

N°d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran 2



Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Géologie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN GEOLOGIE

Option : Eau Souterraine et Environnement
(ESE)

THEME

**Classement des sites potentiels d'implantation de
forage de captage d'eau basé sur des évaluations
imprécises (Application : Plateau de Mostaganem, Nord-
Ouest Algérien)**

Présenté par : *M^r MEKEMECHE El Mansour*

Soutenu le : 27/06/2016 devant le jury :

| | | |
|--------------------------------|--|--------------------------|
| <i>Mr. HAYANE Sidi Mohamed</i> | <i>Maitre de Conférence "A", Univ.Oran2,</i> | <i>Président de jury</i> |
| <i>Mme. HADJOU Fatiha</i> | <i>Maitre Assistante "A", Univ.Oran2,</i> | <i>Examinatrice</i> |
| <i>Mme. DEKKICHE Hafida</i> | <i>Maitre Assistante "B", Univ.Oran2,</i> | <i>Encadreur</i> |

Oran, 2016

Résumé

La sélection de sites potentiels pour l'implantation de forage d'eau est un processus difficile, complexe et long, nécessitant l'évaluation de nombreux critères hétérogènes. Dans la plupart des cas, ces évaluations sont vagues et imprécises, c'est ce qu'on appelle variables linguistiques. L'utilisation des particularités qu'offre la logique floue, à savoir, la présentation des évaluations des critères par les nombres flous triangulaires, est incontournable pour la modélisation et l'agrégation de ces connaissances.

Ce mémoire présente d'une part, une méthode de classement, basée sur le principe de la logique floue. D'autre part, il présente l'intégration du résultat de classement dans un SIG, ce qui permet d'aboutir à une carte décisionnelle qui facilite la prise de décision.

Une application est faite sur le plateau de Mostaganem, une carte finale de classement des sites potentiels de forage de captage d'eau est présentée à la fin de ce mémoire.

Mots-clés : Nombre flou ; Variables linguistiques ; Classement de nombres flous ; Système d'Information Géographique ; Site potentiel d'implantation de forage d'eau.

Abstract

The selection of potential sites for drilling water implantation is a difficult, complex and lengthy, requiring the evaluation of many heterogeneous criteria. In most cases, these assessments are vague and imprecise, it is called linguistic variables. The use of features offered by fuzzy logic, namely, the presentation of assessments of the criteria by the triangular fuzzy numbers, is essential for modeling and aggregation of knowledge.

This paper presents on the one hand, a method of ranking, based on the principle of fuzzy logic. On the other hand, it presents the integration of classification results in a GIS, allowing to reach a decision card that facilitates decision-making.

An application is made on the set of Mostaganem, a final map to rank potential sites catchment drilling is presented at the end of this dissertation.

Keywords: Fuzzy number; Linguistic variables; Ranking fuzzy numbers; Geographic Information System; Site potential of water drilling location.

Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers parents, ceux pour que je souhaite une longue
vie « que dieu vous protège »*

A mes chers frères et sœurs, à toute la famille.

A tous mes amis

MANSOUR

Remerciements

Je remercie Allah miséricordieux de m'avoir donné le courage, la force, la patience et la confiance pour bien terminer et d'accomplir ce modeste travail de fin d'étude.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Mme. DEKKICHE. H, mon encadreur, pour m'avoir proposé ce sujet, pour ses conseils et son aide tout au long de la préparation de mon mémoire de fin d'études.

Mes vifs remerciements vont également au Mme. HADJOU. F, qui m'a fait l'honneur pour avoir acceptée d'examiner et de juger ce travail. Leurs remarques et critiques seront les bienvenues. et merci encore une fois pour ses motivations et encouragements et c'est grâce à elle que j'ai pu finaliser ce travail.

Je remercie Mr. HAYANE. S. M, Maître de conférence Univ.Oranz, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury pour sa gentillesse et son accueil chaleureux et de bien vouloir juger ce travail

Je remercie l'ensemble des enseignants du département des Sciences de la Terre de l'Université d'Oran 2 qui ont contribué à ma formation.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I. Système d'information géographique | |
| I.1. Introduction..... | 3 |
| I.2. Définition..... | 3 |
| I.3. Composantes d'un SIG..... | 5 |
| I.4. Fonctionnalités d'un SIG..... | 6 |
| I.5. Types de représentation des données géographiques dans un SIG..... | 8 |
| I.5.1. Les données raster | 9 |
| I.5.2. Les données vectorielles..... | 10 |
| I.6. Avantages et inconvénients des SIG..... | 11 |
| I.6.1. Les avantages..... | 11 |
| I.6.2. Les inconvénients | 11 |
| I.7. Logiciels utilisés..... | 11 |
| I.8. Logiciel ArcGIS..... | 12 |
| I.8.1. Présentation | 12 |
| I.8.2. Géodatabase..... | 14 |
| I.8.3. Géoréférencement en ArcGIS..... | 14 |
| I.9. Conclusion..... | 14 |
| Chapitre II. Généralité sur la logique floue | |
| II.1. Introduction..... | 15 |
| II.2. Historique et définition..... | 15 |
| II.3. Sous-ensembles flous..... | 16 |
| II.3.1. Définition d'un sous ensemble flou | 16 |
| II.3.2. Fonction d'appartenance | 16 |
| II.3.3. Caractéristique des sous ensemble flous | 19 |
| II.3.4. Opérations de base sur les sous-ensembles flous..... | 20 |

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| II.3.5. Variables linguistiques..... | 20 |
| II.4. Classement des nombres flous..... | 22 |
| II.4.1. Introduction..... | 22 |
| II.4.2. Les méthodes pour le classement des nombres flous..... | 22 |
| II.4.3. Méthode de classement des nombres flous utilisée dans cette étude..... | 25 |
| II.5. Conclusion..... | 27 |

Chapitre III. Mise en œuvre et application

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction..... | 28 |
| III.2. Zone d'étude | 28 |
| III.2.1. Localisation du plateau de Mostaganem..... | 28 |
| III.2.2. La morphologie du plateau de Mostaganem..... | 29 |
| III.2.2.1. Frange littorale..... | 29 |
| III.2.2.2. Plateau..... | 29 |
| III.2.3. Hydroclimatologie | 30 |
| III.2.4. Lithostratigraphie et structure..... | 30 |
| III.2.4.1. Lithostratigraphie..... | 30 |
| III.2.4.2. Structure..... | 32 |
| III.2.5 Hydrogéologie..... | 32 |
| III.3. Méthodologie et application..... | 33 |
| III.3.1. Contexte général de l'étude..... | 33 |
| III.3.2. Méthodes de classements des évaluations floues (nombres flous) | 33 |
| III.3.3. Classement des sites potentiels..... | 34 |
| III.3.3.1. Critères de sélection..... | 34 |
| III.3.3.2. Carte de sélection des sites potentiels de forages d'eau..... | 34 |
| III.3.3.3. Notation et classifications des critères..... | 35 |
| III.3.3.4. Notation des sites par rapport au critères..... | 36 |
| III.3.3.5. Pondération des critères..... | 37 |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| III.3.3.6. Calcul de l'indice flou (Fi) approprié à chaque site..... | 37 |
| III.3.3.7. Classement des sites potentiels..... | 39 |
| III.3.4. Intégration de classement des sites potentiels dans un SIG..... | 41 |
| III.4. Conclusion..... | 41 |
| Conclusion générale | 43 |
| Bibliographie | |

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure I.1. Présentation générale d'un SIG..... | 4 |
| Figure I.2. Les composantes d'un système d'information géographique..... | 6 |
| Figure I.3. Fonctionnalités d'un SIG..... | 8 |
| Figure I.4. Schéma général d'un système d'information géographique..... | 9 |
| Figure I.5. Mode de représentation des données géographiques..... | 9 |
| Figure I.6. La représentation des données vectorielles..... | 11 |
| Figure I.7. Vue sommaire de l'environnement d'ArcMap..... | 13 |
| Figure II.1. Fonction d'appartenance trapézoïdale..... | 17 |
| Figure II.2. Fonction d'appartenance triangulaire..... | 17 |
| Figure II.3. Fonction d'appartenance sigmoïde..... | 18 |
| Figure II.4. Fonction d'appartenance gaussienne..... | 18 |
| Figure II.5. Fonction d'appartenance singleton..... | 19 |
| Figure II.6. Exemple de variable linguistique (V_1, X, TV)..... | 21 |
| Figure II.7. Exemple de variable linguistique (V_2, X, TV)..... | 22 |
| Figure III.1. Localisation du plateau de Mostaganem..... | 29 |
| Figure III.2. Carte géologique du plateau de Mostaganem..... | 31 |
| Figure III.3. Carte hydrogéologique du plateau de Mostaganem (DEMRH 1974)..... | 32 |
| Figure III.4. Carte des sites potentiels de forage d'eau [in Mehiris et Ferahta, (2014)]..... | 35 |
| Figure III.5. Fonctions d'appartenance floues de variable linguistique..... | 35 |
| Figure III.6. Carte finale de classement des sites potentiels de forage..... | 41 |

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau III.1. Classification et notation des sites par rapport aux critères..... | 36 |
| Tableau III.2. Notation des sites potentiels par rapport aux critères..... | 36 |
| Tableau III.2. Poids des différents critères..... | 37 |
| Tableau III.4. Indice floue approprié des 16 sites candidats..... | 38 |
| Tableau III.5. Les valeurs de classement des différentes alternatives..... | 40 |

*Introduction
générale*

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource naturelle indispensable aux besoins des êtres vivants. L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, elle a un impact considérable sur les différentes activités humaines.

L'Algérie connaît une petite abondance en eaux souterraines particulièrement dans l'Ouest où une sécheresse perdure depuis longtemps aggravée de faibles possibilités de stockage des eaux de surface. Pour relever ce déficit, l'exploitation des eaux souterraines devient nécessaire et obligatoire. Les forages de captage d'eau peuvent être considérés parmi les méthodes les plus fiables et indispensables pour l'exploitation des eaux souterraines.

Les outils d'aide à la décision tels que les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et les méthodes d'aide à la décision utilisant la logique floue (fuzzy multicriteria decision-making), permettent de guider les décideurs dans leur choix des sites potentiels pour l'implantation de forages de captage d'eau.

L'objectif de cette étude est de développer une cartographie décisionnelle avec un classement des sites potentiels pour l'implantation de forage de captage d'eau en environnement imprécis. La méthode proposée est basée sur l'utilisation d'une carte hydrologique contenant des sites potentiels de forage de captage d'eau répartis sur l'ensemble du plateau de Mostaganem. Cette carte a été établie sur la base des critères "vulnérabilité, recharge, débit et profondeur" [Mehiris et Ferahta, 2014], leurs évaluations pour chaque site potentiel sont imprécises. Ces évaluations se présentent dans la plupart du temps comme des nombres flous.

Le classement des sites potentiels de forage d'eau est établi en utilisant la méthode de classement de nombres flous qui est appelée classement des alternatives par l'ensemble '*maximisé*' et l'ensemble '*minimisé*' avec des poids flous proposée par [Chang et al., 2008]. Une carte décisionnelle est ensuite réalisée avec le logiciel ArcGis.

Ce mémoire est donc organisé comme suit :

Chapitre I : il présente des généralités sur les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et le logiciel utilisé dans cette étude (ArcGIS).

Chapitre II : il présente des généralités sur la logique floue et fait le point sur quelques méthodes de classement floues existants. La méthode de classement des alternatives par

INTRODUCTION GENERALE

l'ensemble '*maximisé*' et l'ensemble '*minimisé*' avec des poids flous, utilisée dans cette étude, est présentée à la fin de ce chapitre.

Chapitre III : ce chapitre présente une application faite sur le plateau de Mostaganem. A l'aide d'une méthode floue (basée sur le principe des nombre floue/ logique floue) et d'un outil SIG (ArcGis10.1) un classement de 16 sites potentiels de captage d'eau est réalisé.

Chapitre I :
système
d'information
géographique

CHAPITRE I : SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

I.1. Introduction

La gestion des ressources en eau et leur conception font largement appel aux connaissances et aux méthodes de l'hydrogéologie.

L'accroissement des besoins en information géographique, qui a suivi l'évolution des préoccupations environnementales, notamment celle en relation avec l'hydrogéologie, combiné à l'évolution technologique des dernières décennies, explique l'essor phénoménal qu'ont connu récemment les systèmes d'information géographique, la plupart se considèrent aujourd'hui comme des outils de gestion environnementale incontournables.

D'une part, les systèmes d'informations géographiques (SIG), grâce à leur diverse fonctionnalité, contribuent à une utilisation plus souple et plus efficace des données hydrogéologiques à caractère spatiale. D'autre part, l'établissement d'une carte hydrogéologique décisionnelle avec un SIG permet de faciliter la gestion de l'environnement et contribue d'une façon active à la prise de décision.

I.2. Définition

Les définitions du terme "système d'information géographique" abondent, faisant tour à tour référence à leurs fonctions de gestion et d'analyse, ou à leurs dimensions informationnelles et technologiques. Celle que nous proposons tente de prendre en considération ces différentes facettes. Le concept de Système d'Information Géographique (S.I.G) est apparu dans les années 1960-1970 avec un premier essai de définition proposé par Tomlinson en 1967.

Un système d'information géographique est donc un système formé d'une base de données numériques structurée en fonction de besoins spécifiques et comprenant des logiciels permettant l'enregistrement, l'interrogation, le traitement, la visualisation et l'analyse de ces données [Sehli, 2009] (Figure I.1).

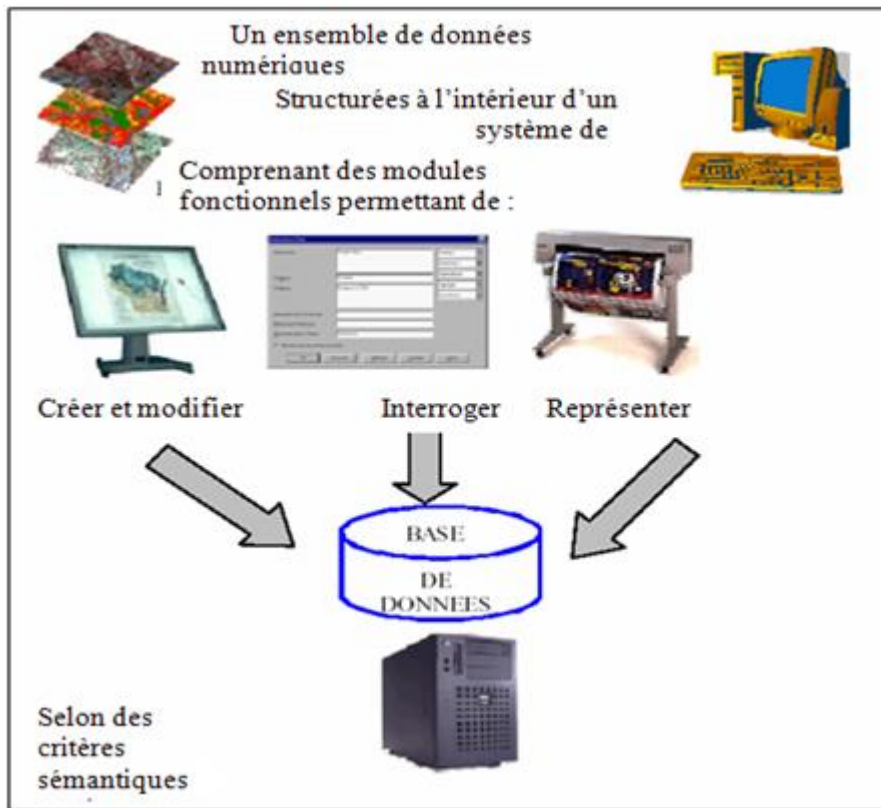


Figure I.1. Présentation générale d'un SIG

Les SIG furent d'abord développés pour répondre à des besoins pratiques découlant entre autres des problèmes suivants :

- **L'analyse** du territoire faite à partir de plusieurs cartes-papier comporte des difficultés découlant des différences de projections cartographiques et d'échelle d'un document à l'autre rendant pénible l'identification précise d'un même lieu sur plusieurs cartes différentes,
- **La mise à jour** des cartes-papier était pénible et coûteuse à cause des nombreuses étapes d'édition, de reproduction et de diffusion, par conséquent, la révision des cartes ne se faisait pas aussi souvent que nécessaire,
- **Les compilations**, même simples, de données cartographiques volumineuses, comme par exemple le calcul de superficie d'une région, ou les calculs de distance, étaient ardues à cause des outils utilisés, soit respectivement le planimètre et le curvimètre,
- **Le lien** entre les attributs descriptifs d'un lieu se faisait cartographiquement, c'est-à-dire en inscrivant sur la carte des abréviations minuscules, ou des symboles

enchevêtrés, traduisant des valeurs associées à des lieux, et rendant difficile la lecture de la carte.

L'évolution continue des SIG accélérée encore par le développement récent d'Internet, permet aujourd'hui aux SIG de répondre à une gamme de besoins très étendue. Le SIG est maintenant devenu un outil permettant de répondre à des problèmes pratiques, mais qui sert également d'appui à des recherches à caractère scientifique.

I.3. Composantes d'un SIG

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composantes majeures (Figure I.2) :

- **Matériel** : les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs. Des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.
- **Logiciels** : les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations. Parmi les principaux composants des logiciels SIG on y trouve les :
 - Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
 - Système de gestion de base de données, outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
 - Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.
- **Données** : les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.
- **Utilisateurs** : un SIG étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter le meilleur résultat.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique.

- **Méthodes** : la mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation

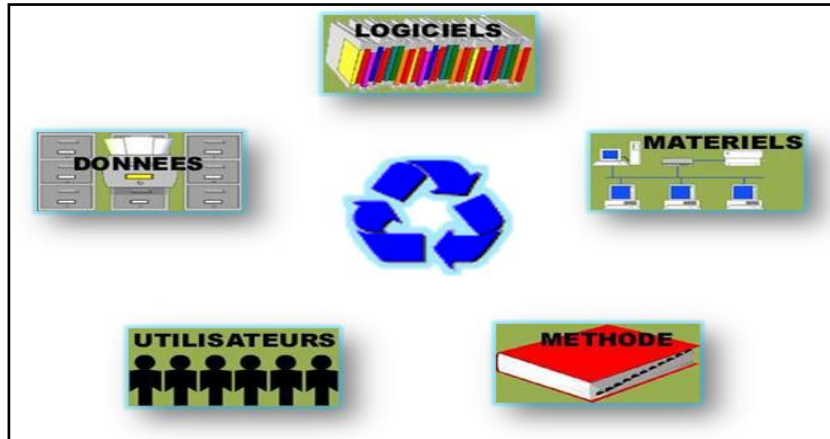


Figure I.2. Les composants d'un système d'information géographique

I.4. Fonctionnalités d'un SIG

La conception et la mise en œuvre d'un système d'information impliquent la structuration d'un mode de réalité. C'est pour cela, qu'on doit disposer de plusieurs langages composés chacun d'un vocabulaire, d'un répertoire de concepts fondamentaux, d'un ensemble de procédures pour communiquer et d'une syntaxe définissant les règles d'assemblage des concepts fondamentaux. On distingue cinq fonctionnalités (Figure I.3) :

- **Acquisition des données**

a) L'information provient de sources multiples

b) Implémentation informatique ; l'acquisition des données géographiques consiste en la numérisation de données brutes en données susceptibles d'être exploitées par ordinateur :

- La digitalisation ;
- La scannérisation (balayage électronique) ;

c) L'importation de fichiers est une opération qui permet de récupérer des données déjà existantes numériquement pour les introduire dans le système.

d) Saisie directe (clavier)

- **Manipulation des données**

Les sources peuvent être d'origine très diverses. Il est donc nécessaire de les harmoniser afin de pouvoir les exploiter conjointement. C'est le cas des échelles, du niveau de

CHAPITRE I : SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

détail, des conventions de représentation, etc. Les SIG intègrent de nombreux outils permettant de manipuler toutes les données.

- Stockage et gestion de données

Il répond aux mêmes besoins d'affichage et de gestion des données qu'un SGBD. Il doit en particulier ;

- Ne pas présenter de redondance de données ;
- Pouvoir accéder à des bases de données constituées par ailleurs et indépendantes de sa base ;
- Assurer l'indépendance, la cohérence, l'intégrité et la sécurité des données spatiales aussi bien que descriptives ;
- Permettre des requêtes faisant intervenir des localisations géographiques des entités ;

- Analyse et traitement des données

Plusieurs traitements et statistiques peuvent être effectués sur les données géographiques dont les plus utiliser :

- a. Statistique ;
- b. Requêtes attributaires ou alphanumériques. En utilisant le langage SQL.
- c. Analyse spatiale ;

- Restitution des données

La restitution des données est l'opération de représenter des résultats de l'extraction ou de l'analyse, sous une forme qui soit compréhensible par l'utilisateur ou par un autre système informatique, les produits dont un SIG est capable de fournir :

- Des cartes ;
- Des tableaux ;
- Des graphiques, des figures, des histogrammes ;
- Des images en particulier, des visualisations en trois dimensions ;
- Capacité de manipuler des bases de données géographiques complexes, comprenant des informations nombreuses et hétérogènes,
- Possibilité de répondre à toutes les requêtes de l'utilisateur, combinant la localisation et les propriétés d'un grand nombre d'objets spatialement référencés,

- Capacité à mémoriser les résultats de requêtes ou d'analyses pour en tirer les renseignements nécessaires à des développements ultérieurs, souplesse suffisante pour s'adapter à un grand nombre d'utilisateurs et d'utilisations spécifiques.

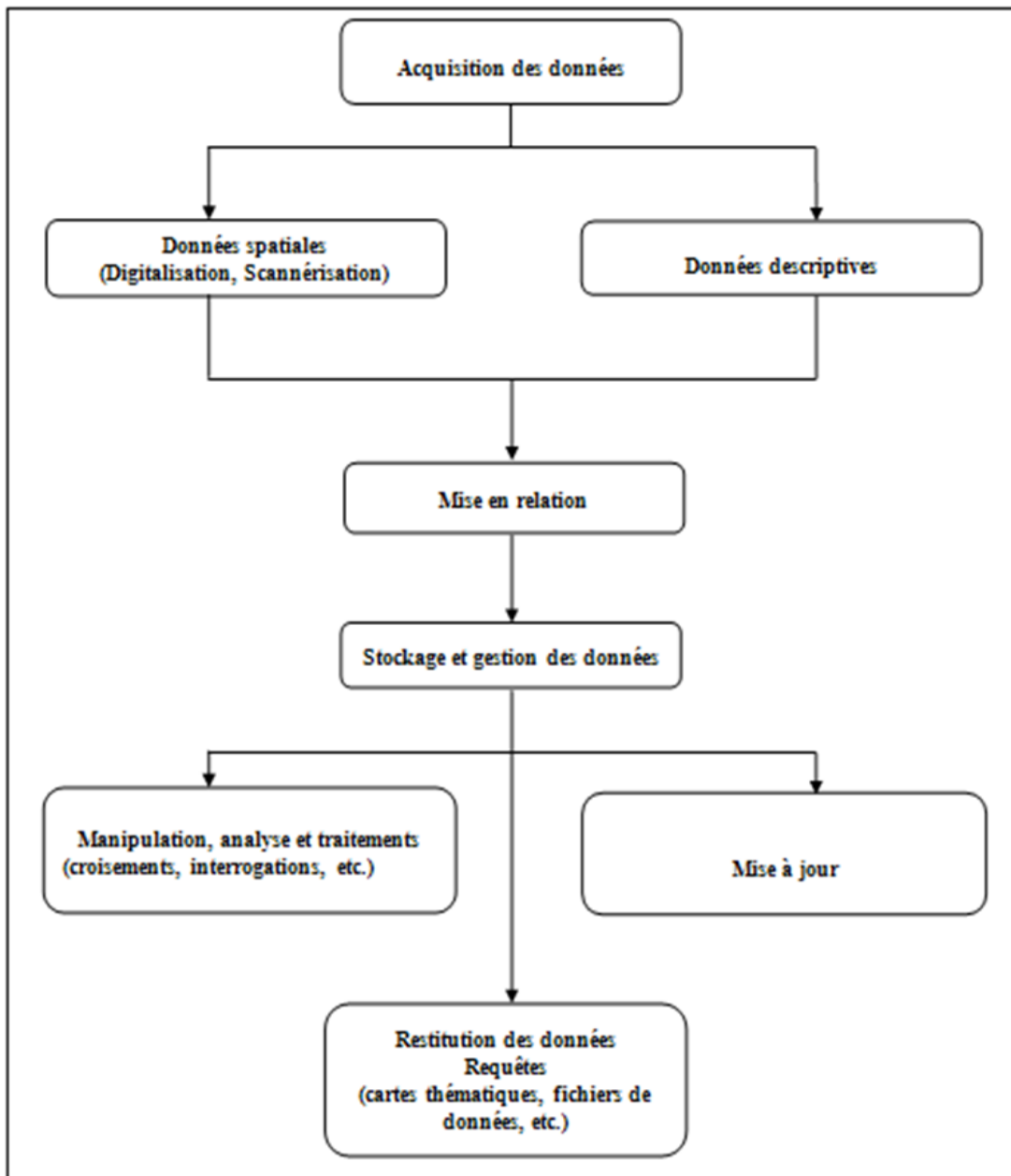


Figure I.3. Fonctionnalités d'un SIG.

I.5. Types de représentation des données géographiques dans un SIG

Les informations d'un SIG sont représentées sous forme de données géographiques qui vont indiquer la forme d'éléments se situant dans l'espace. Les objets géographiques sont organisés en couches (Figure I.4). Généralement, une couche fait référence à un thème (exemple, la couche des eaux superficielles référence l'ensemble des rivières).

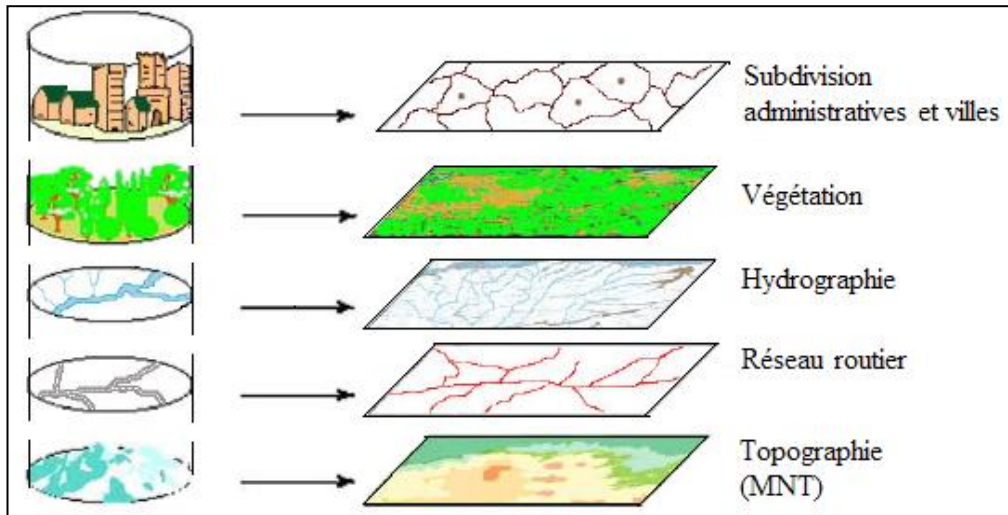


Figure I.4. Schéma général d'un système d'information géographique.

La grande majorité des SIG disponible actuellement sont basés sur deux structures de données qui sont les données raster (grid ou grille) et les données vectorielles (Figure I.5).

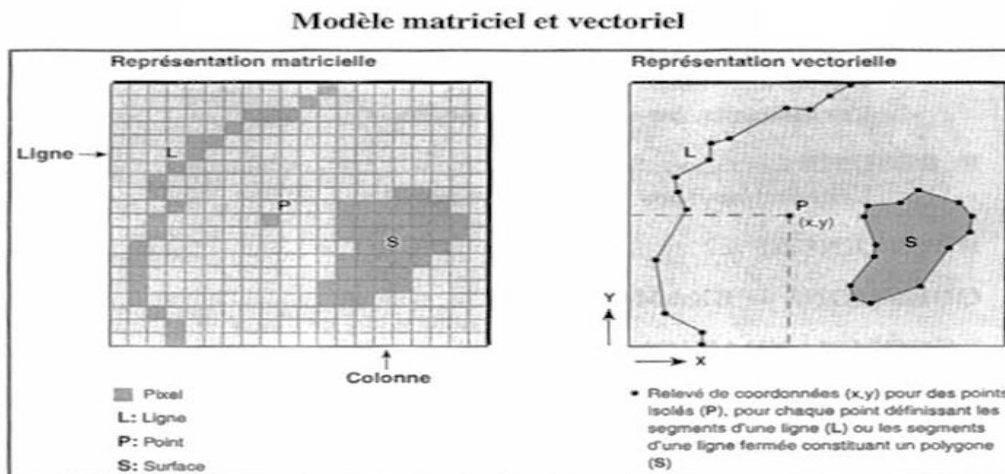


Figure I.5. Mode de représentation des données géographiques.

I.5.1. Données raster

Les données raster sont analogues au mode image, avec une structure composée de pixels individuels. Chaque localisation spatiale possède un pixel d'une certaine taille (résolution), associé à une valeur représentant un attribut (exemple, une altitude, un identificateur de zone ou une couleur). Les données raster peuvent être acquises de diverses manières comme via des scanners optiques, des appareils photos numériques ou des capteurs satellitaires.

Des données vectorielles peuvent également être à la base d'un fichier raster, ce dernier étant alors obtenu par "rastérisation" d'un fichier vectoriel.

Le système matriciel est normalement formé d'éléments de forme et de taille uniformes appelés pixels. (Figure I.5). Ceux-ci, contrairement aux coordonnées X, Y, possèdent une superficie. Les points, lignes et polygones sont donc toujours représentés par des surfaces. C'est le fait de visualiser la matrice qui peut nous renseigner sur le type topologique des différentes entités. Une ligne sera par exemple un long groupe de pixels très étroits.

En résumé, ici, la notion d'entité géographique, de même que la notion d'objet cartographique n'existent pas vraiment. On retrouve simplement des groupes de pixels contigus ayant les mêmes valeurs. Les pixels qui ne correspondent à aucune entité portent souvent zéro comme valeur. Ils sont toutefois présents dans la matrice et occupent le même espace géographique et informatique.

I.5.2. Données vectorielles

Pour représenter les objets de la surface du globe par des données vectorielles, les SIG utilisent trois objets géométriques qui sont les points, des lignes et des polygones. Chaque objet spatial est doté d'identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.

Dans ce type de format on trouve les éléments suivants (Figure I.6) :

- **Les points** définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits.
- **Les lignes** représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être d'écrits par des surfaces (rues ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau.
- **Les surfaces** représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme les pays, des parcelles, des types de sols, etc. Les données vectorielles sont la plupart du temps le résultat de la numérisation manuelle ou semi-automatique.

La topologie entre des objets graphiques ou des entités est également bien plus aisée à représenter dans un format vectoriel. Cela est extrêmement difficile à réaliser avec une structure raster.

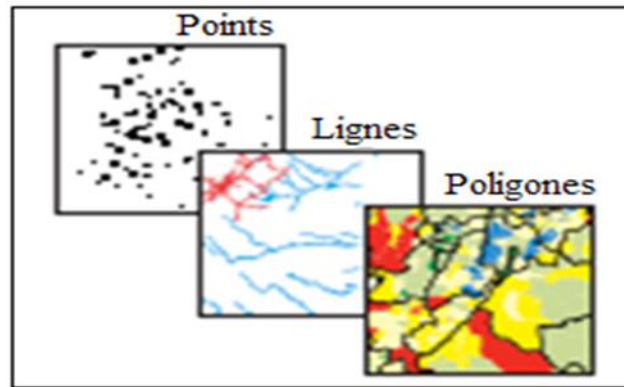


Figure I.6. La représentation des données vectorielles

I.6. Avantages et inconvénients des SIG

Le SIG comprend des fonctions d'analyse automatisées de l'information, destinés à faciliter les tâches d'interprétation simples, mais il reste toujours que ces système d'information présentent certains inconvénients et avantages qui sont résumés ci-dessous:

I.6.1. Avantages

- Les données sont stockées sous forme informatique, donc condensées : elles peuvent être extraites très rapidement et à faible coût.
- L'outil informatique permet d'améliorer la précision et la vitesse d'exécution de certaines opérations réalisables manuellement : certaines mesures de l'espace, les transformations géométriques, la production des cartes sur papier.
- Une mise à jour rapide, voire en temps réel, est possible : elle permet de faire du SIG un outil de suivi.
- Certaines analyses, difficiles voire impossible à réaliser manuellement peuvent être effectués à faible coût : extractions des pentes, valeurs d'ensoleillement, bassins versants à partir de modèle numérique de terrain.

I.6.2. Inconvénients

Le principal inconvénient des SIG est le coût : Le coût d'acquisition du matériel (ordinateur) et du logiciel. Bien plus conséquent est le coût d'acquisition des données analogiques existantes (cartes), conversion de format et prétraitement des données déjà numérisées.

I.7. Logiciels SIG utilisés

Les logiciels de SIG sont aujourd'hui très nombreux. Les sociétés commercialisant des logiciels de SIG les plus connus sont : la société **ESRI** qui commercialise différents produits de la gamme Arc GIS ; la société **ACXIOM** qui commercialise Mapinfo en France ; la société **Intergraph** commercialise le logiciel Geo Media Pro; la société Geo concept commercialise les produits du même nom et Clark Labs avec IDRISI.

I.8. Logiciel ArcGIS

I.8.1. Présentation

ArcGIS est une plateforme logicielle SIG développée par la société ESRI. Cette plateforme correspond à l'intégration de deux produits distincts plus anciens (ArcInfo et Arcview) et exploite, d'une part, le potentiel des nouvelles puissances de calcul disponibles sur le PC de la fin des années 90 et répond, d'autre part, à de nouveaux besoins tels que la gestion des données SIG en réseau et sur internet. Ainsi en 1999 ESRI a réalisé son premier produit d'ArcGIS (ArcGIS 8.x), ensuite ArcGIS 9.x en 2004 et la dernière version est ArcGIS 10.x en 2010.

De plus, il existe différents niveaux de fonctionnalités SIG pour ArcGIS *desktop* :

- **ArcReader** : est un logiciel gratuit permettant de visualiser les contenus (des cartes et requêtes) créés avec ArcGIS. Le logiciel offre également quelques outils de base pour l'affichage de carte, l'impression et l'interrogation des données spatiales.
- **ArcView** : (version SIG de base) permet de créer des cartes, de faire des requêtes spatiales, de modéliser et analyser des données, de mettre à jour des entités, d'intégrer des données ou jeux de données prêts à l'emploi.
- **ArcEditor** : ArcView + fonctionnalité topologique et d'édition, mise à jour multi-utilisateurs.
- **ArcInfo** : ArcEditor + module supplémentaire très puissante, analyses spatiales et modélisation avancées, une gestion complète de la base de données, cartographie haut-de-gamme.

Il existe un certain nombre d'extensions pour ArcGIS *Desktop* qui propose des outils dédiés à des usages thématiques plus particuliers du SIG tels que : *3D Analyst, Spatial Analyst, Network Analyst, Survey Analyst, Tracking Analyst, et Geostatistical Analyst*.

ArcGIS *desktop* se compose de quatre applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox et ArcGlobe.

CHAPITRE I : SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

- **ArcCatalog** est l'application de gestion des données, qui permet de parcourir l'ensemble de données et des fichiers sur l'ordinateur, la base de données, ou autres sources. En plus de montrer les données disponibles, ArcCatalog permet aussi aux utilisateurs de pré visualiser les données sur la carte, offre aussi possibilité de visualiser et gérer les métadonnées de l'aménagement de l'ensemble de données.
- **ArcMap** est l'application utilisée pour visualiser, étudier des données géo spatiales, et créer des cartes.
- **ArcToolbox** contient des outils de géo traitement, la conversion et d'analyse des données.
- **ArcGlobe**: la plupart des fonctionnalités dans ArcGlobe permet d'afficher de grandes quantité de données SIG à la surface d'un globe (visualisation 3D).

En utilisant conjointement ces applications et ces interfaces, vous pouvez effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus sophistiquée, y compris la cartographie, l'analyse géographique, la gestion des données, la visualisation et le géotraitement.

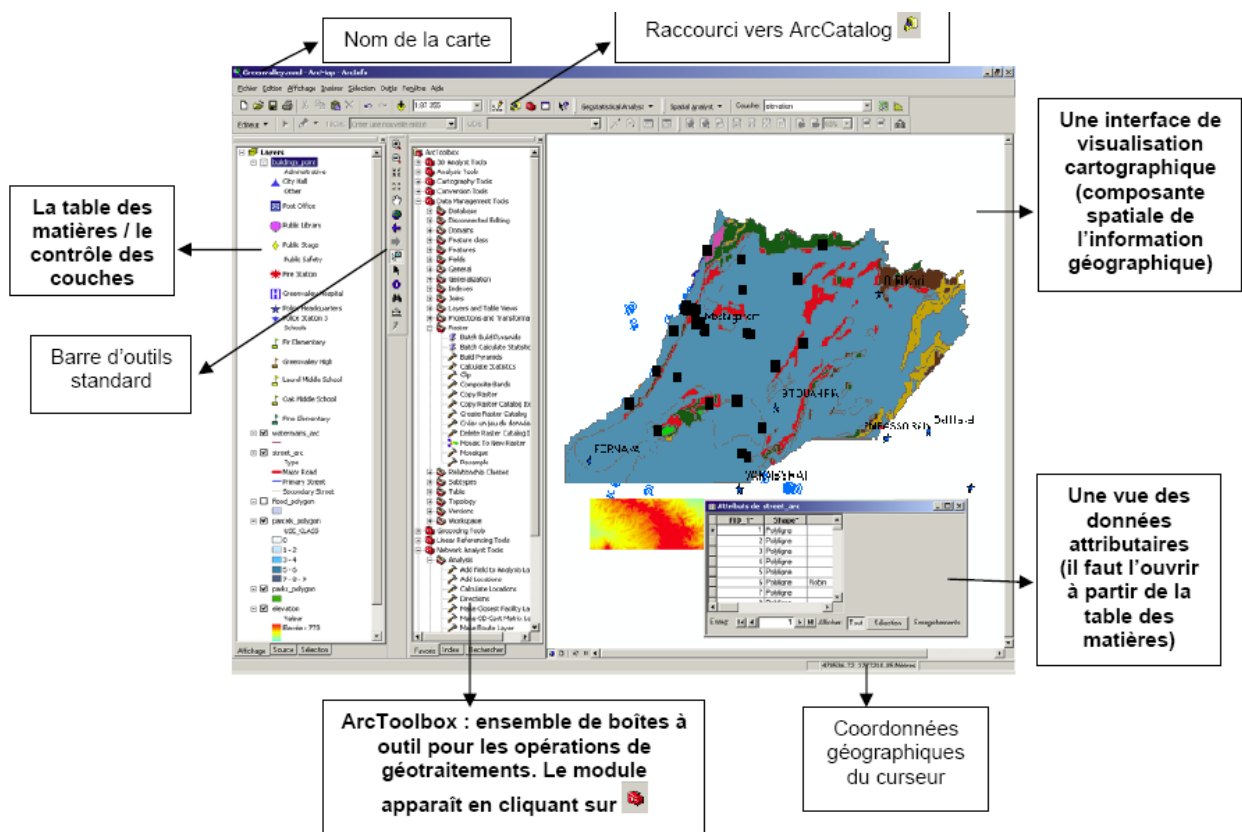


Figure I.7. Vue sommaire de l'environnement d'ArcMap.

I.8.2. Géodatabase

Une géodatabase est une base de données conçues pour stocker, interroger et manipuler les informations géographiques et les données spatiales. Elle correspond à une base de données spatiale optimisée pour la gestion des données raster, des distances euclidiennes en 2 ou 3 dimensions. Les données vectorielles peuvent être stockées sous forme de point, ligne ou polygone, et peuvent avoir un système de référence spatiale associée. L'enregistrement d'une géodatabase peut utiliser un type de données géométriques pour représenter la location d'un objet dans le physique et d'autre type de données plus classique de base de données pour stocker les attributs associés de l'objet (Zeiler, 1999). Certaines géodatabases, tels que celles utilisées par ESRI dans leurs logiciel ArcGIS, peuvent stocker des données raster.

I.8.3. Géoréférencement dans ArcGIS

Les données des SIG, pour être utiles, doivent être géoréférencées ou enregistrées dans un système de coordonnées commun. Le géoréférencement sous ArcMap permet de géoréférencer directement une image raster.

I.9. Conclusion

Ce chapitre a permis de rappeler quelques notions liées aux SIG, avec en particulier la définition du SIG, l'historique, les logiciels SIG et plus particulièrement le logiciel ArcGIS 10.1 utilisé dans cette étude. L'accent a été mis sur les principaux concepts et fonctions du SIG utilisés dans le cadre de cette présente étude : la Géodatabase, le géoréférencement. Cette synthèse montre que les SIG constituent un outil très puissant pour la modélisation et la gestion de l'information géographique. Un tel système est très utile dans un large éventail de situation et de problématique : la planification, la gestion ou la prévision. La capacité du SIG d'organiser les informations spatialisées dans des couches, puis de les combiner avec d'autre couche d'information est la raison pour laquelle le SIG présente un robuste outil décisionnel.

Chapitre II :
généralité sur la
logique floue

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA LOGIQUE FLOUE

II.1. Introduction

Aujourd'hui, l'utilisation de la logique floue dans différentes applications est inévitable. Le manque de données et/ou la disponibilité de données inexactes ou incomplètes, nous amène dans la plupart des cas à l'utilisation de nombres flous ou de variables linguistiques pour formuler ces données et exprimer notre raisonnement usuel. La logique floue apparaît comme une logique graduelle qui se veut être très proche de notre perception nuancée du monde. Elle a pour objectif de proposer des concepts, des techniques et des méthodes formellement rigoureuses pour représenter et traiter des connaissances et des données floues, c'est-à-dire, contenant de l'imprécision sur le contenu de l'information, de l'incertitude sur l'aspect vérité de l'information et la subjectivité [Sbili 1, 2015].

D'autres synonymes tels que connaissance mal spécifiée, mal décrite, imparfaite, vague, qualitative, linguistique, partielle, incomplète, approximative ou approchée, recouvrent cette même acception du flou.

Ce chapitre donne un aperçu général sur la théorie des ensembles flous, il présente ses concepts de base ainsi que les opérations sur les nombres flous couramment utilisées. Il présente aussi les méthodes de classements de nombres flous qu'on retrouve dans la littérature. La dernière partie de ce chapitre développe la méthode de classement de nombres flous utilisée dans l'application de ce mémoire.

II.2. Historique et définition

Depuis longtemps l'homme recherche à maîtriser les incertitudes et les imperfections inhérentes à sa nature. La première réelle manifestation de la volonté de formaliser la prise en compte des connaissances incertaines fut le développement de la théorie des probabilités à partir du XVII^e siècle [Merabti, 2008]. Mais les probabilités ne peuvent maîtriser les incertitudes psychologiques et linguistiques. Puis la logique floue est apparue en 1965 à Berkeley dans le laboratoire de Lotfi Zadeh avec la théorie des sous-ensembles flous, puis en 1978 avec la théorie des possibilités. Ces deux théories constituent aujourd'hui ce que l'on appelle la logique Floue.

La logique floue permet la formalisation des imprécisions dues à une connaissance globale d'un système très complexe et l'expression du comportement d'un système par des mots [Merabti, 2008]. Elle permet donc, la standardisation de la description d'un système et du

traitement de données aussi bien numériques qu'exprimées symboliquement par des qualifications linguistiques.

II.3. Sous-ensemble flou

Dans la théorie ensembliste classique, l'appartenance d'un élément à un sous-ensemble est définie par une valeur logique standard : 1 si l'élément appartient au sous-ensemble, 0 sinon.

Dans la théorie floue, un élément peut appartenir en partie à un sous-ensemble : son degré d'appartenance est décrit par une valeur comprise entre 0 et 1.

II.3.1. Définition d'un sous ensemble flou

Soit X un référentiel ou un espace de points, également, appelé un univers de discours et soit x un élément de X , un sous-ensemble flou A de X est caractérisé par sa fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ qui associe à chaque élément x de X une valeur dans l'intervalle des nombres réels

$$[0, 1] : \mu_A : X \rightarrow [0,1]$$

Ainsi, un sous-ensemble flou A dans X peut être représenté par un ensemble de couples ordonnés, [Sbili, 2015]. Un sous ensemble flou est formulé comme suit :

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\} \text{ avec } \mu_A : X \rightarrow [0,1], \forall x \in X$$

II.3.2. Fonction d'appartenance

Au lieu d'appartenir à l'ensemble « vrai » ou à l'ensemble « faux » de la logique binaire traditionnelle, la logique floue admet des degrés d'appartenance à un ensemble donné. Le degré d'appartenance à un ensemble flou est matérialisé par un nombre compris entre 0 et 1. Une valeur précise de la fonction d'appartenance liée à une valeur de la variable est notée μ et appelée « degré d'appartenance ».

Dans un domaine discret $X = \{x_i / i=1, 2, \dots, n\}$ ou continu, un sous ensemble flou A de X peut être défini par un ensemble de paires : degré d'appartenance / élément.

$$A = \mu_A(x) / x_1 + \mu_A(x_2) / x_2 + \dots + \mu_A(x_n) / x_n \text{ cas discret.}$$

Un sous-ensemble flou A de X est aussi souvent représenté par la notation suivante qui indique pour tout élément x de X son degré $\mu_A(x)$ d'appartenance à A :

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA LOGIQUE FLOUE

$$A = \int_X \mu_A(x) / x \quad \text{Si X est continu}$$

Et

$$A = \sum_{x_i \in X} \mu_A(x_i) / x_i \quad \text{Si X est discret}$$

Les fonctions d'appartenance les plus usuelles sont :

➤ Trapézoïdale définie par :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \geq a - \alpha \text{ ou } x \geq b + \beta \\ \frac{x}{\alpha} + \left(1 - \frac{a}{\alpha}\right) & a - \alpha < x < a \\ 1 & a \leq x \leq b \\ -\frac{x}{\beta} + \left(1 + \frac{b}{\beta}\right) & b < x < b + \beta \end{cases}$$

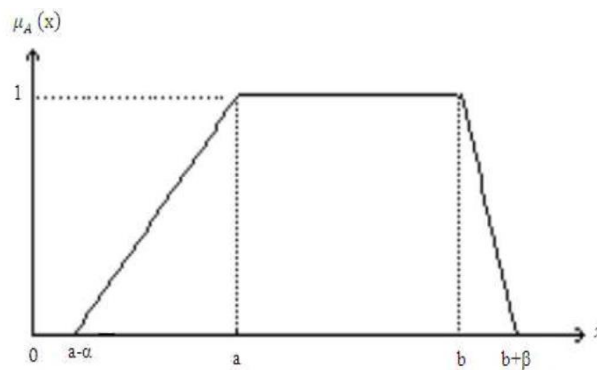


Figure II.1. Fonction d'appartenance trapézoïdale

➤ Triangulaire : elle constitue un cas particulier de la fonction trapézoïdale

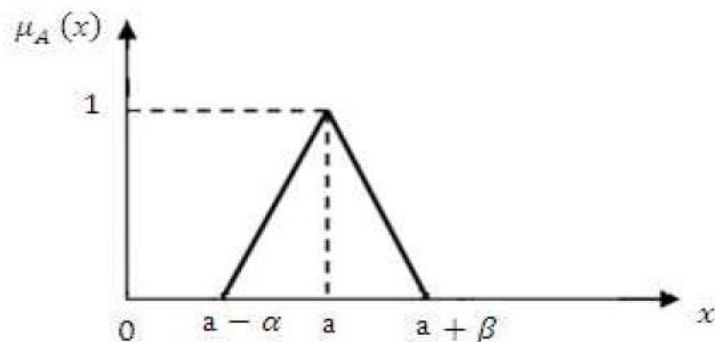


Figure II.2. Fonction d'appartenance triangulaire

➤ Sigmoidale : elle est définie par :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < a - \alpha \text{ ou } x > b + \beta \\ \frac{1}{2(x - a + \alpha)^2} & \text{si } a < x < b \\ \frac{\alpha^2}{2(x - a)^2} & \text{si } a - \alpha < x < a - \alpha/2 \\ 1 + \frac{\alpha^2}{2(x - a)^2} & \text{si } a - \alpha/2 < x < a \\ 1 - \frac{\beta^2}{2(b - x)^2} & \text{si } b < x < b + \beta/2 \\ \frac{2(x - b + \beta)^2}{\beta^2} & \text{si } a + \beta/2 < x < b \end{cases}$$

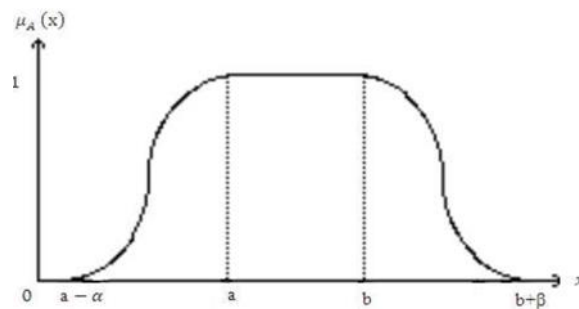


Figure II.3. Fonction d'appartenance sigmoïde

- Gaussienne : cette fonction d'appartenance est définie par :

$$\mu_A(x) = \exp[-(x-m)^2 / 2\sigma^2],$$

Où m est la moyenne de gaussienne et σ sa variance.

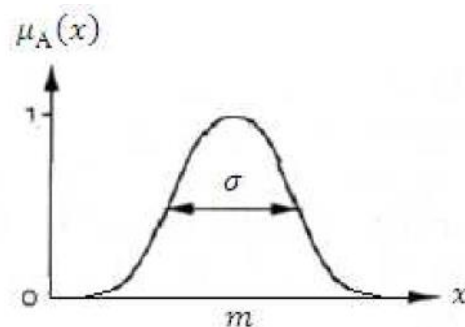


Figure II.4. Fonction d'appartenance gaussienne

- Singleton : elle est définie comme suit :

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x = x_0 \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

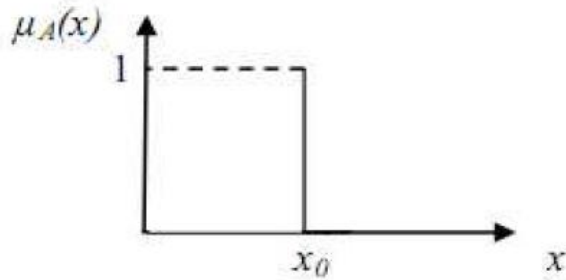


Figure II.5. Fonction d'appartenance singleton

II.3.3. Caractéristiques des sous ensemble flous

Les caractéristiques d'un sous-ensemble flou A de X les plus utiles pour le décrire sont celles qui montrent à quel point il diffère d'un sous-ensemble classique de X ; Elles se présentent comme suit :

- ✚ **Support** : Le support d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est le sous-ensemble (au sens classique du terme) des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance prend une valeur strictement positive. C'est l'ensemble des éléments de X qui appartiennent au moins un peu à A :

$$S(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\}.$$

- ✚ **Point de croisement** : Le point de croisement d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est le sous-ensemble des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance prend une valeur égale à 0.5. C'est l'ensemble des éléments de X qui appartiennent autant à A qu'à son complémentaire :

$$C(A) = \{x | \mu_A(x) = 0.5\}.$$

- ✚ **Noyau** : Le noyau d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est le sous-ensemble des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance vaut 1. C'est l'ensemble des points qui appartiennent intégralement à A :

$$N(A) = \{x | \mu_A(x) = 1\}.$$

- ✚ **Hauteur** : La hauteur d'un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est la valeur maximale prise par la fonction d'appartenance μ_A sur l'ensemble X . C'est le plus fort degré avec lequel un élément de X appartient à A :

$$H(A) = \sup_x \mu_A(x).$$

- ✚ **α -coupe** : Pour toute valeur α de l'intervalle $[0, 1]$, on appelle α -coupe d'un sous-ensemble flou A de X , le sous-ensemble noté A_α des éléments de X pour lesquels la fonction d'appartenance est supérieure ou égale à α :

$$A_\alpha = \{x \in X / \mu_A(x) \geq \alpha\}.$$

Cet sous-ensemble est défini par la fonction caractéristique suivante :

$\chi_{A_\alpha} = 1$ si et seulement si $\mu_A(x) \geq \alpha$. Si nous choisissons $\alpha = 0$, alors A_α est l'univers du discours X . Si nous choisissons $\alpha = 1$, alors A_α est le noyau de A , $N(A)$.

II.3.4. Opérations de base sur les sous-ensembles flous

Supposons que A et B sont deux sous-ensembles flous définis dans un univers du discours X par les fonctions d'appartenance μ_A et μ_B . On peut définir des opérations ensemblistes telles que l'inclusion, l'intersection, l'union et le complément grâce à des opérations sur les fonctions d'appartenance.

- ✚ **Inclusion** : A est dit inclus dans B , propriété que l'on note $A \subseteq B$, si tout élément x de X qui appartient à A appartient aussi à B avec un degré au moins aussi grand :

$$\forall x \in X : \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$$

- ✚ **Intersection** : L'intersection de A et B , que l'on note $A \cap B$, est le sous-ensemble flou constitué des éléments de X affectés du plus petit des deux degrés d'appartenance μ_A et μ_B : $\forall x \in X : \mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$

- ✚ **Union** : l'union de A et B , que l'on note $A \cup B$, est le sous-ensemble flou constitué des éléments de X affectés du plus grand des deux degrés d'appartenance μ_A et μ_B :

$$\forall x \in X : \mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

- ✚ **Complément** : Le complément de A , que l'on note A^c , est le sous-ensemble flou de X constitué des éléments x lui appartenant d'autant plus qu'ils appartiennent peu à A :

$$\forall x \in X : \mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

II.3.5. Variables linguistiques

La description d'une certaine situation, d'un phénomène ou d'un procédé contient en général des qualificatifs flous tels que :

- peu, beaucoup, énormément

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA LOGIQUE FLOUE

- rarement, fréquemment, souvent
- froid, tiède, chaud
- petit, moyen, grand
- etc.....

On modélise des connaissances imprécises ou vagues sur une variable dont la valeur précise est inconnue, (par exemple : «la vulnérabilité du site à la pollution est faible», « la distance entre A et B est entre 200 et 250 mètres » ou encore « le site se trouve à 100m ± 20cm »), par le biais d'une variable linguistique.

Une variable linguistique est un triplet (V, X, T_V) , dans lequel V est une variable définie sur un ensemble de référence X . L'ensemble $T_V = \{A_1, A_2, \dots\}$, fini ou infini, contient des sous-ensembles normalisés de X utilisable pour caractériser V [Bouchon Meunier, 1995].

Exemples :

Variables linguistique V_1

Considérons la superficie d'un terrain comme variable linguistique V_1 , définie sur l'ensemble X des entiers positifs R^+ (figure II.6). Plus la description de la variable est fine, plus le nombre d'éléments qui constituent T_V est grand.

V_1 =superficie, $X=R^+$, $T_V = \{\text{Minuscule, Petite, Moyenne, Grande, Immense}\}$.

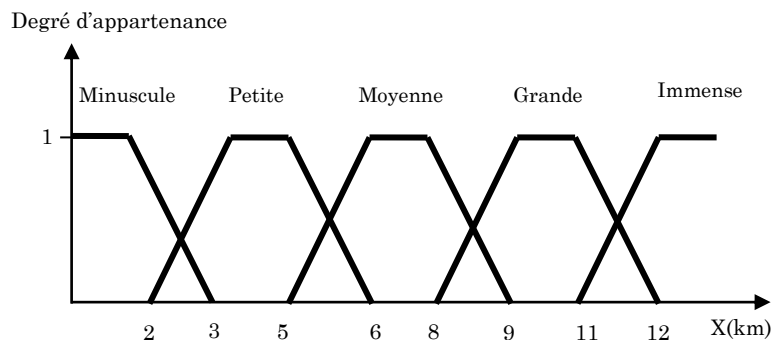


Figure II.6. Exemple de variable linguistique (V_1, X, T_V)

Variables linguistique V_2

La variable linguistique « **Vulnérabilité** » peut appartenir aux ensembles flous « faible », « moyenne » ou « grande ». (Figure II.7)

V_2 =**Vulnérabilité**, $X=R^+$, $T_V = \{\text{faible, Petite, Moyenne, Grande}\}$.

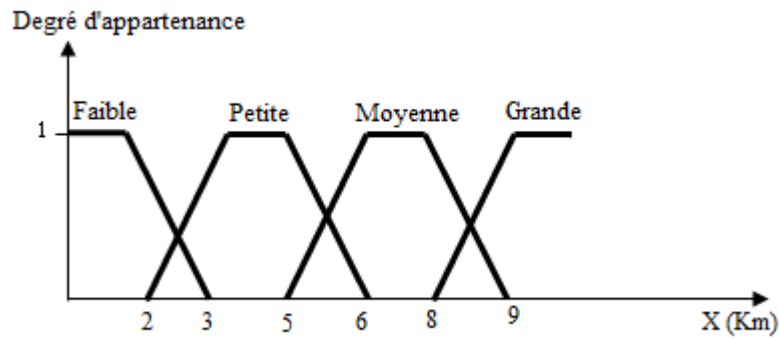


Figure II.7. Exemple de variable linguistique (V_2 , X , TV)

II.4. Classement de nombres flous

II.4.1. Introduction

Dans de nombreuses applications, le classement de nombres flous est un élément important dans le processus décisionnel. En 1976, [Jean, 1976] a employé le concept de maximisation d'ensembles flous pour les classer. De nombreux auteurs ont étudié diverses méthodes de classement, certaines de ces approches de classement ont été comparées et revus par Bortolan et Degani [Allahviranloo, et al., 2011].

Récemment, Chen et Hwang ont explorés les méthodes existantes pour le classement des nombres flous ([Chen et Hwang, 1972] in [Allahviranloo, et al., 2011]).

Wang et Kerre ([Wang et Kerre, 2001] in [Allahviranloo, et al., 2011]) ont proposés certains axiomes comme propriétés raisonnables pour déterminer la rationalité d'une approche de classement des nombres flous. Ils illustrent un large éventail des méthodes de classement des nombres flou existant.

Il existe plusieurs méthodes pour le classement des nombres flous, tels que : les ensembles maximiser et les ensembles minimiser, les points centroïdes, la minimisation de la distance...etc.

Dans la partie qui suit, quelques méthodes de classement de nombres flous sont présentées.

II.4.2. Méthodes de classement de nombres flous

Il existe plusieurs méthodes de classement de nombre flous, à savoir :

- ✚ En 1999 P. Anand Raj et D. Nagesh Kumar [Anand Raj et Nagesh Kumar, 1999] ont proposé une approche de "**Classement des alternatives avec des poids flous par l'utilisation de l'ensemble "maximiser" et l'ensemble "minimiser"**". Cette méthode

est basée sur le classement des alternatives tant qualitatives que quantitatives. Les experts employant dans un environnement multicritère des avis (structure de préférence) en utilisant des nombres flous et variables linguistiques. Les poids flous des alternatives sont calculés en utilisant l'arithmétique floue standard. Le concept de l'ensemble "*maximiser*" et l'ensemble "*minimiser*" sont introduit à l'utilité ou à la valeur totale de chacune des alternatives décidées.

Dans cette méthode, les poids flous des alternatives sont extraits à l'aide de la logique floue. Plusieurs informations fournies par des experts sur les alternatives et les différents critères importants sont pris en compte dans l'étude. Le classement final des alternatives, selon l'utilité des valeurs, est déterminé en utilisant le concept de Maximisation et Minimisation des ensembles proposés par Chen. [Anand Raj et Nagesh Kumar, 1999]. Cette méthode distingue clairement les alternatives.

- ✚ En 2007, Kusum. D et al. [Kusum et al. 2007], ont proposé une méthode de "**Classement des alternatives dans un environnement flou en utilisant la valeur globale**". Dans cette méthode, l'approche de la valeur intégrale avec l'indice d'optimisme du décideur, a été utilisée pour classer les différentes alternatives sur la base des poids flous agrégées. Cette méthode est indépendante du type de fonction d'appartenance utilisée et la normalité de la fonction. En outre, un indice d'optimisme a été utilisé pour tenir compte de l'attitude optimiste du décideur.
- ✚ En 2007, T. Hajjari, et M. Barkhordary [Hajjari et Barkhordary, 2007] ont proposé une méthode de "**Classement des nombres flous par Signe Longueur**". Cette méthode est basée sur le point centroïde des nombres flous.
- ✚ En 2008, Basirzadeh. H et Abbasi. A, [Basirzadeh et Abbasi, 2008] ont proposé une nouvelle approche pour le "**Classement des nombres flous sur la base α -coupe**". Cette méthode peut être utilisée pour tous les types de nombres flous que ce soit normal, anormale ou négative.
- ✚ En 2008, N. Parandina et M. A. Fariborzi Araghib [Parandina et Fariborzi Araghib, 2008] ont proposé une méthode de "**Classement des Nombres Flous par Distance**". Dans cette méthode le point d'un nombre flou centroïde correspond à une valeur de \bar{x}

sur l'axe horizontal et de la valeur \bar{y} sur l'axe vertical. Le point centroïde (\bar{x}, \bar{y}) pour un nombre flou \tilde{A} est défini comme :

$$\bar{x}_{\tilde{A}} = \frac{\int_a^b (xf_{\tilde{A}}^L)dx + \int_b^c xdx + \int_c^d (xf_{\tilde{A}}^R)dx}{\int_a^b (f_{\tilde{A}}^L)dx + \int_b^c dx + \int_c^d (f_{\tilde{A}}^R)dx},$$

$$\bar{y}_{\tilde{A}} = \frac{\int_0^w (yg_{\tilde{A}}^L)dy + \int_0^w (yg_{\tilde{A}}^R)dy}{\int_0^w (g_{\tilde{A}}^L)dy + \int_0^w (g_{\tilde{A}}^R)dy},$$

Où $f_{\tilde{A}}^L$ et $f_{\tilde{A}}^R$ sont la fonction d'appartenance à gauche et à droite du nombre flou \tilde{A} , respectivement, $g_{\tilde{A}}^L$ et $g_{\tilde{A}}^R$ sont la fonction inverse de $f_{\tilde{A}}^L$ et $f_{\tilde{A}}^R$ respectivement aussi. Supposons $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_n$ sont des nombres flous.

D'abord, nous calculons le centre de gravité de l'ensemble des nombres (par exemple si \tilde{A}_i est un nombre flou, le centre de gravité sera $(X_{\tilde{A}_i}, \bar{Y}_{\tilde{A}_i})$. On définit $M = (X_M, \bar{Y}_M)$ et tel que X_M est au maximum de $X_{\tilde{A}_i}$ et \bar{Y}_M est au maximum de $\bar{Y}_{\tilde{A}_i}$, pour $i = 1, 2, \dots, n$.

Maintenant, pour le classement, nous calculons la distance du centre de gravité de tous nombres flous de M comme suit.

$$R(\tilde{A}_i, M) = \sqrt{(x_M - x_{\tilde{A}_i})^2 + (\bar{y}_M - \bar{y}_{\tilde{A}_i})^2}$$

Si \tilde{A}_i et \tilde{A}_j , deux nombres flous sont le classement se fera comme suit:

$$(1) \tilde{A}_i < \tilde{A}_j \Leftrightarrow R(\tilde{A}_i, M) > R(\tilde{A}_j, M),$$

$$(2) \tilde{A}_i \sim \tilde{A}_j \Leftrightarrow R(\tilde{A}_i, M) = R(\tilde{A}_j, M).$$

✚ En 2009, B. Farhadinia [Farhadinia, 2009] a proposé une méthode de "**Classement des nombres flous basé sur la commande lexicographique**", cette méthode développe un modèle pour le classement de nombres flous basé sur l'ordre lexicographique qui fournit aux décideurs un algorithme simple et efficace pour générer une commande fondée à la préséance.

✚ En 2010, Amit Kumar Singh et Amarpreet Kaur Pushpinder [Kumar Singh et Pushpinder, 2010] ont proposé une méthode de "**Classement généralisée des nombres flous Exponentielles à l'aide de la valeur intégrale Approche**", dans cette méthode, en utilise l'approche de la valeur globale. Une formule de classement est

introduite pour comparer les nombres flous exponentielles qui dépend de la hauteur de nombre flou.

- ✚ En 2013, R. Saneifard et S. Nahid [Saneifard et Nahid,2013], ont proposé une nouvelle méthode paramétrique pour le "**Classement des nombres flous basée sur des solutions parfaites positives et négatives**".

Soient A_i et A_j deux nombres flous triangulaires, C_i et C_j sont des proximités par rapport à la solution positive idéale de chaque observation,

Le classement de A_i et A_j par C sur $F \rightarrow R$ est donné par:

- $A_i \succ A_j$ si et seulement si $C(A_i) > C(A_j)$
- $A_i \prec A_j$ si et seulement si $C(A_i) < C(A_j)$
- $A_i \sim A_j$ si et seulement si $C(A_i) = C(A_j)$.

- ✚ En 2015, S. Singh [Singh, 2015], proposa une nouvelle méthode pour le "**Classement des Nombres flous Généralisés**", dans cette méthode on considère les cinq critères, tel que le rang, le mode, la divergence, la propagation gauche ou droite et la hauteur des ensembles flous pour donner un ordre aux nombres flous généralisées.

II.4.3. Méthode de classement de nombres flous par l'ensemble "*maximiser*" et l'ensemble "*minimiser*" avec des poids flous [Chen et Chang, 1994].

Cette méthode est basée sur le classement des alternatives (exemple : sites potentiels) dans un environnement multicritère en utilisant des nombres flous triangulaires et des variables linguistiques. En effet, les critères ainsi que le poids des critères employés dans cette méthode sont des nombres flous triangulaires.

Considérons le problème de classement de m alternatives A_i ($A_i ; i = 1, 2, \dots, m$) par un décideur (DM). Des évaluations de n experts E_j ($E_j ; j = 1, 2, \dots, n$) des alternatives par rapport à chacun des critères K ($C_k ; k = 1, 2, \dots, K$) sont proposer. W_k étant des poids flous correspondants aux critères.

Le classement final des alternatives, selon cette méthode est déterminé en utilisant le concept de Maximisation et Minimisation des ensembles avec des poids flous, proposés par Chen [Chen et Chang, 1994].

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA LOGIQUE FLOUE

Cette méthode permet de distinguer clairement les alternatives. Les poids flous W_k peuvent avoir des fonctions triangulaires, trapézoïdales ou parabolique en forme de tambour ou d'autres fonctions d'appartenance [Anand Raj et Nagesh Kumar, 1999].

Soit F_i ($i = 1, 2, \dots, m$) les indices flous appropriés à des alternatives A_i . L'ensemble maximisant est défini comme suit :

$M = \{(x, f_m(x)) \mid X\}$, avec

$$f_m(x) = \begin{cases} (x - x_1)/(x_2 - x_1), & x_1 < x \leq x_2, \\ 0 & \text{Si non} \end{cases}$$

Et l'ensemble minimisant est défini par :

$G = \{(x, f_g(x)) \mid x \in R\}$ avec

$$f_g(x) = \begin{cases} (x - x_2)/(x_1 - x_2), & x_1 \leq x < x_2, \\ 0 & \text{Si non} \end{cases}$$

Où: $x_1 = \inf S$, $x_2 = \sup S$, $S = \cup_{i=1, m} F_i$, $F_i = \{X \mid f_{F_i}(x) > 0\}$, pour $i = 1, 2, \dots, m$.

Les fonctions d'utilité optimiste $U_M(F_i)$ et d'utilité pessimiste $U_G(F_i)$ pour chaque indice approprié F_i sont définies comme suit :

$$U_M(F_i) = \sup (f_{F_i}(x) \wedge f_M(x)) \text{ et } U_G(F_i) = 1 - \sup (f_{F_i}(x) \wedge f_G(x)).$$

Pour $i = 1, 2, \dots, m$ où \wedge signifie min.

Les valeurs de classement $U_T(F_i)$ des indices flous appropriées est défini comme suit :

$$U_T(F_i) = \alpha U_M(F_i) + (1 - \alpha) U_G(F_i), \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \text{ Où } : \alpha \text{ est un indice de position attribuée.}$$

La valeur $U_T(F_i)$ donnant le classement des valeurs F_i peut être approximativement exprimé par :

$$U_T(F_i) \cong R[(Z_i - x_1) = x_2 - x_1 - Q_i + Z_i] + (1 - R)[1 - (x_2 - Y_i)/(x_2 - x_1 + Q_i + Y_i)].$$

Avec R est exprimé avec la formule suivante :

$$R = \left\{ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (at_j - ct_j) / (bt_j - ct_j) + \sum_{i=1}^m \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (oit_j - qit_j) / (pit_j - qit_j) \right\} / (kn + mkn)$$

Le classement final des alternatives A_i est donné par les valeurs $U_T(F_i)$ comme suit :

$$U_T(F_i) \cong R[(Z_i - x_1) = x_2 - x_1 - Q_i + Z_i] + (1 - R)[1 - (x_2 - Y_i) / (x_2 - x_1 + Q_i + Y_i)].$$

II.5. Conclusion

L'utilisation de la logique floue pour donner un ordre à des alternatives caractérisées par des données vagues et/ou imprécises paraît inévitable.

La méthode de classement des nombres flous par l'ensemble "*maximiser*" et l'ensemble "*minimiser*" avec des poids flous [Chen et Chang, 1994], permet non seulement d'agréger des données multicritères et hétérogènes, mais elle permet aussi de les classer et contribuer ainsi à la prise de décision.

Chapitre III :
mise en œuvre et
application

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

III.1. Introduction :

D'énormes efforts et plusieurs études ont été faites dans le domaine de l'exploitation des eaux souterraines. Toutefois, et dans la plupart de ces études un grand problème et souvent rencontré, c'est celui de données incomplètes, vagues ou imprécises.

Le présent chapitre étale les différentes étapes d'une étude faite pour le classement de sites potentiels de forages de captage d'eau en environnement imprécis. A l'aide d'une méthode floue (basée sur le principe des nombre floue/ logique floue) et d'un outil SIG nous allons dresser une carte des différents sites potentiels de captage d'eau, du plus performant au moins favorable, et contribuer ainsi à la prise de décision.

Cette application est effectuée sur le plateau de Mostaganem dans la wilaya de Mostaganem. Cette zone d'étude a fait l'objet de plusieurs études, dont l'étude faite par [Mehiris et Ferahta, 2014]. La première phase de cette dernière étude nous donne accès à l'ensemble des sites potentiels de forages de captage d'eau sur le plateau de Mostaganem. Notre application consiste à classer ces sites potentiels par une méthode de classement de nombres flous.

III.2. Zone d'étude :

III.2.1. Localisation du plateau de Mostaganem

Le plateau de Mostaganem est situé sur la côte du Nord-Ouest de l'Algérie, à environ 70 km à l'Est d'Oran, présent en rive gauche de l'oued Cheliff, un des plus grands oueds d'Algérie. Sa superficie est de 682 km². (Figure III.1)

Ce plateau est limité au Nord par l'Oued Cheliff, au Sud par la plaine des Bordjias et le massif de Beni Chougrane, à l'Est par le synclinal de Bouguirat et à l'Ouest par la mer méditerranée.

L'altitude du plateau est comprise entre 110 m (à l'Ouest) et 470 m (à l'Est). L'altitude moyenne est de l'ordre de 200 m. Le plateau est en fait affecté par de nombreuses ondulations orientées NE-SW. A l'Est on note même de véritables collines toujours orientées NE-SW (Akboube, Ennaro, djebel Djezzar, Koubia Bsibissa).

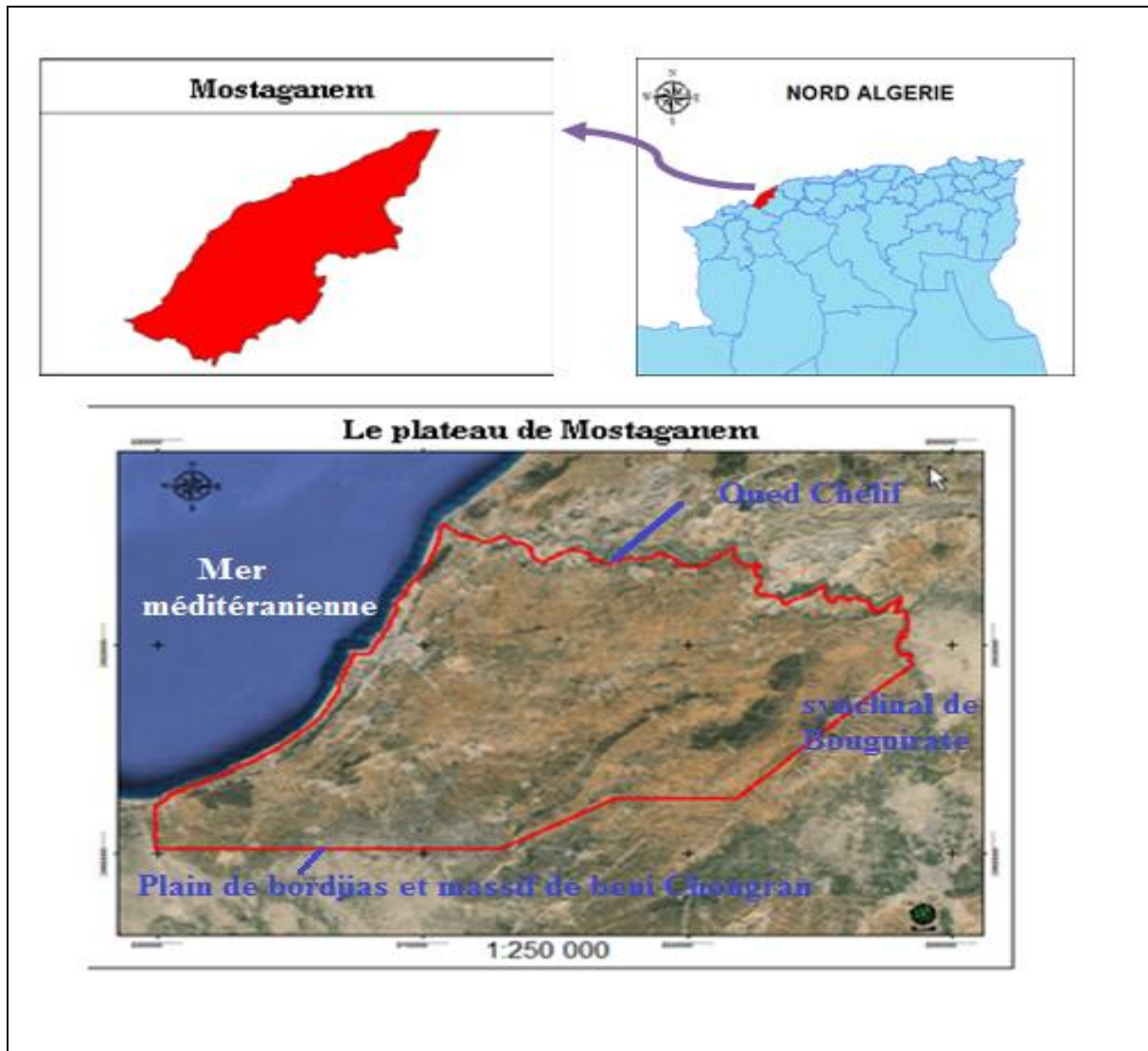


Figure III.1. Localisation du plateau de Mostaganem

III.2.2. Morphologie du plateau de Mostaganem

Sur le plan morphologique ; ce plateau est composé de deux secteurs :

- Une frange littorale.
- Le plateau proprement dit.

III.2.2.1 Frange littorale :

Les dunes littorales et les formations grésifères du quaternaire dessinent un arc dont nous pouvons penser qu'il est la résultante de l'action des vents dominants et de la houle sur les structures régionales.

III.2.2.2. Plateau :

Sur la partie occidentale, des faibles ondulations séparées par des vallées en forme de fuseaux sont distinguées.

- Vallée des Jardins au Centre.
- Dépression de Tounin Sayada au Nord.
- Vallée de Hassi Mamèche (Rivoli) au Sud.

Vers Tounin et Blad Touahria ; les sables prennent de plus en plus d'importance donnant deux grandes crêtes alternantes avec des dépressions parfois marécageuses (Belhadri, Merzouka, d'Ennaro). Au-delà crête de sidi Abdellah, nous entrons dans les montagnes boisées, des forêts d'Ennaro, de l'akboube et de Bel Hâcel. Les reliefs s'accroissent vers l'Est (vallée de la soif).

Le plateau se caractérise par le réseau hydrographique organisé limité seulement à deux petits Oueds :

- **Oued Séfra** : qui prend naissance dans la région des sept puits dont la longueur de 7km ; malheureusement, il sert de collecteur d'égouts de la ville de Mostaganem.
- **Oued El Kheire** : affluent de Chélif, il est alimenté par Ain El Soutane.

III.2.3. Hydroclimatologie

Le plateau se caractérise par un régime climatique de type méditerranéen, doux et humide en hiver, sec et chaud en été. La pluviométrie annuelle est fortement irrégulière.

L'indice de Martonne $I=11.2$ témoigne d'un climat semi-aride. L'indice sur le niveau de l'évaporation est tangible. En cela, l'évaporation est bien sur très importante en été (169.4 mm en juillet) qu'en hiver (59.6 mm en février) (Baroudi, 2010).

III.2.4. Lithostratigraphie et structure :

Le plateau de Mostaganem comporte dans son ensemble, une série imperméable constituée de marnes du Miocène ou des Pliocène inférieur qui forment le mur de l'aquifère. Ces marnes sont surmontées par des formations gréseuses ou grésosableuses avec quelques passées argileuses du pliocène supérieur et de quaternaire.

III.2.4.1. Lithostratigraphie :

On distingue un ensemble de formations liées à deux grands cycles sédimentaire : Miocène et le Pliocène [Perrodon, 1957]. Ces deux cycles viennent s'installer sur un substratum formé essentiellement de grés et d'argiles du Numidien, de flysch vert du crétacé inférieur et de

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

marne, marno-calcaires et de gypse du Trias. Le Quaternaire, constitué de terrains plus ou moins perméables, repose en discordance sur les formations précédentes [Gauchez, 1981]. Il est constitué de micro-poudingues et de grès grossiers, attribués au Calabrien. Ce dernier est recouvert par des dépôts de grès à Hélix, de dunes consolidées, et de sols rouges. (Figure III.2)

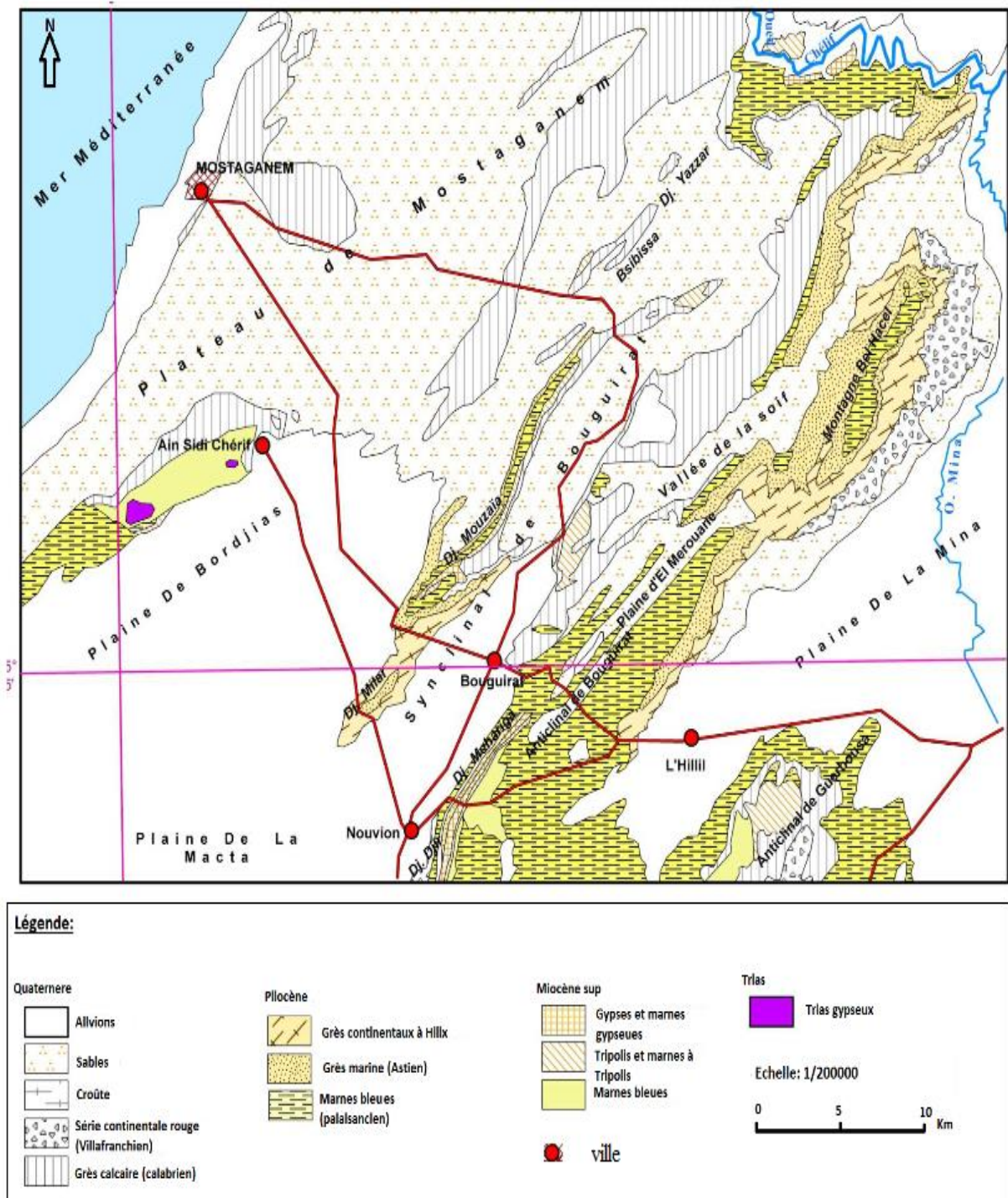


Figure III.2. Carte géologique du plateau de Mostaganem (Gauchez 1981)

III.2.4.2. Structure

L'appellation de « plateau » attribuée à la région de Mostaganem par les géographes cadre bien avec la complexité réelle de ce secteur où dunes et formations récentes constituent un système en milieu légèrement plissé qui s'appuie sur sa périphérie sur des formations plus anciennes s'échelonnant du Pliocène au trias [Gauchez, 1981].

III.2.5 Hydrogéologie

Dans son ensemble, la région de Mostaganem comporte un substratum marneux imperméable, surmonté de grès sableux ou argileux sableux qui contiennent l'aquifère principale et on trouve aussi les sables qui recouvrent les formation précédentes appelées « les sables du plateau de Mostaganem ». Parfois, nous trouvons une croûte calcaréo-gréseuse, associée à un sol rouge (Ouréah) [Tiab, 1999] (voir Figure III.5)

L'épaisseur des formations aquifère varie d'un endroit à un autre et diminue (100 à 120 m : Calabrien) en allant de l'Est-Nord-Est vers l'Ouest-Sud-Ouest.

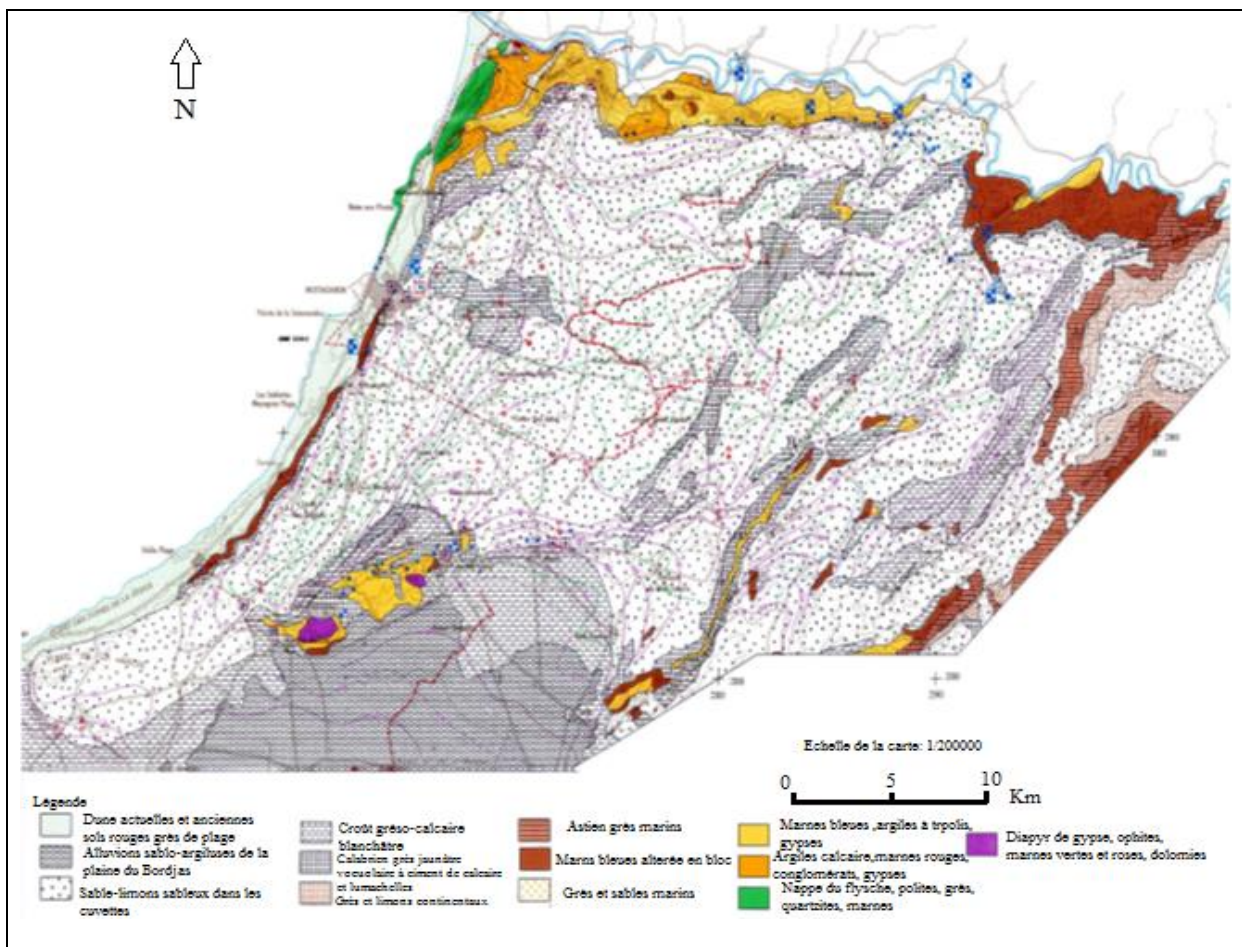


Figure III.3. Carte hydrogéologique du plateau de Mostaganem (DEMHR 1974)

III.3. Méthodologie et application

III.3.1. Contexte général de l'étude

Le contexte général de cette étude consiste à développer une cartographie hydrogéologique décisionnelle avec un classement des sites potentiels pour l'implantation de forage de captage d'eau en environnement imprécis.

Les sites potentiels ont été choisis lors d'une étude faite par [Mehiris et Ferahta, 2014]. Dans cette étude, établie sur le plateau de Mostaganem en utilisant un logiciel SIG (ArcGIS), 16 sites ont été choisis comme des sites potentiels de forage de captage d'eau. Néanmoins, un classement de ces sites potentiels est nécessaire pour faciliter la prise de décision.

En raison de manque de données précises pour l'évaluation des différents sites potentiels par rapport aux différents critères, une évaluation de ces sites potentiels (alternatives) en utilisant des nombres flous s'impose. En effet, la plupart des données existantes évaluent les sites potentiels sont vagues et imprécise. L'emploi des potentialités qu'offre la logique floue dans ce cas de figure est indispensable pour résoudre un tel problème de classement d'alternatives.

Il existe dans la littérature plusieurs méthodes pour le classement des sites potentiels avec des évaluations floues, l'une d'elle est choisie et utilisée dans cette étude.

En effet, l'étude proposée est basée sur l'utilisation d'une méthode floue (basé sur le principe des nombre floue/ logique floue) pour classer les sites potentiels de captage d'eau (du plus favorable au moins favorable). Cette méthode sera développée et programmée sous le tableur *Excel* et transférée par la suite sous *ArcGis* pour une éventuelle cartographie décisionnelle.

III.3.2. Méthodes de classements des évaluations floues (nombres flous)

Le classement de sites potentiels de forage de captage d'eau est un élément important du processus décisionnel. L'utilisation de nombres flous pour l'évaluation et le classement de ces sites c'est imposer, afin de résoudre le problème de données floues et vagues.

Il existe plusieurs méthodes pour le classement de nombres flous, tels que : les ensembles Maximiser et les ensembles Minimiser, les points centroïdes, la minimisation de la distance...etc. Un éventail de méthodes est exposé au chapitre II partie II.4.2 dans ce présent mémoire.

Pour notre travail, on a choisi la méthode de **classement des alternatives par l'ensemble maximiser et l'ensemble minimiser avec des poids flous**, qui est proposé par Chang et Chen (1994) [Chang et al., 2008], vue qu'elle parait logique et simple d'emploi. Cette méthode est détaillée au chapitre II, partie II.4.3.

III.3.3. Classement des sites potentiels

La Méthode de "**classement des alternatives par l'ensemble maximiser et l'ensemble minimiser avec des poids flous**" est donc choisie pour le classement des 16 sites potentiels de forage d'eau pour l'ensemble du plateau de Mostaganem.

Cette méthode se base sur l'utilisation d'évaluations vagues et/ou imprécises pour l'ensemble des sites potentiels par rapport aux différents critères déterminer dans une étude préalable. [Chang et al., 2008].

III.3.3.1. Critères de sélection

Les techniques de captage des eaux souterraines classiquement mises en œuvre dans les milieux poreux et volcaniques sont peu variées. Les plus utilisées sont les ouvrages verticaux, tel que le forage.

La sélection des sites potentiels d'implantation de forage de captage d'eau prend en compte les principaux critères suivants [Mehiris et Ferahta, 2014] :

- La recharge efficace
- La vulnérabilité de l'aquifère à la pollution.
- La profondeur de l'aquifère.
- Le débit suffisant.

III.3.3.2. Carte de sélection des sites potentiels de forages d'eau

Un système d'information géographique a été fait on utilise plusieurs données vecteur et raster. Grace a un logiciel SIG (ArcGis) la carte pour la sélection de sites potentiels de forage de captage d'eau a été réaliser (figure III.4) [Mehiris et Ferahta, 2014].

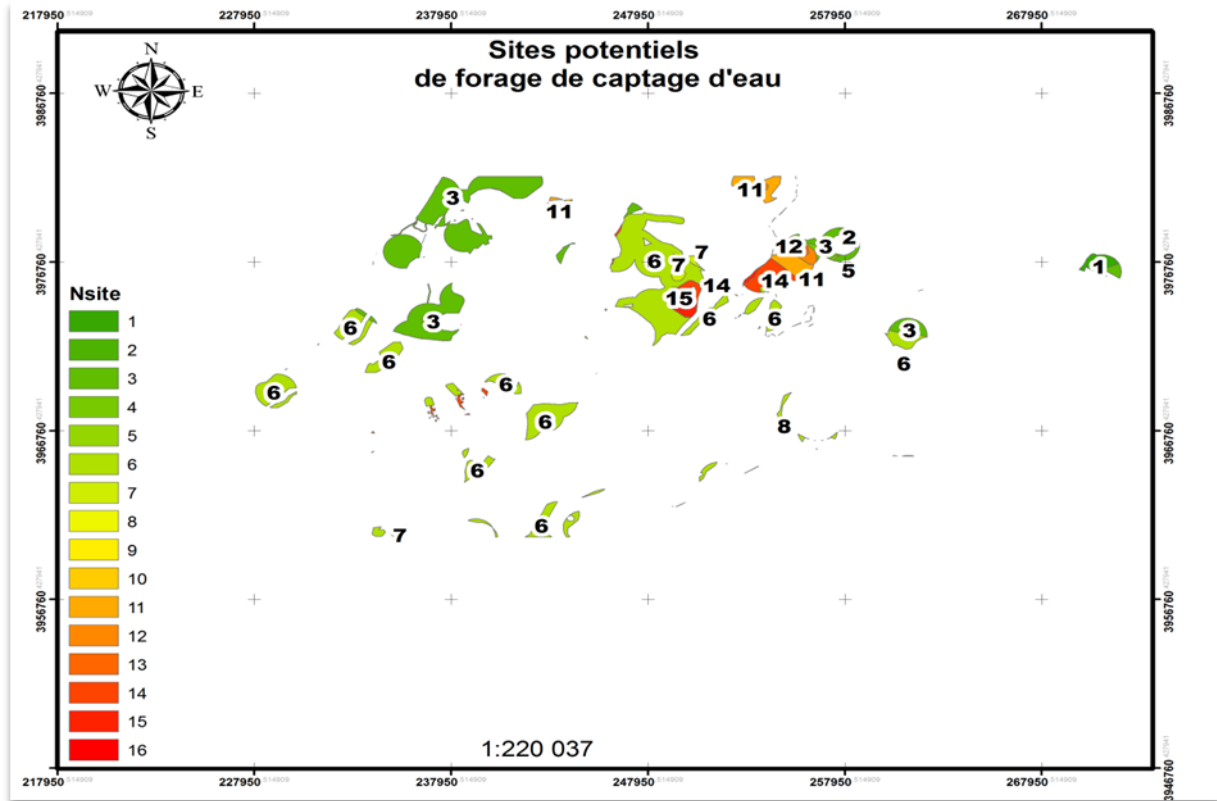


Figure III.4. Carte des sites potentiels de forage d'eau [Mehiris et Ferahta, 2014]

III.3.3.3. Notation floue et classification des critères

Les critères, obtenus lors de la première phase de sélection de sites potentiels, sont de nature vague (exemple : vulnérabilité faible), ou imprécise (exemple : recharge comprise entre 0 et 100mm) ...etc. Ce genre de critère flou est appelé *variables linguistiques* (figure III.5)

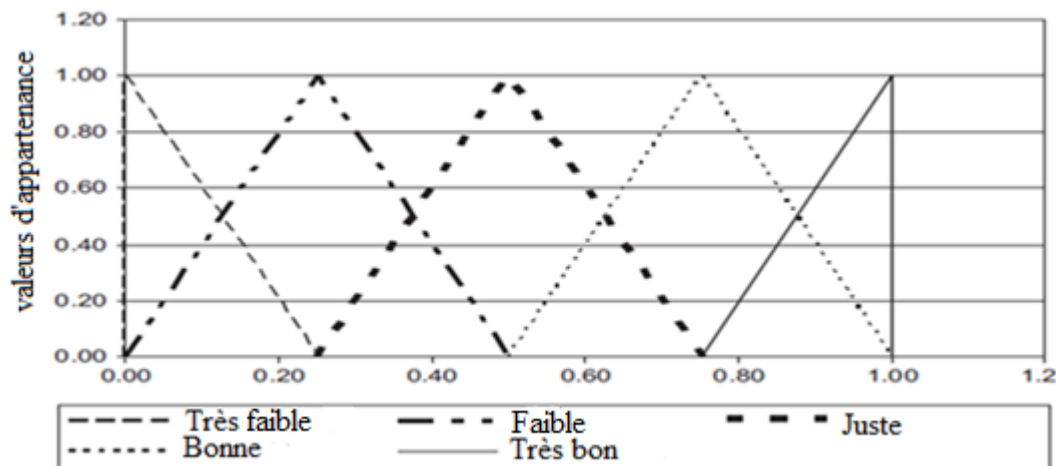


Figure III.5. Fonctions d'appartenance floues de variable linguistique

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

La notation des différentes classifications de critères est présentée dans le tableau suivant :

| Critère | Classification | Notation |
|---------------------------------|--------------------|---------------------------|
| vulnérabilité | Extrêmement | (0.6, 0.8, 1) |
| | Très faible | (0.4, 0.6, 0.8) |
| | Faible | (0.2, 0.4, 0.6) |
| | moyenne | (0, 0.2, 0.4) |
| Recharge (mm) | 0 - 100 | (0, 0.2, 0.4) |
| | 100 - 175 | (0.2, 0.4, 0.6) |
| | 175 - 225 | (0.4, 0.6, 0.8) |
| | > 225 | (0.6, 0.8, 1) |
| Profondeur_(m) | 0 - 15 | (0.6, 0.8, 1) |
| | 15 - 45 | (0.4, 0.6, 0.8) |
| | 45 - 90 | (0.2, 0.4, 0.6) |
| | >90 | (0, 0.2, 0.4) |
| Débit | <10 | (0, 0.16, 0.32) |
| | 10 - 20 | (0.16, 0.32, 0.48) |
| | 20 - 30 | (0.32, 0.48, 0.64) |
| | 30 - 40 | (0.48, 0.64, 0.8) |
| | >40 | (0.46, 0.8, 1) |

Tableau III.1. Classification et notation floue des sites par rapport aux critères

III.3.3.4. Notation floue des sites par rapport au critères

La notation des **16 sites potentiels** par rapport aux critères (variables linguistiques) a été faite selon le tableau suivant :

| <i>Critères Alternatives</i> | <i>profondeur</i> | <i>recharge</i> | <i>vulnérabilité</i> | <i>débit</i> |
|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| <i>Site1</i> | <i>(0.2, 0.4, 0.6)</i> | <i>(0.2,0.4,0.6)</i> | <i>(0.2,0.4,0.6)</i> | <i>(0.16, 0.32, 0.48)</i> |

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

| | | | | |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| <i>Site 2</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.2,0.4,0.6) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site 3</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site 4</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.32, 0.48, 0.64) |
| <i>Site5</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site6</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.6, 0.8, 1) | (0.2,0.4,0.6) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site7</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.6, 0.8, 1) | (0.2,0.4,0.6) | (0.32, 0.48, 0.64) |
| <i>Site8</i> | (0.2,0.4,0.6) | (0.6, 0.8, 1) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site9</i> | (0.6, 0.8, 1) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.32, 0.48, 0.64) |
| <i>Site10</i> | (0.6, 0.8, 1) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.48, 0.64, 0.8) |
| <i>Site11</i> | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site12</i> | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.32, 0.48, 0.64) |
| <i>Site13</i> | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.2,0.4,0.6) | (0.48, 0.64, 0.8) |
| <i>Site14</i> | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.6, 0.8, 1) | (0.2,0.4,0.6) | (0.16, 0.32, 0.48) |
| <i>Site15</i> | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.6, 0.8, 1) | (0.2,0.4,0.6) | (0.32, 0.48, 0.64) |
| <i>Site16</i> | (0.4, 0.6, 0.8) | (0.6, 0.8, 1) | (0.2,0.4,0.6) | (0.48, 0.64, 0.8) |

Tableau III.2. Notation des sites potentiels par rapport aux critères

III.3.3.5. Pondération des critères

L'évaluation des critères selon leurs importances est aussi établie en utilisant les nombres flous triangulaires. Le résultat de cette évaluation est présenté dans le tableau suivant :

| <i>Critères</i> | <i>profondeur</i> | <i>recharge</i> | <i>vulnérabilité</i> | <i>débit</i> |
|-----------------|-------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| <i>Poids</i> | (0.3, 0.35, 0.4) | (0.5,0.55,0.6) | (0.8,0.85,0.9) | (0.2, 0.25, 0.3) |

Tableau III.2. Poids des différents critères

III.3.3.6. Calcul de l'indice flou (Fi) appropriée à chaque site

D'après le procédé mis au point par Chang et Chen (1994) [Chang et al., (2008)], l'agrégation des différentes évaluations est donnée par les formules suivantes :

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

$$S_{ij} = (S_{i1} + S_{i2} + \dots + S_{im}) * (1/n)$$

$$W_t = (W_{t1} + W_{t2} + \dots + W_{tm}) * (1/n)$$

Où S_{ij} est la note de chaque site selon les critères C_j , et W_t est le poids de chaque critère C_j .
(Voir partie III.4.3 du chapitre II)

L'indice flou F_i de l'alternative i peut être obtenue en agrégeant S_{ij} et W_t , il est exprimé comme suit :

$$F_i = [(S_{i1} * W_1) + (S_{i2} * W_2) + \dots + (S_{ik} * W_k)] * (1/k)$$

Soit $S_{ij} = (q_{ij}, o_{ij}, p_{ij})$ et $W_{ij} = (c_{ij}, a_{ij}, b_{ij})$ des nombres flous triangulaires. F_i peut être exprimé sous la forme : $F_i = (Y_i ; Q_i ; Z_i)$

$$\text{Où } Y_i = \sum_{j=1-k} (q_{it} c_t / k), \quad Q_i = \sum_{j=1-k} (o_{it} a_t / k), \quad Z_i = \sum_{j=1-k} (p_{it} b_t / k)$$

$$o_{it} = \sum_{j=1-n} (o_{itj} / n), \quad p_{it} = \sum_{j=1-n} (p_{itj} / n), \quad q_{it} = \sum_{j=1-n} (q_{itj} / n)$$

$$c_t = \sum_{j=1-n} (c_{it} / n), \quad p_t = \sum_{j=1-n} (p_{it} / n), \quad a_t = \sum_{j=1-n} (a_{it} / n)$$

Pour $i = 1, 2, \dots, 16$; $t = 1$; $j = 1, 2, \dots, 4$.

Sur la base des fonctions d'agrégation, un programme sur le tableur Excel nous a permis d'obtenir les indices flous appropriés. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

| <i>Alternatives</i> | <i>Indice floue appropriée (Fi)</i> |
|---------------------|--------------------------------------|
| SiteF1 | (0,09871875 ;0,20459375;0,31246875) |
| SiteF2 | (0,13746875 ;0,24584375 ;0,35871875) |
| SiteF3 | (0,12246875 ;0,23084375 ;0,34121875) |
| SiteF4 | (0,1311875 ;0,24321875 ; 0,35584375) |
| SiteF5 | (0,16121875 ;0,27209375 ;0,38746875) |
| SiteF6 | (0,14621875 ;0,25709375 ;0,3735625) |
| SiteF7 | (0,1549375 ;0,26946875 ;0,3881875) |
| SiteF8 | (0,18496875;0,29834375 ; 0,4198125) |
| SiteF9 | (0,1636875 ;0,28071875 ; 0.401) |

| | |
|----------------|--------------------------------------|
| <i>SiteF10</i> | (0,17240625 ;0,28965625 ;0,41359375) |
| <i>SiteF11</i> | (0,13871875 ;0,24959375 ;0,36246875) |
| <i>SiteF12</i> | (0,1474375 ; 0,26196875 ;0,37709375) |
| <i>SiteF13</i> | (0,15615625;0,27090625 ; 0,3896875) |
| <i>SiteF14</i> | (0,16246875 ;0,27584375 ;0,3948125) |
| <i>SiteF15</i> | (0,1711875 ; 0,28821875 ;0,4094375) |
| <i>SiteF16</i> | (0,17990625;0,29715625 ;0,42203125) |

Tableau III.6. Indice floue appropriée des 16 site candidats

III.3.3.7. Classement des sites potentiels

Soit F_i ($i = 1, 2, \dots, 16$) les indices floues appropriés des 16 sites potentiels. L'ensemble maximisant est défini comme suit :

$M = \{(x, f_m(x)) \mid X\}$, avec

$$f_m(x) = \begin{cases} (x - x_1)/(x_2 - x_1), & x_1 < x \leq x_2, \\ 0 & \text{Si non} \end{cases}$$

Et l'ensemble minimisant est défini par :

$G = \{(x, f_g(x)) \mid x \in R\}$ avec

$$f_g(x) = \begin{cases} (x - x_2)/(x_1 - x_2), & x_1 \leq x < x_2, \\ 0 & \text{Si non} \end{cases}$$

Où: $x_1 = \inf S$, $x_2 = \sup S$, $S = \cup_{i=1, m} F_i$, $F_i = \{X \mid f_{F_i}(x) > 0\}$, pour $i = 1, 2, \dots, 16$.

Les fonctions d'utilité optimiste $U_M(F_i)$ et d'utilité pessimiste $U_G(F_i)$ pour chaque indice approprié F_i sont définies comme suit :

$$U_M(F_i) = \sup (f_{F_i}(x) \wedge f_M(x)) \text{ et } U_G(F_i) = 1 - \sup (f_{F_i}(x) \wedge f_G(x)).$$

Pour $i = 1, 2, \dots, 16$ où \wedge signifie min.

Les valeurs de classement $U_T(F_i)$ des indices flous appropriés est défini comme suit :

$$U_T(F_i) = \alpha U_M(F_i) + (1 - \alpha) U_G(F_i), \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \text{ Où: } \alpha \text{ est un indice de position attribuée.}$$

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

La valeur $U_T(F_i)$ donnant le classement des valeurs F_i peut être approximativement exprimé par :

$$U_T(F_i) \cong R[(Z_i - x_1) = x_2 - x_1 - Q_i + Z_i] + (1-R)[1 - (x_2 - Y_i)/(x_2 - x_1 + Q_i + Y_i)].$$

Avec R est exprimé dans la formule suivante :

$$R = \left\{ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (atj - ctj) / (btj - ctj) + \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^k \sum_{j=1}^n (oitj - qitj) / (pitj - qitj) \right\} / (kn + mkn)$$

Le calcul de cette valeur a été fait avec un petit programme sur le tableur Excel, la valeur obtenue est égale à **0,55285364**.

Le tableau suivant représente les valeurs de classement des différents sites potentiels d'implantation de forage d'eau ($U_T(F_i)$) :

| <i>Sites potentiels</i> | <i>Valeurs de classement ($U_T(F_i)$)</i> |
|-------------------------|--|
| <i>Site8</i> | 0,71484529 |
| <i>Site16</i> | 0,710694453 |
| <i>Site10</i> | 0,694247118 |
| <i>Site15</i> | 0,690280018 |
| <i>Site9</i> | 0,673412883 |
| <i>Site14</i> | 0,664877048 |
| <i>Site5</i> | 0,656908413 |
| <i>Site13</i> | 0,652578754 |
| <i>Site7</i> | 0,649462472 |
| <i>Site12</i> | 0,630594433 |
| <i>Site6</i> | 0,622927404 |
| <i>Site11</i> | 0,603422878 |
| <i>Site2</i> | 0,596619247 |
| <i>Site4</i> | 0,586838169 |
| <i>Site3</i> | 0,558313791 |

Site1

0,490500219

Tableau III.7. Valeurs de classement des différentes alternatives

III.3.4. Intégration du classement des sites potentiels dans un SIG

Après avoir obtenus les valeurs ($U_T(Fi)$), donnant le classement des sites potentiels de forage d'eau, leur intégration dans un SIG a été faite, en utilisant le logiciel ArcGis. La carte finale de classement des sites potentiels de forage est illustrée comme suit.

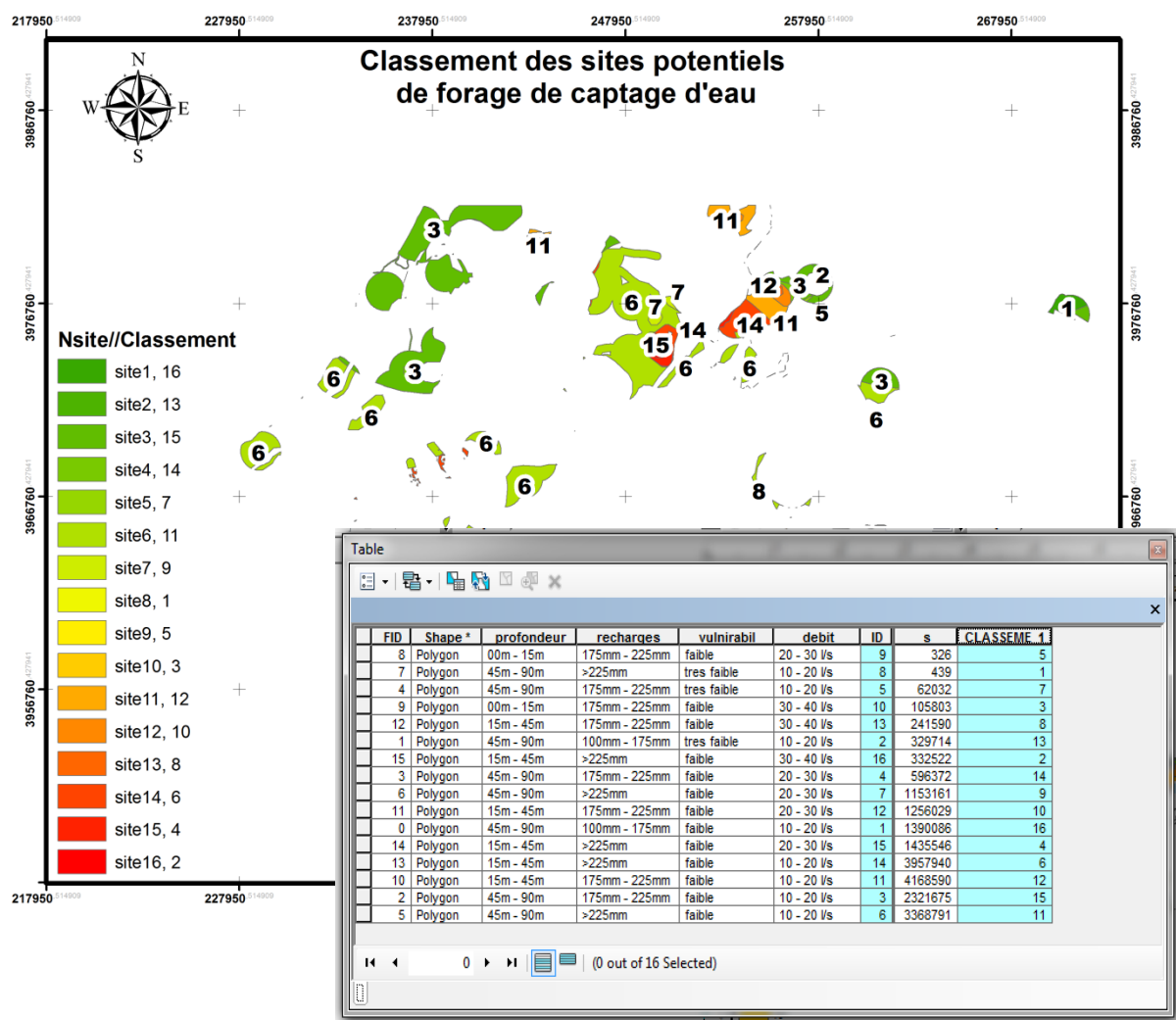


Figure III.6. Carte finale de classement des sites potentiels de forage

III.5. Conclusion

On constate d'après les résultats que :

CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE ET APPLICATION

Le Site 8 est classé en première place avec une très faible vulnérabilité, une recharge supérieur à 225mm, une profondeur comprise entre 45m et 90m et un débit compris entre 10 et 20 l/s.

La méthode de classement utilisée dans cette étude nous a permis de classer les sites potentiels de captage d'eau du plus performant au moins favorable, ce qui contribue d'une façon importante à la prise décision. L'intégration des résultats dans un SIG, permet d'avoir une carte décisionnelle de sélection de sites de forage de captage d'eau.

*Conclusion
générale*

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La sélection de sites potentiels pour l'implantation de forages de captage d'eau est un choix intéressant pour l'exploitation des eaux souterraines, afin de répondre aux besoins en eau pour l'agglomération, aussi bien que pour l'agriculture et l'industrie.

L'utilisation des méthodes de classement floues, notamment, la méthode de classement des alternatives par l'ensemble '*maximisé*' et l'ensemble '*minimisé*' avec des poids flous, dans ce mémoire, a permis le classement des sites potentiels de forage d'eau. L'intégration de ces résultats dans un SIG nous a permis d'aboutir à une carte finale de classement des sites potentiels de forage d'eau.

La carte finale de classement des sites potentiels de forage d'eau souterraine contient 16 sites potentiels répartis sur l'ensemble du plateau de Mostaganem. La plupart des sites potentiels se centralisent sur le côté Nord - Est de la zone d'étude. Ceci peut être expliqué par la faible vulnérabilité à la pollution et la plus grande recharge qui caractérise cette partie du plateau.

Le site 8 est le premier dans le classement final obtenu par cette méthode. Ceci est expliqué par le fait que les critères profondeur, vulnérabilité, débit et recharge sont les plus performants pour ce site.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAHYIRANLOO T., ABBASBANDY S. and SANEIFARD R. (2011) -A method for ranking of fuzzy numbers using new weighted distance. *Mathematical and Computational Applications, Vol. 16, No. 2, pp. 359-369.*
- BAICHE A., HAYANE S M. et ABLAOUI H. (2015) –surexploitation des ressources en eau de l'aquifère du plateau de Mostaganem. *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°22, pp. 153-165.*
- BAROUDI Z. (2010) – Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Mostaganem. *Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydrogéologie, Science de la terre. Univ. Oran.*
- BASIRZADEH H. and ABBASI R. (2008)-A new approach for ranking fuzzy numbers based on α -cuts, *J. Appl. Math. & Informatics Vol. 26, No. 3 - 4, pp. 767 – 778.*
- CHAABAN F. (2011) – Apport potentiel des Système d'Information Géographique (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable. *Thèse Doctorat en génie civil, Sciences et technologies. Univ. Lille 1.*
- CHANG N B., PARVATHINATHAN G. and BREEDEN J B. (2008) - Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management 87, 139–153.*
- CHU T C. and TSAO C T. (2002)- “Ranking fuzzy numbers with an area between the centroid point and original point,” *Computers & Mathematics with Application, vol. 43, pp. 111-117.*
- DEEP K., KANSAL M L. and SINGH K P. (2007)-Ranking of alternatives in fuzzy environment using integral value. *Journal of Mathematics, Statistics and Allied Fields, Vol.1, Issue 2, p13.*
- FARHADINIA B. (2010)-Ranking Fuzzy Numbers Based on Lexicographical Ordering. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering Vol:3, No:9.*
- GAUCHEZ J. (1981) – Etude hydrogéologique du plateau de Mostaganem (Algérie). *Thèse Doctorat 3^{ème} cycle de géologie des ensembles sédimentaires. Tome 1. Univ. Lyon 1, 125 p., 22 Tabl., 44 Fig.*

BIBLIOGRAPHIE

- GHRISSI A. et BOUDRAF L. (2012) – Suivi d’implantation et de réalisation de deux ouvrages de captage d’eau souterrain dans la région de Saf Saf (W. de Mostaganem). *Mémoire d’ingénieur d’Etat en hydrogéologie, Science de la terre. Univ Oran.*
- HAJJARI T. and BARKHORDARY M. (2007)- Ranking Fuzzy Numbers by Sign Length, *First Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.*
- KUMAR A, SINGH P, and KAUR A. (2010)-Ranking of Generalized Exponential Fuzzy Numbers using Integral Value Approach.*Int. J. Advance. Soft Comput. Appl., Vol. 2, No. 2.*
- MEHIRIS Adel., FERAHTA Nouredine., (2014) - combinaison de SIG et AMC pour le choix d'un site d'implantation de forage de captage d'eau-. *Mémoire d’ingénieur d’Etat en Genie civile, Centre des Techniques Spatials. Arzew. Oran.*
- MERABLI H. (2008) –Etude des systèmes flous à intervalle. *Thèse Magister en Science, Dep D’électronique. Univ Constantine, 49 p.*
- MOKEDDEM M. (2010) –Contrôle flou des processus biotechnologique à base d’algorithmes génétiques. *Thèse Doctorat en Science électronique, Univ Sétif, 140 p.*
- PARADINA N. and ARAGHI M A. (2008)-Ranking of Fuzzy Numbers by Distance Method.*Journal of Applied Mathematics, Islamic Azad University of Lahijan Vol.5, No.19.*
- PIRRODON A. (1957) – Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l’Algérie occidentale. *Mém. Serv. Carte géol. Algérie. Nouvelle série, n°12, Alger, 343 p.*
- RAJ P A. and KUMAR D N. (1999)- Ranking alternatives with fuzzy weights using maximizing set and minimizing set, *Fuzzy Sets and Systems 105, 365-375.*
- SANEIFARD R. and NAHID S. (2013)-A new parametric method for ranking fuzzy numbers based on positive and negative ideal solutions.*Int. J. Industrial Mathematics (ISSN 2008-5621) Vol. 5, No. 2, Art ID IJIM-00330, 10 p.*
- SBILI L. (2015) –Segmentation des images par classification floue. *Thèse Magister en Automatique, Génie électronique et informatique. Univ Tizi Ouzou. 73 p.*
- SIMONOVIC P. (2001)-Fuzzy Set Ranking Methods and Multiple Expert Decision Making. *Faculty of Engineering Science Department of Civil and Environmental Engineering Facility for Intelligent Decision Support.*
- SINGH P. (2015)-A Novel Method for Ranking Generalized Fuzzy Numbers.*Journal of information science and engineering 31, 1373-1385.*

BIBLIOGRAPHIE

TIAB K. (1999) – Hydrochimie des eaux du plateau de Mostaganem. *Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydrogéologie, Science de la terre. Univ Oran, 79 p., 64 Fig., 5 Tabl.*

ZHENG PEI Y S. (2006)- A Method for Ranking Fuzzy Numbers and Its Application to Game with Fuzzy Profit, *School of Mathematics & Computer Science, Xihua University, Chengdu 610039, China.*