff à environ 200 km à l'est de la ville.

La question de l'approvisionnement en eau a toujours joué un rôle capital car les eaux dont la ville dispose ont toujours été de quantité insuffisante, et sont souvent très chargées de sel. En raison du faible taux de précipitation, les ressources souterraines n'offrent pas à la ville un moyen d'approvisionnement suffisant [Web 1].

2.3. Données utilisées

L'Agence Spatiale Algérienne (ASAL) a été créée le 16 janvier 2002 à Bouzareah, Alger afin de prendre en charge le programme spatial algérien [Web 2]. Les procédures utilisées dans l'approche de segmentation proposée ont été testées sur des données numérisées des images satellitaires de type *LANDSAT 5-TM* fournies par le Centre des Techniques Spatiales (CTS) d'Arzew où se trouvent les locaux de suivi et de la maintenance des satellites en orbite. Afin de tester notre système, nous utilisons une Image d'Oran (Nord Ouest d'Algérie) de 1024*1024, acquise par le satellite Landsat 5 TM le 15 mars 1993 à 9h45 [Ham, 99]. Cette image est choisie pour la diversité des thèmes qui la caractérise (eau, forêt, zones urbaines, céréaliculture, etc.) et son relief relativement accidenté. Les bandes utilisées sont : Rouge, Infrarouge et Bleu, Dans notre application, nous avons fait une réduction de dimension spectrale de la zone d'étude afin d'avoir plus de précision, l'image est également sous-échantillonnée pour obtenir deux portions de taille de 400*400 de la zone d'étude: (partie nord (côtère) et partie sud (Sebkha), (Figure 4.1).

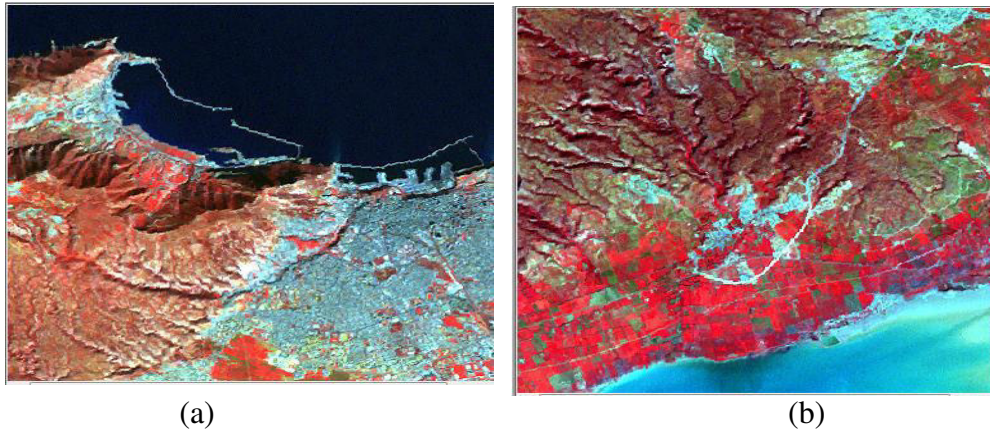


Figure 4.1 : Zone d'étude: Landsat 5 TM image d'Oran Algerie
Oran Nord (a), Sebkhia Lac (b).

2.3.1. Nature des données

Notre démarche commence par la segmentation de l'image originale par les *FCM*. Du moment où les *FCM* n'est applicable que sur des images multi spectrales, nous utiliserons les trois canaux *TM 1, 3,4* de *LANDSAT* illustrés par la (Figure 4.2). Ce sont des fichiers contenant des valeurs radio métriques de chaque pixel dans l'image.

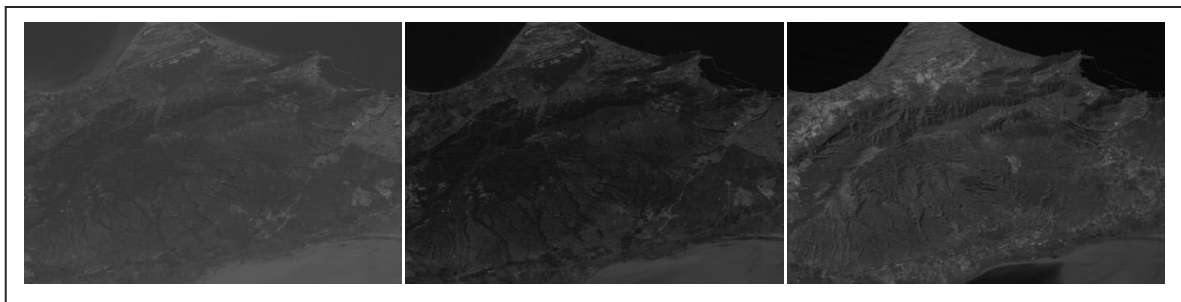


Figure 4.2: Les trois canaux TM 1, 3, 4 (de gauche à droite)

3. Le Système Décisionnel Spatial proposé AQUAZONE

AQUAZONE est destiné à aider et soutenir efficacement les décideurs dans leur prise de décision face à un problème décisionnel spatial. En considérant les besoins très spécifiques des utilisateurs (décideurs) nous avons fixé quelques principes pour la conception et l'élaboration d'AQUAZONE :

- Le Système AQUAZONE doit être équipé d'une interface homme machine intuitive et ergonomique répondant aux besoins des décideurs,
- La conception doit être suffisamment explicite pour résoudre des problèmes d'images satellitaires,
- Le SDSS doit disposer d'une capacité et d'une souplesse pour combiner les modèles analytiques avec des données provenant de sources différentes,

- Le SDSS doit disposer d'une capacité d'explorer l'espace des solutions par des solutions de rechange,
- AQUAZONE doit fournir la possibilité de soutenir une variété de modèles d'aide à la décision.

De plus, AQUAZONE offre d'autres fonctionnalités supplémentaires à savoir :

- Fournir des mécanismes souples pour l'introduction des données spatiales,
- Permettre la représentation des relations spatiales et des structures.

Notre étude est pluridisciplinaire, et multi objectifs, ce qui nécessite de regrouper une panoplie de méthodes dans un seul système d'aide à la décision.

Pour atteindre cet objectif, nous nous sommes inspirés de la stratégie de développement de SDSS développée par Densham [Den, 91] où l'auteur propose une architecture génératrice pour les SDSS, facilitée par un design modulaire. Pour être adaptée à nos besoins, nous avons adopté cette architecture en rajoutant de nouvelles capacités et fonctionnalités.

L'architecture générale du système AQUAZONE est présentée sur la Figure (4.3).

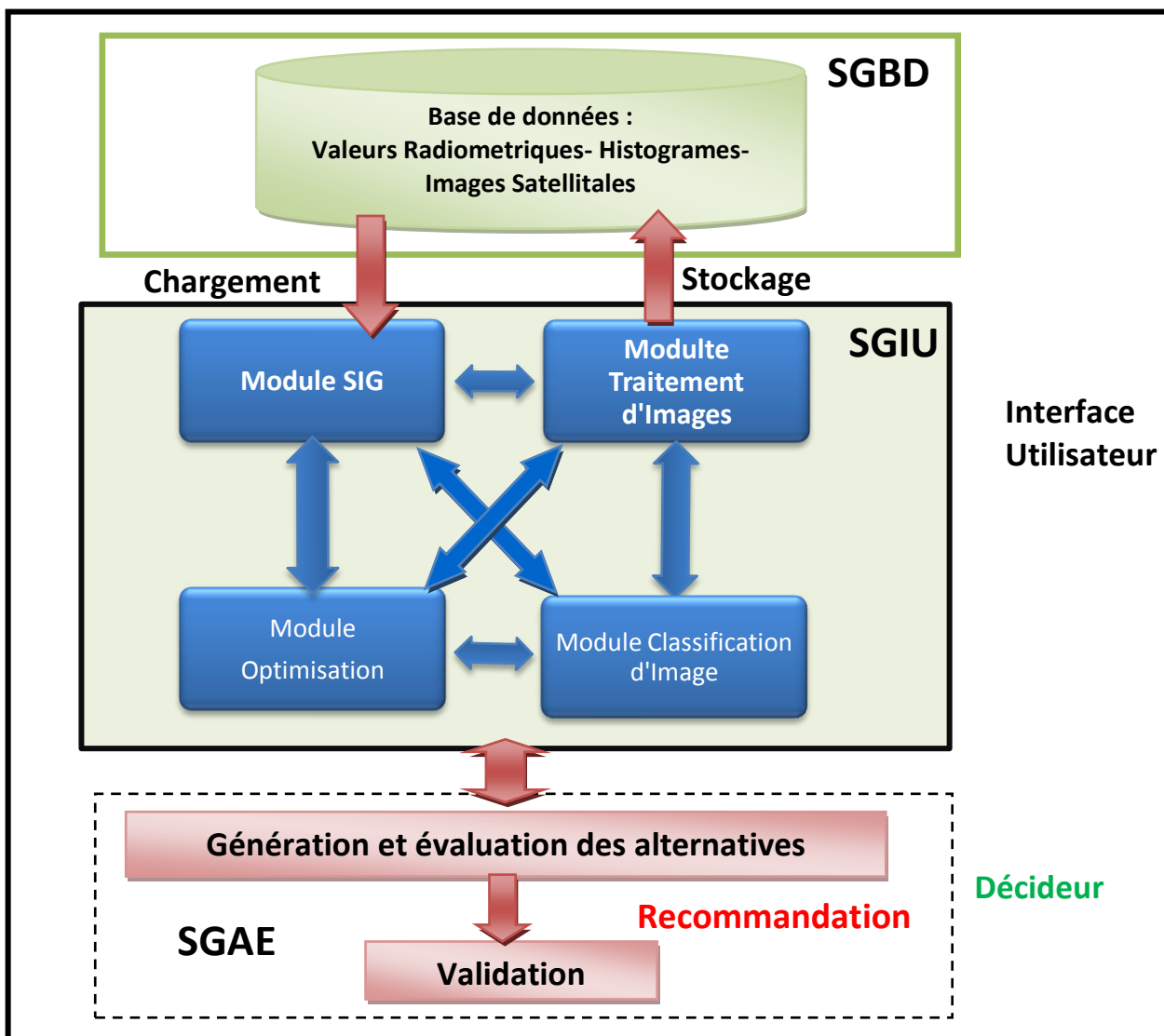


Figure 4.3: Architecture du SAD proposé AQUAZONE

L'architecture d'AQUAZONE est destinée à simplifier la représentation de l'information spatiale, dans une approche décisionnelle, apportant plus de **précision**.

L'exploitation et la lisibilité du système est intimement liée à la capacité de l'homme à l'interpréter. Simplifier la représentation de l'information dans une approche métier, en améliorant la décision et la rendre accessible à tous est un des enjeux de demain.

Le système AQUAZONE est structuré autour de trois sous systèmes fondamentaux [Sek et al, 15]

- A. Un Système de Gestion de Base de Données (SGBD):** La gestion des ressources naturelles requière l'intégration d'une masse importante d'informations provenant de différentes sources: terrain, satellites, photographies aériennes, cartes...etc. Le SGBD est capable de :
- stocker et manipuler des données de localisations, topologiques et thématiques afin de supporter l'affichage cartographique ainsi que les requêtes spatiales.
 - informer l'utilisateur des types de données disponibles et comment y accéder.
 - sauvegarder une large quantité de données (valeurs radiométriques, images, histogrammes, paramètres initiaux, etc). Ce composant sert, également, de banque de données pour le système.
- B. Système de Gestion d'Interface Utilisateurs (SGIU):** Le SGIU d'AQUAZONE, se compose, à son tour, de quatre modules élémentaires:
- 1. Module de Traitement d'Images Satellitaires:** regroupe les différentes techniques de traitement d'images (Chargement d'images satellitaires, traitement des valeurs radiométriques et colorriages, sélection des régions et découpages, filtrage et amélioration par histogrammes ou changement de contrastes, débruitage, ou détection de contours).
 - 2. Module de Classification des images:** permet à l'utilisateur d'appliquer les techniques du Data mining spatial (Supervisé/ Non supervisé) pour extraire des connaissances à partir des images multi-spectrales.
 - 3. Module Système d'Information Géographique:** la notion de l'information dans AQUAZONE a la particularité d'avoir une dimension spatiale, elle peut être en une dimension (les rivières), en deux dimensions (qualité de la terre, de l'eau et de l'air) ou en trois dimensions (l'air et l'eau). La nature de cette information nécessite donc des outils puissants offrant à la fois les possibilités d'analyse et de gestion. Le développement de l'informatique et des nouvelles technologies, ont permis de prendre en compte la spécificité de ces données qui nécessitent des techniques différentes de celles utilisées
 - 4. Un module d'Optimisation:** permet à l'utilisateur (décideur) d'appliquer les techniques d'optimisation, pour rechercher toutes les solutions voisines.
- C. Système de Génération d'alternatives et d'évaluation (SGAE):** Ce composant vise essentiellement l'évaluation des résultats obtenus. Ainsi que la mise en œuvre de la décision prise, ainsi que son contrôle.

3.1. Le modèle décisionnel adopté par AQUAZONE

Les décideurs confrontés à un problème spatial complexe ont souvent de multiples objectifs conflictuels pour sa résolution. Pour être acceptable, une solution doit concilier ces objectifs contradictoires.

Le modèle proposé vise à trouver un compromis entre les différentes méthodes d'analyse spatiale pour aider les décideurs à résoudre des problèmes selon des critères multiples. L'idée de base est de concevoir un SAD, combinant les méthodes de classifications d'images, pour faire face à différentes zones (uniformes et texturées) dans la segmentation d'images. Cette thèse introduit un cadre nouveau pour une meilleure classification des images multi spectrales Landsat 5 TM de la région d'Oran (Algérie), sur la base de la combinaison de méthodes pour l'extraction automatique de régions (Aquatique, Urbaine, forestière, etc.).

Le modèle proposé présente un choix rationnel entre les alternatives (SIG, DMS et traitement d'images Multi Spectrales).

Dans le contexte de cette étude, le désir d'améliorer la prise de décision spatiale a fourni les motivations pour le développement d'un modèle décisionnel puissant et générique, intégrant une variété de méthodes.

A ce titre, nous nous sommes inspirés du modèle d'aide à la décision adapté au domaine de l'environnement et à la Décision Spatiale proposé par Pictet [Pic, 90] et repris par Hamdadou [Ham, 08]. En plus, le modèle suggéré intègre plusieurs méthodes (d'analyse, de classification et d'optimisation), et offre diverses alternatives de fusion supportant plusieurs types de données spatiales (images, histogrammes, valeurs radiométriques, etc.)

La Figure (4.4) illustre, en détails, le modèle décisionnel adapté par le système AQUAZONE.

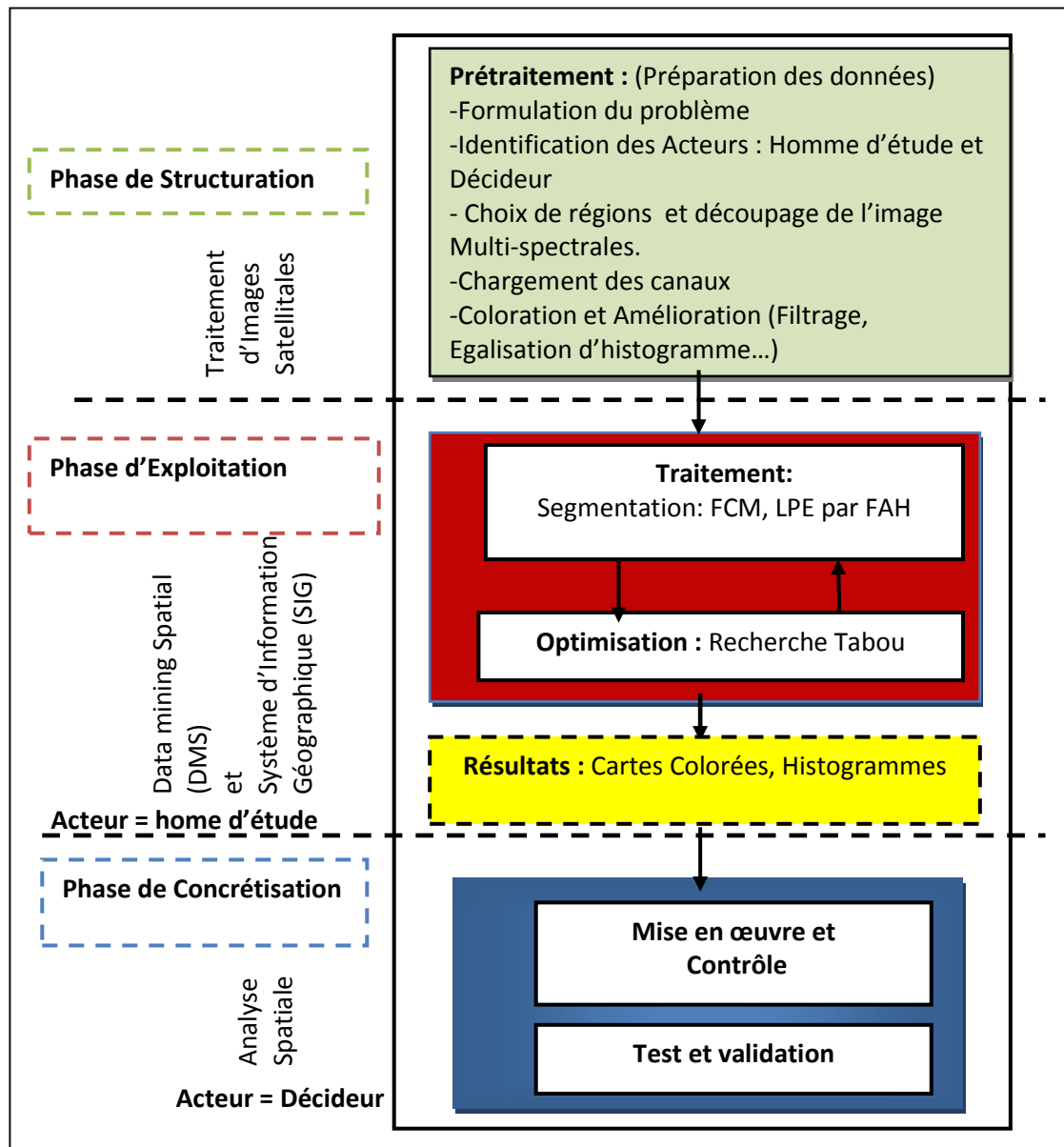


Figure 4.4: Le Modèle Décisionnel proposé AQUAZONE

Le modèle opère, principalement, en trois phases à savoir: *La Structuration du modèle, son Exploitation et la Concrétisation des résultats.*

3.1.1. La phase de structuration du modèle

Elle a pour objectif l'identification du problème et les choix fondamentaux sur la manière de l'aborder. Le prétraitement est une étape très sensible dans toute démarche d'aide à la décision, en particulier lorsque la méthode d'analyse procède par fusion de méthodes, il est très important d'identifier l'ensemble des paramètres que nous allons utiliser, et fixer quelques objectifs. Il faut tenir compte que nous sommes dans le non supervisé, donc nous ne savons pas réellement ce que nous recherchons. La structuration consiste à préparer les images, identifier les principaux acteurs à savoir : l'homme d'étude (qui prend en charge la structuration et l'exploitation du système) , le décideur (qui a pour rôle la concrétisation du

système) et les intervenants (ou les experts qui, de par le système de valeurs dont ils sont porteurs conditionnent directement le système)..

3.1.2. La phase d'exploitation du modèle

C'est la partie la plus analytique du processus d'étude. C'est là où toutes les méthodes de fouille de données spatiales, caractérisant notre approche seront utilisées, Il s'agit essentiellement du CMF, la LPE et la recherche Tabou.

Le système AQUAZONE est dédié à des experts dans les Systèmes d'Informations Géographiques et du domaine spatial, l'objectif visé par l'exploitation du système est de mettre à leur disposition un système simple, souple, robuste, et efficace qui a pour objectif l'exploitation des méthodes appropriées.

3.1.3. La phase de concrétisation des résultats

Elle vise essentiellement l'acceptation sociale du résultat. Cependant, elle comprend aussi la mise en œuvre de la décision ainsi que son contrôle.

3.2. Modélisation UML d'AQUAZONE

Afin d'avoir une vue à la fois simplifiée et schématique du SDSS proposé, nous avons opté pour une modélisation UML. Nous présentons dans les sections suivantes les différents diagrammes UML associés.

3.2.1. Diagramme de Cas d'utilisation du système AQUAZONE

Le diagramme de cas d'utilisation est une réflexion sur les fonctionnalités attendues du futur système avant la conception, il permet de fixer une idée sur les principaux modules du système et voir les fonctionnalités que doit fournir chaque composant. Ces fonctionnalités vont aider les utilisateurs à effectuer leurs missions.

Dans le contexte de notre application, nous identifions 8 cas d'utilisations illustrés par la Figure (4.5) :

Cas 1: Chargement des valeurs radiométriques des 3 canaux du satellite (TM1, TM2, TM3) et Coloration et affichage de l'image.

Cas 2: Traitement Histogrammes (affichage Histogramme, Egalisations, étalement, Expansion Dynamique...)

Cas 3: Débruitage et amélioration par l'application des Filtres (Linéaires (gaussien, Moyenneur), non linéaires (médiann...)).

Cas 4 : Détection de Contours (par Sobel, Laplacien, Robert, Newton, Delewit...)

Cas 5 : Segmentation par CMF (choisir nombre de classe, degrés d'appartenance)

Cas 6 : Optimisation (Recherche Tabou)

Cas 7 : Segmentation Morphologie Mathématique (érosion, dilatation, ouverture, fermeture, Chapeaux Hauts Formes (CHF), Filtres Alternés Séquentiels (FAS) et autres.

Cas 8 : Segmentation par la LPE de Serge Beucher par FAH (Seuillage)

Enfin l’affichage du résultat, interprétation et critiques.

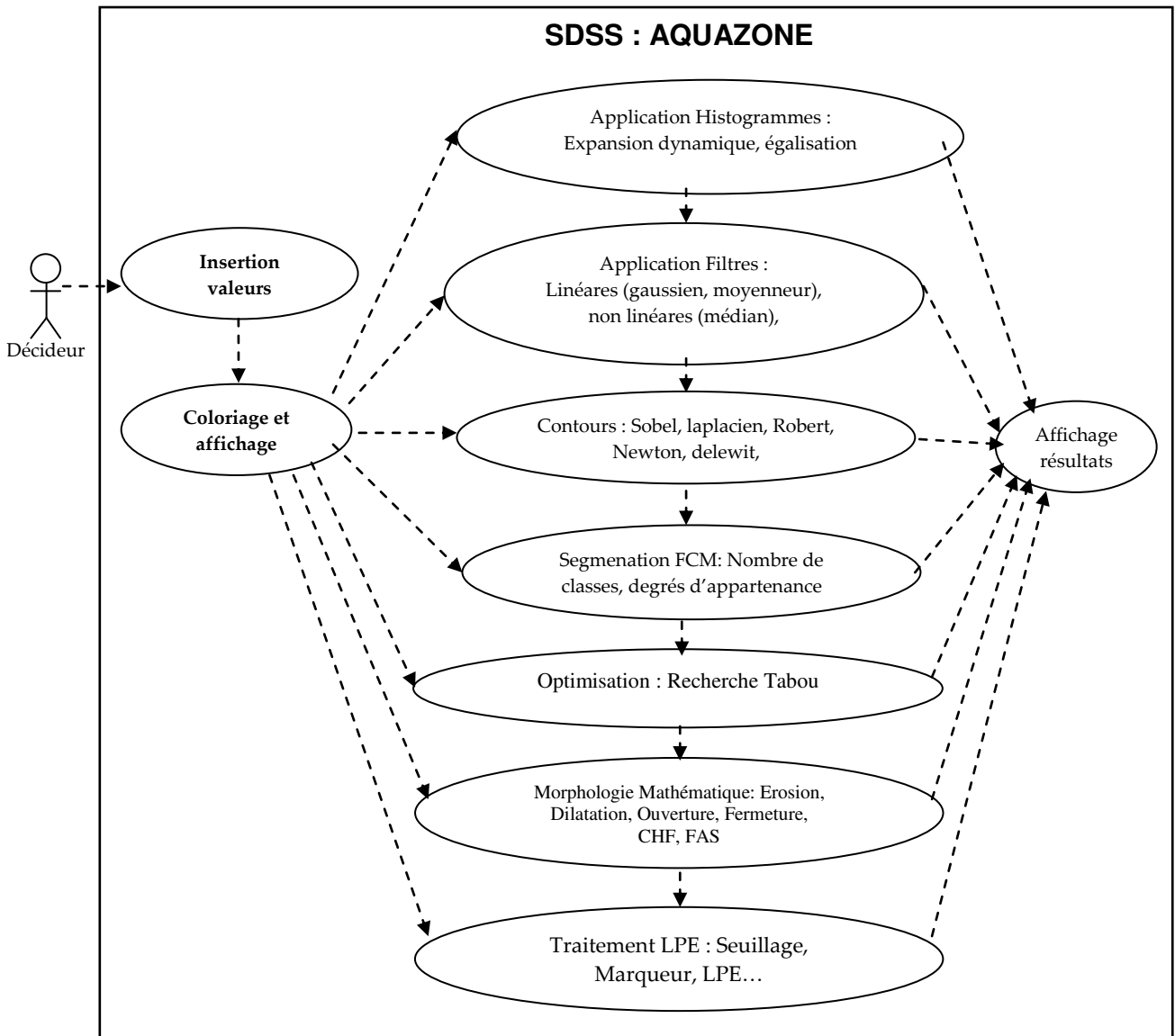


Figure 4.5: Diagramme UML de cas d'utilisation

3.2.2. Diagramme de séquences

Les diagrammes de séquences permettent de représenter des collaborations entre les objets selon un point de vue temporel, on y met l'accent sur la chronologie des requêtes envoyées. Le diagramme de séquences associé à la démarche décisionnelle adoptée par AQUAZONE est illustré par la Figure (4.6).

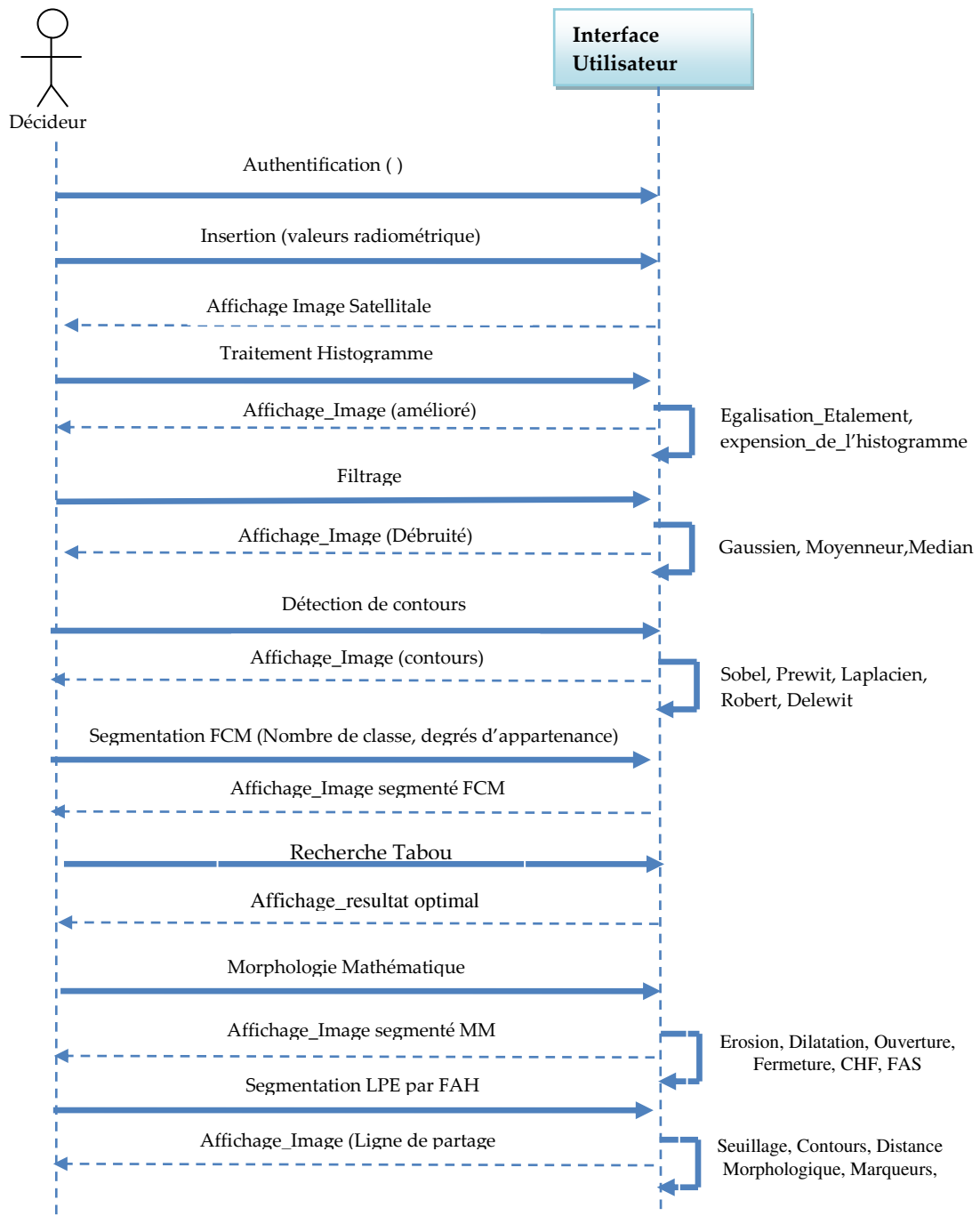


Figure 4.6: Diagramme de séquences

3.3. Le processus décisionnel proposé

Nous présentons dans cette section, d'une manière détaillée, notre processus décisionnel basé sur les deux méthodes adoptés : le CMF et la LPE.

3.3.1. Algorithme général de la segmentation

Début

Phase 1 : Chargement des images des 3 canaux (TM1, TM2, TM3).

Phase 2 : Coloration et amélioration : améliorer ces images lorsqu'elles possèdent du bruit ou des défauts.

Phase 3 : Segmentation de l'image par la méthode C-Means Floues.

Phase 4 : Optimisation par une Recherche Tabou

Phase 4 : Transfert du résultat de la segmentation par CMF (Optimale) en niveau de gris.

Phase 5 : Segmentation du résultat, de l'image obtenue en niveau de gris, par la LPE de Serge Beucher par FAH.

Phase 6 : Interprétation et critiques.

Fin.

Une description détaillée est présentée par l'organigramme de la Figure (4.7) [Sek et al, 15].

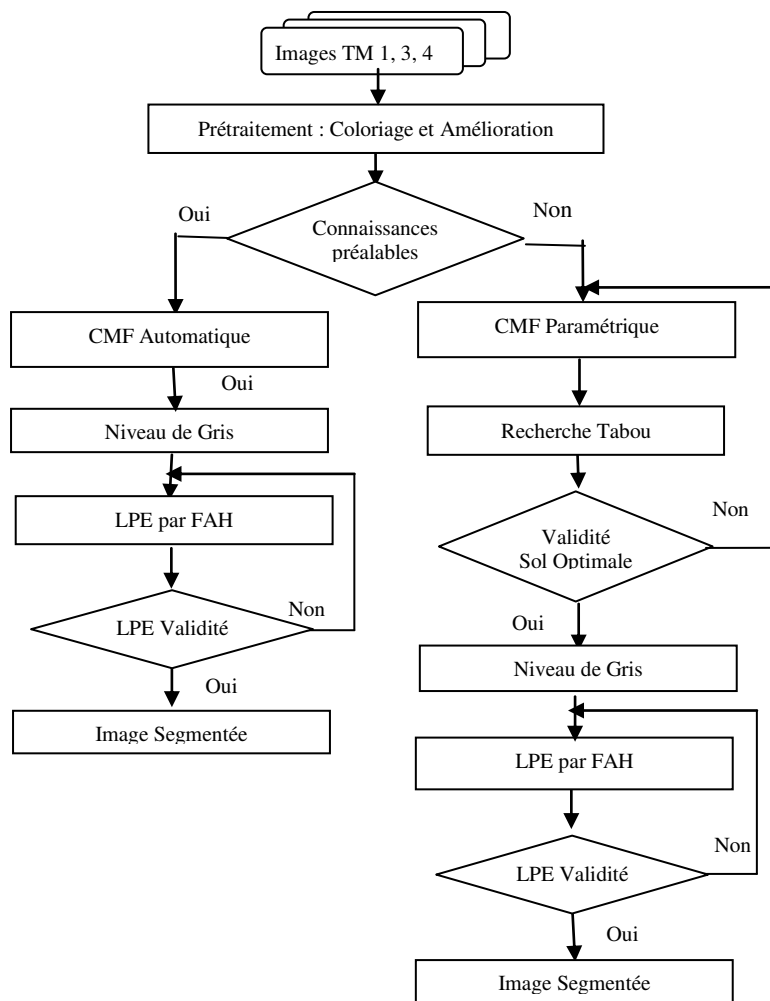


Figure 4.7 : Organigramme du processus décisionnel proposé.

3.3.2. L'algorithme C-Means Floues

L'algorithme utilise l'ensemble des pixels $A = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ où x_i est un vecteur de trois composantes rouge (R), vert (V), bleu (B), et le nombre de région K. Les valeurs des degrés d'appartenance sont regroupées dans une matrice $U = [u_{ik}]$ où chaque élément de la matrice désigne le degré d'appartenance du pixel i à la classe k .

Pour avoir une bonne partition, nous imposons aux éléments de U les contraintes suivantes :

- ✓ $u_{ik} \in [0,1]$;
- ✓ $\sum_k u_{ik} = 1$; Ceci $\forall i$;

L'algorithme du CMF fait évoluer la partition (Matrice U) en minimisant la fonction objectif $J_m(U, C)$ suivante appelé aussi fonction de coût:

$$J_m(U, C) = \sum_i \sum_k (u_{ik})^m \cdot \|x_i - c_k\|^2 \quad (1)$$

Avec:

- ✓ $m > 1$ est un paramètre contrôlant le degré de flou appelé le facteur de flou.
- ✓ C_k : Le centre de la classe k .
- ✓ $\| \cdot \|$ Une distance quelconque entre pixel i et le centre C_k .

L'algorithme CMF est décrit dans ce qui suit :

Début

1- Choisir K le nombre de classes.

2- Initialiser la matrice de partition U_i d'une manière aléatoire et les centres C_k à l'aide de la relation (3).

3- Faire évoluer la matrice de partition et les centres suivant les deux équations (2) et (3);

On montre que la minimisation de la fonction de coût (éq.1) s'effectue lorsque les conditions d'optimalité de Kuhn-Tucker suivantes sont vérifiées :

$$U_{ik} = 1 / \left(\sum_{j=1, c} (d_{ik} / d_{ij})^{(2/(m-1))} \right) \quad (2)$$

Cette condition fait la mise à jour des degrés d'appartenance où : $d_{ij} = \|x_i - c_j\|$

$$C_k = \left(\sum_i (u_{ik})^m \cdot x_i \right) / \left(\sum_i (u_{ik})^m \right) \quad (3)$$

4-Test d'arrêt: $|j^{(t+1)} - j^{(t)}| < \text{seuil}$.

Fin.

La partition optimale est obtenue par itérations successives jusqu'à la convergence des résultats. Autrement dit : après une initialisation des différents paramètres de l'algorithme notamment, le nombre de classes K , la partition initiale, le facteur de flou " m " et le seuil de convergence désiré.

Nous déterminons les centres des nouvelles classes à partir de l'équation (2). La position initiale des centres de gravités conditionne le résultat final, de telle sorte que les centres de gravités doivent être initialement placés le plus loin possible les uns des autres. C'est-à-dire les objets à l'intérieur de chaque classes sont aussi proches que possible les uns des autres et aussi loin que possible des objets des autres classes.

Ensuite, nous déterminons les degrés d'appartenance des formes à ces classes par l'équation (2).

Nous répétons ces deux phases jusqu'à ce que l'écart entre deux vecteurs centres successifs satisfasse le test d'arrêt.

Il faut noter que le choix de m pour le CMF joue un rôle très important.

L'équation (2) montre que si m se rapproche de 1, le CMF tend à produire des degrés d'appartenance "durs" c'est-à-dire la partition tend à être classique.

Par conséquent, la mise à jour basée sur l'équation (2) fait qu'une certaine valeur U_{ik} est trop proche de 1. Et cela entraîne que la classe correspondante à cette valeur, est mise à jour de façon beaucoup plus importante que les mises à jour faites pour les $(k-1)$ classes restantes. Ce phénomène peut provoquer une propriété indésirable car certains prototypes convergent rapidement vers les clusters alors que d'autres beaucoup moins vite et inversement, lorsque m augmente, la partition devient floue [Bez, 11].

3.3.3. L'algorithme LPE par FAH

En traitement d'images, la segmentation par Ligne de Partage des Eaux (LPE) désigne une famille de méthodes de segmentation d'image issues de la morphologie mathématique (MM) qui considèrent une image à niveaux de gris comme un relief topographique, dont nous simulons l'inondation. L'algorithme classique est extrêmement lent, Il fonctionne avec des opérateurs morphologiques qui travaillent sur toute l'image. La FAH constitue à l'heure actuelle la meilleure solution au problème de la vitesse de la LPE. Ses performances sur des machines standards en font une alternative sérieuse à des processeurs dédiés. C'est pourquoi cette structure algorithmique a été choisie.

Le principe de calcul de la LPE est simple, il utilise généralement les processus d'inondation, une description particulière de l'image vue comme un relief topographique où les structures claires sont les pics du relief et les structures sombres correspondent aux vallées du relief. Nous imaginons que cette surface topographique soit trouée aux emplacements des minima. Plongeons alors lentement cette surface dans un lac (étendue d'eau supposée infinie pour la commodité de l'expérience). L'eau va passer par les trous, en commençant les minima les plus profonds, et nous supposons que pour chaque minimum source, l'eau se teinte d'une couleur donnée (le label du minimum) (voir Figure 4.8). Chaque minimum donne naissance

à un lac de plus en plus étendu à mesure que le niveau d'eau augmente et va progressivement inonder les reliefs [Ang, 07].

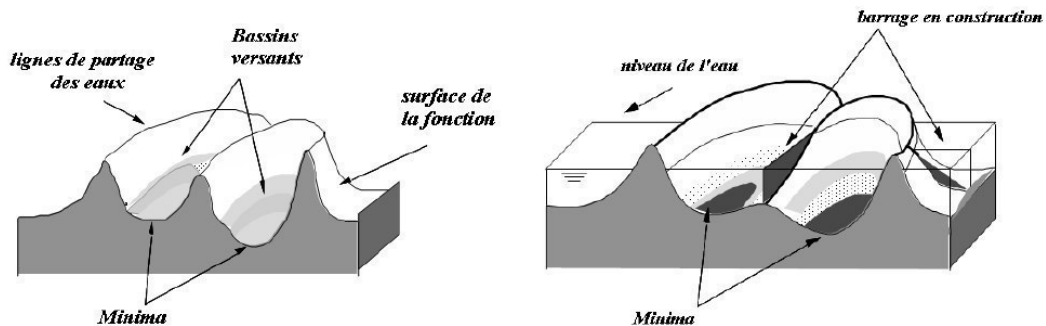


Figure 4.8 : Principe d'inondation du relief

Une File d'Attente Hiérarchique FAH peut être utilisée pour réaliser rapidement une LPE d'une fonction f contrôlée par un ensemble de marqueurs M , chaque marqueur est étiqueté et chaque bassin versant en cours de construction conservera l'étiquette du marqueur générateur. Tout marqueur peut être décomposé en plusieurs composantes connexes dès lors que chaque composante a une étiquette commune. Deux variantes existent pour réaliser une LPE. La première, ses bassins versants se touchent et est désignée par ZPE (zone de partage des eaux), car la frontière entre les bassins passe par les pixels et non définit par eux. La seconde, les frontières sont matérialisées par certains pixels de l'image.

L'algorithme LPE par FAH comprend deux phases : **initialisation** et **fonctionnement** [Soi, 99]. Les spécifications fonctionnelles d'une FAH sont détaillées en Annexe A.

La Figure (4.9) résume les principales étapes de l'algorithme LPE.

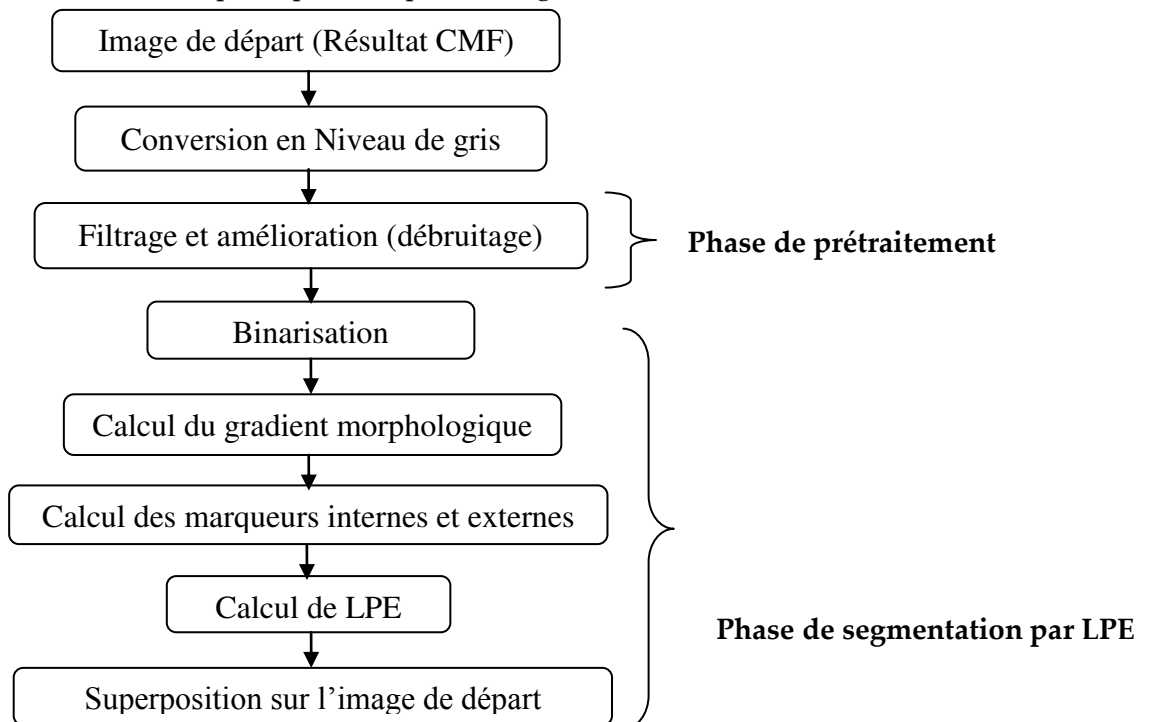


Figure 4.9 : Principales étapes de l'algorithme de segmentation par LPE.

L'algorithme LPE est détaillé dans ce qui suit :

Début

- L'image est interprétée comme un relief topographique: Niveau de gris correspond à l'altitude
- Les contours correspondent aux lignes crête du relief
- Des marqueurs sont placés dans l'image: ils pointent sur les régions devant être segmentées dans l'image
- Le relief est inondé, l'eau pénétrant dans le relief via les marqueurs-sources d'inondation (il ne s'agit pas ici de ruissellement, mais au contraire, d'eau qui sourd des minima).
- Pour empêcher le mélange des eaux venant de minima différents, nous créons un barrage élémentaire en chaque point de contact. L'eau continue de s'élever.
- A la fin, ne restent que les digues achevées, entourées d'eau : les contours sont définis comme la ligne de partage des eaux séparant les différents lacs (bassins versants).

Fin.

3.3.4. La Recherche Tabou

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes d'optimisations. Notre choix a porté sur l'utilisation de la Recherche Tabou **pour plusieurs raisons** :

- L'idée de base de l'optimisation dans AQUAZONE, est de rechercher les solutions voisines de l'algorithme CMF. Ce dernier nécessite d'introduire les degrés d'appartenances des classes au préalable. Donc, il se peut qu'un pixel puisse s'affecter à plusieurs classes, ayant les mêmes degrés d'appartenances, lorsque ce dernier est affecté aléatoirement à l'une des classes.
- La Recherche Tabou consiste, à partir d'une position donnée, à en explorer le voisinage et à choisir la position dans ce voisinage qui minimise la fonction objectif, et permet de mieux poursuivre la recherche de solutions en utilisant le principe de mémoire pour éviter les retours en arrière (mouvements cycliques) et fait évoluer une seule solution sur l'espace de recherche à chaque itération. La notion de voisinage est alors primordiale pour l'optimisation de CMF. Les solutions peuvent être représentées par une liste tabou qui contient les mouvements qui sont temporairement interdits, son rôle évolue au cours de la résolution: diversification (exploration de l'espace des solutions) vers intensification [Glo, 90].

La méthode Tabou est une technique itérative générale pour l'optimisation combinatoire, introduite par Fred Glover [Glo, 90] et développée plus tard. La recherche Tabou est considérée comme étant une puissante procédure d'optimisation capable d'organiser et de diriger les opérations d'une méthode subordonnée.

La procédure de la Recherche Tabou est destinée à trouver un minimum global d'une fonction F définie sur un ensemble des solutions réalisables X . pour chaque solution S de X on définit un voisinage $N(S)$ constitué de toutes les solutions réalisables qui peuvent être obtenu par l'application d'une simple modification m sur S [Glo, 97] .

La procédure commence par une solution réalisable initiale et tente d'atteindre un optimum global du problème par un déplacement à chaque étape, dès qu'une solution réalisable est obtenue, on génère un sous ensemble V' de $N(S)$ et on se déplace vers la meilleure solution S' dans V' . Si l'ensemble $N(S)$ n'est pas très large, il est possible de prendre $V' = N(S)$.

L'utilité du critère du meilleur déplacement dans la Recherche Tabou est basée sur la supposition que des placements avec beaucoup d'évaluations ont de plus grandes probabilités d'atteindre une solution optimale ou proche de l'optimal éen peu d'étapes [Glo, 97]. Afin d'échapper aux minimums locaux, le déplacement vers S' est effectué même si S' est plus mauvaise que S ($F(S') = F(S)$).

Un algorithme tabou de base comprend une liste taboue (mémoire à court terme) et un critère d'aspiration [Han, 01]

a- Liste Tabou: Un élément fondamental de la recherche tabou est l'utilisation d'une mémoire flexible (liste tabou), à court terme, qui garde une certaine trace des dernières opérations passées.

L'idée de base de la liste taboue consiste à mémoriser les configurations ou régions visitées et à introduire des mécanismes permettant d'interdire à la recherche de retourner trop rapidement vers ces configurations [Glo,90] .

Une liste Tabou avec trop d'éléments peut devenir très restrictive. Il a été observé que trop de contraintes (tabous) forcent le programme à visiter des solutions voisines peu alléchantes à la prochaine itération. [Han, 01]

Une liste Tabou contenant trop peu d'éléments peu s'avérer inutile et mener à des mouvements cycliques.

Cette liste permet d'empêcher les blocages dans les minima locaux en interdisant de passer à nouveau sur des configurations de l'espace de recherche précédemment visitées.

b- Algorithme général de la Recherche Tabou : l'algorithme général de la Recherche Tabou intégré dans notre système AQUAZONE est illustré par la Figure (4.10).

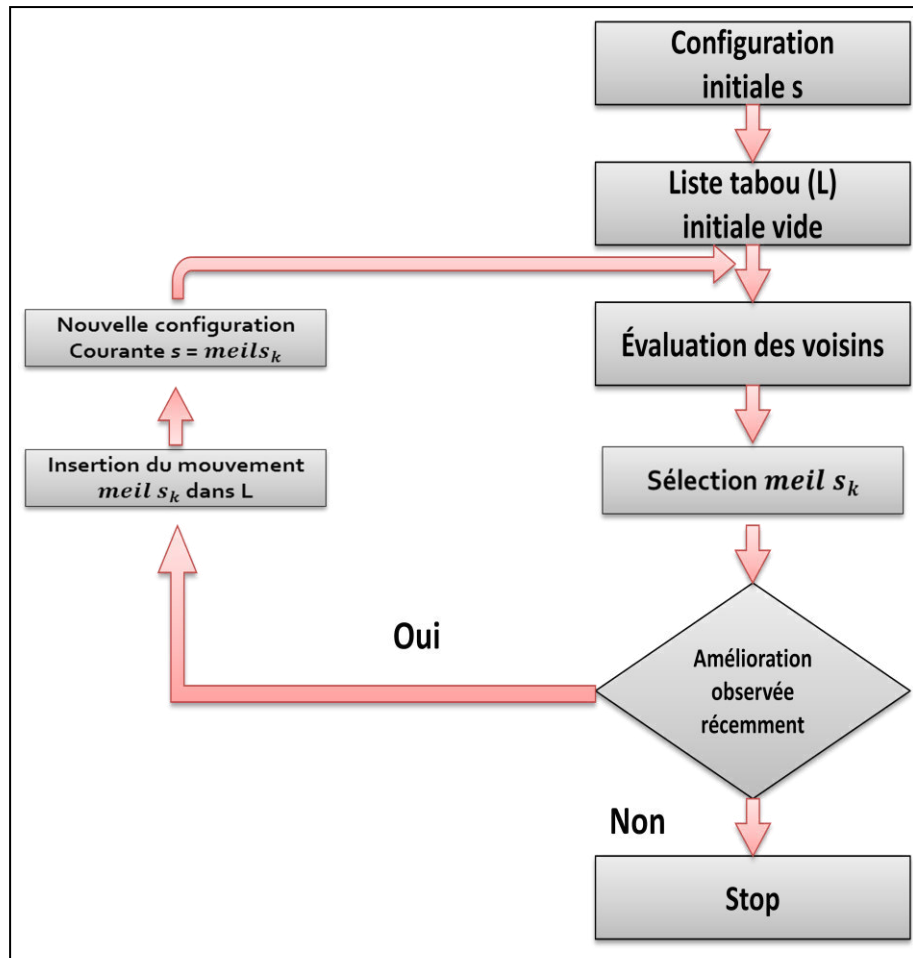


Figure 4.10: Algorithme général de la recherche tabou.

Début

1-Initialisation.

2-Créer une liste des mouvements candidats.

3-Choisir le meilleur candidat. Ce choix est basé sur les restrictions Tabou et le critère d'aspiration.

-On obtient ainsi une autre solution, mais qui ne sera enregistrer que si elle est meilleur que la solution précédente.

4-Appliquer le critère d'arrêt.

-Continue: changer les candidats d'admissibilité (restriction Tabou et critère d'aspiration). Aller à 2.

-Stop: passer aux stratégies d'intensification et diversification.

Fin

c- L'algorithme détaillé de Recherche Tabou intégré dans AQUAZONE

Dans AQUAZONE, une optimisation efficace commence par une configuration initiale convenable.

• Règles de Passage d'FCM à Tabou

Dans ce qui suit, nous désignerons quelques règles de passage, pour l'application de l'algorithme Recherche Tabou, sur l'algorithme CMF. Ces règles sont intégrées dans AQUAZONE, de la manière suivante :

- Les coûts de raccordement représentent en réalité, les degrés d'appartenance de l'algorithme CMF.
- La matrice de raccordement, représente indirectement la matrice de partition U_i et les centres C_k
- Le système AQUAZONE, à travers son Système de Gestion de l'Interface Utilisateur (SGIU), permet d'avoir une interface ergonomique, interactive et facile à utiliser, même si l'approche proposée paraît assez compliquée.

Pour la mise en œuvre d'AQUAZONE, nous définissons les coûts de raccordement comme suit :

Le coût de raccordement= le degré d'appartenance *10

Cette règle permet de faciliter l'utilisation du système en simplifiant la saisie, éviter la virgule, et minimiser les erreurs. Sachant que les utilisateurs d'AQUAZONE sont des experts thématiques, et pas forcément des informaticiens.

- Les valeurs des degrés d'appartenance sont regroupées dans une matrice $C[i][j] = [u_{ik} * 10]$ où chaque élément de la matrice désigne le degré d'appartenance du pixel i à la classe k .

Pour avoir une bonne partition, nous imposons aux éléments de C les contraintes suivantes :

$$\begin{aligned} &\checkmark C[i][j] \in [0,10] ; \\ &\checkmark \sum_{ij} C[i][j] = 10 \quad ; Ceci \quad \forall i, j \end{aligned}$$

En résumé, pour chaque pixel, la somme des coûts de raccordement $C[i][j]=10$, car la somme des degrés d'appartenance $U_{ik} \leq 1$.

Après avoir introduit le nombre de pixels et de classes ainsi que leurs coûts de raccordement, le système proposé est programmé pour n'afficher les résultats, que si le décideur respecte les règles de l'algorithme de départ.

- **Fonctionnement de l'algorithme d'optimisation Tabou dans AQUAZONE**

Début

Étape 1: Choisir une solution initiale i dans S (l'ensemble des solutions) :

La procédure d'optimisation commence par la saisie d'une solution de segmentation FCM réalisable (initiale), et nous tentons par la suite d'atteindre un optimum global du problème par un déplacement à chaque étape.

- Désignation d'un « centre », ce dernier est nécessaire pour le déroulement de l'algorithme de Recherche Tabou ; la particularité dans AQUAZONE, c'est que nous avons ajouté la possibilité de sélection d'une "classe centrale". Cette dernière peut être choisie manuellement en cliquant sur la zone délimitée, ou automatiquement : en considérant le centre de l'image sélectionné comme classe centrale. nous aurons un nombre de classes égales à $NR+1$.
- Insertion manuelle du nombre des pixels (NP) et nombre des régions (NR).
- Saisie des coûts de raccordement des Classes $f[i]$ avec le « centre des régions»,
- Le résultat est stocké dans une matrice booléenne C (en ligne: le nombre de classes et en colonnes : le nombre de pixels) telle que :
- $C[i][j]= 1$, si le pixel I est relié avec la région (classe) J .
- $C[i][j]= 0$, sinon .
- Appliquer $i' = i$ et $L = 0$

Étape 2:

- Charger la matrice booléenne, de raccordement $C[i][j]$ des pixels et leurs classe,
- Appliquer $L = L+1$ et générer un sous-ensemble de solutions en $N(i,L)$ pour que: les mouvements tabous ne soient pas choisis et que l'un des critères d'aspiration $a(i,m)$ soit applicable

Étape 3: choisir la meilleure solution i' parmi l'ensemble de solutions voisines $N(i,L)$

- Calcul du cout Total;

Appliquer $i =$ meilleur i'

Étape 4:

- Comparer le cout total avec la solution initiale (cout):
- si $f(i) \leq f(i')$ alors nous avons trouvé une meilleure solution
- Remplacer la matrice booléenne $X[i][j]$ par la matrice $X_t[i][j]$

- Appliquer $i' = i$

Étape 5:

- Mettre à jour la liste T et les critères d'aspiration,

- Chercher la meilleure solution et mettre à jour de la liste de cout

Étape 6:

Si une condition d'arrêt est atteinte alors stop, et afficher toute les solutions voisines, et choisir celle qu'on veut.

Sinon, retour à Étape 2.

Fin.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un Système Décisionnel AQUAZONE fusionnant deux stratégies de traitement d'images satellitaires.

La première utilise le Fuzzy C-Means et est dédiée aux zones uniformes tandis que la deuxième basée sur la Ligne de Partage des eaux, est applicable sur des zones texturées (pour délimiter les zones frontières de chaque région).

Dans ce même chapitre, nous avons tenté d'optimiser la précision dans la prise de décision, et d'élargir le champ d'utilisation du modèle décisionnel proposé afin de l'adapter aux spécificités et aux caractéristiques de la complexité des données spatiales.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons proposé, une alternative de fusion des méthodes d'optimisation et des méthodes de fouille de données spatiales visant une meilleure exploitation et offrant plus d'alternatives et de possibilités.

Dans le chapitre suivant, notre approche sera appliquée à un cas réel tout en discutant les résultats obtenus et en conduisant une étude des performances de la démarche décisionnelle proposée.

Chapitre 5

Le système AQUAZONE

Ce chapitre décrit le système d'aide à la décision proposé AQUAZONE. Ce dernier intègre, principalement, des outils de traitement d'images satellitaires, et des méthodes d'optimisation. L'objectif de ce chapitre est de présenter l'aspect technique du système AQUAZONE par deux études de cas.

Chapitre 5

Le système AQUAZONE

1. Introduction

Nous avons testé AQUAZONE sur des images satellitaires réelles de la ville d'Oran (côté Nord et côté Sebkhah) captées par le satellite Landsat 5, afin d'extraire automatiquement les différentes régions composantes de la région d'Oran et d'en séparer ses zones aquatiques.

La démarche décisionnelle menée, pour ces données réelles, sera détaillée le long de ce chapitre et les résultats fournis par le SDSS proposé seront discutés à la fin de ce même chapitre.

2. Les étapes du processus décisionnel

Afin d'aider les décideurs dans leurs prises de décisions, le processus décisionnel adopté par le SDSS AQUAZONE opère essentiellement en trois étapes (prétraitement, traitement et optimisation) détaillées succinctement dans les sections suivantes [Sek et al, 14a].

2.1. L'étape de prétraitement

Cette étape de prétraitement consiste à charger les images en vue de les préparer pour le traitement, elle opère en plusieurs étapes discutées dans ce qui suit:

2.1.1. Coloration et Amélioration

Elle procède comme suit :

- Chargement des canaux 1,3, et 4, qui constituent l'image
- Coloration de trois canaux *TM1*, *TM3* et *TM4*. Ce sont des données numérisées par le satellite *LANDSAT 5-TM*.
- Les composantes *RVB* bleu correspondent à un bleu profond. Les filtres vert et rouge permettent des effets de contraste en photographie industrielle et en micrographie. Le filtre rouge est également utilisé pour la correction du voile atmosphérique en photographie aérienne et pour la suppression du bleu en photographie infrarouge.

La Figure (5.1) montre le résultat final qui correspond à une unification trichrome appelée *composition colorée* dans laquelle les thèmes se distinguent par les différentes nuances dans ces trois couleurs de base.

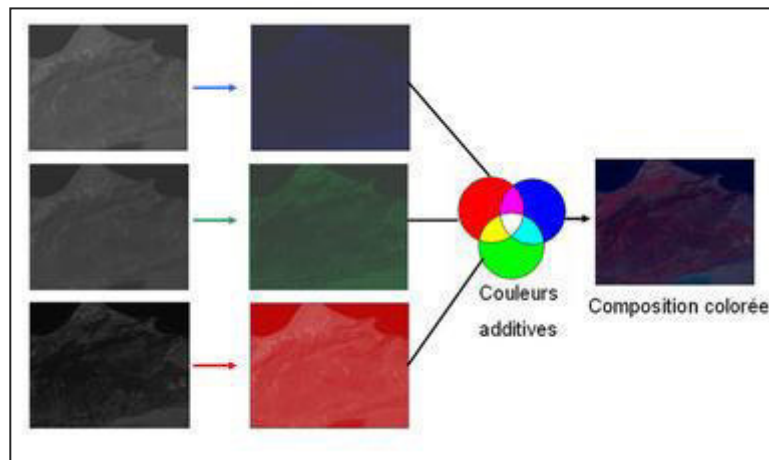


Figure 5.1: La composition colorée

2.1.2. Histogramme

Après coloriage, nous avons sous-échantillonné l'image originale et appliqué un histogramme.

La Figure (5.2) illustre la génération de l'histogramme associé à l'image satellitale de la zone Sebkh d'Oran par AQUAZONE.

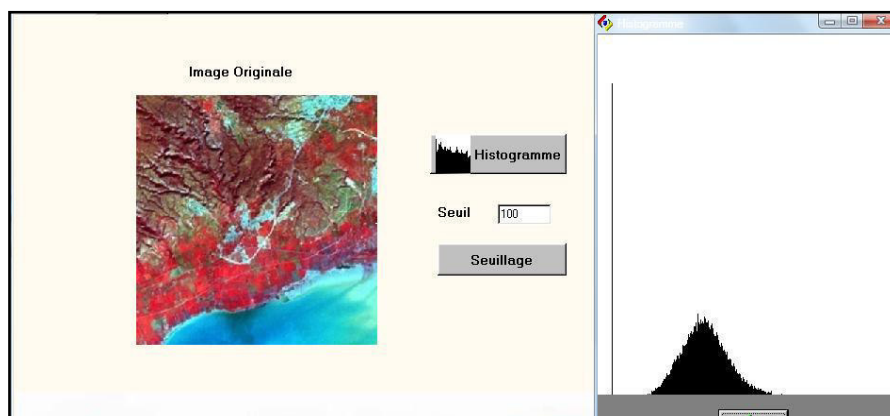


Figure 5.2: AQUAZONE : Affichage de l'image Sebkh et application Histogramme

Nous procédons, par la suite, à des étalements de la dynamique pour obtenir le maximum de contraste sur la plage radio métrique qui nous intéresse. Nous visons ainsi une amélioration de contraste (Figure 5.3).

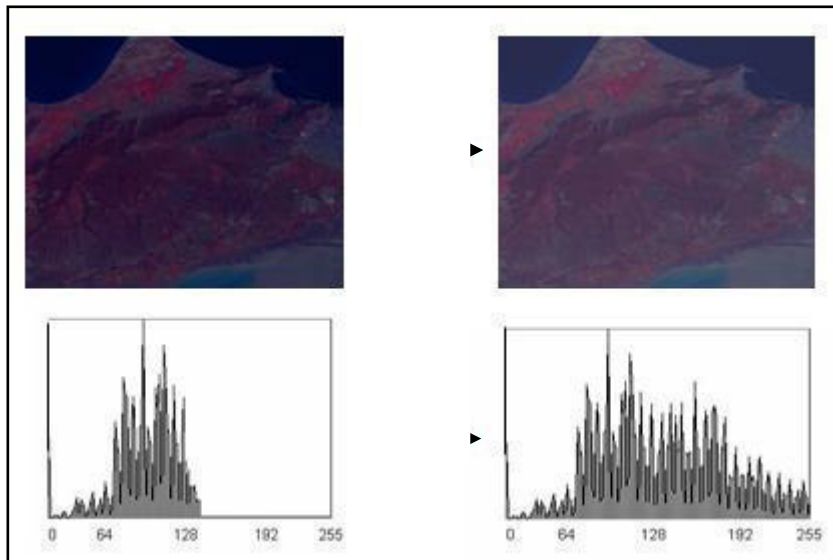


Figure 5.3 : Etalement dynamique d'une image colorée

2.1.3. Morphologie Mathématique

AQUAZONE permet d'appliquer les traitements Morphologiques (L'érosion et la dilatation, l'ouverture et la fermeture binaires, la ligne de partage des eaux... etc) relativement à différents paramètres (seuillage, marqueurs, etc.) (Figure 5.4).

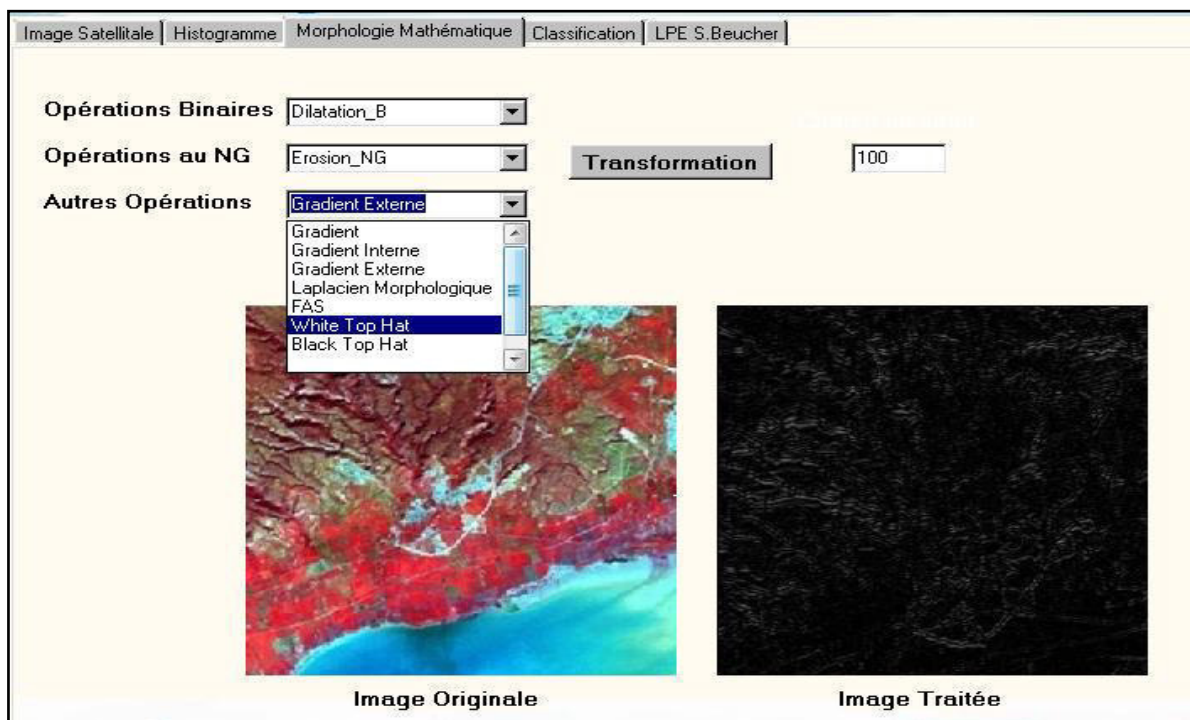


Figure 5.4: Morphologie Mathématique

Les différents résultats de la morphologie mathématique et autres prétraitements sont présentés dans l'Annexe B.

Remarque :

AQUAZONE offre d'autres alternatives de prétraitement à savoir :

- **Le traitement Histogrammes** : Egalisations, étalement, Expansion Dynamique...)
- **Le filtrage et l'amélioration** : pour l'élimination des bruits, par application des filtres linéaires (gaussien, Moyenneur), ou non linéaires (médian, etc.).
- **La détection de Contours** : par application de différents algorithmes : Sobel, Laplacien, Robert, Newton, Delewit, etc.

Les différents résultats obtenus par application de ces algorithmes, sont présentés dans l'Annexe B.

2.2. L'étape de traitement

Cette étape constitue l'étape d'exploitation du modèle décisionnel proposé et adopté par AQUAZONE, elle opère en quatre phases :

1. la segmentation de l'image par application du CMF,
2. le transfert en niveau de gris,
3. l'extraction de la Ligne de Partage des Eaux (côte méditerranéen et Sebkh),
4. l'optimisation du résultat obtenu par Recherche Tabou.

2.2.1. Segmentation par CMF

Dans la présente étude, le premier objectif, est la classification de l'image satellitale de la ville d'Oran afin de générer la carte d'occupation du sol de cette région. Le CMF est appliqué, et les résultats s'avèrent satisfaisants et validés dans [Sek et al, 14d].

Plusieurs jeux d'essais ont été effectués; les différents résultats sont synthétisés, et sont présentés dans l'Annexe B.

Nous avons appliqué le CMF sur deux images relatives à deux zones différentes (Nord et Sebkh d'Oran.), en procédant à plusieurs tests tout en agissant sur les paramètres de performance du CMF: **nombre de classes et degrés d'appartenances**. Les différents tests sont détaillés, dans ce qui suit.

A. Image Originale Oran Nord

Test1 : les paramètres utilisés sont :

a/ $m=2$, nous avons fixé un nombre de classes à $K=4$, et un degré d'appartenance équitable $U_{ik}=0.2$ pour les classes.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.5.a).

b/ Nous gardons les mêmes paramètres que dans **a/** sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $U_{ik}=0.5$ et pour les classes restantes $U_{ik}=0.1$. Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.5.b)

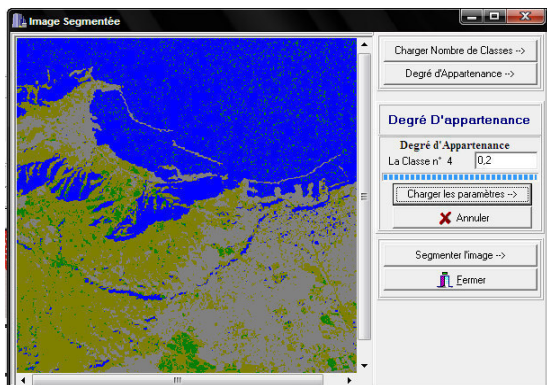


Figure 5.5.a: CMF paramétrique $k=4$ et U_{ik} équitable (Oran)

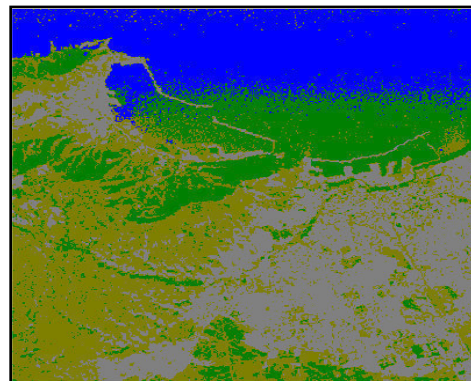


Figure 5.5.b: CMF paramétrique $k=4$ et U_{ik} non équitable (Oran)

Test2: les paramètres utilisés sont :

a/ $m=2$, nous fixons le nombre de classe à $K=6$ et $U_{ik}=0.15$ pour toutes les classes.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.6.a).

b/ Nous gardons les mêmes paramètres que **a/** sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $U_{ik}=0.4$ et pour les classes restantes $U_{ik}=0.1$.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.6.b).

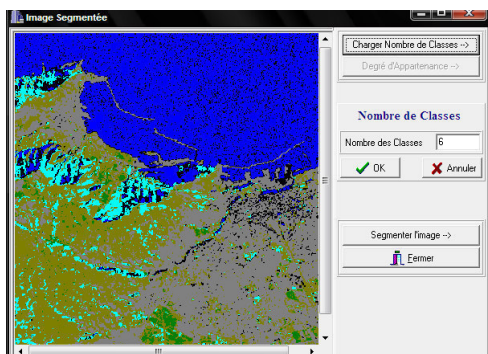


Figure 5.6.a: CMF paramétrique $k=6$ et U_{ik} équitable (Oran)

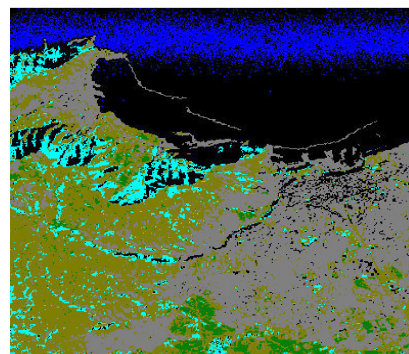


Figure 5.6.b: CMF paramétrique $k=6$ et U_{ik} non équitable (Oran)

Test3 : les paramètres utilisés sont :

a/ $m=2$, nous fixons le nombre de classes à $K=10$ et $U_{ik}=0.1$ pour toutes les classes.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.7.a.).

b/ Nous gardons les mêmes paramètres que **a/** sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $U_{ik}=0.2$ et pour les classes restantes $U_{ik}=0.08$.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.7.b.)

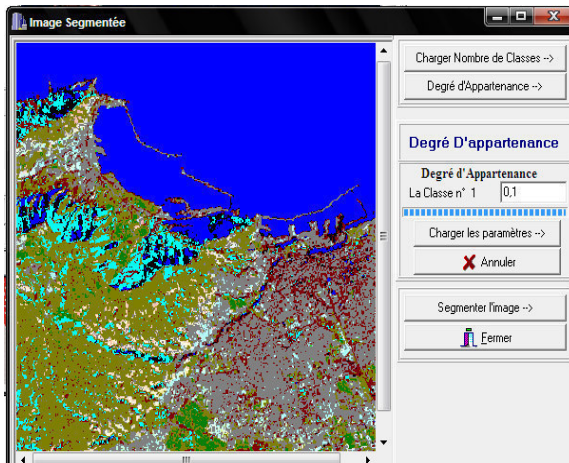


Figure 5.7.a: CMF paramétrique $k=10$ et U_{ik} équitable (Oran)

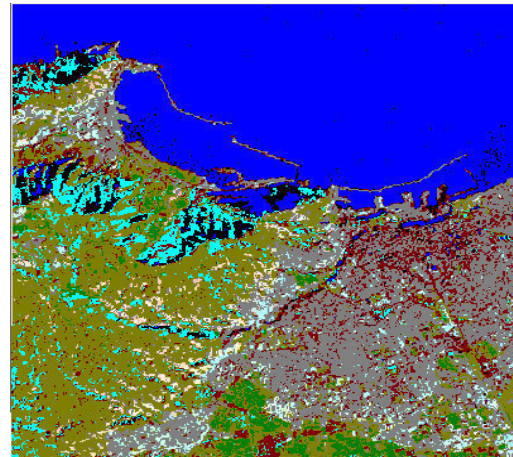


Figure 5.7.b: CMF paramétrique $k=10$ et U_{ik} non équitable (Oran)

Test 4 : FCM Automatique

Nous avons reformulé notre algorithme en intégrant les expertises de l'intervenant (le thématique), afin d'automatiser le traitement. Nous avons constaté qu'avec l'automatisation de l'algorithme, nous éliminons, pratiquement, tous les inconvénients du CMF (défavorisation des classes) (Figure 5.8).

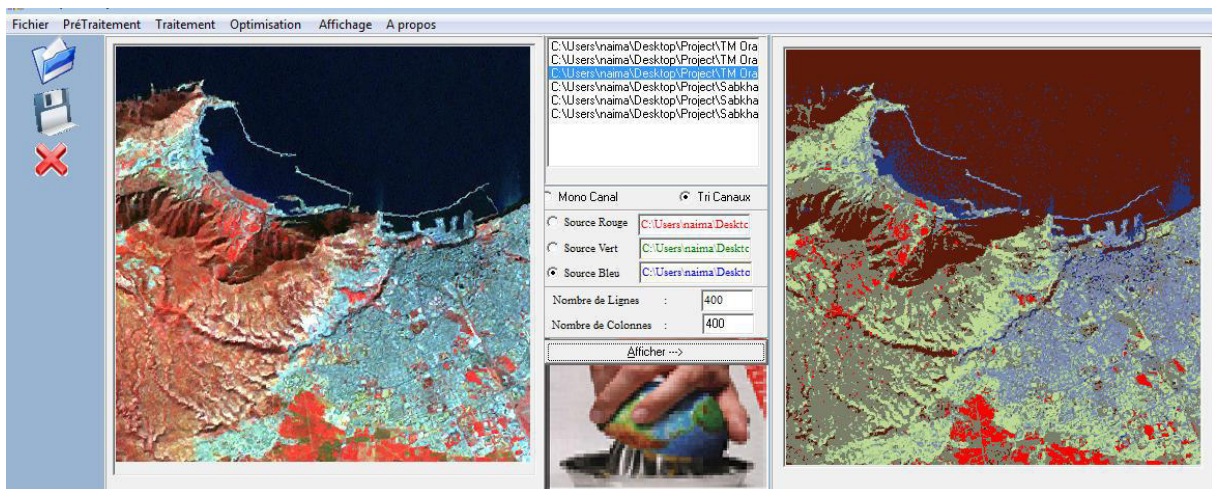


Figure 5.8: CMF automatique (Oran Nord)

B. Image originale : Oran Sebkha

Test 4 : les paramètres utilisés sont :

a/ $m=2$, nous fixons le nombre de classe à $K=3$ et $U_{ik}=0.3$ pour toutes les classes.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.9.a).

b/ Nous gardons les mêmes paramètres que dans a/ sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $U_{ik}=0.5$ et le degré d'appartenance pour les classes restantes est $U_{ik}=0.2$.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.9.b).

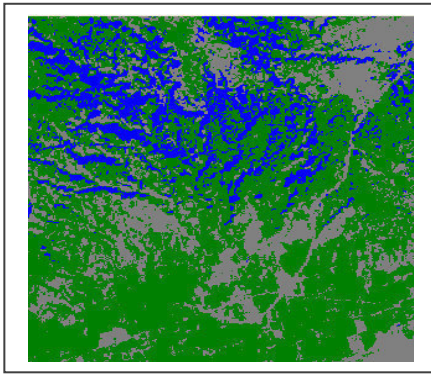


Figure 5.9.a: CMF paramétrique $k=3$ et U_{ik} équitable (Sebkha)

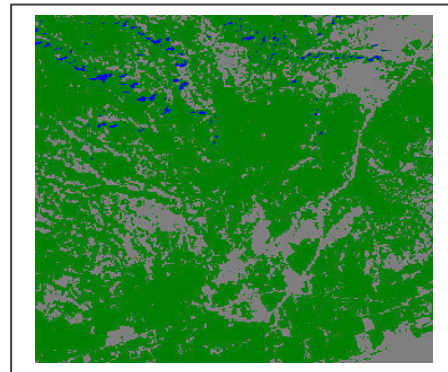


Figure 5.9.b: CMF paramétrique $k=3$ et U_{ik} non équitable (Sebkha)

Test 5 : les paramètres utilisés sont :

a/ $m=2$, nous fixons le nombre de classe à $K=5$ et un degré d'appartenance équitable $U_{ik}=0.15$ pour toutes les classes.

Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.10.a.).

b/ Nous gardons les mêmes paramètres que dans a/ sauf que le degré d'appartenance est non équitable, la première classe a un degré $U_{ik} = 0.5$ et pour les classes restantes un $U_{ik}=0.12$. Les résultats obtenus après segmentation sont illustrés sur la Figure (5.10.b.).

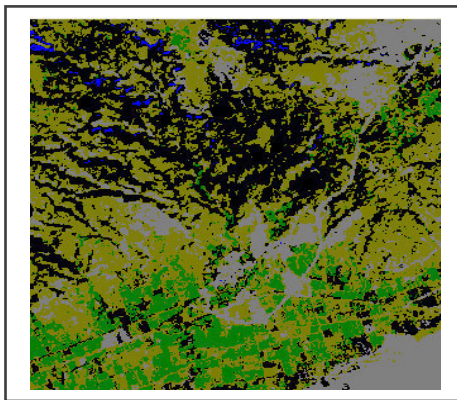


Figure 5.10.a: CMF paramétrique $k=5$ et U_{ik} équitable (Sebkha)

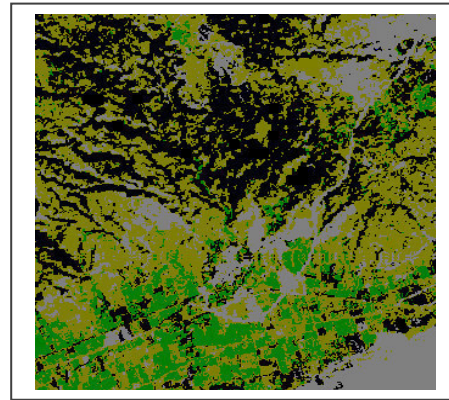


Figure 5.10.b: CMF paramétrique $k=5$ et U_{ik} non équitable (Sebkha)

Remarque

Nous avons, également, automatisé l'algorithme pour segmenter l'image Sebkha, les résultats sont donnés par la Figure (5.11).

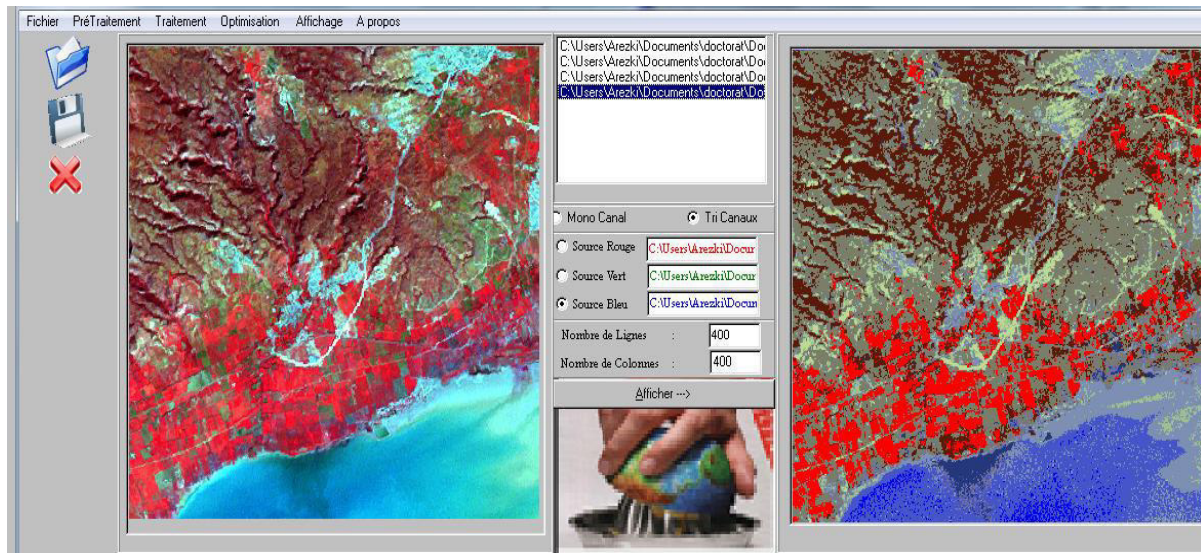


Figure 5.11 : CMF automatique (Sebkha)

- **Discussion**

En confrontation avec les données terrains, ces résultats sont jugés très proches de l'existant. A cet effet, les paramètres utilisés s'avèrent intéressants, et seront utilisées pour l'élaboration de la carte d'occupation du sol de la région d'Oran [Sek et al, 14d].

- Nous avons remarqué que le CMF est efficace lorsque la variation de la luminance est importante (nous parlons ici de la notion de texture).
- Nous avons aussi remarqué, qu'à chaque fois que l'on augmente le nombre de classes, le CMF fournit un bon résultat mais nécessitant un temps de calcul assez élevé sensible à la taille des images traitées.
- Selon les résultats obtenus, nous pouvons affirmer que le choix du degré d'appartenance joue un rôle fondamental pour le partitionnement des régions. Ce choix pose le problème de la favorisation des régions lorsque nous attribuons des degrés sans disposer d'une connaissance préalable du terrain, l'automatisation peut régler ce problème.

2.2.2. Transfert en niveau de gris

Le transfert en niveau de gris consiste à extraire, à partir de l'image colorée, l'information des trois couleurs RVB. Cette opération est indispensable car la LPE est applicable sur des images mono spectrales.

Les figures ci-dessous illustrent le transfert du résultat de la segmentation obtenu par le CMF automatique en niveau de gris.

Les Figures (5.12.a) et (5.12.b) représentent les transformations des images d'Oran partie nord et celle de la Sebkha respectivement.



Figure 5.12.a: Transfert en niveau de gris
(Oran Nord)



Figure 5.12.b: Transfert en niveau de gris
(Sebkha)

2.2.3. Segmentation par LPE de Serge Beucher par FAH

Les régions obtenues par un premier niveau de segmentation de CMF peuvent être traitées à nouveau par la LPE afin de dégager les régions homologues.

La LPE permet, en effet, de séparer en deux étapes distinctes, la tâche de désignation des objets à segmenter de la tâche de segmentation et de délimitation proprement dite.

Les zones aquatiques « la méditerranée » et le « lac » sont automatiquement extraites à partir de l'Image Satellitale Landsat 5 TM d'Oran.

L'objectif de cette étape est d'améliorer la segmentation par CMF en réduisant le nombre de régions, ensuite détecter les contours les plus significatifs à partir du gradient (les contours qui sont robustes par rapport aux variations des conditions de segmentation et qui permettent de séparer l'eau des autres thèmes composant la région d'Oran).

La LPE est une méthode basée sur la Morphologie Mathématique. Elle est appliquée sur des images en niveau de gris. Il s'agit de définir des marqueurs, pour éviter la sur-segmentation : Minima les plus significatifs selon un certain critère morphologique (contraste, surface, volume), ce qui implique une hiérarchie basées sur des valeurs d'extinction. (Figure 5.13)



Figure 5.13 : AQUAZONE-Onglet LPE (Sebkha)

Les différentes opérations LPE effectuées par AQUAZONE sont: Seuillage, contours, distance morphologique, LPE et Marqueurs.

- **Affichage de la Ligne de partage des Eaux par FAH sur l'image originale**

Cette étape permet la superposition de la LPE sur l'image initiale, ou autre image résultante. AQUAZONE offre plusieurs alternatives de fusion, permettant aux décideurs d'avoir plusieurs choix, plus de résultats, pour une meilleure analyse, et une meilleure prise de décision (Figure 5.14).

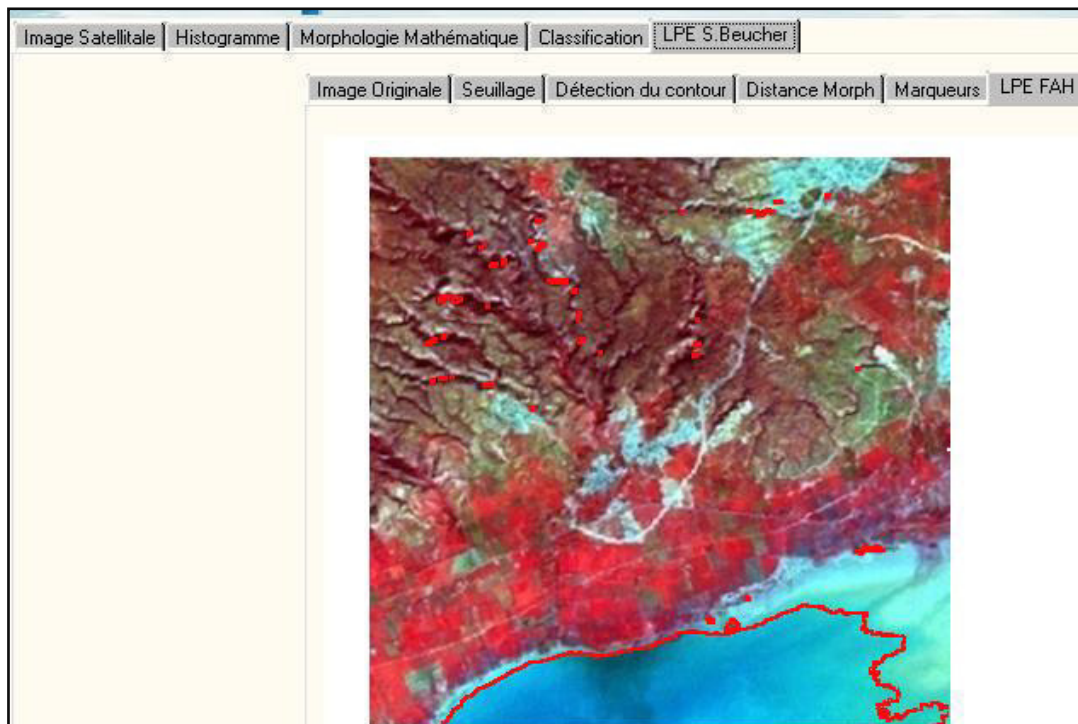


Figure 5.14 : Résultat du traitement de LPE sur l'image d'Oran région SEBKHA

Toutes les étapes et les résultats de la LPE sont présentés dans l'Annexe B.

2.2.4. Optimisation par la recherche Tabou

Cette section est dédiée à notre deuxième contribution consistant à l'application de la Recherche Tabou pour l'optimisation de l'algorithme CMF [Sek et al, 11c].

Cette étape est exécutée avant l'étape LPE, nous présentons, dans ce qui suit, les différentes étapes de la recherche appliquée à des images segmentées par CMF automatique de la région Sebkha.

L'optimisation opère en plusieurs étapes :

a- Phase 1 : Chargement et Sélection

La Figure (5.15) illustre le chargement de l'image de Sebkha segmentée par le CMF automatique.

L'étape d'optimisation par la recherche tabou d'AQUAZONE commence tout d'abord, par une sélection manuelle d'une zone d'intérêt (ou de conflit). Les nombres de pixels et de classes s'affichent automatiquement, ainsi que les coordonnées de chaque pixel (X,Y) sur l'image. Cette opération est essentielle pour le déroulement de l'algorithme.

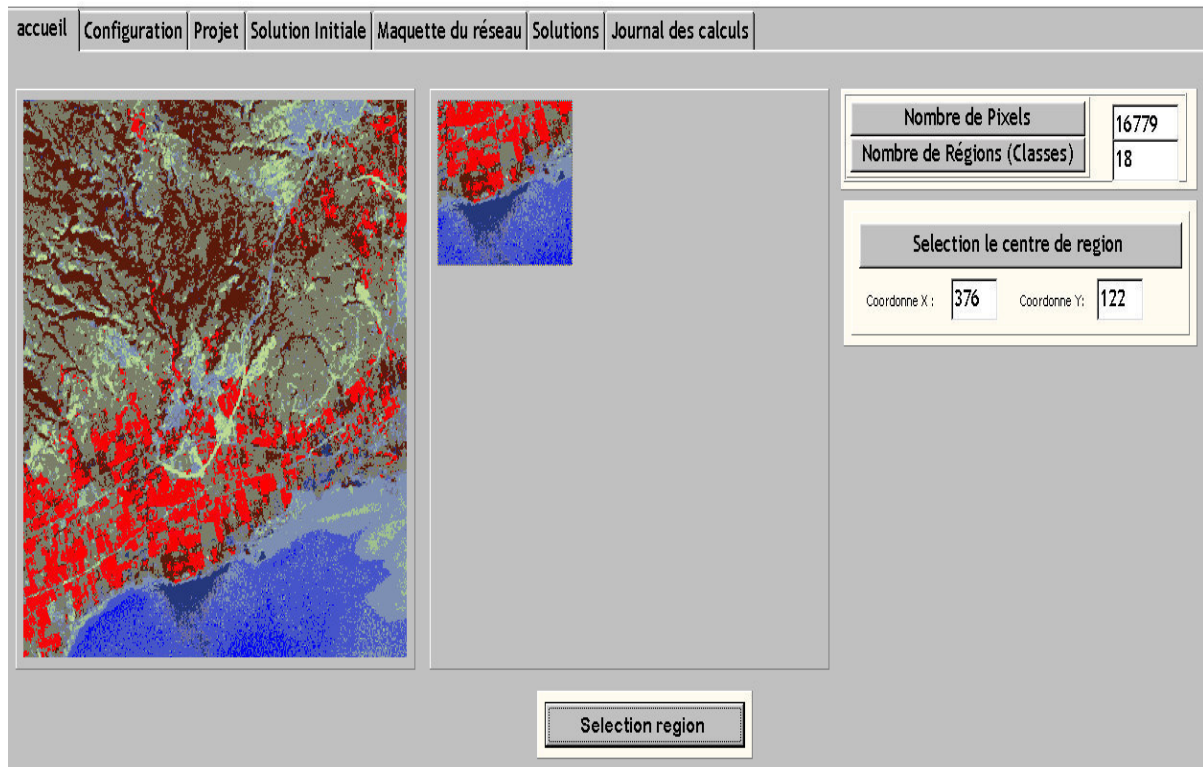


Figure 5.15: AQUAZONE : Optimisation Recherche Tabou, -Sélection d'une zone

b- Phase 2: Saisie d'une solution initiale

- La procédure d'optimisation commence par la saisie d'une solution de segmentation FCM réalisable (initiale), et nous tentons par la suite d'atteindre un optimum global du problème par un déplacement à chaque étape.
- Pour illustrer notre approche, nous avons choisi un jeu d'essai de 4 pixels et 2 classes, pour expliquer le déroulement de la méthode tabou dans AQUAZONE.

La Figure (5.16), présente sous forme de tableau, les couts de raccordement entre 4 Pixels et 2 classe $C[i][j]$, sachant que la dernière classe présente la classe centrale, choisie par l'utilisateur

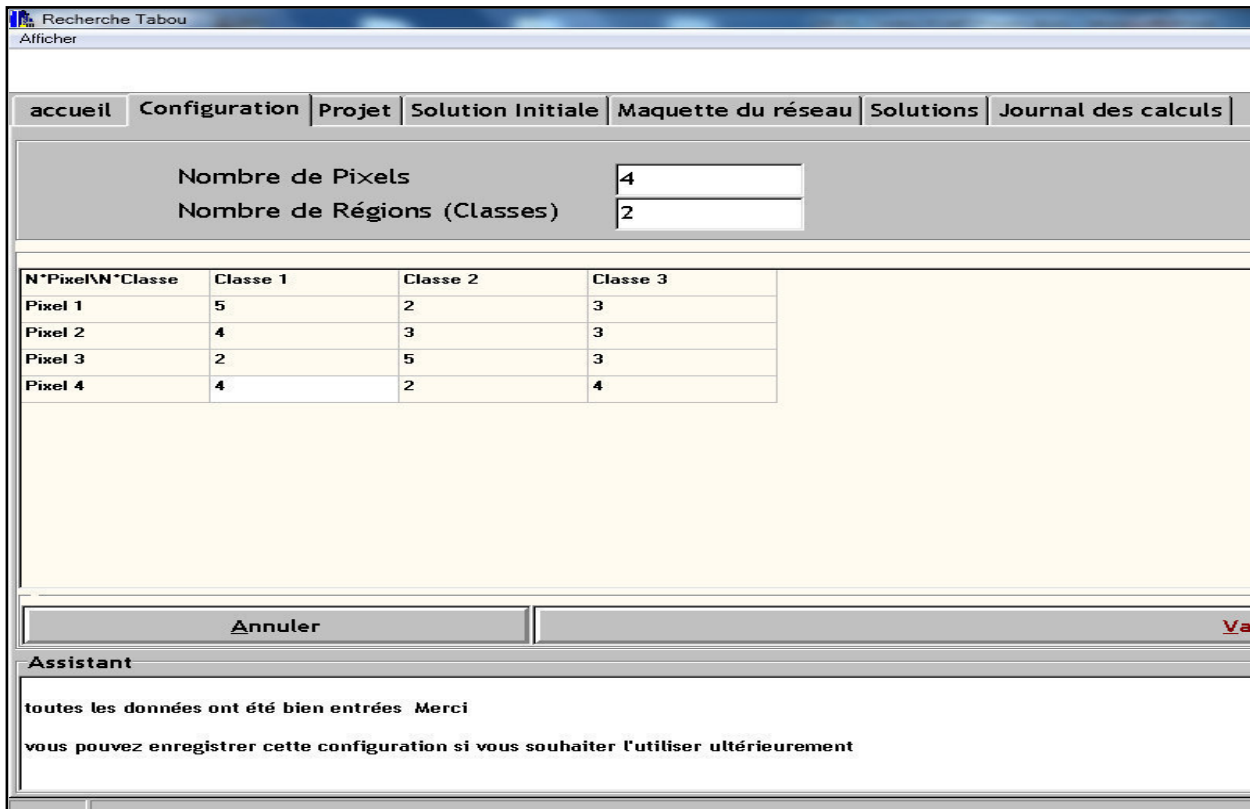


Figure 5.16: AQUAZONE-Optimisation Recherche Tabou- Configuration initiale.

La Figure (5.17), présente deux tableaux indiquant à gauche les coûts de raccordement des Classes $f[i]$ avec le centre, et à droite les coûts de raccordement entre pixels et leurs régions ($C[i][j]$), l'image initiale contient 4 pixels et 2 classes, plus une classe centrale.

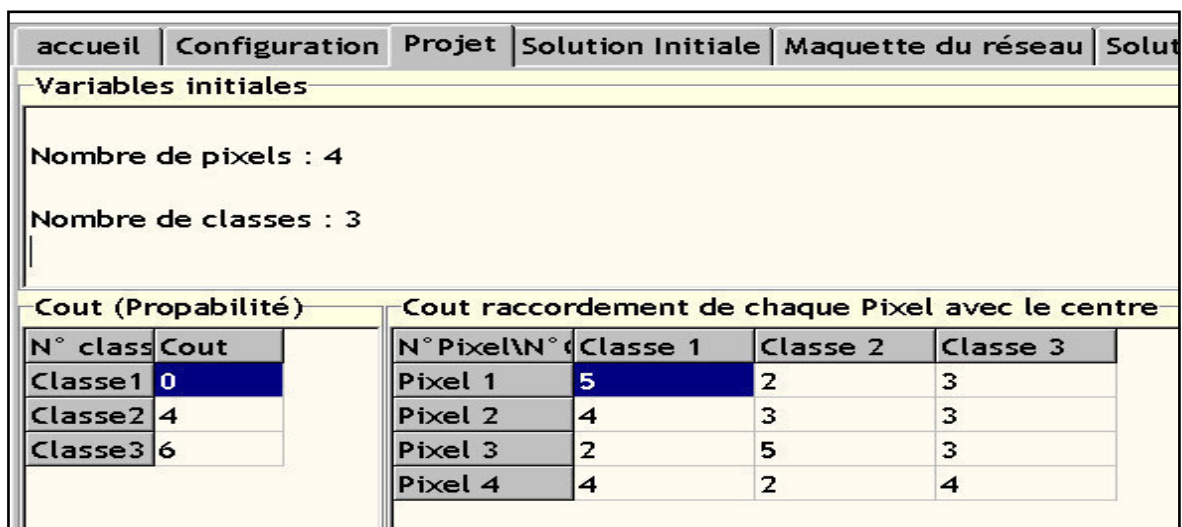


Figure 5.17: AQUAZONE-Optimisation Recherche Tabou- Coûts de raccordement

c- Phase 3 : Lancement du processus d'optimisation

Après avoir introduit la configuration initiale, le processus d'optimisation peut être lancé :

a. Solution initiale

Après une configuration correcte, nous procédons à la recherche de la solution initiale.

La figure (5.18) présente une configuration initiale, où nous retrouvons :

- le vecteur de raccordement des classes avec la classe centrale $Y[i]$,
- la matrice de raccordement des pixels et leurs classe $X[i][j]$.

Dans les deux cas, la valeur 1 s'affiche s'il y a un raccordement, sinon la valeur 0 est affichée.

accueil				Configuration				Projet				Solution Initiale				Maquette du réseau				Solutions				Journal des calculs			
Vecteur implantation des Classes Booléen																											
N° Class		classe 1				classe 2				classe 3																	
Y(i)		1				1				0																	
Matrice de raccordement Booléenne																											
N° pixel \ N° c		Classe1				Classe2				Classe3																	
pixel 1		0				1				0																	
pixel 2		0				1				0																	
pixel 3		1				0				0																	
pixel 4		0				1				0																	

Figure 5.18: AQUAZONE-Optimisation- Génération de la solution initiale

b. Maquette de raccordement

La Figure (5.19) affiche la maquette de raccordement de tous les pixels trouvés avec les classes correspondantes.

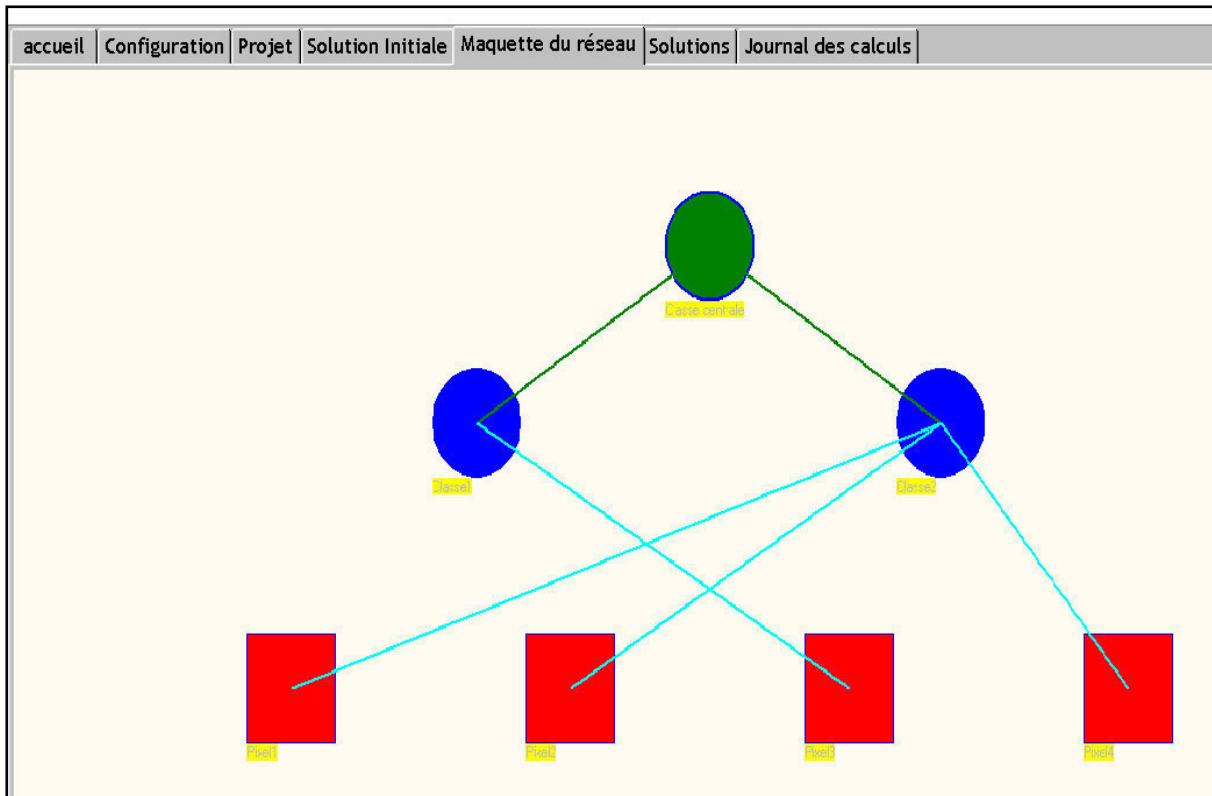


Figure 5.19: AQUAZONE- Optimisation- Maquette du réseau de raccordement

c. Liste Tabou

La figure 5.20 présente le journal de calcul de toutes les solutions voisines.

accueil	Configuration	Projet	Solution Initiale	Maquette du réseau	Solutions	Journal des calculs
<p>TOPOLOGIE INITIALE / -----</p> <p>Le cout d'installation des Classes est de :4</p> <p>Le cout d'installation des pixels est de :9</p> <p>Le cout totale est de :13</p> <p>NOUVELLE TOPOLOGIE / 1 -----</p> <p>Le cout d'installation Classes est de :4</p> <p>Le cout d'installation des Pixels est de:10</p> <p>Le cout totale est de :14</p> <p>NOUVELLE TOPOLOGIE / 2 -----</p> <p>Le cout d'installation des Classes est de :4</p> <p>Le cout d'installation des Pixels est de:14</p> <p>Le cout totale est de :18</p> <p>TOPOLOGIE PRISE / -----</p> <p>Le cout de raccordement des classes est de :4</p> <p>Le cout de liaisons des pixels est de :9</p> <p>Le cout totale est de :13</p> <p>NOUVELLE TOPOLOGIE / 3 -----</p> <p>Le cout d'installation des Classes est de :4</p> <p>Le cout d'installation des Pixels est de:16</p> <p>Le cout totale est de :20</p> <p>TOPOLOGIE PRISE / -----</p> <p>Le cout de raccordement des classes est de :4</p> <p>Le cout de liaisons des pixels est de :9</p> <p>Le cout totale est de :13</p> <p>NOUVELLE TOPOLOGIE / 4 -----</p>						

Figure 5.20: AQUAZONE- Optimisation- Journal des calculs des solutions voisines

3. Discussion des Résultats

Cette section aborde, successivement, l'interprétation des différents résultats obtenus, après application des différents algorithmes.

3.1. Le C-Means Floue

La zone d'Oran est connue pour la variété de ses thèmes et son relief relativement accidenté.

Le **C-Means Floue** permet d'extraire les régions et d'établir la carte d'occupation de la région d'Oran nord et de la région Sebkha [Sek et al, 14d].

Nous avons constaté que l'image multi spectrale Landsat TM 5 d'Oran, contient douze classes de bases qui sont : Brûlis- Céréales- Forêt- Jachère- Maquis- Maraichage- Mer-Ressac- Sable- Sebkha1- Sebkha 2- Urbain.

A partir de tous les essais conduits par AQUAZONE, nous avons noté que le CMF:

- est efficace lorsque la variation de la luminance est trop importante (la notion de texture),
- offre un résultat appréciable, toutefois, il présente deux inconvénients : d'une part, il nécessite un choix préalable du nombre de classes K, et d'autre part, il requière un temps de calcul souvent élevé,
- est efficace, à chaque fois que nous augmentons le nombre de classes, mais nécessite un temps de calcul très élevé. Le problème persiste aussi lorsque nous utilisons des images de grande taille,
- est sensible au choix du degré d'appartenance pour partitionner les régions. Ce choix pose le problème de défavoritisme des régions lorsque nous attribuons des degrés sans connaissance préalable sur le terrain, pour y remédier à ce problème, nous avons reformulé les relations de cet algorithme en ajoutant des connaissances de l'expert, afin d'automatiser le traitement. Les limites du CMF sont surmontées en introduisant l'optimisation par Recherche Tabou.

3.2. La Recherche Tabou

L'optimisation par Recherche Tabou a favorisé l'amélioration de l'efficacité de l'aide à la prise de décision en incorporant les jugements du décideur.

L'intégration de méthodes d'optimisation dans AQUAZONE, a permis de soutenir un décideur ou un groupe de décideurs en réalisant une meilleure **recommandation** pour la résolution d'un problème spatial de décision.

3.3. La LPE par FAH

- La LPE a un avantage remarquable: la plupart des transformations utilisées peuvent être illustrées facilement, même si l'algorithmique sous-jacent est parfois complexe.
- Nous avons remarqué que la LPE donne naissance à un lac moins étendu sur le côté Est, car cette zone est moins profonde (proche des maximas) à mesure que le niveau d'eau augmente et va progressivement inonder les reliefs.

- Reste le problème de la complexité des algorithmes à savoir le CMF et LPE classique. Nous avons mis l'accent sur l'intérêt de mettre en place de nouvelles algorithmiques destinées à réduire les temps de traitement. La LPE par FAH en est une, mais ce n'est pas la seule. Il existe même dans ce domaine de nombreuses approches. Il est fort probable que les solutions retenues dépendront largement de la nature et de la dimension des images traitées.

La motivation de cette étude est d'ordre pratique. Il est, bien sûr, question de segmentation d'Images Satellitales. Toutefois, les algorithmes fondamentaux de la segmentation étaient relativement aisés à présenter et à réaliser, dès lors que les outils morphologiques élémentaires qu'ils utilisent ont été maîtrisés et surtout implantés de façon à ce que leur comportement soit conforme à l'attente des décideurs.

Or, disons-le tout net: entre la définition théorique et son implantation sous forme d'algorithme, il y a parfois un nombre d'à-peu-près tel que nous pouvons légitimement nous demander si nous avons affaire au même objet.

De plus, il ne suffit pas qu'un algorithme fonctionne conformément à son cahier des charges, il faut encore qu'il le fasse le plus rapidement possible. Ces deux exigences apparaissent à beaucoup comme contradictoires. En fait, rien n'est plus faux, nous pouvons très bien concilier le compromis rapidité et exactitude. Et le problème ne se pose pas si les exigences de décision ne sont pas en temps réel.

Par comparaison des résultats obtenus avec les données vérité du terrain, de la région d'Oran, dont nous en avons peu d'informations, et l'évaluation du taux d'erreur de classification réalisée par différentes structures pour différents ensembles d'échantillons, nous avons constaté que l'approche proposée nous donne des résultats satisfaisants.

Les résultats obtenus et les essais réalisés montrent que cette approche est efficace et robuste pour la segmentation en régions des Images Satellitales. C'est pourquoi, un effort particulièrement important a été porté sur la description des fondements de base et leur implantation algorithmique.

Cette étude s'avère bénéfique, car elle permet par la suite de poursuivre l'évolution et le changement de la ligne de partage des eaux, qui est dû à plusieurs facteurs (réchauffement climatique, ou urbanisme, pollution ou autres...). A compléter par des données terrain, celle-ci permettra d'y établir un bilan de l'état global de l'environnement naturel actuel, et donner pourquoi pas une estimation approximative du volume des bassins.

Ce travail nous a permis, dans un premier temps, d'extraire un tracé du bassin Sebkhia et du littoral oranais. L'état des lieux des changements dans l'espace littoral Oranais, et de la Sebkhia peuvent être étudiés grâce au traitement des images satellitaires multi datées.

Les résultats obtenus sont jugés très encourageants et très intéressants et ont montré, en conséquence, l'efficacité et la robustesse de l'approche proposée. Seulement, nous ne

pouvons pas dire précisément quelle sont les meilleurs paramètres à utiliser, car chaque utilisateur exprime ses besoins, et chaque expert possède ses convictions.

Afin de valider plus convenablement l'approche proposée, il faut disposer d'un grand nombre d'images satellitaires récentes.

3. Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté, d'une manière détaillée, notre contribution, la maquette informatique proposée ainsi que les données utilisées relatives à l'application future du système AQUAZONE.

Nous l'avons appliqué à une étude de cas consistant en des images satellitaires réelles d'Oran Nord et d'Oran coté Sebkha captées par le satellite LANDSAT 5.

Enfin, les résultats obtenus sont jugés très encourageants et très intéressants et ont montré en conséquence l'efficacité et la robustesse de l'approche proposée

Conclusion générale

Conclusion Générale

et

Perspectives

1. Synthèse des travaux présentés dans cette thèse

Les SDSS, par leur capacité de gestion, d'analyse, de modélisation et d'affichage de données à référence spatiale, se présentent comme les outils les plus adéquats pour appréhender les problèmes de décision à référence spatiale. Néanmoins, les SDSS actuels décrits dans la littérature, souffrent encore de plusieurs lacunes.

La solution la plus diffusée pour faire évoluer le SDSS vers un outil d'aide à la décision puissant est de l'enrichir par intégration des techniques de fouille de données spatiales ainsi que les méthodes d'optimisation qui, récemment compensent efficacement les insuffisances des SDSS en permettant la modélisation des entités complexes et leur interactions.

L'objectif de cette thèse est l'élaboration d'un modèle décisionnel puissant, dédié à des spécialistes (géographes et thématiciens) ayant de fortes compétences dans la spatialisation des données.

Le SDSS AQUAZONE proposé exploite, simultanément, les systèmes d'information géographique (SIG), les fonctionnalités techniques de télédétection, les modèles mathématiques ainsi que d'autres fonctionnalités de l'aide à la décision. Cette combinaison permet aux décideurs, d'analyser les données, et de visualiser les résultats obtenus sur des cartes thématiques.

Le succès d'AQUAZONE revient à sa capacité de traitement des données à référence spatiale. Il fédère diverses informations dans le but de leur donner une dimension territoire afin de produire et de visualiser des cartes thématiques permettant la gestion des données géographiques pour des fins décisionnelles.

Nous avons abordé dans la présente étude, le problème complexe de l'analyse des scènes satellitaires. Nous avons constaté tout au long de cette étude, que l'aide à la décision par analyse d'images spatiales est un domaine très vaste. Ce dernier implique, d'une part, différents traitements effectués sur les images permettant d'identifier les objets espérés par les décideurs parmi les autres objets existants; et d'autre part, l'ensemble des méthodes d'optimisation permettant d'avoir plus de précision dans la classification, et à rechercher toutes les solutions voisines pouvant servir de recommandations pour les décideurs.

L'introduction de la phase de segmentation par région dans un SDSS facilite l'extraction des objets significatifs dans des images satellitaires.

Dans cette optique, plusieurs algorithmes de segmentation ont été exploités (C-Means Floues, LPE par FAH, Morphologie Mathématique, etc.),

En dépit de la grande diversité des méthodes existantes, nous avons constaté que l'interprétation d'une image dépend fortement de celle de l'optimisation.

Dans cette étude, une optimisation de l'algorithme CMF a été proposée en appliquant la Recherche Tabou, les résultats de la segmentation restent satisfaisants et sensibles à la technique choisie ainsi que les choix initiaux et les convictions des décideurs.

Une méthode générale et automatique est difficile à concevoir étant donnée, la variété des types de régions dans une image donnée.

Notre étude a permis la génération de la carte d'occupation du sol de la région d'Oran, et de détecter ainsi la Ligne de Partage des Eaux (la côte au nord et la grande Sebkhia au sud).

Sur terrain, les résultats des classifications ont montré une grande croissance de l'espace bâti au détriment des espaces nus et des espaces verts (surtout terres agricoles).

L'analyse des images satellitaires multi-dates va permettre de suivre l'évolution des secteurs de l'eau, aussi il serait intéressant d'étudier l'extension urbaine de la ville d'Oran. Ces secteurs d'extension sont très visibles dans l'Est à Bir El Djir, Sud-Est à Es Senia, Sud à Ain El Beida et Sud-Ouest à El Hassi.

D'après les résultats, et les différentes réunions avec les experts du territoire, il est constaté que l'urbanisation dans la zone étudiée d'Oran se fait exclusivement sur des espaces nus. Il est visible sur les résultats obtenus que plus de 1/3 des terres nues ont été consommées. C'est sûr que dans les années à venir l'espace vert (arborée, herbacée) sera au profit de l'extension urbaine

Si la croissance urbaine à Oran n'a pas été faite dans, une grande mesure, au détriment de l'espace vert, ce dernier n'a pas connu un développement suffisant parallèle à l'urbanisation pour réaliser l'objectif d'un développement durable de la ville.

2. Perspectives

Tout d'abord, nous avons répondu aux objectifs fixés puisqu'une démarche décisionnelle générique et une méthodologie complète de segmentation ont été proposées depuis le débruitage et la réduction de dimension en passant par la classification spectrale jusqu'à la segmentation morphologique par LPE.

Nous remarquons que ce qui s'ouvre en perspectives est plus large de ce qui a été accompli puisque, l'analyse des images a surpassé le but qu'elle s'était fixée au départ; ce, qui n'était autre que de remplacer l'observateur humain par la machine.

Les résultats obtenus ne sont pas une fin en soi, au contraire ils nous mènent à poser des questions sur d'autres perspectives plus intéressantes telle, une coopération régions-contours qui met en correspondance les algorithmes proposés et d'autres.

Un certain nombre d'orientations possibles peut être identifié pour l'amélioration d'AQUAZONE. Les développements futurs sont susceptibles d'englober l'ensemble de ces tendances, avec différents groupes d'utilisateurs qui profitent de ces changements. L'amélioration du système proposé en intégrant de nouvelles fonctionnalités, ou en testant d'autres algorithmes de segmentation (Réseaux de Neurones, SVM, Carte de Kohonen, etc.) et d'optimisation (Recuit Simulé, Algorithmes Génétiques, Colonie de Fourmies, etc.), devrait augmenter le nombre d'utilisateurs du SDSS suggéré.

Que ce soit pour la zone d'Oran ou autre, AQUAZONE peut servir un large éventail de domaines d'application surtout dans la gestion des ressources naturelles (la gestion des eaux et de la sylviculture, ou l'exploitation des forêts. Des exemples associés à la sylviculture incluent les plannings de restauration des forêts et boisement, etc.).

Il est aussi, intéressant, d'exploiter AQUAZONE sur des disciplines s'occupant des biodiversités aquatiques, gestion et régulation des côtes et fonds marins, conservation de l'habitat, restauration écologique des zones côtières, etc.

Espérant qu'AQUAZONE apporte une aide à obtenir des éléments de réponse à des questions que se posent les décideurs impliqués dans un processus de décision spatial, et qu'il soit un élément concourant à éclairer la décision en vue de favoriser un comportement des acteurs qui soit de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et ou les systèmes de valeurs au service desquels ces acteurs se trouvent placés d'autre part.

Néanmoins, pour arriver à une classification convaincante et réellement applicable, nous avons besoin de tester l'approche proposée sur plusieurs images Satellitales, ce qui n'est pas le cas malheureusement à cause du manque de données,

Le champ à explorer pour la création des SDSS reste important et prometteur. Nous espérons que cette thèse a permis de poser des bases solides de l'aide à la décision spatiale, et de l'analyse des images multi spectrales.

3. Publications liées à la thèse (Bibliographie Personnelle)

Dans le cadre de la présente thèse, nous avons publié 12 articles dont deux dans des revues internationales, 07 dans des Congrès ou Conférences internationales et 03 dans des workshops et colloques. Ajoutons à cela, les différents rapports de stage et comptes rendu de visites au niveau du laboratoire PRISM (Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines France (2013). Nous présentons, dans ce qui suit, les références des différentes publications concernées, par ordre chronologique.

1. JDLIO, Juin 2011

[Sek et al, 11b]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, "Unsupervised Remote Sensed Classification: FCM Measurement Quality of Classification". Doctorales JDLIO'11, Université d'Oran, 01-03 Juin 2011, Oran Algérie.

2. ICIST, Avril 2011

[Sek et al, 11c]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, « Tabu Search Optimization for FCM Multi Spectral Images Classification (TSOFCM) », ICIST'2011. International Conference on Information Systems and Technologies, 24 au 26 Avril 2011. Tébessa, Algérie.

Voir: <http://www.univ-tebessa.dz/ancien/icist2011/ProgramICIST11.pdf>

3. INTTIC, Mai 2012

[Sek et al, 12a]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, « Remote sensing image classification using fuzzy C-Means and adaptive thresholding) », Des Journées Scientifiques sur les Radiocommunications et Liaisons Spatiales JS/RCLS'12 INTTIC, Oran 12 au 16 mai 2012.

Voir le programme :

<http://www.ito.dz/squelettes/pdf/manifscient/Programme%20JS%20RCLS%2712%20Ver-%20Final.pdf>

4. EGC-AFIHM, Juin 2012

[Sek et al, 12b]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, « Présentation de l'équipe: Modélisation spatio-temporelle et vision artificielle : du capteur à la décision », les Journées communes aux Groupes de Travail EGC (association Extraction et Gestion des Connaissances) et AFIHM (association Francophone d'Interface Homme-Machine) sur la Fouille et Visualisation de Données Massives/Big Data Mining and Visualization Tours- l'Université François Rabelais de Tours, France, Juin 2012.

Voir le programme <http://sites.google.com/site/gtegcafihm/programme>

5. ICIST, Mars 2013

[Sek et al, 13a]

A.Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, "Towards a Neutron Decision Support System: Integration of Fuzzy C-Means segmentation algorithms". International Conférence on Information Systems and Technologies, "ICIST'2013" (Tangier, Morocco)-22, 23, 24 Mars 2013. Voir le programme : http://www.ijist.net/icist13/Program_ICIST%272013.pdf
<http://ardeigroup.e-monsite.com/medias/files/conference-programme-icist-13.pdf>

6. Infodays, Mai 2013

[Sek et al, 13b] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, "Knowledge Discovery in Neutron Radiography: Analyse of Fluide Flows inside Opaque Metallic Systems". 7ème journées scientifiques nationales sur la recherche en informatique. 15-16 Mai- INFODAYS 2013- Chlef Algerie. Voir : <http://www.univ-chlef.dz/infodays/Programme.html>

7. N2C (Image Neutronique), Juin 2013

[Sek et al, 13c]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "Neutron Decision Support System: Analyse of Fluide Flows inside Opaque Metallic Systems". The International Conference and Summer School on Computing, Networking and Communications (N2C 2013), - June 14-15, 2013, Hammamet, Tunisia.

8. N2C (Image Satellitale), Juin 2013

[Sek et al, 13d]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, Remote Sensing Image Classification using Fuzzy c-means and Adaptive Thresholding- The International Conference and Summer School on Computing, Networking and Communications (N2C 2013), - June 14-15, 2013, Hammamet, Tunisia.

9. ICCVIA, Mars 2014

[Sek et al, 14a]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, "Neutron Image Classification using Fuzzy C-Means: Analyse of Fluid Flows inside Opaque Metallic Systems." ICCVIA'2014 IN AURAK-UAE 25-27 March, AURAK, Ras Al Khaimah, United Arab Emirates.

Voir <http://iccvip.org/wp-content/uploads/2014/03/ICCVIA-2014-Program-V5.pdf>

10. ICDSO, Décembre 2014

[Sek et al, 14b]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, Toward a Neutron Decision Support System: Ordered Queue-based Watershed (OQW), Prediction of Fluid Flows inside Opaque Metallic Systems", International Conference on Distributed Systems and Decision-ICDSO 2014, Decembre 2014/http://icdsd14.webege.com/accepted_paper.html

Programme: <http://icdsd14.webege.com/fichiers/program.pdf>

11. Publication, The International Journal of Information Technology and Computer Science (IJITCS), 2015

[Sek et al, 15]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*AQUAZONE: A Spatial Decision Support System for Aquatic Zone Management*", The International Journal of Information Technology and Computer Science, IJITCS Vol. 7, No. 4, March 2015, pp.1-13, Pub. Date: 2015-3-8 DOI: 10.5815/ijitcs.2015.04.01., ISSN: 2074-9015 (Online), 2015

12. Publication, Mediterranean Journal of Computers and Networks, 2014

[Sek et al, 14C]

Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B, A Spatial Decision Support System for Land Cover Map: Application to West-Oran (Algeria) – The Mediterranean Journal of Computers and Networks. 2014, No. : MEDJCN-20141-209.

Troisième Partie

Annexes

Annexe A

La Ligne de Partage des Eaux

Cette annexe aborde la Morphologie Mathématique, d'une manière générale en mettant le point sur la méthode de la Ligne de Partage des Eaux (LPE) qui vient, avec son mode d'emploi, citer les avantages de l'utilisation de la File d'Attente Hiérarchique (FAH) dans la création de la LPE.

Annexe A

La Ligne de Partage des Eaux

1. Introduction

Cette annexe est consacrée à l'algorithme de la Ligne de Partage des Eaux. Technique très puissante issue de la Morphologie Mathématique. Nous détaillerons l'algorithme de la LPE et l'intérêt de l'utilisation d'une File d'Attente Hiérarchique pour réaliser la LPE.

2. Notions élémentaires

La ligne de partage des eaux (LPE) est l'outil de segmentation par excellence en Morphologie Mathématique (MM). Le concept tire ses origines de la topologie et l'hydrologie.

De nombreux auteurs se sont penchés sur cette notion en essayant de mettre en place des algorithmes permettant de la générer à partir de données topographiques, par exemple *Collins en 1975, Puecker & Douglas en 1975*. La transformation par LPE à fins de segmentation d'image est due à S.Beucher [Beu, 79], et pendant les années 80, l'auteur l'a amélioré en élaborant les concepts de marqueur [Beu, 90].

2.1. Technique de l'immersion

Le principe de base de la LPE est simple : L'image initiale est transformée pour extraire le module des gradients, pour ensuite détecter les crêtes correspondant aux contours gradient module LPE (Figure A.1)

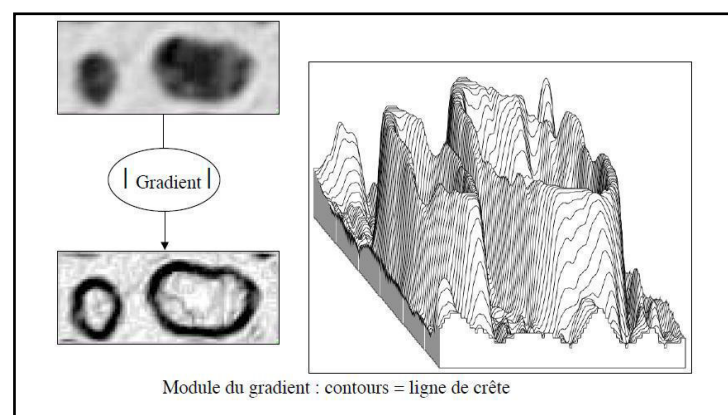


Figure A.1: Contours et module du gradient

L'image est représentée comme une surface topographique, et le niveau de gris comme altitude. Ces paramètres définissent les notions de lignes de crêtes et de bassins versants

illustrées par la (Figure A.2). Nous perçons chaque minimum local de la surface, nous inondons la surface à partir des minima locaux, l'eau montant à vitesse constante et uniforme dans les bassins versants :

- Quand les eaux issues de 2 minima différents se rencontrent, nous montons une digue pour qu'elles ne se mélangent pas.
- A la fin de l'immersion, l'ensemble des digues constitue la ligne de partage des eaux

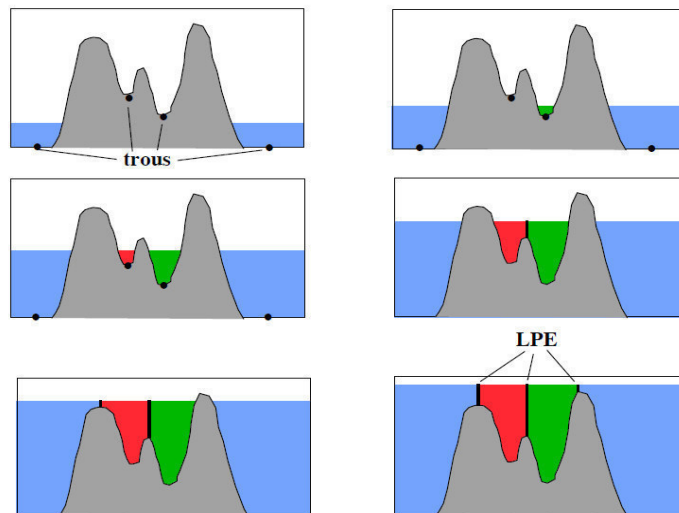


Figure A.2: Principe général de la LPE

- **Minimum local** : point ou plateau d'où nous ne pouvons pas atteindre un point plus bas sans être obligé de remonter
- **bassin versant** : c'est la **zone d'influence** d'un minimum local, une goutte d'eau s'écoulant dans le bassin versant arrive au minimum local
- **Ligne de partage des eaux** : c'est la Ligne séparant 2 bassins versants (=> de cette ligne, une goutte d'eau peut s'écouler vers au moins 2 minima locaux distincts)
- Limite des **zones d'influence** des minima locaux

2.2. Les opérations de la LPE

Dans la littérature abondante de la ligne de partage des eaux, nous retrouvons plusieurs opérations que cette dernière peut réaliser ou doit réaliser pour qu'un résultat s'obtienne. Parmi, nous avons choisis d'utiliser, dans le contexte de cette étude, les opérations suivantes : Les marqueurs, le seuillage et la LPE elle-même.

2.2.1. Les marqueurs

Les objets placés dans une image apparaissent comme des régions à niveau de gris homogène. Ces régions sont mises en évidence par le gradient morphologique, dont les minima définissent en fait des marqueurs. L'idée de l'approche par marqueurs est de contraindre la LPE à considérer un ensemble de marqueurs préalablement et judicieusement choisis. Afin de réaliser cette approche, il faut : dans un premier temps, construire les

marqueurs et ensuite intégrer cette information dans l'image originale. Par la reconstruction géodésique de l'image originale par l'image de marquage, nous obtenons une image modifiée dont les minima correspondent à ceux définis par l'image de marquage. La reconstruction géodésique consiste à reconfigurer les minima d'une image. Le procédé de reconstruction crée une image égale à l'originale dans les zones d'intérêt et élimine les minima non marqués (swamping). Nous opérons alors une LPE sur cette image modifiée. Nous sélectionnons les marqueurs qui seront sources de l'immersion dans la LPE. Il faut qu'un seul minimum du gradient apparaisse à l'aplomb de chaque tache et qu'un seul minimum soit présent dans le fond.

Il existe plusieurs méthodes de type morphologique qui permettent de déterminer de tels ensembles. Parmi ces méthodes, nous citons [Mey, 90]

- Méthode de chapeau de haut de forme
- Méthode des minima h
- Choix manuel des marqueurs

2.2.2. Le seuillage

L'idée de base du seuillage est de supprimer les minima à faible contraste. Nous créons un élément structurant d'une certaine taille. Cela se fait par l'application du chapeau haut de forme [Mey, 91]

3. Construction de la LPE

La définition de la LPE en termes d'inondation présente l'avantage de fournir un algorithme pour sa construction. L'algorithme se base sur la reconstruction des seuils successifs de la fonction f à l'aide du squelette par zone d'influence [Beu, 97]. Si l'on considère la plus petite altitude i_0 correspondant à un seuil $Z_{i_0}(f)$ non vide, $Z_{i_0}(f)$ peut avoir plusieurs composantes connexes, chacune d'entre elles étant alors par définition un minimum régional de la fonction f . Soit Z , une composante connexe de $Z_{i_0+1}(f)$. Il existe alors trois relations possibles en Z et $Z_{i_0}(f)$ (Figure A.3).

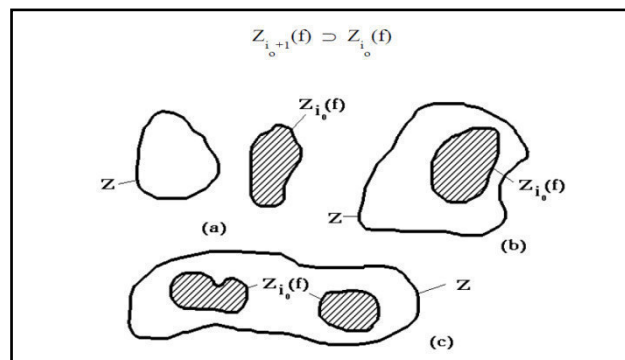


Figure A.3: Relations entre les composantes connexes de deux seuils successifs

$Z_{i_0}(f) \cap Z$ peut être non vide et formé de plusieurs composantes connexes. Dans ce cas, Z est la réunion des eaux provenant des différents minima régionaux composant $Z_{i_0}(f) \cap Z$.

Comme cette jonction n'est pas autorisée, il faut donc construire la LPE séparant ces différents lacs. Pour ce faire, il faut construire les zones d'influence géodésiques de $Z_{i_0}(f) \cap Z$ dans Z (voir figure ci-dessus). Chaque zone d'influence constitue un bassin versant, du moins sa restriction au niveau $i_0 + 1$, associé à chaque minimum régional de $Z_{i_0}(f) \cap Z$. Nous allons reprendre la totalité du seuil de $Z_{i_0}(f) \cap Z$. Ce qui vaut pour une composante connexe de $Z_{i_0}(f) \cap Z$ vaut aussi pour toutes, les bassins versants de f au niveau $i_0 + 1$ seront constitués des zones d'influence géodésiques de $Z_{i_0+1}(f)$ dans $Z_{i_0+1}(f)$ de auxquelles viennent s'ajouter les minima régionaux au niveau $i_0 + 1$. Il suffit alors de réitérer cette procédure de construction pour les niveaux $i_0 + 2, i_0 + 3, \dots$ etc [Mey, 91].

4. LPE par FAH

L'algorithme de la ligne de partage des eaux, en sa version classique, est extrêmement lent. Cela est dû à son fonctionnement avec des opérateurs morphologiques travaillant sur l'image en entier. Sur chaque itération de l'algorithme, tous les points de l'image sont traités. Cependant nous savons que les points méritant l'intérêt sont ceux qui viennent d'être inondés et les susceptibles de l'être. Pour accélérer l'algorithme classique, plusieurs solutions ont été proposées. Par exemple, la réduction du nombre de niveaux de gris par des anamorphoses. Mais cela ne réduit pas le nombre de points à traiter mais uniquement le nombre d'itération. L'utilisation des Files d'Attente Hiérarchiques (FAH) apparaît actuellement comme la meilleure solution pour construire rapidement la LPE d'une image. En effet, cet algorithme mis en place par F.Meyer [Mey, 90] [Mey, 91], est basé sur un processus d'inondation similaire à celui utilisé dans la définition opératoire de la LPE, il est beaucoup plus performant que l'algorithme classique utilisant des opérateurs de morphologie.

4.1. L'algorithme de la LPE par FAH

Une file d'attente hiérarchique peut être utilisée pour réaliser rapidement une LPE d'une fonction f contrôlée par un ensemble de marqueurs M (Figure A.4), chaque marqueur est étiqueté et chaque bassin versant en cours de construction conservera l'étiquette du marqueur générateur. Tout marqueur peut être décomposé en plusieurs composantes connexes dès lors que chaque composante a une étiquette commune. Deux variantes existent pour réaliser une LPE [Beu, 97] :

1. La première, ses bassins versants se touchent et est désignée par ZPE (Zone de Partage des Eaux), car la frontière entre les bassins passe par le.
2. La seconde, les frontières sont matérialisées par certains pixels de l'image.

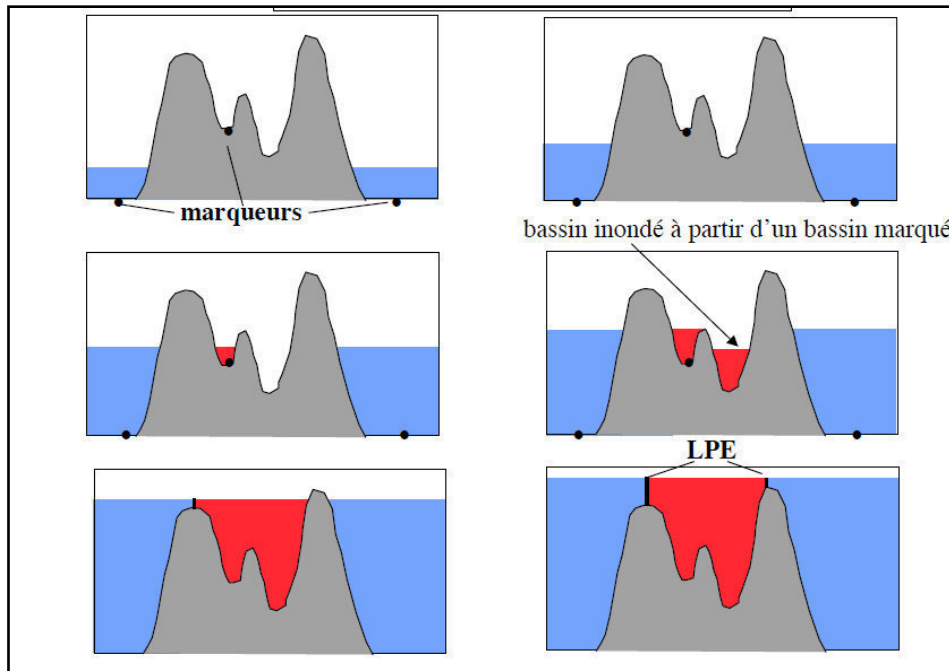


Figure A.4 : L'utilisation des Marqueurs

L'algorithme LPE par FAH opère principalement en deux phases : initialisation et fonctionnement.

4.1.1. Initialisation

Une FAH est créée avec le même nombre de niveaux de priorité que de niveaux de gris dans l'image f . En association à cette FAH, se trouvent deux mémoires d'images : la première contient l'image f et c'est celle-ci qui stock les priorités (niveaux de gris) des pixels. Et deuxième contient les étiquettes des pixels traités, et est appelée mémoire-label et est notée g . L'initialisation de ces deux mémoires se fait au début du processus. La mémoire image est en lecture seule durant le traitement tandis que la mémoire-label sera lue pour alimenter la FAH et écrite en cours de traitement pour la mise à jour des étiquettes. C'est cette dernière qui contiendra les bassins versants étiquetés à la fin de la procédure.

La FAH est initialisée en stockant dans les files d'attente respectives les jetons qui correspondent aux pixels étiquetés dans l'image g . Ces jetons contiennent uniquement les coordonnées du pixel correspondant dans f ou g .

4.1.2. Fonctionnement

Une file d'attente hiérarchique peut être considérée comme une file d'attente multiple. Le traitement des jetons se fait par ordre de priorité lorsqu'ils arrivent dans la file d'attente. Chaque jeton est placé à la fin d'une file correspondant à son niveau de priorité et sera traité après les autres jetons de la même file (principe de la file d'attente FIFO). Dans la FAH (file d'attente hiérarchique), un seul jeton est traité à la fois. Lorsqu'une file est vide, elle est supprimée et elle ne sera jamais reconstituée dans la suite du même processus.

La spécification fonctionnelle d'une FAH se fait par un nombre réduit d'objets :

- Création de la FAH
- Destruction de la FAH
- Insertion d'un jeton dans une file de priorité donnée
- Dépilage de la file

Le fonctionnement de la FAH peut se résumer comme suit:

```
Début
Tant que la FAH n'est pas vide, faire
{
  - extraire un jeton  $x$  de la FAH
  - déterminer les pixels voisins de  $x$  qui n'ont pas d'étiquette dans  $g$ 
  - pour chaque voisin  $y$  non étiqueté, faire
  {
    - assigner à  $y$  dans l'image  $g$  la même étiquette que  $x$ 
    - insérer le jeton  $y$  dans la file d'attente de priorité correspondante au niveau de gris
      de  $y$  dans  $f$  (si elle existe) ou à la file d'attente de plus forte priorité qui existe.
  }
}
Fin.
```

Conclusion

La LPE permet de réaliser des segmentations de très bonne qualité. Nous avons discuté la possibilité d'améliorer l'application de l'algorithme LPE à l'aide d'une file d'attente hiérarchique (FAH). La LPE par FAH présente de nombreux avantages qui expliquent son succès. C'est une transformation facile à comprendre, travaillant directement sur l'image sans passer dans le domaine spectral ou par des représentations complexes. Aussi, la LPE est une transformation non paramétrique. Il n'y a nul besoin de fixer les valeurs de nombreux paramètres pour la réaliser. Cette transformation s'emploie aussi bien sur les images à niveaux de gris que sur les images couleur ou multi-spectrales, et se prête bien aux techniques de segmentation hiérarchique.

Annexe B

Résultats Expérimentaux

Dans cette Annexe, nous présentons une synthèse des principaux résultats obtenus après les différentes expérimentations effectuées dans le contexte de la présente thèse.

Annexe B

Résultats Expérimentaux

1. Introduction

Ce chapitre présente un résumé de tous les résultats obtenus par l'application d'AQUAZONE sur des images satellitales réelles de la ville d'Oran (côté Nord et côté Sebkhha) captées par le satellite Landsat 5.

Le Système permet de traiter sur des régions uniformes et texturé et permet d'extraire automatiquement les différentes régions composantes de la région d'Oran et d'en séparer ses zones aquatiques.



2. Synthèse des Résultats

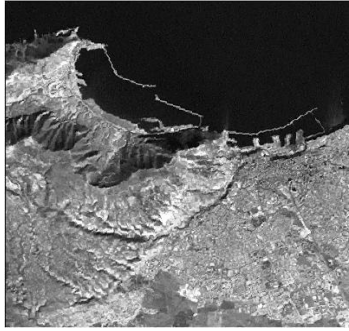



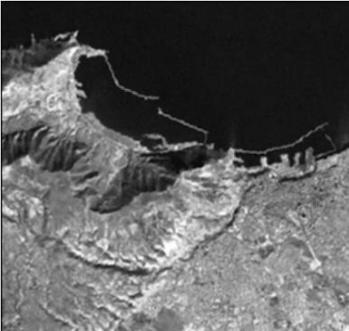



Les résultats sont structurés sous formes de trois tableaux, chacune représente une étape du modèle décisionnel proposé à savoir : (Prétraitement, Traitement CMF, et Traitement LPE)

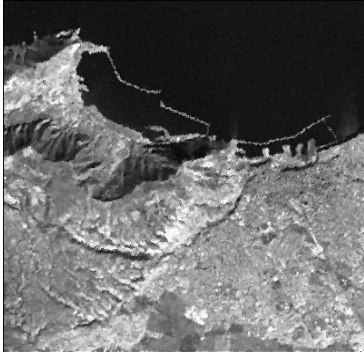

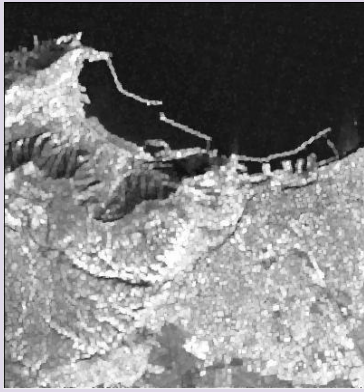

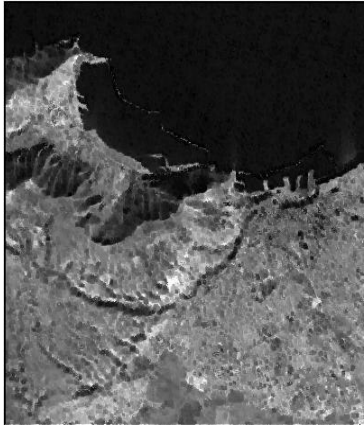

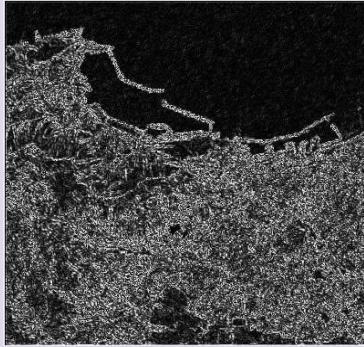
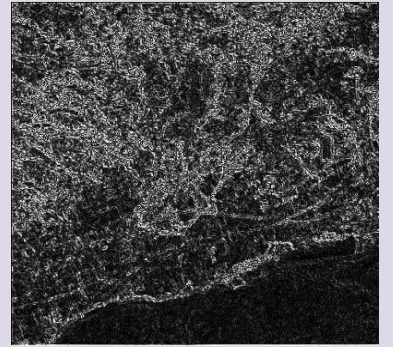
4.1. Résultats de Prétraitement :

Le tableau B.1 suivant résume les différents résultats des prétraitements nécessaires

- Histogramme : Egalisation d'Histogramme, Expansion Dynamique,
- Filtrage:
 - Linéaires : Moyenneur, Smooth, et non linéaires : Médian, Maximum, Minimum
- Détection de contour : Sobel, Prewit, Laplacien,
- Opérateurs Morphologiques : Erosion, Mdif et autres : dilatation, ouverture, fermeture...

	OUTILS	Oran-Nord	Oran-Sebkha
Entrées	Image Originale		
Sorties			

Histogramme	Expansion Dynamique		
	Egalisation histogramme		
Filtre Linéaire	Moyenieur		
	Smooth		

Filtre Non Linéaire	Median		
	Maximum		
	Minimum		
	Sobel		
Détection Contour			

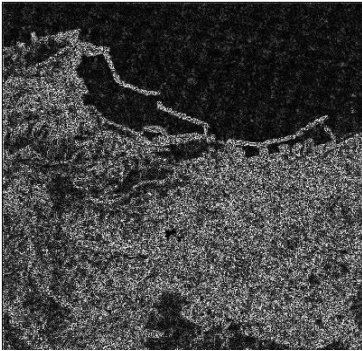
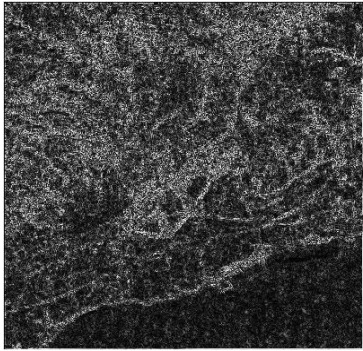
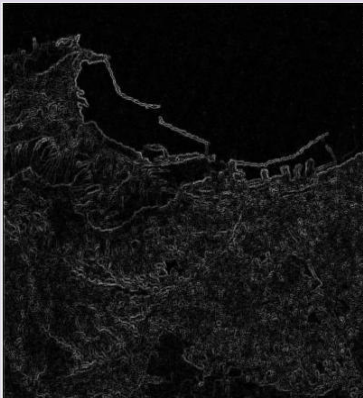
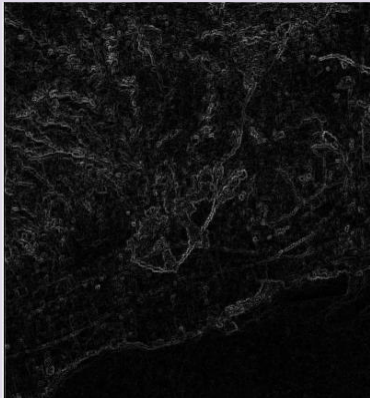


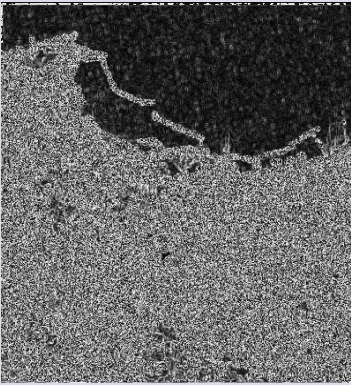
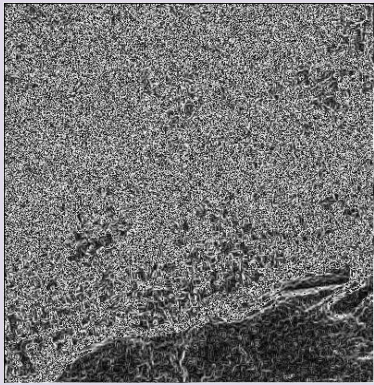


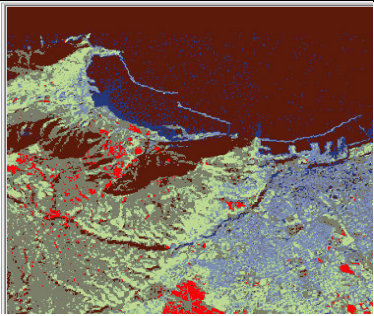
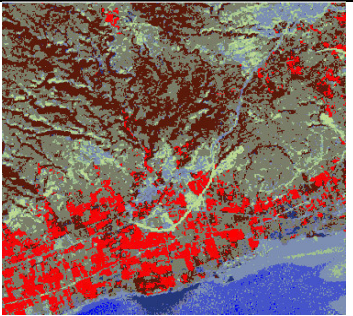
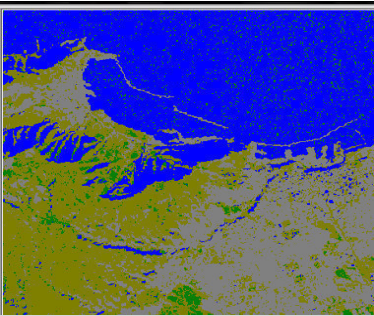
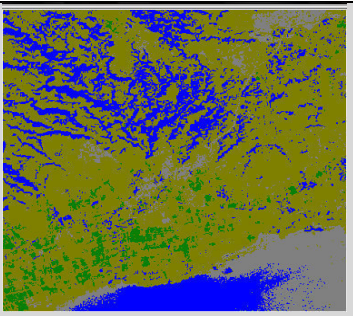
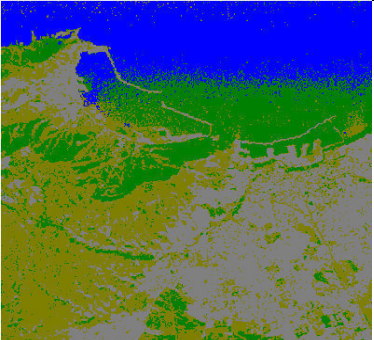
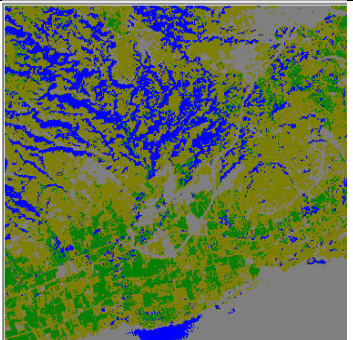
	Prewitt		
	Laplacien		
Morphologie Mathématique	Erosion Binaire		
	MDif		

Tableau B.1 : Synthèse des résultats de Prétraitement

4.2. Résultats C-Means Floues

Le tableau B.2 résume les résultats obtenues par la classification des images satellitaires par CMF, plusieurs jeux de test ont été établis par différents paramètres (nombres de classes et degrés d'appartenances).

Enfin la carte d'occupation du sol de la région d'Oran est établie [Sek et al, 14c].

Entrées Sorties	Oran-Nord	Oran-Sebkha
Image Originale		
CMF Automatique CMF- Automatique		
CMF-Paramétrique Uik équitables.		
CMF-Paramétrique K=4 Uik non équitables.		

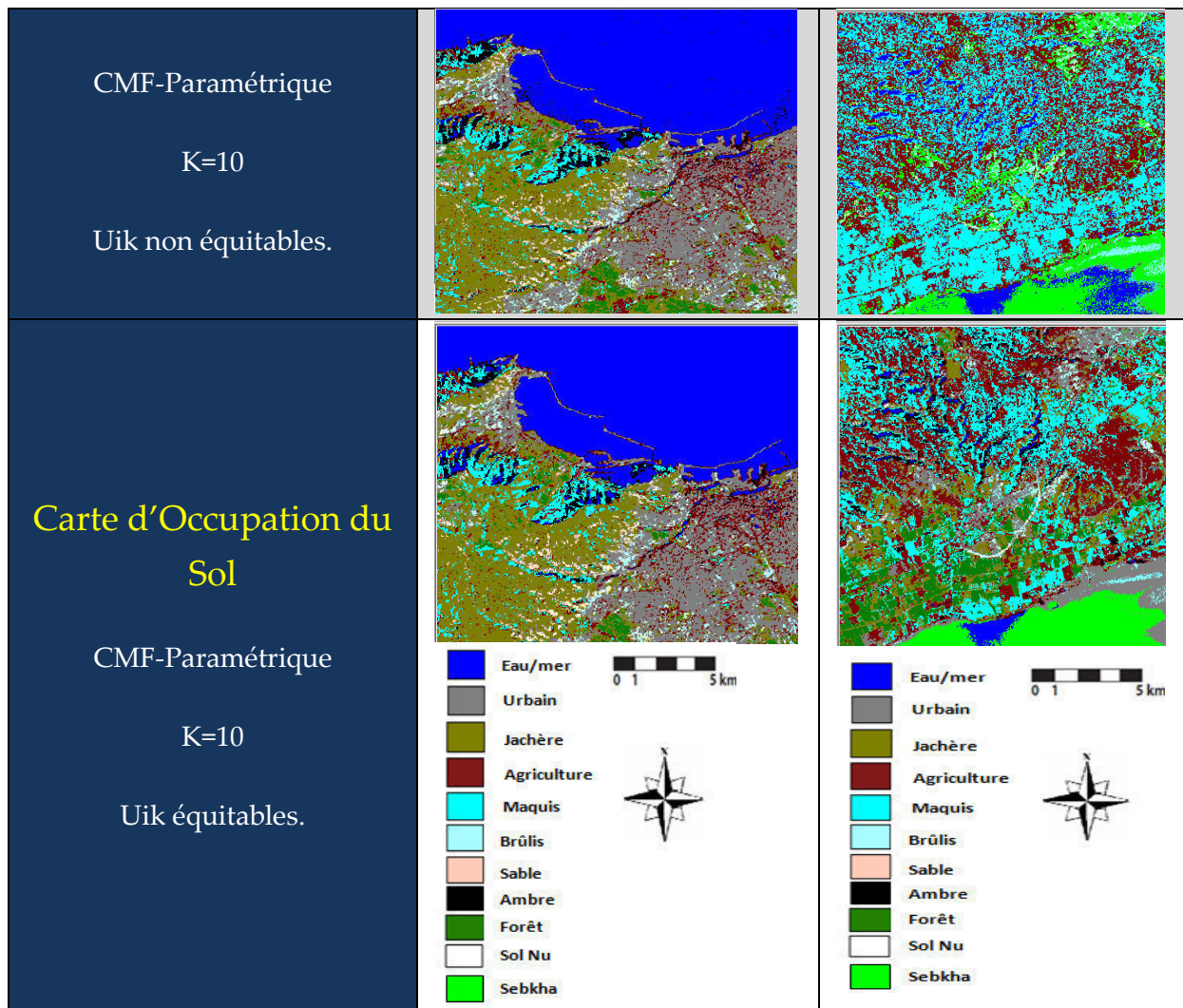


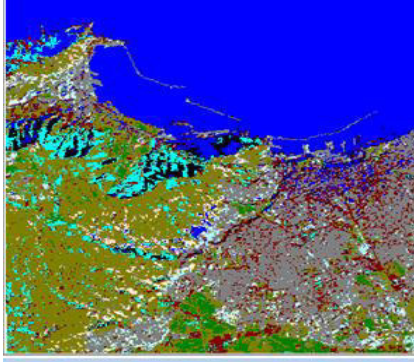
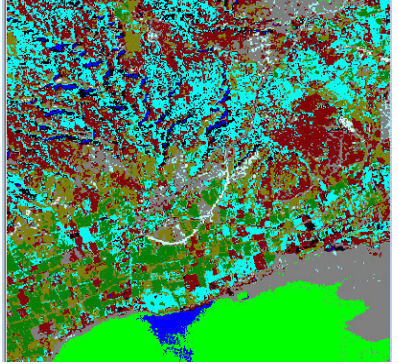
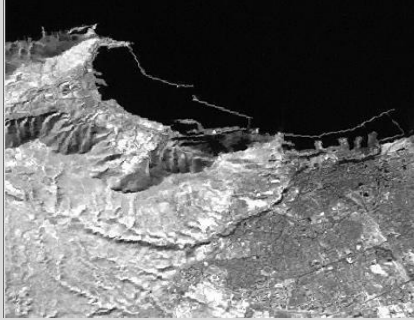

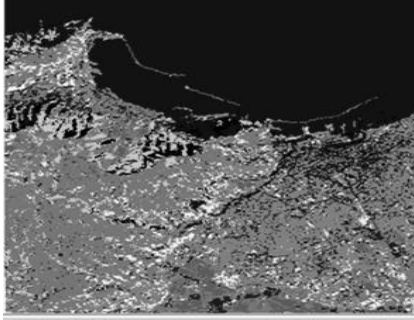





Tableau B.2 : Synthèse des résultats CMF

4.3. Résultat de la segmentation : CMF-LPE par FAH

La fusion consistait d'abord à segmenter l'image originale par le CMF ensuite à transformer le résultat obtenu en niveau de gris pour être enfin segmenter par la LPE par FAH et extraire la ligne de partage des eau [Sek et al, 15] (Tableau B.3).

Étapes	Région Oran Nord	Oran Lac (Sebkha)
1. Image Originale		
2. CMF (K=10) (Meilleur Résultat)		
3. Niveau de Gris Image Originale		
4. Niveau de gris Image Segmenté CMF		
5. Seuillage		



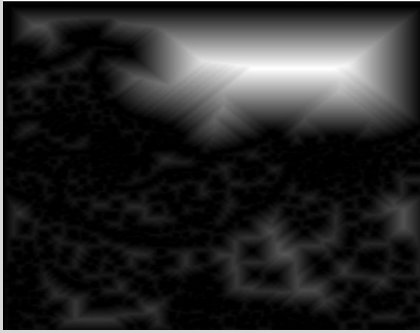
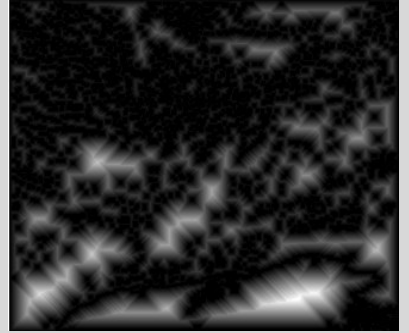
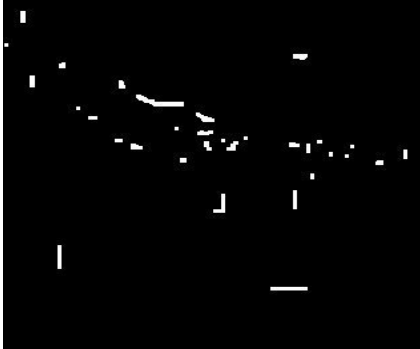
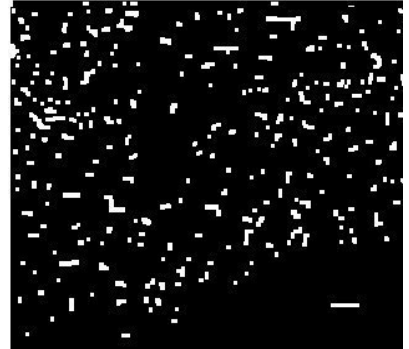
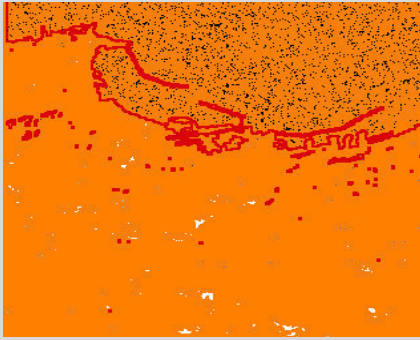
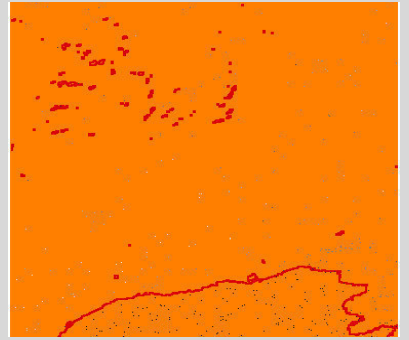


6. Détection de Contour	 A binary image showing the detected contours of a landscape feature, with white lines on a black background.	 A binary image showing the detected contours of a landscape feature, with white lines on a black background.
7. Distance Morphologique	 A grayscale image representing the morphological distance map, showing a bright central region fading to black towards the edges.	 A grayscale image representing the morphological distance map, showing a bright central region fading to black towards the edges.
8. Marqueur	 A binary image showing the detected markers, with white lines on a black background.	 A binary image showing the detected markers, with white lines on a black background.
9. Superposition	 A color image showing the superposition of the contour detection and distance map results, with red and orange tones.	 A color image showing the superposition of the contour detection and distance map results, with red and orange tones.
10. Superposition de la LPE Sur Image Originale	 A color image showing the superposition of the LPE (Landscape Potential Evaluation) on the original image, with red and cyan tones.	 A color image showing the superposition of the LPE (Landscape Potential Evaluation) on the original image, with red and cyan tones.

Tableau B.3 : Résultats- CMF-LPE par FAH

5. Conclusion

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté, d'une manière détaillée, notre contribution, la maquette informatique proposée ainsi que les données utilisées relatives à l'application future du système AQUAZONE.

Nous l'avons appliqué à une étude de cas consistant en des images satellitaires réelles d'Oran Nord et d'Oran coté Sebkha captées par le satellite LANDSAT 5.

La fusion consistait d'abord à segmenter l'image originale par les C-Moyennes Floue ensuite à transformer le résultat obtenu en niveau de gris pour être enfin segmenter par le la Ligne de Partage des Eaux par file d'Attente Hiérarchique (LPE par FAH).

Nous avons aussi présenté notre deuxième contribution, basée sur une fusion de méthodes de Fouille de Données Spatiales et des méthodes d'optimisation, nous avons montré le déroulement d'AQUAZONE avec une étude de cas, appliquant la Recherche Tabou pour l'optimisation de l'algorithme CMF. Cette étape permet d'afficher toutes les solutions voisines.

Enfin, les résultats obtenus sont jugés très encourageants et très intéressants et ont montré en conséquence l'efficacité et la robustesse de l'approche proposée.

Bibliographie

- [Ade et al, 09] Ademiluyi, I., & Otun, W., "Spatial Decision Support (SDSS) and sustainable development of the third world", *J. Sustain. Dev. Africa*, 10(4), pp 200-217, 2009.
- [Aro, 13] Aroussi, S., « Cours Algorithmes Gloutons », Université Saad Dahlab de Blida, <http://fr.slideshare.net/sanaaroussi3/chapitre-v-algorithmes-gloutons>, 2013.
- [Atm et al, 07] Atmani, B., Beldjilali, B., "Knowledge Discovery in Database: Induction Graph and Cellular Automaton", *Computing and Informatics Journal*, Vol. 26, N±2, 2007.
- [Atm et al, 11] Atmani, B., Benamina, M., Beldjilali, B., «Un système cellulaire neuro-symbolique pour l'extraction et la gestion de connaissances ». Conférence EGC: pp 89-94. 2011.
- [Aug, 39] Augustin, B., "Oran étude de géographie et d'histoire urbaines", ISBN , 9789961953310, p. 414, 1939.
- [Ban et al, 01] Bandyopadhyay, S., Pal, S.K., "Pixel Classification Using Variable String Genetic Algorithms with Chromosome Differentiation". *IEEE transaction on geoscience and remote sensing*, Vol. 39, n. 2, pp 303-308. February 2001.
- [Ben, 06] Bentekhici, N., "Utilisation d'un SIG pour l'évaluation des caractéristiques physiques d'un bassin versant et leurs influences sur l'écoulement des eaux (bassin versant d'Oued El Maleh, Nord-Ouest d'Algérie)", Conférence Francophone ESRI, Issy les Moulineaux, SIG, 2006.
- [Ben et al, 12] Benziane, A., Boualla N., Derriche Z., "Aptitude des eaux du bassin de la Grande Sebkhia d'Oran à l'irrigation". *Journal of Applied Biosciences (ISSN 1997 - 5902)*. Vol 56., BIOSCIENCE, pp 4066 – 4074, 2012.
- [Beu, 79] Beucher, S., "Use of watersheds in contour detection", *Proc. Int. Workshop on image processing, real-time edge and motion detection-estimation*, pp. 17–21, 1979.
- [Beu, 90] Beucher, S., "Segmentation d'images Et Morphologie Mathématique". Thèse Doctorat, Centre De Morphologie Mathématique, Ecole Des Mines De Paris, Juin 1990.
- [Beu et al, 93] Beucher, S., Meyer, F., "The Morphological approach To Image Segmentation: The Watershed Transformation". *Mathematical Morphology In Image Processing*, E. Dougherty (ed.), ch. 12, Marcel-Dekker, New York , pp 433-481, 1993.
- [Beu et al, 97] Beucher, S., Lemonnier, F., Saspotas, R., "Réalisation de la ligne de partage des eaux par file d'attente hiérarchique parallèle", étude algorithmique, CMM, Ecole des Mines Paris. 1997.
- [Beu, 10] Beucher, S., "Segmentation d'image et morphologie mathématique ", Cours de Master, St Etienne, CMM, Ecole des Mines Paris Tech, 2010.
http://cmm.ensmp.fr/~beucher/publi/Segmentation_SB_print.pdf.
- [Bez, 73] Bezdek, J.C., "Fuzzy mathematics in pattern classification", Thèse de doctorat, Cornell University, NY, 1973.
- [Bez et al, 85] Bezdek, J. C., Huntsberger, T.L., Jacobs, C.L., Cannon, R.L.: "Iterative fuzzy image segmentation". *Pattern Recognition* Vol 18 pp 131–138, 1985
- [Bez et al, 93] Bezdek, J. C., Hall, L. O., Clarke, L. P., "Review of MR image segmentation

- techniques using pattern recognition”, *Journal Med. Phys.*, Vol 20, pp 1033–1048, 1993.
- [Bez, 11] Bezdek, J. C., “Fuzzy C-means cluster analysis”, *Scholarpedia*, 6(7):2057, (2011).
- [Blo, 99] Bloch, I., « *Morphologie Mathématique* », support de cours, Telecom ParisTech - CNRS LTCI, Paris – France, 1999.
- [Bou et al, 90] Bourguine. P., Lemoigne. J. L., “*Les bonnes décisions sont-elles optimales ou adéquates*”, XII congrès européen de recherche opérationnelle, Athènes, Grèce, 1990.
- [Cha et al, 05] Chakhar. S., Pusceddu. C., “*Un processus pour la prise de décision spatiale*”, ROADEF'2005 Tours, France, Février 2005.
- [Chi et al, 01] Chitoub, S., Houacine, A., Sansal, B., “*Principal component analysis of multispectral image using neural network*”, IEEE International Conference on Computer System and Application, Beirut, pp.89-95, Jun. 2001.
- [Chi et al, 04] Chikh M., Yousfi D., “*Apport des nouveaux outils d’investigations pour les prédictions des inondations*”, Actes des Journées Techniques/ Risques Naturels: Inondation, Prévision, Protection /Batna, 2004.
- [Con et al, 91] Congalton, R. G., Fenstermake, L. K., Lensen, I. R., “*Remote Sensing and Geographic Information System Data Integration: Error Sources and Research Issues*”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 57, No. 6, pp. 677 –687, 1991.
- [Cro et al, 95] Crossland, M.D., Wynne, B.E., Perkins, W.C., “*Spatial decision support system: An overview of technology and a test of efficacy*”. *Decision Support System journal* , Vol 14(3), pp 219-235, 1995.
- [Dar et al, 90] Darken, C., Moody. J., “*Fast adaptive K-means clustering: some empirical results*”, *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, San Diego, pp.233-238, Jun. 1990.
- [Den, 03] Densham, P. J., “*Spatial Decision Support Systems: a research agenda*”. *Proceedings of GIS Conférence* , . 2003.
- [Den, 91] Densham, P. J., “*Spatial Decision Support Systems*”, *Geographical information systems: principles and applications*, London: Longman, pp. 403 – 412, 1991.
- [Dim, 06] Dimzoure L., “*Cartographie des périmètres irrigués de Mogtedo et de Kafiguela à l’aide de Google Earth*”, *Projet GEeau*, 2006.
- [Edi et al, 97] Ediriwickrema, J., Khorram, S., “*Hierarchical maximum-likelihood for improved accuracies*”, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.35, No.4, pp.810-816, 1997.
- [Flo et al, 98] Flouzat, G., Amram, O., Cherchali, S., “*Spatial and spectral segmentation of satellite remote sensing imagery using processing graphs by mathematical morphology*”, *Proceedings IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '98*, Vol. 4, pp. 1769–1771, 1998.
- [Fou et al, 01] Foucault, A., Raoult, J.F., “*Dictionnaire de Géologie*”, Dunod 5è édition, 379p. France, 2001.
- [Gad et al, 06] Gadai, S., Gazel, H., Lekaviciute. J., “*Réalisation d’un système d’information géographique et d’aide à la décision pour optimiser la gestion des ressources forestières*”, *E-geopolis*, 2006. http://e-geopolis.eu/rovg/articles/GAZEL_HERVE_gecorev_06.pdf
- [Gae et al, 08] Gaetan, C., Guyon, X., “*Modélisation et statistique spatiales*”, *Journal Mathématiques et*

- Applications, Vol. 63, Springer, 2008.
- [Glo, 90] Glover, F., "Taboo search: part II". ORSA Journal on Computing, Vol 2(1), pp 4–32, 1990.
- [Glo et al, 95] Glover, F., Kelly, J. P., and Laguna, M., "Genetic Algorithms and Tabu Search: Part I". Computers and Operations Research. Vol. 22, No. 1, pp. 111–134, 1995.
- [Glo et al, 97] Glover, F., Laguna, M., "Tabu Search", Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [Gun et al, 02] Gunnar J.B., Benediktsson, J.A., "Multiple Classifiers Applied to Multisource Remote Sensing Data", IEEE transaction on geoscience and remote sensing, Vol. 40, No. 10, 2002.
- [Guo et al, 08] Guo C., Yu J., "Classification des images satellitales Basé sur l'amélioration Fuzzy C-Means", Geo-Information Science spatiale Journal, Vol 11 (2), pp 90-94, 2008.
- [Haf et al, 05] Hafiane, A., Zavidovique, B., "FCM with Spatial and Multiresolution Constraints for Image Segmentation", Image Analysis and Recognition Lecture Notes in Computer Science, Vol 3656, pp 17-23., 2005.
- [Hal et al, 92] Hall, L.O., Bensaid, A.M., Clarke, L.P., Velthuizen, R.P., Silbiger, M., Bezdek, J.C.: "A comparison of neural network and fuzzy clustering techniques in segmenting magnetic resonance images of the brain". IEEE Trans. Neural Networks, pp 672–681, 1992.
- [Ham et al, 99] Hamimed, A., Mederbal, K. Khaldi, A., "Utilisation des données TM de Landsat pour le suivi de l'état hydrique du couvert végétal en Algérie", Proc. VIIIème Journées Scientifiques de Télédétection, Lausanne, 25-28 Nov. 1999.
- [Ham et al, 07a] Hamdadou D., Labed K., Beldjilali B., "Proposal for a Decision-making process in Regional planning : GIS, Multicriterion Approach, Choquet's Integral and Genetic Algorithms", ERIMA07, European Research on Innovation Management Alliance, Biarritz, France, pp 51-59, 2007.
- [Ham et al, 07b] Hamdadou D., Labed K., Benyettou A., Beldjilali B., "Proposition d'un Processus Décisionnel En Aménagement du territoire: SIG, Approche Multicritère et Algorithmes Génétiques MultiObjectifs". COSI'2007, Colloque sur l'Optimisation et les Systèmes d'Information, Oran, Algérie 2007.
- [Ham et al, 07c] Hamdadou D., Slimani Y., Beldjilali B., "Proposal for a Spatial Decision Support System in Territory Planning : A Hybrid Approach : Linear Programming, Fuzzy Measurement, Multicriterion Methods and GIS", ACIT'2007, the International Arab Conference on Information Technology, Syria, pp 54-60, 2007.
- [Ham et al, 07d] Hamdadou D., Bouamrane K., "A Multicriterion SDSS for the Space Process Control: Towards a Hybrid Approach", MICAI 2007, Mexico, Advances in Artificial Intelligence, LNCS, Springer, ISSN 0302-9743 (Print) 1611-3349, pp. 139 -150, 2007.
- [Ham, 08] Hamdadou D., « Un Modèle pour la prise de décision en Aménagement du Territoire : Une Approche Multicritère et une Approche de Négociation ». Thèse de doctorat en Informatique, université d'Oran, 2008.
- [Ham et al, 09] Hamdadou D., Libourel T., "Couplage approche multicritères et négociation pour l'aide à la Décision en Aménagement du Territoire", Proc. Sageo, Paris, 2009.
- [Ham et al, 12] Hamdadou D., Bouamrane K., "Towards a Multicriteria Spatial Group Decision Support System, Application: Territory Planning", Conférence ICEMCS 2012, IEEE, Tanger, Maroc, 2012.

- [Ham, 13] Hamdadou D., "Méthodologie Multicritères d'Aide à la Décision", polycopié édité, Université d'Oran1, Département d'informatique, 2013
- [Han et al, 97] Han J., Koperski K., and Stefanovic N. "GeoMiner, " A System Prototype for Spatial Data Mining", ACM-SIGMOD International Conference. on Management of Data (SIGMOD'97), Tucson, Arizona, System prototype demonstration, 1997.
- [Han, 01] Hanafi, S. "On the Convergence of Tabu Search". Journal of Heuristics, Vol. 7, pp. 47-58, 2001.
- [Her et al, 95] Hertz, A., Taillard, E. and Werra, D. "A Tutorial on Tabu Search", Proc. of Giornate di Lavarò AIRO'95, 1995.
- [Hil et al, 05] Hillier, F.S., Lieberman, G.J., "Non-linear Programming" and "Meta-heuristics". Chap. 12, 13, Introduction to Operations Research, NY: McGraw-Hill public, 8th Edition, 2005.
- [Ift et al, 03] Iftene, T., Mahi, H., Isabaten, H., "The Kohonen's Network Classification Approach Used For Land Cover Mapping: Case of Oran Area (Algeria)", Télédétection Journal , Vol. 3, n° 2-3-4, pp. 361-372, 2003.
- [Jim et al, 04] Ji, M. Tang, H., "Global Optimizations and Taboo Search Based on Memory. Applied Mathematics and Computation", Applied mathematics and computation journal – Elsevier, Vol. 159, pp. 449 – 457, 2004.
- [Joe et al, 98] Joerin. F., Golay. F., Musy. A., "GIS and Multicriteria Analysis for Land Management", COST C4 Final Conference, 1998.
- [Joe, 02] Joerin. F., "Introduction à l'Aide à la Décision", Présentation, Centre Universitaire d'Ecologie Humaine et des Sciences de l'Environnement, Suisse, 2002.
- [Kai et al, 00] Kaichang D., Deren L., Deyi L., "Remote sensing image classification method study on spatial data mining", Journal Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, Vol. 25, No. 1, pp.43-47, 2000.
- [Kel et al, 90] Keller, J.M., Carpenter, C.L.: "Image segmentation in presence of uncertainty". Int. J. Intelligent Systems , Vol 5, pp 193-208, 1990.
- [Lab, 07] Labed. K., "Expérimentation des Algorithmes Génétiques Multiobjectifs dans un Processus Décisionnel Multicritère en Aménagement du Territoire", Mémoire de Magister, option Informatique et Automatique, Département d'informatique, Laboratoire LIO, Université Es_Senia, Oran, Algérie. 2007.
- [Lao et al, 11] Laoufi, F., Belbachir, A. H., Benabadi, N., Zanoun, A., "A new method of mapping the region of Oran (Algeria) using multispectral remote Sensing" C. R. Geoscience Journal , Vol 343, , pp 653-663, 2011.
- [Lev et al, 89] Levine P., Pomerol J. C. "Systèmes Interactifs D'Aide à la décision et Systèmes Experts-coll», Traité des nouvelles Technologies, série décision assistée par ordinateur", Hermès, Paris, 1989.
- [Li et al, 04] Li P., Xiao, M., "Evaluation of multiscale morphological segmentation of multispectral imagery for land cover classification", , Proceedings IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '04, Vol. 4, pp. 2676-2679, 2004.
- [Luk et al, 06] Lukin, V., Ponomarenko, N., Kurekin, A., Lever, K., Pogrebnyak, O., Fernandez, L.P.S. "Approaches to Classification of Multichannel Images", CIARP 2006, LNCS 4225, pp. 794 – 803, 2006.

- [Man, 06] Manzanera, A., "Cours de morphologie mathématique. Chapitre : filtrage morphologique – analyse granulométrique". ENSTA/LEI. 2006
- [Mau et al, 08] Maulik, M., Bandyopadhyay, S., "Fuzzy Partitioning Using a Real-Coded Variable-Length Genetic Algorithm for Pixel Classification", IEEE transaction on geoscience and remote sensing letters, Vol. 5, N°. 2, 2008.
- [Mey, 90] Meyer, F., "Morphological segmentation", Journal of Visual Communication and Image Representation¹, Vol. 1, pp 21–45, 1990.
- [Mey, 91] Meyer, F., "Un Algorithme Optimal De Ligne De Partage Des Eaux", 8^{ème} Congrès De Reconnaissance Des Formes Et Intelligence Artificielle, pp 847-857, Novembre 1991.
- [Mic, 02] Michel van Caneghem, "Le Voyageur de commerce, Algorithme Branche and Bound, Algorithme Glouton, Methode de recherche locale", Support de cours, E3 : Algorithme et Complexité #4 – cc2002.
- [Mou, 06] Moussa K., "Etude d'une Sebkhia : la Sebkhia d'Oran (Ouest algérien) ", Thèse de Doctorat en Science de la terre, USTO, 2006.
- [Mou et al, 07] Moussaoui, A., Frahta, N., "Algorithmes Neuro-Flous de Segmentation d'Images. IRM." "4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007, November 2007.
- [Noy et al, 07] Noyel, G., Angulo, J., Jeulin. D., "Morphological segmentation of hyperspectral images ". Journal Image Analysis and Stereology, Vol. 26, pp 1--9, 2007.
- [Oul et al, 98] Ould Ahmedou, M. L., Bonnet, N., "Etude comparative de différentes méthodes de classification non supervisée. Application à la segmentation d'images multivariées". Traitement d'information et gestion d'incertitudes dans les systèmes à base de connaissances. Conférence internationale (pp. 1677-1683), 1998.
- [Pen et al, 11] Peng, Y., Zhang, Y., Tang, Y., Li, S., "An incident information management framework based on data integration, data mining, and multi-criteria decision making". Journal Decision Support Systems, Vol 51, Issue 2, pp 316-327, 2011.
- [Pha et al, 00] Pham, D.T. and Karaboga, D. "Intelligent Optimisation Techniques", Genetic Algorithms, Tabu Search, Simulated Annealing and Neural Networks, Springer, New York, 2000.
- [Pic, 96] Pictet J., Dépasser l'évaluation environnementale: procédures d'étude et d'insertion dans la décision globale, Lausanne, PPUR, 160p, 5, 1996.
- [Ram, 01] « Fiche Descriptive Ramsar Des Zones Humides Algérienne D'importance internationale », 4- Sebkhia D'oran (Oran) 23.000 Hectares, 2001.
- [Ree, 93] Reeves, C.R. "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems", Edition John Wiley & Sons, New York, NY, USA, ISBN:0-470-22079-1, 1993.
- [Ric, 99] Richards J., "Remote Sensing Digital Image Analysis", Springer-Verlage, Berlin, 1999.
- [Sek et al, 01] Shekhar, S., Huang, Y., Wu, W., Lu, C.T., "What's Spatial about Spatial Data Mining: Three Case Studies", Conference Data Mining for Scientific and Engineering Applications, (ISBN 1-4020-0033-2), 2001.
- [Sek et al, 08] Shekhar, S., Xiong, H., "Encyclopedia of GIS", IEEE Computer Society Press, 2008.
- [Sek et al, 10] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "Remote Sensing Image Classification using Fuzzy C-Means and Adaptive Thresholding", Conférence CECS, Batna, Algérie, 2010.

Références Bibliographiques

- [Sek, 11a] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Un système d'aide à la décision spatiale : fouille de données spatiales et technique de traitement d'image satellitaires*". Mémoire de Magistère, Université d'Oran, Algérie, 2011.
- [Sek et al, 11b] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Unsupervised Remote Sensed Classification: FCM Measurement Quality of Classification*". Journées Doctorales JDLIO'11, Université d'Oran, , Oran Algeria, 01-03 Juin 2011.
- [Sek et al, 11c] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Taboo Search Optimization for FCM Multi Spectral Images Classification (TSOFCM)*", ICIST'2011. International Conference on Information Systems and Technologies, Tebessa, Algérie, 24 -26 Avril 2011.
- [Sek et al, 12a] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Remote sensing image classification using fuzzy C-Means and adaptive thresholding*", Journées Scientifiques sur les Radiocommunications et Liaisons Spatiales JS/RCLS'12 INTTIC, Oran, 12 - 16 Mai 2012.
- [Sek et al, 12b] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Présentation de l'équipe: Modélisation spatio-temporelle et vision artificielle : du capteur à la décision*", les Journées communes aux Groupes de Travail EGC (association Extraction et Gestion des Connaissances) et AFIHM (association Francophone d'Interface Homme-Machine) sur la Fouille et Visualisation de Données Massives/Big Data Mining and Visualization, Université François Rabelais de Tours, - France, Juin 2012.
- [Sek et al, 13a] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Towards a Neutron Decision Support System: Integration of Fuzzy C-Means segmentation algorithms*". International Conference on Information Systems and Technologies "ICIST'2013" (Tangier, Morocco), 22- 24 Mars 2013.
- [Sek et al, 13b] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Knowledge Discovery in Neutron Radiography: Analyse of Fluid Flows inside Opaque Metallic Systems*". 7ème journées scientifiques nationales sur la recherche en informatique. - INFODAYS 2013- Chlef Algérie, 2013.
- [Sek et al, 13c] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Neutron Decision Support System: Analyse of Fluid Flows inside Opaque Metallic Systems*". The International Conference and Summer School on Computing, Networking and Communications (N2C 2013) , Hammamet, Tunisia., 14-15 Juin , 2013.
- [Sek et al, 13d] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Remote Sensing Image Classification using Fuzzy c-means and Adaptive Thresholding*"- The International Conference and Summer School on Computing, Networking and Communications (N2C 2013), - June 14-15, 2013, Hammamet, Tunisia.
- [Sek et al, 14a] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Neutron Image Classification using Fuzzy C-Means: Analyse of Fluid Flows inside Opaque Metallic Systems.*" ICCVIA'2014 Conference, AURAK-UAE 25-27 March, AURAK, Ras Al Khaimah, United Arab Emirates, 2014
- [Sek et al, 14b] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "*Toward a Neutron Decision Support System: Ordered Queue-based Watershed (OQW), Prediction of Fluid Flows inside Opaque Metallic Systems*", International Conference on Distributed Systems and Decision-ICDSD 2014, Decembre 2014

- [Sek et al, 14c] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "A Spatial Decision Support System for Land Cover Map: Application to West-Oran (Algeria)" The Mediterranean Journal of Computers and Networks, No. : MEDJCN-20141-209, 2014.
- [Sek et al, 15] Sekhri. A., Hamdadou, D., Beldjilali, B., "AQUAZONE: A Spatial Decision Support System for Aquatic Zone Management", The International Journal of Information Technology and Computer Science, IJITCS Vol. 7, No. 4, March 2015, pp.1-13, Pub. Date: 2015-3-8 DOI: 10.5815/ijitcs.2015.04.01., ISSN: 2074-9015 (Online), 2015
- [Ser, 82] Serra, J., "Image Analysis And Mathematical Morphology", Academic Press, 1982.
- [Ser, 88] Serra, J., "Image Analysis And Mathematical Morphology. Theoretical Advances". Academic Press, 1988.
- [She et al, 02] Shekhar, S., Schrater, P., Raju, W. R., Wu, W., "Spatial Contextual Classification and Prediction Models for Mining Geospatial Data", IEEE Transactions on Multimedia 4 (2), June 2002.
- [Sim, 77] Simon H., "The New Science of Management Decision", (3rd edition; 1st edition 1960), Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1977.
- [Sma et al, 00] Smahi, Z., Benhanifia, K., Bensaid, K., "Développement d'un algorithme de Correction Atmosphérique Absolue pour les images Satellitaires Multitemporelles, Application pour la Région d'Oran (Ouest d'Algerie)", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol XXXIII, Part B7, Amsterdam 2000.
- [Sof et al, 05] Sofyan, H., Azlin, M.D., Said, M.D., Affan, M., Bawahidi, K., "The Application of Fuzzy Clustering to Satellite Images Data", WSEAS Int. Conf. on REMOTE SENSING, Venice, Italy, (pp117-120), November 2-4, 2005.
- [Soi, 96] Soille, P., "Morphological partitioning of multispectral images", Journal of Electronic Imaging Vol 5, No. 3, pp 252-263, 1996.
- [Soi, 99] Soille, P., "Morphological Image Analysis – Principles and Applications", Springer-Verlag, 1999.
- [Sug, 05] Sugumaran. R., "Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): Evolution, Architecture, and Challenges", Proc. Third Annual SIGDSS, Pre-ICIS Workshop Designing Complex Decision Support: Discovery and Presentation of Information and Knowledge, Las Vegas, Nevada, 2005.
- [Sug et al, 11] Sugumaran R, DeGroot JP. "Spatial Decision Support Systems: Principles and Practices". CRC Press, 2011.
- [Tri et al, 86] Trivedi, M.M., Bezdek, J.C., "Low-level segmentation of aerial images with fuzzy clustering". IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol 16, pp 589-598, 1986.
- [Vin et al, 91] L. Vincent and P. Soille, "Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations", Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 6, pp 583-598, 1991.
- [Xia et al, 08] Xiaoping Liu, Xia Li, Lin Liu, Jinqiang He, and Bin Ai, "An Innovative Method to Classify Remote-Sensing Images Using Ant Colony Optimization". IEEE transaction on geoscience and remote sensing, Vol. 46, N°. 12, December 2008.
- [Yan et al, 06] Yanfei Z., Liangpei Z., Bo H., Pingxiang L.. "An Unsupervised Artificial Immune Classifier for Multi/Hyperspectral Remote Sensing Imagery", IEEE transaction on geoscience and remote sensing, Vol. 44, N°. 2, February 2006.
- [Zei, 06] Zeitouni K. "Fouille de données complexes", support de cours, Master COSY,

- Université de Versailles Saint-Quentin Edition 2005-2006.
- [Zem et al, 15]** Zemri, F., Hamdadou, D., Zeitouni, K., "*Vers un Système d'Aide à la Décision Spatiotemporel et Multicritères pour la Surveillance Epidémiologique*", GAST 2015, Atelier: Gestion et Analyse de données Spatiales et Temporelles de la conférence EGC 2015, Luxembourg, Janvier 2015.
- [Zig et al, 00]** Zighed, D.A., Rakotomalala, R., "*Graphs of induction, Training and Data Mining*", Hermes Science Publication, 2000.

Webographie

- [Web1]** Région d'Oran, Wikipédia <http://fr.wikipedia.org/wiki/Oran>
- [Web2]** <http://www.asal.dz/> site de l'Agence Spatiale Algérienne ASAL.

Résumé

L'utilisation des Systèmes d'Aide à la Décision Spatiale constitue une nouvelle approche pour la spatialisation de l'information et la mise à jour des travaux d'extraction et de cartographie des connaissances utiles, à partir des images satellitales destinés à des fins décisionnelles.

Dans cette thèse, l'objectif principal est de mettre en place un Système d'Aide à la Décision Spatiale nommé AQUAZONE, susceptible d'apporter une aide aux décideurs dans la réalisation des différents projets. Le système proposé permet d'extraire des connaissances utiles à la gestion des ressources naturelles, et délimiter ainsi les zones aquatiques de la région d'Oran, à savoir le lac « Sebkhha » au Sud et le littoral au nord. AQUAZONE intègre les méthodes de traitement et d'analyse d'images de télédétection, depuis les opérations de visualisation jusqu'à l'analyse des résultats. Deux méthodes ont été appliquées à des images Landsat 5 TM de la région d'Oran (Algérie) à savoir le C-Means Flous (CMF), et la Ligne de Partage des Eaux (LPE) par File d'Attente Hiérarchique (FAH). Le CMF sert à découvrir automatiquement les différentes classes et par ailleurs réduire au maximum l'ambiguïté dans les niveaux de gris. Un autre objectif plus spécifique de la présente étude est de reformuler les relations de l'algorithme CMF, en intégrant les connaissances des experts et une technique d'optimisation à savoir la recherche Tabou.

Mots clés— Système d'aide à la décision spatiale, Traitement d'images, Fouille de Données Spatiales, C-Means Flous, Ligne de Partage des Eaux, Image Multi Spectrale, Recherche Tabou

Abstract

During the last years, the Sebkhha Lake of Oran, (Algeria) has been the subject of many studies for its protection and recovery. Many environmental and wetlands experts are a hope on the integration of this rich and fragile space, ecologically, as a pilot project in "management of water tides". Support the large of Sebkhha (Lake) and the Coastline of Oran, is a major concern for governments looking to make this a protected natural area and viable place. The main objective of the current study is to design and develop a Spatial Decision Support System (SDSS), namely AQUAZONE, able to assist decision makers in various natural resource management projects. The proposed system integrates remote sensing image processing methods, from display operations, to analysis results, in order to extract useful knowledge to best natural resource management, and in particular define the extension of Sebkhha Lake of Oran (Algeria). Our approach aims to obtain a good segmentation quality by allowing a minimum amount of user interaction. Two methods are applied to classify LANDSAT 5 TM images of Oran (Algeria): Fuzzy C-Means (FCM) applied on multi spectral images, and the Ordered Queue-based Watershed (OQW). The FCM will serve as an initialization phase, to automatically discover the different classes (urban, forest, water, etc..) from a LANDSAT 5 TM images, and also minimize ambiguity in grayscale and establish Land cover map of this region.

A more specific objective of this study consists to reformulate the relationship of the CMF algorithm, adding expert knowledge and optimization methods. For this purpose, the original problem can be replaced by an equivalent problem, finding the FCM-TS system (Fuzzy C-Means and Taboo Search) in order to automate the processing and determine the best choice among all neighboring solutions.

Key words— Fuzzy C-Means, Image processing, Multi Spectral Image, Spatial Data mining, Spatial Decision support system, Tabu Search, Watershed,

ملخص

تعتبر المياه والغابات مجالات إستراتيجية، بالنظر لتأثيرها الاجتماعي والاقتصادي وعلاقتها بمستقبل البشرية، خاصة أن السنوات الأخيرة تتميز أساسا بالتقلبات المناخية، هذه الظاهرة العالمية يمكن أن تؤدي إلى عواقب وخيمة بما في ذلك جفاف مصادر المياه، وتغيير في مواعيد الإزهار، تملح التربة والمياه الجوفية، وإزالة الغابات وتهديد الساحل والبحيرة في وهران: الشجرة والمياه والبيئة: مسألة تحدي، ويبدو أنه من المفيد وضع إستراتيجية لإدراك أفضل للمستقبل. استخدام أنظمة دعم اتخاذ القرارات الفضائية (بالإنجليزية: SDSS) هو نهج جديد لتحليل المعلومات المكانية واستكمال أعمال رسم خرائط مفيدة من صور الأقمار الصناعية من أجل دعم عملية اتخاذ القرار. الهدف من هذه الدراسة هو تصميم وتطوير نظام دعم اتخاذ القرارات الفضائية AQUAZONE من المحتمل أن يساعد صناع القرار في تحقيق مشاريع مختلفة. يمكن للنظام المقترح، استخراج المعرفة المفيدة في إدارة الموارد الطبيعية وخاصة تحديد المناطق المائية لإقليم وهران، وهي بحيرة "سبخة" في جنوب وهران والساحل في الشمال. النظام المقترح يدمج طرق العلاج وتحليل الصور الأقمار الصناعية، من عمليات العرض حتى التحليل. تم تطبيق طريقتين على صور الساتلييت لاندسات 5 لمنطقة وهران - الجزائر. Fuzzy C-Means (FCM) و Ordered Queue Watershed لاستخلاص مختلف العناصر تلقائيا من صور الساتلييت لاندسات (المناطق الحضرية، والغابات، والمياه، الخ) مساهمتنا الثانية هي إعادة صياغة الخوارزمية CMF، بإضافة معرفة الخبراء، وأساليب التحسين. لهذا الغرض، يمكن استبدال المعايير الأولية بما يعادلها في ما وجد من قبل النظام الثاني المسمى CMF-RT لمعالجة أوتوماتيكية وتحديد الخيار الأفضل من بين جميع الحلول المجاورة.