République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTÉ : GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT : GENIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Sciences et Techniques

FILIERE : HYDRAULIQUE

OPTION : Ressources Hydrauliques

Thème

Analyse multicritère pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'Oued M'Zi

Présenté par : **HAMDI Khedidja**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	**Grade**	**qualité**
STAMBOUL Madani	Pr.	Président
HAMLAT Abdelkader	Pr.	Rapporteur
GUIDOUM Azzedine	Dr.	Examinateur

2023 /2024

Remerciements

Louange à Allah, par la grâce duquel toutes les bonnes actions sont accomplies, le principe de ceux qui ne remercient pas les gens ne remercient pas Allah,

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma reconnaissance au directeur de cette recherche, Mr. HAMLAT Abdelkader , pour son orientation et ses conseils.

Nos vifs remerciements sont adressés aux membres de jury Mr. STAMBOUL Madani et Mr. GUIDOUM Azzedine pour nous avoir fait l'honneur de leur présence et pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à toutes les personnes qui nous ont soutenus dans ce travail, de près ou de loin,

Nous tenons à remercier tout particulièrement le directeur des ressources en eau de la wilaya de Laghouat et l'ensemble de son personnel pour l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservé et les réponses qu'ils ont apportées à toutes nos questions.

Nous remercions également le directeur de la ferme pilot de la commune de Tadjmout pour son accueil chaleureux et pour avoir répondu à toutes nos questions.

Mes remerciements vont également à mes parents, qui ont veillé à ce que toutes les conditions favorables soient réunies pour la réalisation de ce travail

Nous tenons également à remercier tous les professeurs et superviseurs qui nous ont aidés et auprès desquels nous avons beaucoup appris.

Dédicace

Je dédie ce travail à

Dieu d'abord, o Dieu, tu es loué du fond de mon cœur a ton saint trône, une louange qui honore tes bénédictions.

Au symbole du don et du sacrifice, mon modèle

(Mon père)

A celle qui m'accueille avec un sourire et me dit au revoir avec une prière

(Ma mère)

A cette grande réserve de force et d'amour

(Ma sœur)

A tous ceux qui m'ont appris une lettre depuis l'école primaire jusqu'à aujourd'hui, je vous remercie du fond du cœur.

A moi-même

A tous ceux qui m'ont aidée, ne serait-ce que par un mot gentil.

Je vous dédie mes recherches, mes efforts et mes nombreuses nuits d'insomnie, de fatigue et de souhaits.

Loué soit Dieu, par la grâce duquel les bonnes actions sont accomplies.

KHEDIDJA

Résumé

Cette étude s'intéresse à l'identification des sites potentiels pour la construction de barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi en Algérie. L'objectif principal est de contribuer à la gestion des ressources en eau dans cette région aride. L'étude utilise une approche multicritère basée sur le modèle statistique "Analytic Hierarchy Process" (AHP) et un système d'information géographique (SIG). Sept critères pertinents pour la sélection des sites ont été sélectionnés et pondérés en fonction de leur importance relative.

Les résultats de l'étude indiquent que 1,27% de la superficie totale du bassin versant présente des caractéristiques favorables à l'implantation de barrages souterrains. Quatre sites spécifiques ont été identifiés le long de l'oued M'Zi et de l'oued Messaad. Le choix de ces sites s'est basé sur des données géophysiques et sur des images satellites provenant de Google Earth. Les résultats de cette étude peuvent être d'une grande utilité pour les autorités locales dans la mise en œuvre de stratégies de gestion des ressources en eau. La construction de barrages souterrains dans les sites identifiés permettrait de réduire le risque de sécheresse, d'augmenter la capacité de stockage de l'eau et d'améliorer la disponibilité de cette ressource précieuse pour les populations locales et les activités agricoles.

Mots clés : site favorable, barrage souterrain, AHP, SIG, oued M’Zi

Abstract

This study aims to identify potential sites for the construction of underground dams in the Oued M'Zi basin in Algeria, with the primary objective of enhancing water resource management in this arid region. Utilizing a multi-criteria approach based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) statistical model and a geographic information system (GIS), seven criteria were selected and weighted according to their relative importance for site selection.

The results indicate that 1.27% of the basin's total surface area is suitable for underground dams. Specifically, four sites were identified along Oued M'Zi and Oued Messaad, chosen based on geophysical data and satellite images. These findings are valuable for local authorities in implementing effective water resource management strategies. Constructing

underground dams at these sites would mitigate drought risks, increase water storage capacity, and improve the availability of water for local populations and agricultural activities.

Keywords: favorable site, underground dam, AHP, GIS, oued M'Zi

الملخص

تركز هذه الدراسة على تحديد المواقع المحتملة لبناء سدود جوفية في منطقة حوض تجميع المياه وادي مزي في الجزائر. والهدف الرئيسي هو المساهمة في إدارة الموارد المائية في هذه المنطقة الجافة. تستخدم الدراسة نهجًا متعدد المعايير يعتمد على نموذج إحصائي لعملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) ونظام المعلومات الجغرافية .(GIS) تم اختيار سبعة معايير ذات صلة لاختيار الموقع وترجيحها وفقاً لأهميتها النسبية .

تشير نتائج الدراسة إلى أن 1.27% من المساحة الإجمالية لحوض تجميع المياه مناسبة لإقامة سدود تحت الأرض. تم تحديد أربعة مواقع محددة على طول واد مزي وواد مسعد. اختيرت هذه المواقع على أساس البيانات الجيوفيزيائية وصور الأقمار الصناعية من جوجل إيرث. قد تكون نتائج هذه الدراسة ذات فائدة كبيرة للسلطات المحلية في تنفيذ استراتيجيات إدارة الموارد المائية. إن بناء السدود الجوفية في المواقع التي تم تحديدها من شأنه أن يقلل من مخاطر الجفاف، ويزيد من سعة تخزين المياه ويحسن من توافر هذا المورد الثمين للسكان المحليين والأنشطة الزراعية.

الكلمات المفتاحية: الموقع المفضل، السد الجوفي، تخطيط الموارد المائية، نظم المعلومات الجغرافية، واد مزي

Sommaire

Introduction Générale

Introduction Générale ……..……2

Chapitre I : Généralité sur les barrages souterrains

I.1 Introduction……5

I.2 Les principaux objectifs des barrages souterrains……..……5

I.3 Les avantages des barrages souterrains……..…5

I.4 Les inconvénients du barrage souterrain……...6

I.5 Évaluation du site approprié à l'emplacement du barrage…….…7

I.6 Méthodes de construction du barrage souterrain……8

I.7 Quelques exemples sur les barrages souterrains : le captage d'inferoflux d'oueds…….. 10

I.7.1 Le barrage de Tadjemout ……10

I.7.2 Le barrage d'Anezi ……...…...11

I.7.3 Le barrage de Tazzarine……..…….....12

I.7.4. Le barrage de Setrou.....14

Chapitre II : Aide à la décision multicritère

II.1 Aide à la décision multicritère……16

II.1.1 Qu'est-ce que l'analyse multicritère ?.....16

II.1.2 Pourquoi utiliser l'analyse multicritère ?.....16

II.2 Méthodes d'Analyse Multicritères……...17

II.3 Approches d'agrégation pour les problèmes multicritères…….……17

II.3.1 Agrégation complète transitive (Approche du critère unique).....18

a) TOPSIS : Technique de classement par similarité avec la solution idéale……18

b) SMART : Technique simple de notation multi-attributs……..18

c) SAW: Ponderation additive simple……... 19

d) AHP : Processus de hiérarchisation analytique…….….19

e) MAVT: Multiple Attribute Value Theory……..19

f) MAUT : Théorie de l'utilité des attributs multiples …….….19

g) UTA : Théorie de l'utilité Additive ……...20

II.3.2 Agrégation partielle (Approche du sur classement de synthèse)…….....20

a) Electre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité……..….20

b) Electre II……20

c) Electre III……...……20

II.3.3 Agrégation locale (Approche du jugement local interactif avec itérations) ……..21

a) PLM: Programmation linière multicritère ……...….21

b) STEM : Step Method……...……..21

II.4 Comparaison entres les méthodes d'agrégation……..21

II.5 Méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) …….……22

II.5.1 Définition la méthode AHP …….....22

II.5.2 Caractéristiques de la méthode AHP……...…….....23

II.5.3. Les étapes de l'application ……23

Étape 1 : Établir la structure hiérarchique……..…….24

Étape 2 : Effectuer les combinaisons binaires…….25

Étape 3 : Déterminer les vecteurs propres……...……26

Étape 4 : Calculer le ratio de cohérence (RC)…….27

Étape 5 : Établir les priorités finales……..….27

II.6 Avantage de la méthode AHP ……..……...28

Chapitre III : Présentation de la région d'étude

III.1 Contexte et contexte global…….....30

III.2 Géologie de la région d'étude ……...31

III.3 Réseau hydrographie ……...….32

III.4 L'occupation du sol……..……...…...33

III.5 Barrage souterrain de Tadjemout……...……35

III.5.1 Caractéristiques du barrage …….....36

III.5.2 L'importance du barrage….……..…….…..…….37

Chapitre IV : Application de la méthode AHP

IV.I Application de la méthode sur le bassin versant Oued M'Zi…….40

IV.II Les facteurs conditionnant pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains …….....40

IV.3. Les données physiques utilisées dans cette étude…….....41

IV.3.1. Précipitations……...41

IV.3.2. L'occupation du sol…….42

IV.3.3. Géologie……...….……42

IV.3.4. Indice d'humidité topographique…….43

IV.3.5. Réseau hydrographie …….…….…….44

IV.3.6. Éloignement des failles……...45

IV.3.7. Proximité aux village ……..46

IV.4. Processus d'analyse multicritères hiérarchique ……..…47

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1 Résultats et discussion……56

Conclusion Générale

Conclusion ……65

Bibliographie…….

Liste des figures

Figure	Désignation	Page
Figure I.1	Substratum convenable à l'emplacement d'un barrage souterrain (MEJ-OECC,2004)	**09**
Figure I.2	Barrage enterré d'Anezi. [4]	**11**
Figure I.3	Barrage souterrain de Tazzarine. [4].	**13**
Figure I.4	Barrage de l'oued Aggai à Sétrou. [4].	**14**
Figure II.1	Les méthodes d'agrégations	**18**
Figure II.2	Les étapes de l'application	**24**
Figure II.3	La hiérarchie du problème	**25**
Figure III.1	Situation du bassin versant de Oued M'Zi	**30**
Figure III.2	la carte de géologie de bassin versant de l'oued M'Zi	**32**
Figure III.3	L'occupation de sol BV Oued M'Zi	**34**
Figure III.4	Barrage de Tadjmout	**36**
Figure III.5	Coupe transversale d'une cellule filtrante et coupe longitudinale selon l'ouvrage	**37**
Figure III.6	Le tracé du la canal entre le barrage et la ferme pilot	**38**
Figure IV.1	La carte des précipitations du bassin versant Oued M'Zi	**41**
Figure IV.2	La carte d'occupation du sol du bassin versant Oued M'Zi	**42**
Figure IV.3	La carte géologie du bassin versant Oued M'Zi	**43**
Figure IV.4	La carte d'indice d'humidité topographique du bassin versant Oued M'Zi	**44**
Figure IV.5	La carte d'ordre des cours d'eau du bassin versant Oued M'Zi	**45**
Figure IV.6	La carte de l'éloignement des failles du bassin versant Oued M'Zi	**46**
Figure IV.7	La carte de la proximité aux village	**47**
Figure IV.8	Reclassification des critères incluent dans la cartographie pour le choix des sites favorables à l'implantation du barrage souterraines du bassin versant d'oued M'Zi : a) précipitations, b) l'occupation du sol, c) géologie (nappe alluviale), d) indice topographique d'humidité, e) Éloignement des failles, f) ordre des cours d'eau, g)	**51**

proximité aux village
Figure V.1 La carte finale représentant les sites favorables à l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi **57**
Figure V.2 Capture d'écran des sites favorables que nous sélectionnes pour l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi « Google earth » **58**
Figure V.3 Carte de répartition des profils et des sondages électriques **58**
Figure V.4 Capture d'écran du site de premier et troisième site du barrage souterraine dans le bassin versant Oued M'Zi « Google erath » (a) premier site (b) troisième site **59**
Figure V.5 Coupes géo électriques de la vallée de l'oued M'Zi (d'après L'étude de la STROJEXPORT, de 1975), (a) premier site, (b) troisième site **60**
Figure V.6 Capture d'écran du site deuxième et quatrième de barrage souterraine dans le bassin versant Oued M'Zi « Google erath » (a) deuxième site, (b) quatrième site **63**

Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
Tableau I.1	Types des méthèse de construction du barrage souterrain	**08**
Tableau II.1	Comparaison entre les méthodes d'agrégation	**22**
Tableau II.2	Exemple de matrice de comparaison par paire	**25**
Tableau II.3	Echelle de Saaty **[Fiat,2007]**	**26**
Tableau II.4	Les ratios de cohérence acceptable **[12]**	**27**
Tableau II.5	Les indices de cohérence aléatoire **[12]**	**27**
Tableau IV.1	Échelle proposée par Saaty	**48**
Tableau IV.2	Matrice de comparaison par paire	**48**
Tableau IV.3	Matrice de pondération	**49**
Tableau IV.4	Valeurs de CA en fonction de l'ordre de la matrice	**49**
Tableau IV.5	Classes des facteurs et leur pondération	**50**

Introduction Générale

Introduction

A mesure due les ressources en eau de surface deviennent pleinement exploitées, les eaux souterraines offrent la seule option possible pour les nouveaux développements. Des plus, dans les régions arides, ou les ressources en eau de surface sont très rares, voire inexistantes, les eaux souterraines sont la seule ressource en eau disponible. De plus en plus, une attention accrue est accordée à la gestion durable des eaux souterraines. La durabilité des eaux souterraines peut être définie comme le développement et l'utilisation des eaux souterraines d'une manière qui peut être maintenue pendant une période indéfinie sans causer de conséquences environnementales, économiques au sociales inacceptables **[1]** . Dans les décennies à venir, la durabilité des ressources en eaux sera l'une des questions clés et le passage aux eaux souterraines sera inévitable. **[2]**

La distribution inégale des eaux de pluie est un problème majeur dans les régions semi-arides, où les précipitations sont faibles et irrégulières. Pour pallier à cette distribution inégale des eaux de pluie, il est nécessaire de trouver une sorte de stockage, dans lequel l'eau de pluie, après infiltration dans le sol, peut être emmagasinée pour être utilisée pendant la saison sèche. Les barrages souterrains sont une solution viable pour l'approvisionnement en eau dans ces régions. Ils ont l'avantage d'être moins coûteux et moins invasifs que les barrages traditionnels, et ils peuvent être construits dans des zones où l'accès est difficile.

L'identification appropriée des emplacements de barrages souterrains est une étape cruciale dans la conception et la construction de ces ouvrages. Elle doit tenir compte de plusieurs facteurs, tels que la géologie, la topographie, le climat et les besoins en eau. Malgré la réalisation du barrage Tadjemout dans le bassin versant de l'Oued M'Zi durant l'époque coloniale, l'Algérie est restée très en retard pour la généraliser dans l'ensemble du Sahara algérien. La présente étude a pour objectif d'identifier les emplacements les plus favorables à la construction de barrages souterrains dans le bassin versant de l'Oued M'Zi. Elle repose sur une démarche multicritère qui combine l'analyse des facteurs pertinents (géologie, topographie, climat, besoins en eau, etc.) et l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG).

L'étude se présente en cinq chapitres dont le premier et le deuxième chapitre abordent les aspects généraux du sujet de recherche, tandis que le troisième chapitre se concentre sur la présentation de la région d'étude. Dans le quatrième chapitre, nous avons utilisé la méthode AHP pour analyser les sites favorables à l'implantation de barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi. Enfin, dans le cinquième et dernier chapitre, nous avons présentés les résultats de la recherche.

.

Chapitre I
Généralités sur les barrages souterrains

I.1. Introduction

Le barrage souterrain est un écran étanche construit dans un terrain aquifère destiné à retenir les eaux souterraines et par conséquent, favoriser la surélévation et la stabilisation de la nappe aquifère, notamment les nappes d'inféroflux. La réalisation de ce type d'ouvrage est une technique qui s'est développée depuis longtemps. L'exemple le plus ancien est celui de Chenntiz en Allemagne datant de1975. Dans le contexte africain, le plus ancien est celui de Tadjemout en Algérie construit en 1948. **[3]**

I.2. Les principaux objectifs des barrages souterrains

L'objectif essentiel visé par la construction d'un barrage souterrain est l'amélioration des ressources hydrauliques d'une vallée fossile. Une vallée fossile est formée par la sédimentation d'un ancien cours d'eau. C'est donc une ancienne vallée d'un cours d'eau constituée d'alluvions appelée également vallée enfouie (Figure 1).

Salon BCEOM (1978), par la création d'une retenue souterraine, on peut aboutir À :

- L'accroissement des ressources en eaux souterraines.
- A la régularisation inter saisonnière et inter annuelle de ces ressources.
- Au relèvement et la stabilisation du niveau de la nappe
- La construction d'un réservoir d'eau en terrain poreux, à l'abri de l'évaporation et des sources polluantes éventuelles (hommes et troupeau)
- Étanchement d'une parcelle en milieu aquifère : à l'inverse du stockage de l'eau, l'objectif de l'étanchement est de supprimer ou de réduire l'exhaure dans un terrain aquifère ou des travaux souterrains sont entrepris ; des écrans d'étanchéité sont construits pour constituer une enceinte fermée permettant d'effectuer les rabattements de la nappe localement nécessaires.
- La séparation d'eau douce de l'eau salée : on peut construire des barrages souterrains en vue de la séparation d'eau douce et d'eau salée dans des zones littorales ou les eaux douces s'écoulent en mer en terrains karstiques (région ou les calcaires dominent). **[3]**

I.3. Avantages du barrage souterrain

En comparaison avec le barrage de surface, le barrage souterrain présente les

avantages suivants **[4]**, **[5]**. :

- Il ne nécessite pas de déplacement de populations
- Il peut être exécuté en partie, voire en totalité, par la main d'œuvre locale
- Il peut être construit avec les matériaux d'excavation (argile par exemple)
- Il est stable et sûr, peu vulnérable aux dégradations. Même s'il estendommagé, les dégâts ne s'étendent pas à l'aval.
- Il est peu coûteux et ses frais d'entretien sont faibles, voire nuls.
- La réserve d'eau souterraine peut être soustraite à l'évaporation en respectant un niveau minimal de la crête de la digue par rapport à la surface du sol
- La qualité de l'eau du réservoir souterrain est conservée : épuration naturelle au travers des alluvions et fraîcheur, l'eau est à l'abri des sources polluantes éventuelles (hommes, troupeaux)
- Il permet d'exploiter des ressources renouvelables comme les nappes phréatiques conditionnées par la pluviométrie
- Il permet la récupération partielle ou totale des eaux de surface normalement perdues lors des crues, et l'utilisation de celles-ci en épandage (culturessaisonnières)
- Il garantit des besoins en eau des populations et du bétail lorsque les consommations sont contrôlables
- La nappe domestiquée offre plusieurs moyens d'exploitation en fonction du site, du type d'ouvrage, de l'utilisation attendue de l'eau. On peut ainsi utiliser l'eau par prises superficielles, galeries filtrantes, puits ou forages en amontetc.

I.4. Les inconvénients du barrage souterrain

- Capacité modeste de la retenue. Elle est fonction de la porosité efficace du sol qui n'atteint que 10 à 30% du volume du réservoir
- Assèchement de l'aval du barrage du fait qu'il intercepte et empêche l'écoulement des eaux souterraines
- Salinisation possible (dépend de la cote de la crête) des sols superficiels du réservoir consécutif à la remontée à la surface et de l'évaporation subséquente de l'eau retenue. **[4]**, **[5]**.

I.5 Évaluation du site approprié à l'emplacement du barrage

Le choix de l'emplacement du barrage souterrain se fait par étapes en opérant une sélection parmi les sites potentiels selon la procédure suivante :

- Analyse des images prises par satellites et des photographies aériennes
- Reconnaissance du terrain par des études géologiques et topographiques
- Estimation de la structure du terrain au moyen de la prospection géophysique
- Estimation du mécanisme d'écoulement des eaux souterraines à partir des résultats d'observation des nappes (puits existants, piézomètres). **[5]**.

L'évaluation du site pour la construction d'un barrage souterrain doit intégrer les conditions hydrauliques et hydrogéologiques requises.

Définit les conditions hydrauliques minimums pour le choix d'un site de barragesouterrain :

- La présence d'une rivière qui apparaît au moins une fois dans l'année (oued)
- Le lit de la rivière doit avoir une pente faible ou négligeable pour favoriser un écoulement lent et donc l'infiltration
- Le site ne doit pas être un site soumis à une érosion fréquente et grave pouvant entraîner les changements du lit du cours d'eau
- L'existence d'un endroit où la rivière se rétrécit. **[6]**

Les conditions hydrogéologiques requises pour le meilleur emplacement d'un barrage souterrain sont les suivantes :

- Présence de nappe phréatique à écoulement significatif est hautement souhaitable ; en effet une nappe stagnante ne pourrait pas créer une retenue importante
- Présence de formations poreuses aptes à constituer un réservoir. L'aquifère doit être constituée en grande proportion de sables pour une capacité maximale de stockage et le remplissage des puits ; une couche de sable saturée produit environ 340 litres d'eau par mètre cube contre 190 litres d'eau pour un mètre cube d'argile **[6].**
- Le fond et les côtés latéraux du substratum de l'aquifère doivent être peu perméables pour éviter les pertes importantes d'eau
- Présence d'une partie rétrécie du substratum par le souci d'avoir une digue inutilement longue comme dans le cas du barrage de surface. **[6].**

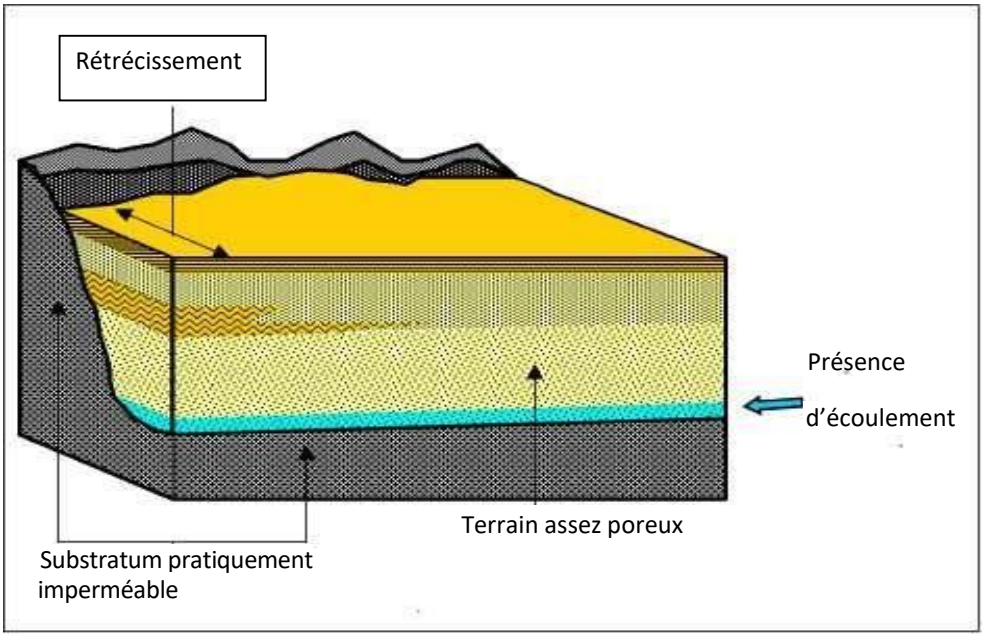


Figure I.1. : substratum convenable à l'emplacement d'un barrage souterrain **[3]**

I.6. Méthodes de construction du barrage souterrain

Les différentes techniques de construction du barrage souterrain sont données dans le tableau suivant :

Tableau I.1. : Types des méthodes de construction du barrage souterrain **[3]**

Catégorie	**Type de méthodede construction**	**Méthode de Construction et structure**	**Observations**
Application de la méthode de paroi moulée d'étanchéité	Mur en palplanches d'acier	Construction continue des murs en palplanchesd'acier	C'est une méthode convenable au sol faible,mais difficile à réaliser sur la couche graveleuse et la roche en place.
	Mur en Palplanches de tube d'acier	Construction continue des murs en palplanches detube d'acier	
	Paroi moulée	Mur de béton armé	Il y a des méthodes diverses

		coulé sur place	en fonction des conditions du sol et elles ont toutes besoin des matériels d'une haute technicité.
	Paroi moulée de type colonne	Paroi consistant en des pieux en mortier continuellement coulés sur place	Elle a besoin des matériels d'une hautetechnicité.
Application De la méthode d'amélioration du sol	Méthode d'injection	Injection de mortier à travers des forages réalisés par intervalles	Elle est largement applicable parce que lespetits et moyens matériels sont utilisables, mais un peu difficile à constater l'effet d'étanchéité.
Application De la méthode Générale de Construction du barrage	Méthode de Construction du barrage en béton	Structure construisant un barrage en béton sous Terre ou à moitié sous terre (excavation / construction du corps du barrage / remblai)	C'est la méthode convenable au barrage souterrain de type « barrage en torrent » dont Le haut est au-dessus du sol. Les frais de Travaux sont plus élevés que ceux des barrages souterrains de type « barrage en terre », en plus des mesures contre la fuite D'eau sont nécessaires. Mais, pour l'excavation profonde, les frais sont élevés.
	Méthode de Construction du barrage en terre	Structure construisant un barrage en terre (digue en terre) sous	Ce type de barrage peut être construit par des Matériels de travaux publics

		terre	ordinaires et le Contrôle des travaux est également facile. Cependant, des mesures contre la fuite d'eau Sont nécessaires et pour l'excavation profonde, les frais sont élevés.

I.7. Quelques exemples sur les barrages souterrains : le captage d'inferoflux d'oueds

C'est en Afrique du nord et plus particulièrement en Algérie et au Maroc qu'ont été construits plusieurs barrages souterrains. Dans la plupart des cas, la partie souterraine était prolongée par une superstructure plus ou moins importante destinée à dériver les eaux superficielles pendant la saison humide, ou même pendent les très courtes périodes de crues.

Signalons, enfin, que la nappe d'inféroflux d'un oued peut parfois être captée par l'intermédiaire d'une galerie creusée dans les alluvions de cet oued, comme dans le cas du drain de Freija qui fait office de barrage souterrain.

I.7.1. Le barrage de Tadjemout

L'ouvrage de Tadjemout situé sur l'oued Mzi, près de Laghouat, en Algérie, est un exemple assez rare de barrage d'inféroflux pur. Il mérite, pour cette raison, une description détaillée (cf. chapitre 3).

Avant sa construction, qui date de 1948, les usagers de la petite oasis de Tadjemout, qui se trouve au pied des derniers chaînons de l'Atlas Saharien, s'efforçaient de dériver une résurgence du sous-écoulement du Mzi au moyen de petites levées de sable établies au travers du lit de l'oued, et d'une séguia relativement longue et sinueuse, creusée dans les alluvions sableuses.

Par ces moyens rudimentaires, ils réussissaient à récupérer le tiers environ du débit de la résurgence qui atteignait une centaine de litres/seconde.

I.7.2. Le barrage d'Anezi

Il s'agit d'un petit ouvrage construit sur l'oued Bou Tergui, qui est un affluent de l'oued Massa. Il est implanté un peu en amont d'Anezi, petite localité de l'Anti-Atlas située entre Tiznit et Tafraout (Maroc).

Le barrage, qui est enterré sous une couche d'alluvions de 4 m d'épaisseur environ, est destiné à capter l'inféroflux de l'oued en un point où la vallée se rétrécit et ne dépasse pas la largeur de 50 m. Le barrage, dont la longueur en crête est de 35 m, est fondé sur des schistes compacts étanches.

Le niveau de la nappe alluviale se situe à 0,60 m au-dessous de la crête du barrage et les eaux sont captées à l'aide de deux drains en éléments de buses de 0 30 et de 0,30 m de longueur, disposés au niveau de la fondation, ' le long de la face amont de l'ouvrage. Ces deux drains convergent vers un puisard central dans lequel sont collectées les eaux avant d'être conduites vers l'aval, par l'intermédiaire d'une prise de fond constituée par une buse de 0 40. Le barrage d'Anezi est un des rares exemples d'ouvrage entièrement enterré.

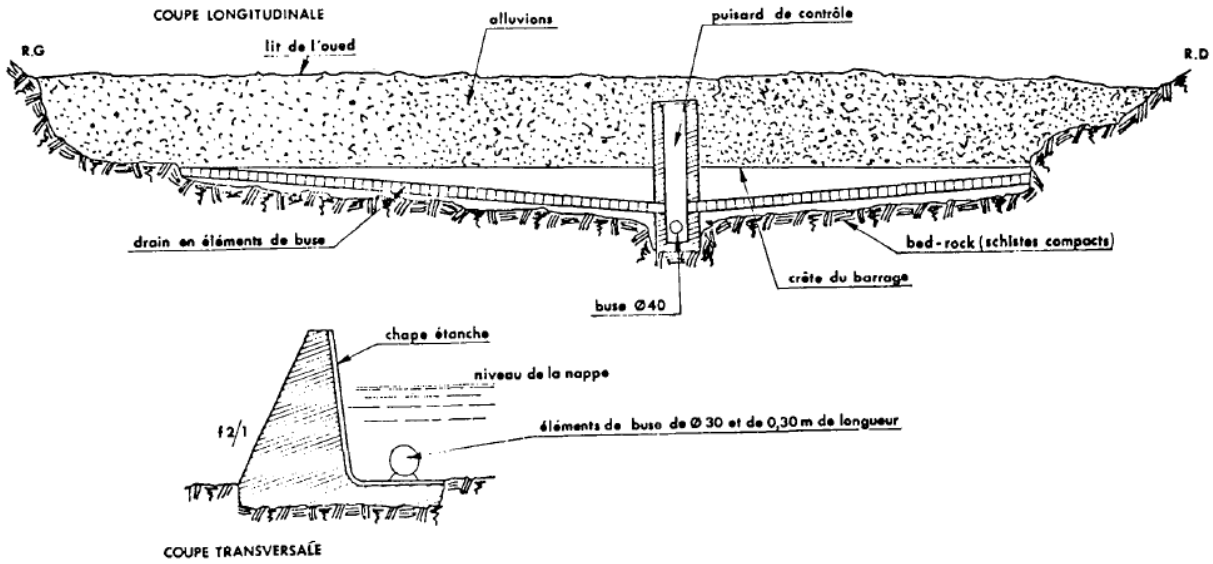


Figure I.2. : Barrage enterré d'Anezi. **[4]**.

I.7.3. Le barrage de Tazzarine

Le barrage de Tazzarine est constitué par un écran de 1 500 m2 environ, entièrement souterrain, et réalisé par des pieux forés jointifs. Sa longueur est de l'ordre de 150 m, et sa profondeur maximale est de 15 m.

Tazzarine est une palmeraie de 500 ha, située à 140 km à vol d'oiseau, à l'est d'Ouarzazate, dans le Sud Marocain. L'oued Tazzarine draine, au niveau de la palmeraie, un bassin de 2 000 km2 environ s'étendant sur une partie du versant sud de Djebel Sarhzo (3).

La pluviométrie annuelle y est extrêmement irrégulière et sa moyenne ne dépasse pas 100 mm. Divers projets ont été élaborés pour résoudre le problème de la pénurie en eau et les solutions palplanches, caissons, gabions ont été successivement envisagées. Finalement, en 1954 on a procédé à la réalisation d'un écran étanche en pieux forés de 560 mm de diamètre. Pour éviter les désordres susceptibles d'être provoqués par des affouillements à l'aval de la partie déversante de l'ouvrage, les têtes des pieux ont été reliées par une poutre en béton, laquelle était retenue, vers l'amont, par des tirants en béton armé, longs de 5 m, noyés dans les alluvions. La partie aval a été protégée par un tapis de gabions.

Compte tenu de l'éloignement du chantier qui se trouvait à 700 km des ateliers de l'entreprise, il a été décidé de travailler en forages tubes, procédé qui ne nécessitait pas le transport d'un matériel lourd et qui se justifiait d'autant plus que la profondeur des forages était faible.

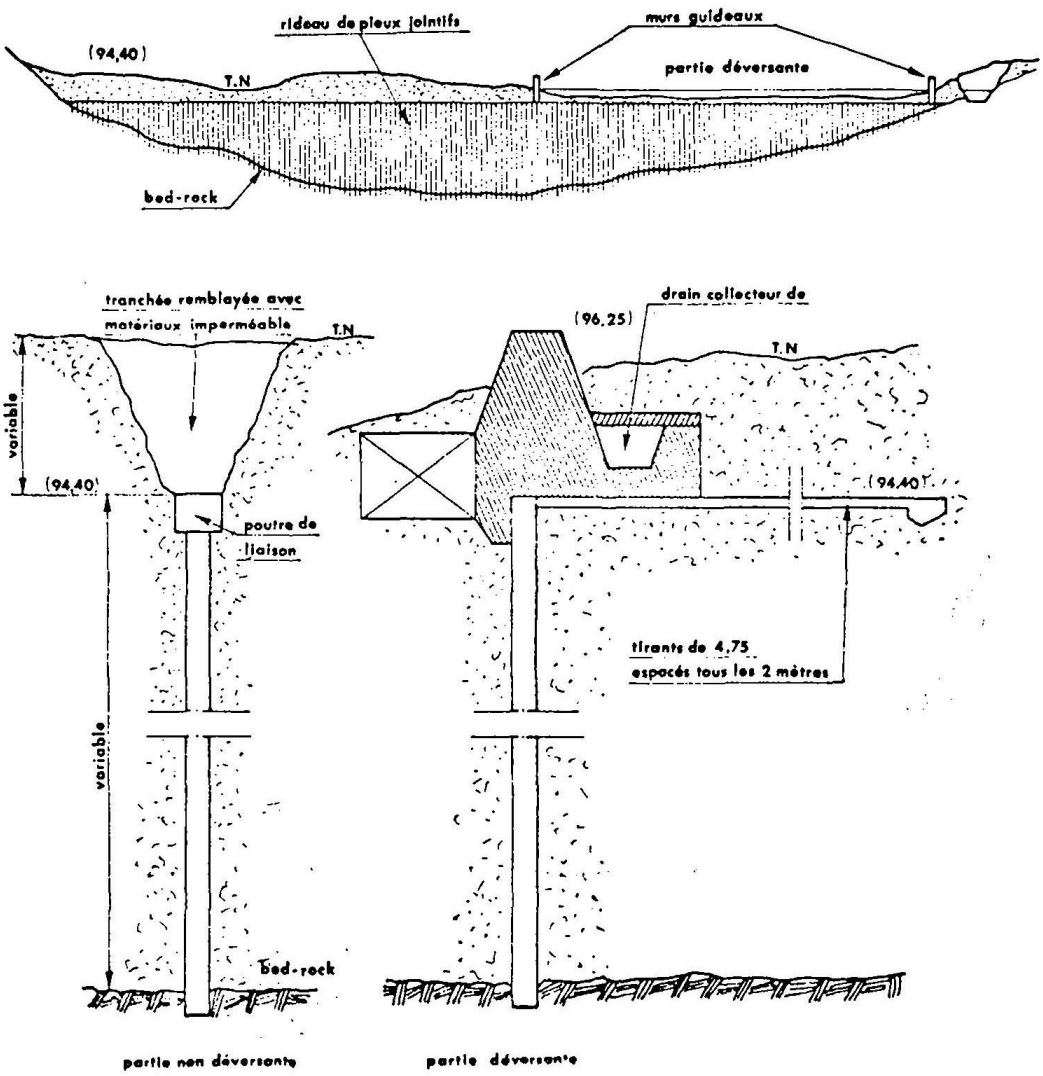


Figure I.3. : Barrage souterrain de Tazzarine. **[4]**.

I.7.4. Le barrage de Setrou

La technique des pieux forés jointifs a été utilisée de même pour la réalisation d'un autre barrage souterrain, à Setrou, à une vingtaine de kilomètres au sud de Fès, au Maroc.

Pour améliorer l'irrigation de l'oasis de Setrou, l'Administration a construit sur l'oued Aggai un petit ouvrage de prise de très faible hauteur.

Cette rivière coule sur un lit alluvionnaire de 9 m d'épaisseur, d'assez forte perméabilité, ce qui faisait craindre qu'une fois le barrage de dérivation exécuté, l'eau se perde par infiltration.

En outre, on s'est aperçu que le lit alluvionnaire était le siège d'un écoulement notable dont le débit récupéré s'avérait très intéressant pour l'irrigation projetée.

Il a donc été décidé d'exécuter un rideau de pieux jointifs, ancré dans les calcaires du substratum, son extrémité supérieure étant noyée dans la maçonnerie de l'ouvrage de prise.

Réalisé en pieux de 420 mm de diamètre, le rideau étanche, qui barre intégralement toute la vallée alluvionnaire, a une profondeur maximale de 10 m et une superficie totale de l'ordre de 220 m2.

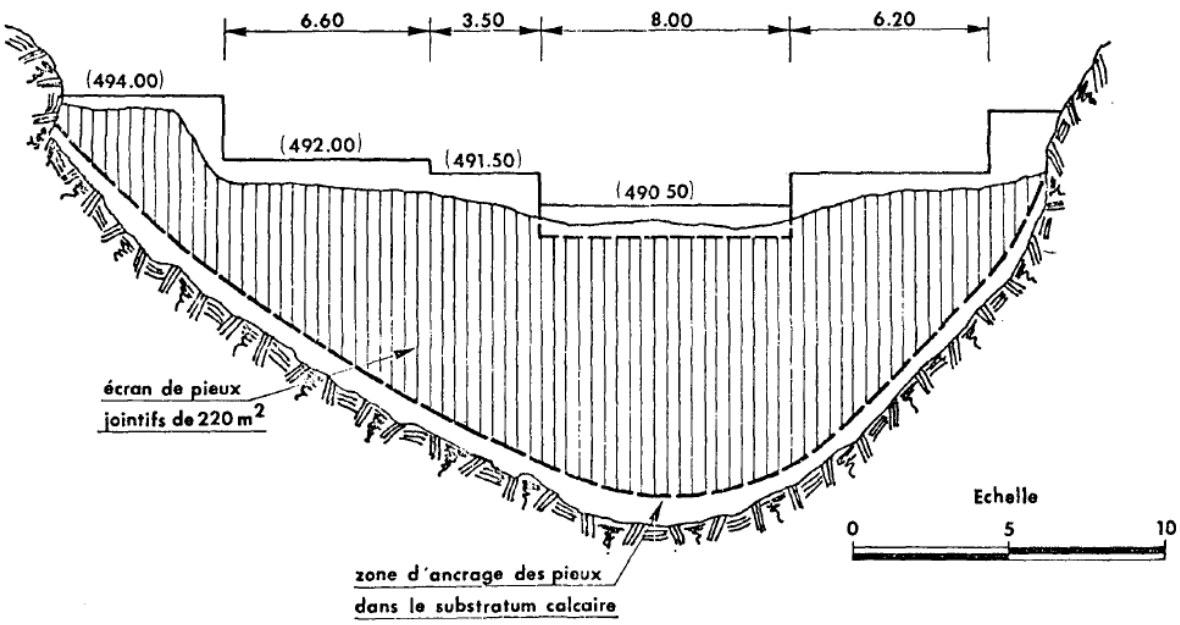


Figure I.4. : Barrage de l'oued Aggai à Sétrou. **[4]**.

Chapitre II

Aide à la décision multicritère

II.1. Analyse multicritère

II.1.1. Qu'est-ce que l'analyse multicritère ?

En général, l'analyse multicritère est définie comme « un outil mathématique qui permet de comparer les différentes alternatives ou scénarios en fonction de nombreux critères, souvent contradictoires, afin de guider la décision vers un choix éclairé ». Les différentes options de décision envisagées dans un problème spécifique sont généralement appelées A et sont appelées l'ensemble des options possibles. Selon certaines perspectives, un critère e est une fonction g qui prend ses valeurs dans un ensemble ordonné et représente les préférences du décideur. On écrit g(a) pour représenter l'évaluation d'un alternatif selon la fonction g. L'analyse multicritère spatiale définit l'utilisation de l'analyse multicritère dans un environnement spatial où les options, les critères et Les dimensions spatiales explicites des autres éléments du problème de décision sont explicites. L'analyse multicritère a été associée aux systèmes d'information géographique (SIG) depuis la fin des années quatre-vingts afin d'améliorer la prise de décision multicritère spatiale.

II.1.2 Pourquoi utiliser l'analyse multicritère ?

En somme, l'analyse multicritère possède des caractéristiques qui la rendent attrayante et pratique. Certaines de ces caractéristiques ont été décrites par Belton et ses collègues (2002) comme étant :**[12]** « elle vise à prendre en considération la clarté des critères multiples et contradictoires », elle contribue à structurer le problème de gestion, **[13]** elle propose un modèle qui peut servir de fondement de discussion, et **[7]** elle propose un processus qui conduit à des décisions rationnelles, justifiables et explicables. De plus, l'aide à la prise de décision multicritère présente également quelques caractéristiques appréciables qui en font un outil adéquat pour l'analyse de problèmes complexes tels que ceux rencontrés dans la gestion des ressources naturelles. En premier lieu, elle est capable de traiter des ensembles de données mixtes, tant quantitatives que qualitatives, incluant les avis d'experts. Les connaissances et les données concernant les écosystèmes naturels et agricoles sont rarement exhaustives, certaines ou bien intégrées. Ainsi, la capacité à faire face aux lacunes dans les données constitue un avantage particulier. Ensuite, elle a été spécialement conçue pour faciliter la planification et l'aménagement d'un environnement de prendre des décisions collectives. Cette atmosphère

participative encourage l'engagement et la participation de divers experts et acteurs impliqués (Mendoza et al., 2003 ; Mendoza et al., 2006).

II.2. Méthodes d'Analyse Multicritères

Si nous sommes dans n'importe quel contexte qui a besoin de décision, nous pouvons distinguer plusieurs types de décision selon les résultats attendus :

- **Problématique de choix :** sélectionner la ou les meilleures solutions.
- **Problématique de tri** segmenter l'ensemble des solutions en les affectant à des catégories préalablement définies.
- **Problématique de rangement :** ranger les solutions en classes d'équivalence de la meilleure à la moins bonne.
- **Problématique de description :** décrire dans un langage approprié les solutions et leurs conséquences.

Dans cette situation, notre problématique se résume à une problématique de sélection où l'objectif est de sélectionner les sites les plus performants en se basant sur divers critères.

Dans le contexte de ce mémoire, nous ne pouvons pas approfondir et définir toutes les méthodes d'analyse et d'évaluation multicritère, car elles sont très nombreuses. Cependant, il existe un grand nombre d'ouvrages dans la littérature qui abordent le sujet. Le lecteur intéressé est orienté vers divers travaux, tels que **([8] ; [14] ; [9] ; [15]).**

II.3. Approches d'agrégation pour les problèmes multicritères

Elles impliquent de regrouper les divers critères en une seule fonction qui donne une seule valeur. Les recherches sur cette catégorie s'intéressent aux conditions mathématiques d'agrégation, aux formes spécifiques de la fonction et aux techniques de construction. Les méthodes d'agrégation les plus connues sont présentées dans la (figure II.1) ci-dessous.

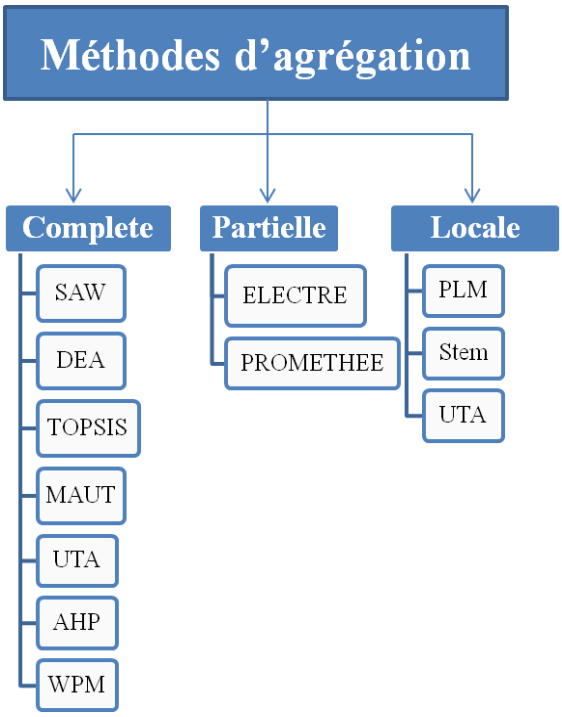


Figure II.1: Les méthodes d'agrégations **[11]**

II.3.1 Agrégation complète transitive (Approche du critère unique)

L'objectif est de supprimer toute inégalité et de concentrer toutes les performances dans une seule fonction d'agrégation ou d'utilité en leur attribuant des poids éventuels. Le choix de la fonction d'agrégation est, entre autres, perçu comme un inconvénient **[16].** On peut citer parmi les méthodes les plus célèbres de cette approche **[11]** :

a) TOPSIS: Technique for Order by Similarity to Ideal Solution

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) est une méthode dont le but est de pouvoir classer par ordre de choix un certain nombre d'alternatives sur la base d'un ensemble de critères favorables ou défavorables. Cette méthode s'inscrit dans les techniques utilisées dans le domaine d'aide à la décision multicritères (MCDM = Multiple Criteria Decision Making). Elle a été développée par Hwang et Yoon en 1981. **[17]**

b) SMART : Simple Multi-Attribute Rating technique

Cette méthode, développée par Edwards en 1971, consiste à utiliser la forme additive pour l'agrégation des évaluations sur les différents critères. Cette approche a été justifiée par le fait que dans certains cas (peu ou pas d'interactions entre les actions envisagées)

on obtient aussi bonnes approximations avec la forme additive qu'avec d'autres formes non linéaires qui sont beaucoup plus complexes.

c) SAW : Simple Additive Weighting

La pondération additive simple (SAW) est une procédure multi-attributs basée sur le concept de la somme pondérée. Pondérée. Le système recherche une somme pondérée de l'évaluation de la performance de chaque alternative sur tous les critères alternatifs. Alternative sur tous les critères alternatifs. Le score le plus élevé sera la meilleure alternative et elle sera recommandée. Cette méthode peut être utilisée pour soutenir le système d'information géographique avec des opérations de superposition opérations **[18].**

d) AHP : Analytic Hierarchy Process

La méthode AHP est une méthode adaptée aux problèmes de décision multicritères c'est-à- dire comportant plusieurs solutions satisfaisant un ensemble de critères. L'approche de la méthode consiste à simplifier le problème en le décomposant en un système hiérarchique. Thomas Saaty est à l'origine de cette méthode et l'a créé dans les années 1970. **[19].**

e) MAVT : Multiple Attribute Value Theory

La méthode MAVT, développé par Keeney et Raifa en 1976, repose sur l'idée fondamentale suivante : tout décideur essaie inconsciemment (ou implicitement) de maximiser une fonction V =V [$g1$, …, gn] qui agrège tous les attributs. La particularité de cette méthode réside dans l'idée de construction d'une fonction de valeur partielle pour chaque attribut. La meilleure action sur un attribut aura une valeur partielle (par rapport à l'attribut étudié) égale à 1 et la pire des actions aura une valeur partielle égale 0.

f)MAUT : Multiple Attribute Utility Theory

Méthode développée vers la fin des années 60 par Ralph Keeney et Howard Raiffa

- Cherche à mesurer l'utilité totale qui peut être tirée de chacune des actions potentielles
- Elle est obtenue en combinant les utilités élémentaires ou partielles que présentent cetteaction aux yeux des différents critères. **[19].**

g) UTA : Utility Theory Additive

La méthode UTA, développé par Jacquet-Lagreze et Siskos en 1982, se base sur l'idée suivante : nous supposons que le décideur connaît bien un sous ensemble d'actions A'. Nous cherchons à estimer la fonction d'utilité (ayant une forme additive) en s'approchant le plus possible des jugements portés par le décideur sur le sous-ensemble A'

II.3.2 Agrégation partielle (Approche du sur classement de synthèse)

Il s'agit d'une méthode basée sur la comparaison des actions deux à deux, puis une synthèse des résultats de ces comparaisons, et c'est la synthèse qui distingue les méthodes de cette famille. Cette méthode respecte l'égalité, mais au détriment de la précision des résultats, et est privilégiée si au moins un critère est qualitatif (elle utilise à la fois des critères qualitatifs et quantitatifs). Les critères présentent une grande diversité et il est difficile de les codifier à une échelle commune **[20].** Il est nécessaire de prendre en compte des seuils de préférence ou de refus. On peut citer parmi les méthodes les plus célèbres de cette approche **[21].** :

a) Électre I : Élimination et Choix Traduisant la Réalité

Cette méthode, inventée par Roy en 1968, relève de la problématique de choix (P.α). Elle vise à obtenir un sous-ensemble N d'actions tel que toute action qui n'est pas dans N elle est surclassée par au moins une action de N. N est appelée le noyau du graphe de sur classement :c'est le siège des actions non surclassées.

Ce sous- ensemble (qu'on rendra aussi petit que possible) n'est pas donc l'ensemble des bonnes actions, mais c'est l'ensemble dans lequel se trouve certainement le meilleur compromis cherché.

b) Electre II : Electre II a été mise au point en 1973. Cette version relève de la problématique de rangement P.γ (la procédure d'investigation est une procédure de classement). Elle vise à ranger les actions de la meilleure à la moins bonne.

c) Electre III: Cette version, mise au point en 1978, relève de la problématique de rangement P.γ (procédure de classement). Son but est de classer les actions potentielles, depuis les "meilleures" jusqu'aux" moins bonnes", la méthode s'appuie sur la définition d'une relation de sur classement S permettant de comparer deux actions a et b distincts.

[19]

II.3.3 Agrégation locale (Approche du jugement local interactif avec itérations)

Cette méthode implique de partir d'une solution initiale, supposée aussi bonne que possible, et de rechercher dans les environs s'il y a une solution supérieure à celle-ci. Par conséquent, une solution initiale est sélectionnée, puis un groupe de variantes proches de la solution initiale est sélectionné, puis on vérifie s'il n'y a pas de meilleure variante par rapport à celle sélectionnée. Ce nouveau choix est la solution initiale pour une nouvelle itération. L'exploration locale et répétitive est donc pratiquée **[22].** Cette méthode est particulièrement utile dans les cas où il y a un nombre quasi infini de variations. Les principales approches de ce type sont les suivantes **[21].** :

a) PLM : Programmation linière multicritère

Un programme linéaire multicritère en nombres entiers est constitué d'un system de contraintes linéaires définissant un domaine discret de solutions réalisables et d'un ensemble de fonctions linéaires à maximiser ou à minimiser définissant des objectifs conflictuels. Le problème consiste à déterminer toutes les solutions réalisables efficaces entières. **[19].**

b) STEM : Step Method

STEM est la première méthode interactive proposée par Benayoun et al. En 1971**[23].**, et qui est très utilisée en pratique. Cette méthode tente de minimiser, par rapport au point de mire, une “distance pondérée augmentée de Tchebycheff” **[24].**

II.4. Comparaison entres les méthodes d’agrégation

Chaque approche mentionnée précédemment présente des bénéfices et présente des limites (Tableau 1) **[25] [26] [16]**, et chaque méthode qui adopte l'une de ces approches cherche à surmonter ses limites et à apporter une contribution nouvelle **[23].**

Tableau II. 1 : Comparaison entre les méthodes d'agrégation **[11]**

Caractéristiques	Agrégation Complete	Agrégation Partielle	Agrégation Locale
Type de problème	Choix	Classement /choix	Choix
Type de critères	Qualitative	Qualitatif Quantitatif	Qualitatif Quantitatif
Points forts	Mise en œuvre Simple Permettre la transitivité Transformer n-tuples en une seule fonction de sortie	Eviter la Compensation Accepter l'incomparabilité	- Accepter un nombre infini des actions
Points faibles	Compensation des mauvais critères Pas de situation d'incomparabilités	Nombrefinis d'actions Complexe à mettre en ouvre Difficile à assurer la Transitivité	Beaucoup d'itérations Complexe à mettre en ouvre

Cependant, il est important de prendre une décision éclairée quant à la méthode d'agrégation afin d'assurer un bon déroulement du processus décisionnel. Il est essentiel de savoir ce que sont les entrées de notre système (critères, actions, etc.), ce que l'on doit faire (sélection, tri, rangement, etc.) et ce que l'on doit agréger (totale, partielle, locale)

II.5. Méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)

II.5.1. Définition la méthode AHP

Selon le mathématicien Thomas Lorie Saaty, la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) est une méthode multicritère d'aide à la décision appelée MCDM (Multicriteria Decision-Making) **[27], [28].** La méthode d'aide à la décision appliquée (AHP) est une méthode puissante et souple qui permet de résoudre des problèmes simples ou complexes dans diverses situations.

La méthode AHP est l'une des méthodes les plus connues et les plus utilisées dans l'analyse multicritères. Elle permet aux décideurs d'évaluer les poids liés aux différents critères plutôt que de les donner de manière intuitive en se basant sur les comparaisons par paire entre tous les éléments du même niveau pour leur attribuer un poids final. De plus, elle est considérée comme une méthode compensatoire car elle suppose une agrégation complète entre les critères.
Il s'agit d'une approche qui vise à résoudre des problèmes avec différentes options en utilisant simultanément plusieurs critères de décision. Elle est méthodique, adaptable et facile à utiliser, et

est souvent employée par les chercheurs et les professionnels pour comparer différents objectifs ou options **[29]**.

II.5.2. Caractéristiques de la méthode AHP

- Les unités de mesure peuvent prendre des dimensions qualitatives ou quantitatives, avec des valeurs relatives ou absolues pour définir des priorités.
- Organisation hiérarchique : qui facilite la classification des éléments du système selon des niveaux et des groupes ayant des caractéristiques similaires.
- L'interdépendance permet de prendre en compte les différents éléments du système sans se focaliser sur un raisonnement linéaire.
- La cohérence est essentielle pour maintenir une logique dans les jugements utilisés pour établir les priorités.
- Récapitulatif : permettant d'obtenir une vision globale de la faisabilité de chaque option.
- La détermination des priorités permet de prendre en compte la priorité relative de chaque critère afin d'obtenir la meilleure option en fonction des objectifs établis.
- Flexibilité : une capacité qui lui permet d'être utilisée dans une variété de problèmes non structurés. **[19]**

II.5.3. Les étapes de l'application

Ci-après, nous détaillerons les différentes étapes de la méthode AHP, présentées à la figure II.2.

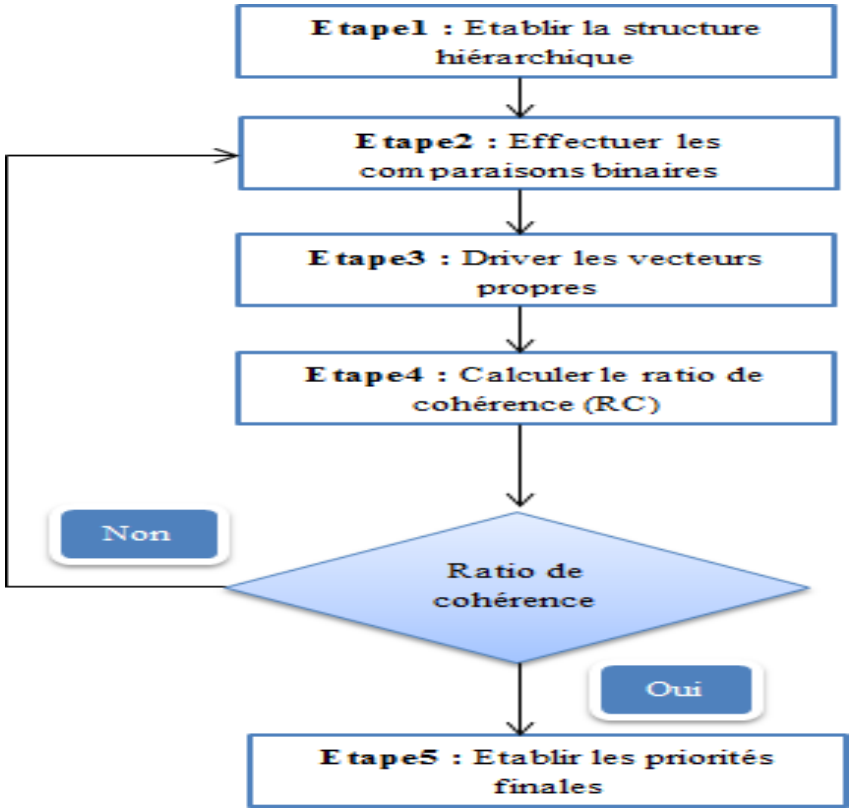


Figure II.2 : Les étapes de l'application. **[19]**

- **Etape 1 : Etablir la structure hiérarchique** qui consiste à décomposer le problème aussi complexe soit en une structure hiérarchique à travers des niveaux
    - **Niveau 0 :** Définir l'objectif cible
    - **Niveau 1 :** Définir les critères de jugements principaux
    - **Niveau intermédiaire** : il peut y avoir plusieurs pour déterminer les sous critères
    - **Niveau 2** : Définir les alternatives ou les actions possible

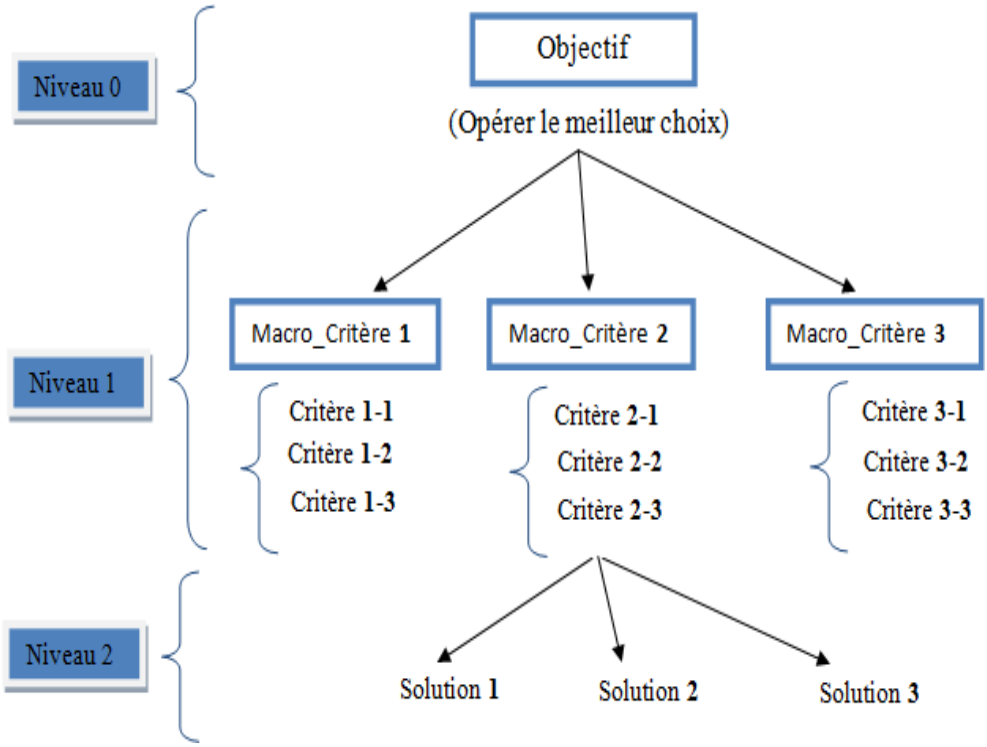


Figure II. 3 : La hiérarchie du problème. **[19]**

- **Etape 2 : Effectuer les pondérations binaires**

Cette étape consiste à étudier les points suivants :

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau inter médiatement supérieur en utilisant l'échelle de T.L Saaty (Tableau II.3)
-

Tableau II.2 : Exemple de matrice de comparaison par paire

	A1	**A2**	**A3**
A1	1	3	6
A2	1/3	1	2
A3	1/6	½	1

Tableau II.3: Echelle de Saaty **[Fiat, 2007].**

Poids ou intensité de la comparaison	Jugement verbal de la préférence
1	Même importance
3	Importance modérée
5	Forte importance
7	Très forte importance
9	Extrême importance ou importance absolue
2,4,6,8	Utilisés pour les jugements intermédiaires par rapport à ceux listés ci-dessus

Former une matrice carrée réciproque N*N composée par les ratios issus des comparaisons. N étant le nombre d'élément comparé, un exemple de matrice est présenté dans le tableau et par la formule

$$A = [\![aij]\!] avec \begin{cases} aij = 1 \; pour \; i = 1..k \; etc \\ aij = \dfrac{1}{aij} \; (valeur \; reciproque) \end{cases}$$

- **Etape 3 : Calcul des priorités**

Le but est de trouver un ensemble de poids w1…wn tel que correspond aux comparaison dans la matrice de comparaison par pair. Le calcul se fait selon les trois étapes ci-dessous :

Effectuer la somme des éléments de chaque colonne j :

$$\sum_{i=1}^{n} aij \; \forall \; i,j$$

Diviser chaque élément de la matrice par la somme des éléments de sa colonne (Normaliser)

$$aij = {aij}/{\sum_{i=1}^{n} aij \; \forall \; i,j}$$

Calcul de la moyenne de chaque ligne i :

$$wi = \sum_{i=1}^{n} aij/n$$

- Etape 4 : le calculer le ratio de cohérence (RC)

Les priorités calculées ont un sens seulement si les matrices de comparaison par pair sont cohérentes (respect de la transitivité), un contrôle de cohérence doit être appliqué. Saaty **[30]** a proposé un index de cohérence (IC) qui se calcule en se basant sur le calcul des valeurs propres :

$$IC = {(\lambda max - n)}/{(n-1)}$$

Tel que : n est la dimension de la matrice de comparaison, λmax est la valeur propre maximale de la matrice de comparaison.
Le ratio de consistance est calculée par la formule : $RC = IC/IA$
Tel que : RC ratio de cohérence, IA indice aléatoire, IC indice de cohérence Si RC <10% → la matrice consistante et acceptable,
Sinon revoir la comparaison
Le tableau II.3 illustre l'indice accepté par Saaty selon les démentions de la matrice

Tableau II.4: les ratios de cohérence acceptable **[11]**

Taille de la matrice (n)	Ratio de cohérence acceptable
3	**0.05**
4	**0.08**
5 +	**0.10**

IA est un indice déterminé par T.L Saaty **[30]** d'une manière empirique, cet indice est présenté dans le tableau II.5

Tableau II.5: les indices de cohérence aléatoire **[19]**

n=nombre de critère	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
IA	**0**	**0.58**	**0.90**	**1.12**	**1.24**	**1.32**	**1.41**	**1.45**	**1.49**	**1.51**

- **Etape 5 : Etablir les priorités finales**

La dernière étape doit synthétiser les priorités locales à travers tous les critères pour déterminer la priorité globale.

L'approche d'AHP utilisée est appelée <mode distributif> qui adopte une fonction additive avec normalisation de la somme des priorités locales à l'unité :

$$pi = \sum_{j}^{i} wi, lij$$

Tel que :

Pi= priorité globale de l'alternative

Lij: priorité locale

Wi : poids du critère j

II.6. Avantage de la méthode AHP

La méthode AHP offre plusieurs avantages qui en font un outil précieux pour la prise de décision multicritère, notamment sa structure claire, sa comparaison par paires, sa prise en compte des jugements subjectifs, sa capacité à synthétiser des priorités, sa facilité d'utilisation, ses logiciels disponibles, sa validation de la cohérence et sa flexibilité.

Les points forts de la méthode AHP sont la modélisation du problème de décision par une structure hiérarchique et l'utilisation d'une échelle sémantique pour exprimer les préférences du décideur.

Bien qu'elle soit très populaire, la méthode AHP a fait l'objet de plusieurs critiques :

- Un grand nombre d'éléments dans le problème de décision fait exploser le nombre de comparaisons par paires.
- Le problème de renversement de rang (deux actions peuvent voir leur ordre de priorité s'inverser suite à une modification (ajout ou suppression d'une ou de plusieurs actions) de l'ensemble des actions.
- L'association d'une échelle numérique à l'échelle sémantique est restrictive et introduit des biais.

Chapitre III

Présentation de

La région d'étude

III. Présentation de la région d'étude

III.1. Contexte et contexte global

Le bassin versant de l'Oued M'Zi, situé entre 1°56' et 3°1' de longitudes Est et entre 33°24' et 34°16' de latitudes Nord, fait partie de la wilaya de Laghouat. Il couvre une superficie d'environ 6276 km². Les caractéristiques altitudinales indiquent clairement que le bassin de l'Oued M'Zi se compose de deux unités orographiques distinctes **[31]** :

- - Une première unité atlasique à reliefs escarpés où les sous-bassins présentent des altitudes moyennes supérieures à 1200 m ;
- - Une deuxième unité saharienne ou de piémont saharien où l'altitude moyenne est inférieure à 950 m.

Il est donc observé une disparité vers les altitudes élevées, ce qui pourrait entraîner une influence du relief sur les conditions météorologiques (précipitations, températures).

Les observations précédentes démontrent que les différences de pente globale entre le M'Zi amont et le M'Zi aval, situées entre deux unités assez distinctes du point de vue orographique (atlas saharien et plate-forme saharienne), sont responsables des inondations à l 'aval de la ville de Laghouat lors des crues de l'Oued M'Zi. [**32]**

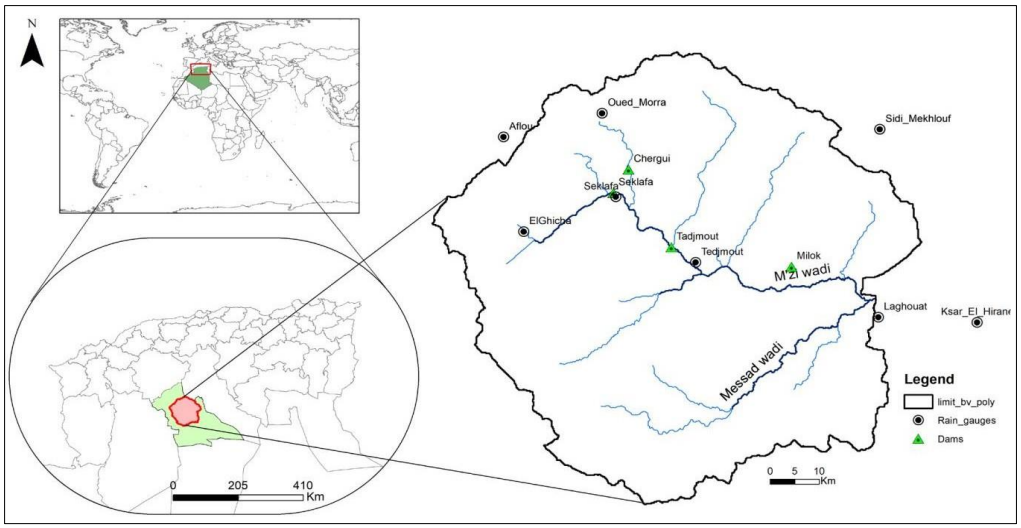


Figure III.1: Situation du bassin versant de Oued M'Zi

III.2. Géologie de la région d'étude

L'étendue géologique du territoire du bassin versant de l'oued M'Zi est très diversifiée, en termes de structure et d'évolution **[33,34]**. Ces domaines sont : Les monts des Ammour et les monts des Ouled Nails constituent l'Atlas Saharien au nord, tandis que la plateforme Saharienne au sud est constituée d'un ensemble de plateaux subtabulaires variés en termes de structures, de positions et de nature de la roche qui les composer.

On appelle généralement ces plateaux par les noms arabes (Hmada et Erg). Les auteurs ont réalisé une description géologique de la wilaya de Laghouat qui a permis de situer les formations de la région au Mésozoïque et au Tertiaire Quaternaire. On peut observer :

- *Le trias :* ne se manifeste qu'à l'avantage. Le phénomène du trias ne se manifeste que par quelques accidents locaux, qui se manifestent dans la région Nord-Ouest de la wilaya.
- *Le Jurassique secondaire :* se manifeste uniquement dans sa partie supérieure au cœur d'anticlinaux (Djebels et Kefs) à l'orientation Sud-Ouest Nord-Est dans la région Nord de la wilaya, comme le Djebel Lazreg, le Djebel Zerga, le Djebel Zlarh et la partie orientale du Djebel Mimouna.
- *Le Tertiaire* : est principalement constitué par le Crétacé, qui s'étend sur la majeure partie de la wilaya. Entre les anticlinaux se trouvent de vastes dépressions dans le crétacé inférieur, principalement gréseux. L'essentiel des synclinaux situés en « Tabula » sont le crétacé supérieur évaporitique et carbonaté, qui se trouvent dans le Djebel Milok, le Dakhla, le Djebel Gourou et le Sidi Okba nord nord-ouest de la wilaya.
- *Le Quaternaire :* représenté par la Haute Surface et par un système de glacis (Moulouyens).

Constitué de terrains qui comprennent des dépôts d'origines très diverses. Il en est de formation marine, d'autres de formation lacustre, de formation fluviatile ou de formation continentale.

Ces dépôts se montrent à des altitudes très variées, et il paraît en avoir été formé à de nombreuses époques successives, ou plutôt ils se sont formés à peu près sans discontinuité, et leur formation continue même de nos jours **[35]**.

L'oued M'Zi est une vallée où les alluvions fluviatiles sont remplies. Elle est divisée en deux séries : Le Quaternaire ancien est constitué de roches grossières, mal arrondies, avec un

encroûtement calcaire, avec des altitudes au-dessus des talwegs de 3 mètres. Le nouveau quaternaire : constitué d'alluvions calcaires limono-sableuses, à une hauteur de 1 mètre au-dessus des talwegs.

Les dépôts de la vallée de l'Oued M'Zi présentent une taille importante (graviers, galets et sables), mais leur épaisseur est faible. Ils se concentrent principalement sur les cluses du pont de Laghouat et du Kef Seridja, le Rocher des chiens et le Ksar Kabeg, où le substratum fait un seuil **[32]**. Le Quaternaire surmonte directement les terrains secondaires dans le domaine atlasique saharien, tandis que dans le domaine saharien o. les alluvions quaternaires sont basées sur les dépôts détritiques tertiaires.

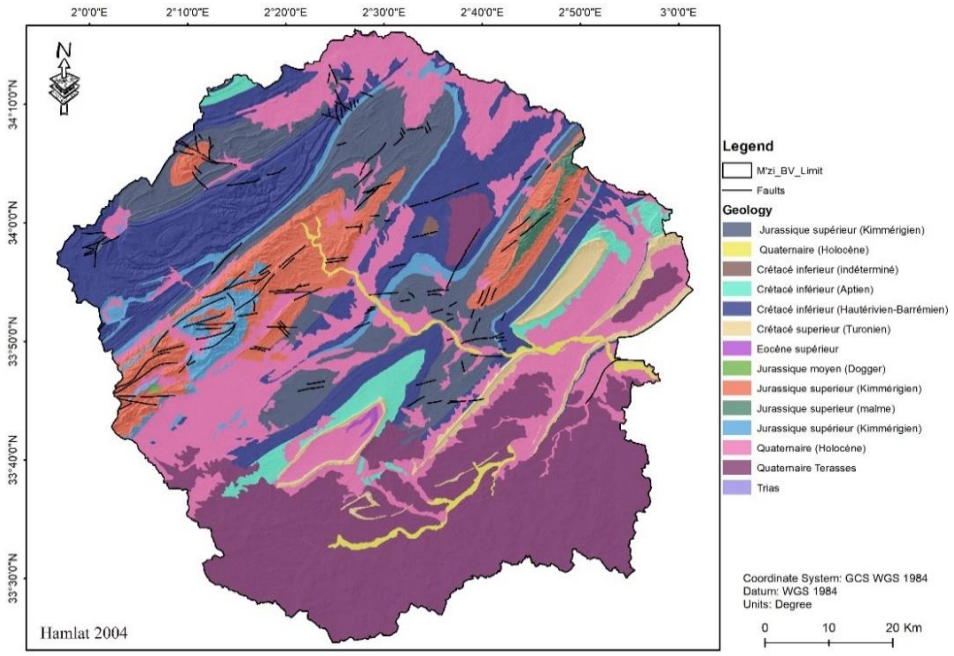


Figure III.2 : la carte de géologie de bassin versant de l'oued M'Zi

III.3. Réseau hydrographique

L'oued M'Zi est un bassin versant de la zone centrale de l'Atlas Saharien, à environ 275 km de la mer. Le bassin draine la partie sud du Djebel Amour, situé au site de Seklafa, à l'est de la ville d'Aflou. L'oued M'zi est l'un des principaux cours d'eau de la région méridionale de l'Algérie. En aval de Laghouat se trouve l'oued Djedi, qui est formé par les oueds M'Zi et Messad. Sa large vallée limite au sud la chaîne saharienne, se terminant dans le chott Melghir, dans le grand bassin intérieur de l'Algérie au sud de Biskra. Après un parcours de 450 km, il

forme un système endoréique caractéristique des régions arides et semi-arides. L'oued M'Zi a un cours d'eau permanent et les pluies de l'hiver en font souvent une rivière, avec une largeur de plusieurs centaines de mètres.

Ces eaux fournissent l'alimentation aux oasis de Laghouat. Le plateau d'Aflou abrite les têtes des vallées supérieures affluents de l'oued M'Zi, à proximité de celles qui descendent vers le Chélif (oueds Sebgag et Chelal). La région de Gada est traversée par les deux oueds qui forment l'oued M'Zi (oued El Fareg el l'oued Ouarène) qui se rejoignent immédiatement en amont de la gorge de Seklafa, à travers laquelle l'oued surgit des montagnes. La rive gauche de l'oued M'Zi reçoit l'oued Chergui en aval de la gorge, près du village de Tadjemout. Au niveau du M'Zi amont (Atlas saharien) et du M'Zi aval (plate-forme saharienne).

La variation brusque des pentes favorise le dépôt des transports solides et les inondations (crues). La formation de la vallée de l'Oued Djedi et ses affluents Oued M'Zi et Messaad peut être expliquée par deux hypothèses **[31]** :

La vallée du Djedi a été formée par le processus d'érosion régressive à partir des niveaux de base des chotts sud-aurassien (Melrir).

- L'hypothèse de la déformation tectonique : en raison de la taille considérable de la vallée d'Oued Djedi, qui s'étend sur une distance de 400 km et 20 km,
- L'hypothèse de l'érosion régressive a été exclue au détriment de l'intervention de la subsidence tectonique pour expliquer la déformation. La formation de la vallée, c'est-à-dire l'origine de Oued M'Zi, dérive de la fosse subsidente sud-eurasienne.

III.4. L'occupation du sol

Dans la région de Laghouat, on retrouve cinq catégories de sols (sols minéraux bruts, sols peu développés, sols calcimagnésiques, sols iso humiques et sols des Dayas), avec trois types de sols identifiés **[34]**.

L'importance et la diversité de la végétation sont fortement influencées par les prélèvements et l'altitude. On constate une dégradation très importante du couvert végétal dans les hautes plaines, les parcours et les zones alpha. De plus, le massif montagneux de l'Atlas saharien reste une zone d'arboriculture (forêt et maquis).

Par contre, dans le secteur semi-aride (plateau saharien), et en raison de la qualité saline de ses sols, la flore est souvent absente.

Trois types de végétation sont présents dans la wilaya de Laghouat grâce aux domaines bioclimatiques et édaphiques.

La région semi-aride, avec une pluviométrie supérieure et moyenne à 300 mm, se distingue par une végétation forestière et matorral qui se trouve principalement sur les reliefs de l'Atlas Saharien. On observe la présence de végétation steppique dans les formations du Qu s, dans les zones semi-arides et arides. La zone aride avait une limite Inférieure qui représentait une augmentation soudaine du taux d'espèces saharo-arabes dans la composition de la flore ; ce taux était de 25%. Un soudain taux de 20 à 40 % des espèces sahariennes diminue, tandis que le taux des espèces méditerrano-steppiques diminue de 76 à 59 % par rapport à la partie méridionale de la zone aride. La limite sud de 100 mm fait référence à l'émergence d'un couvert végétal étendu sur les zones d'érosion et les glacis où les sols sont squelettiques. Sur un sol sableux, la végétation peut maintenir une tendance diffuse jusqu'à ce que la pluviométrie moyenne annuelle ne dépasse pas 50 mm, voire moins **[32]**.

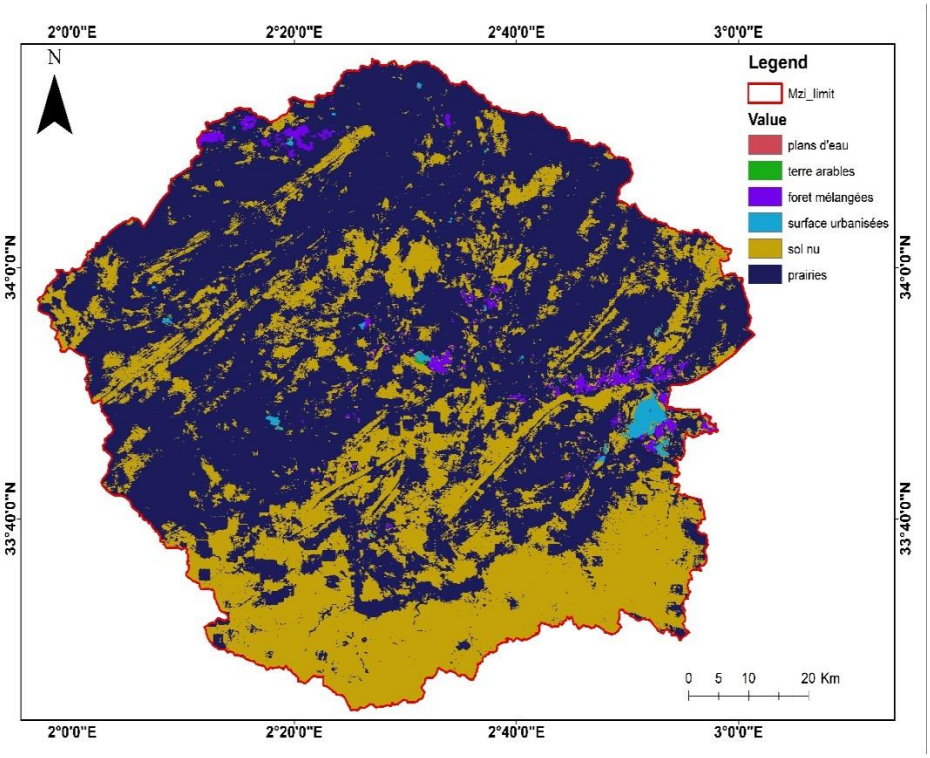


Figure *III.3.* : la carte d'occupation de sol bassin versant de l'oued m'Zi

III.5 Barrage souterrain de Tadjemout

L'ouvrage de Tadjemout situé sur l'oued Mzi, près de Laghouat, en Algérie, est un exemple assez rare de barrage d'inféroflux pur. Il mérite, pour cette raison, une description détaillée. Avant sa construction, qui date de 1948, les usagers de la petite oasis de Tadjemout, qui se trouve au pied des derniers chaînons de l'Atlas Saharien, s'efforçaient de dériver une résurgence du sous-écoulement du M'zi au moyen de petites levées de sable établies au travers du lit de l'oued, et d'une séguia relativement longue et sinueuse, creusée dans les alluvions sableuses. Par ces moyens rudimentaires, ils réussissaient à récupérer le tiers environ du débit de la résurgence qui atteignait une centaine de litres/seconde.

Le cheptel était périodiquement décimé pendant les périodes de sécheresse et les conditions de vie devenaient alors extrêmement précaires.

Après une étude géologique, liée aux reconnaissances entreprises dans le Sud Algérien en vue de l'exploitation systématique de la nappe albienne il a été estimé possible d'améliorer beaucoup l'alimentation en eau de l'oasis de Tadjemout en construisant un barrage souterrain susceptible de capter la quasi-totalité de l'inféroflux de l'oued M'Zi. Il est à noter que la topographie des lieux ne permettait pas d'envisager la construction d'un barrage-réservoir classique, solution par ailleurs peu satisfaisante à cause des pertes par évaporation qui atteindraient des valeurs inadmissibles dans cette région saharienne. Il s'agissait de barrer l'inféroflux tout en laissant le lit de l'oued M'Zi libre pour l'écoulement des crues qui sont fort importantes (le barrage souterrain est couronné d'une route en béton submersible capable d'évacuer un débit de 2 000 m^3/s, sur une longueur de 300 m et une lame déversant de 1,50 m).



Figure III.4. : Barrage de Tadjemout (Auteurs)

III.5.1 Caractéristiques du barrage

L'ouvrage réalisé comporte :

- Un mur-barrage en béton ayant 300 m de long et 7 m de hauteur maximale, entièrement noyé dans les alluvions aquifères et fondé sur les grès.
- Deux rideaux de palplanches qui prolongent le mur-barrage sur chacune des rives,
- Un dispositif filtrant qui constitue la partie la plus originale de l'ouvrage,
- Une conduite de 1 m de diamètre, noyée dans le béton du mur, qui amène les eaux captées vers un puisard collecteur, origine de la conduite d'adduction.
- Les fouilles, le béton de fondation, le mur du barrage et les murs de refend ont été exécutés à l'abri d'une enceinte de palplanches. Mais la présence d'un bed-rock relativement dur empêchait la pénétration des palplanches et l'étanchéité de l'enceinte était médiocre.

Le système filtrant est du type multicellulaire auto-drainant. Il est composé de 27 cellules, chacune d'elles comportant trois alvéoles et un puisard. Les alvéoles qui contiennent les filtres sont séparées par des murs de refend s'appuyant sur le mur-barrage.

Par ailleurs, un mur en parpaings creux sépare le filtre des alluvions de l'oued. L'espace compris entre le mur de parpaings et le rideau de palplanches destiné à protéger le chantier est rempli d'un tout-venant propre, criblé à 5 mm, afin de constituer un préfiltre qui s'oppose à l'entraînement des éléments sableux les plus fins de l'oued, sans création d'une perte de charge sensible à l'entrée des cellules

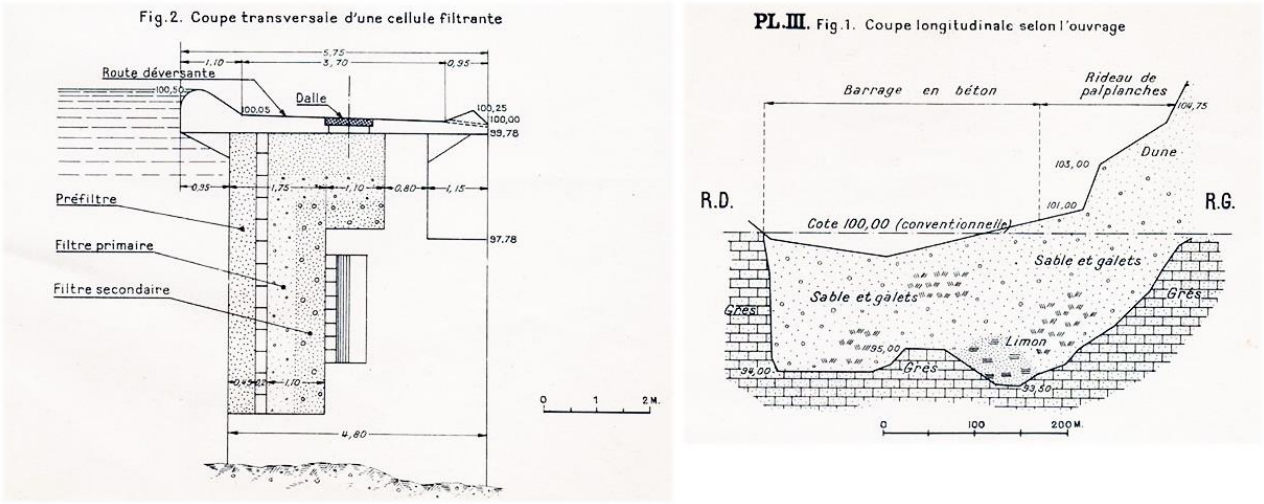


Figure III.5 : coupe transversale d'une cellule filtrante et coupe longitudinale selon l'ouvrage

III.5.2 L'importance du barrage

Le barrage a été destiné à irriguer environ 850 hectares de terres agricoles répartis comme suit :

- 600 hectares : appartenant à la ferme modèle Namir Taher à Tadjmout (ex S.A.R.)
- 150 hectares : terres agricoles représentant les bosquets du Tadjmout.

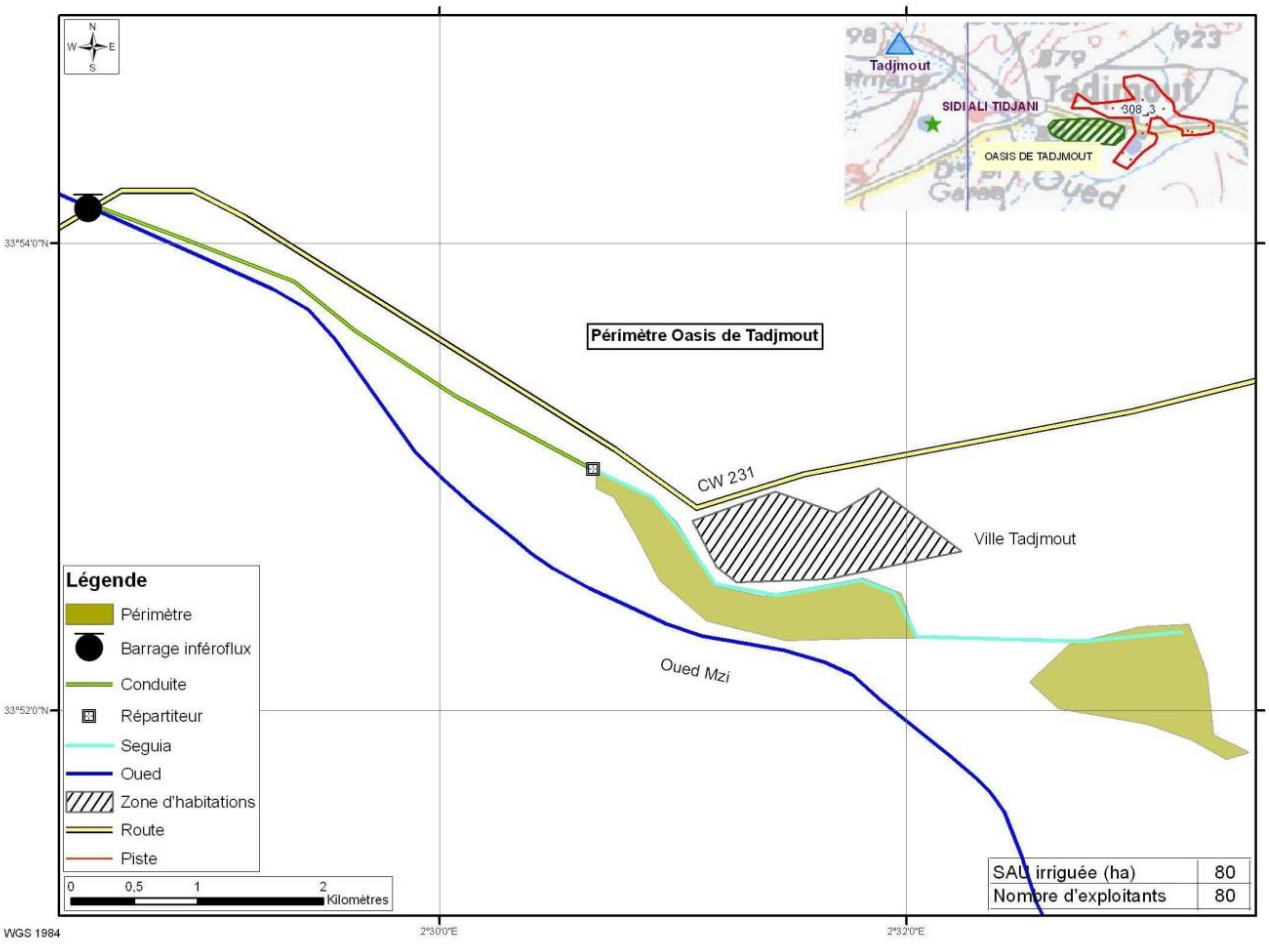


Figure III.6 : le tracé du la canal entre le barrage et la ferme pilot

Chapitre IV

Application de la méthode AHP

IV.I. Application de la méthode sur le bassin versant Oued M'Zi

Dans cette étude, pour produire la carte pour des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi, la technique d'analyse multicritère AHP combinée au SIG, a été utilisée. Cette technique fourni une approche systématique pour évaluer et intégrer les impacts de divers facteurs qui impliquent différent degré d'informations dépendantes ou indépendantes, qualitatives et quantitatives. Le processus de la méthode peut être résumé en trois étapes : la sélection et l'évaluation des facteurs, l'analyse multicritère AHP, et l'analyse pour le choix des sites favorables.

IV.II. Les facteurs conditionnant pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains

L'identification des facteurs qui aident pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains est l'étape la plus importante pour évaluer la capacité d'en choisir un. Ces facteurs doivent être choisis dans un cadre garantissant que l'ensemble du problème est couvert. De plus, tous les facteurs doivent être minimisés pour réduire la complexité du processus d'évaluation. Les précipitations, ordre des cours d'eau, occupation de sol, éloignement des failles, indice d'humidité topographique, la proximité aux villages, et la géologie (nappe alluvions) utilisés dans cette étude ont été choisis en raison de leur contribution pertinente à la sélection de sites appropriés dans la zone d'étude. Son authenticité a été vérifiée par des experts. Cependant, leur contribution n’a pas la même ampleur, c’est pourquoi nous effectuons une analyse multicritère pour évaluer le poids de la contribution de chaque facteur. Les couches de données d'entrée ont des échelles et des unités de mesure différentes. Afin de calculer la susceptibilité comme une valeur cumulée de tous les facteurs, elles ont toutes été ramenées à la même échelle. La méthode de classification des ruptures naturelles pour les ensembles de données continues est utilisée pour séparer les valeurs de pixel.

IV.3. Les données physiques utilisées dans cette étude

IV.3.1. Précipitations

Les précipitations sont un facteur important pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains, car leur quantité contribue à élever le niveau de la nappe phréatique.

Les produits sur les précipitations de la JAXA se fondent sur une cartographie mondiale des précipitations par satellite (GSMaP). La JAXA a fourni des estimations des précipitations moyennes dérivées de la version 6 du GSMaP pour les précipitations horaires, quotidiennes (00-23UTC), pentadiques (5 jours), hebdomadaires (lundi à dimanche), décadiques (10 jours) et mensuelles avec une résolution spatiale de la maille de 0,1° de latitude/longitude. Les précipitations mensuelles de la JAXA GSMaP pour Janvier 2001-Décembre 2021 ont été utilisés pour préparer la carte de précipitation annuelles moyennes.

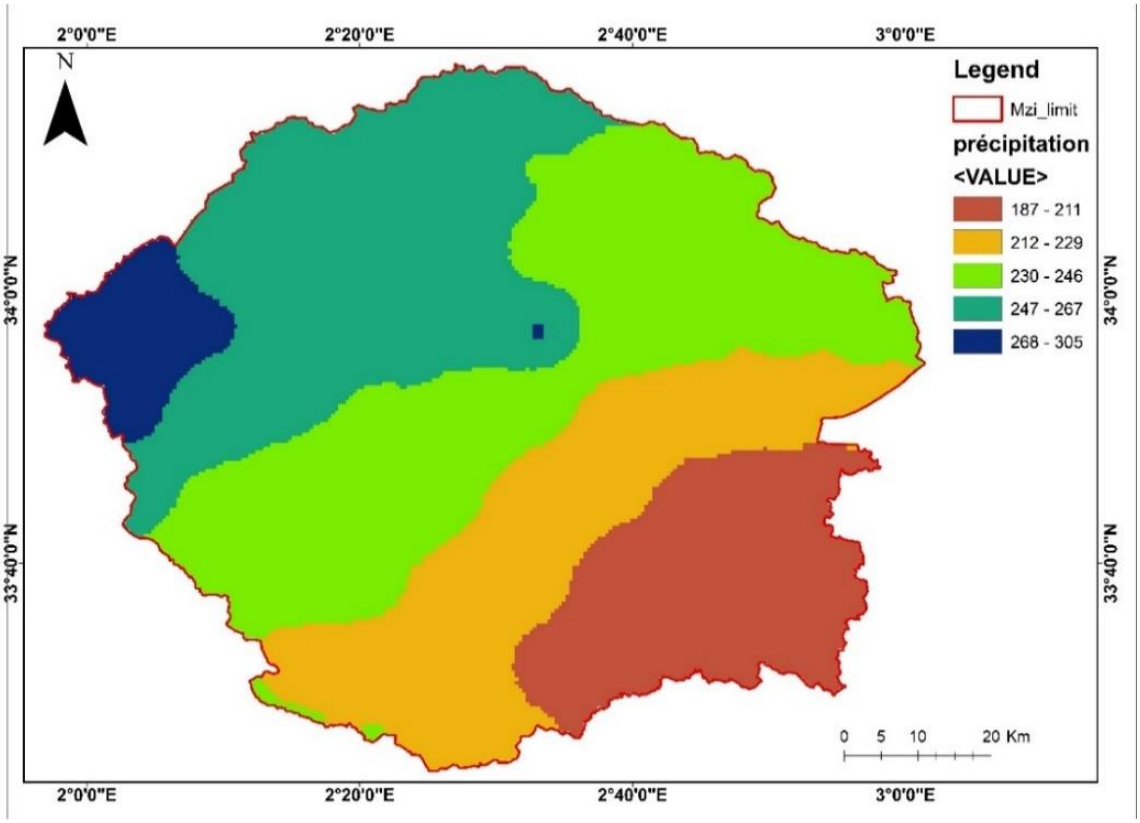


Figure *IV.1.* : La carte des précipitations du bassin versant Oued M'Zi

IV.3.2. L'occupation du sol

L'utilisation du sol est un facteur qui nous aide à sélectionner les zones favorables aux barrages souterrains. Elle influe sur le taux d'infiltration de l'eau. Par exemple, les forêts et la végétation favorisent l'infiltration de l'eau. En revanche, les zones urbaines, qui se composent principalement de surfaces imperméables et de terrains nus, augmentent le ruissellement de l'eau. Les résultats de l'analyse spatiale réalisée à l'aide d'Arc GIS montrent qu'une grande partie de la zone d'étude est couverte de prairies.

Six (6) catégories ont été identifiées, comme le montre la figureIV.2 ; (63.24 %) occupées par (prairies), et sol nu (35.03%), Surface urbanisées (0,55 %), fortes mélangées (1.18%), terre arables (0.0128%), et enfin les plan d'eau (0,00138 %).

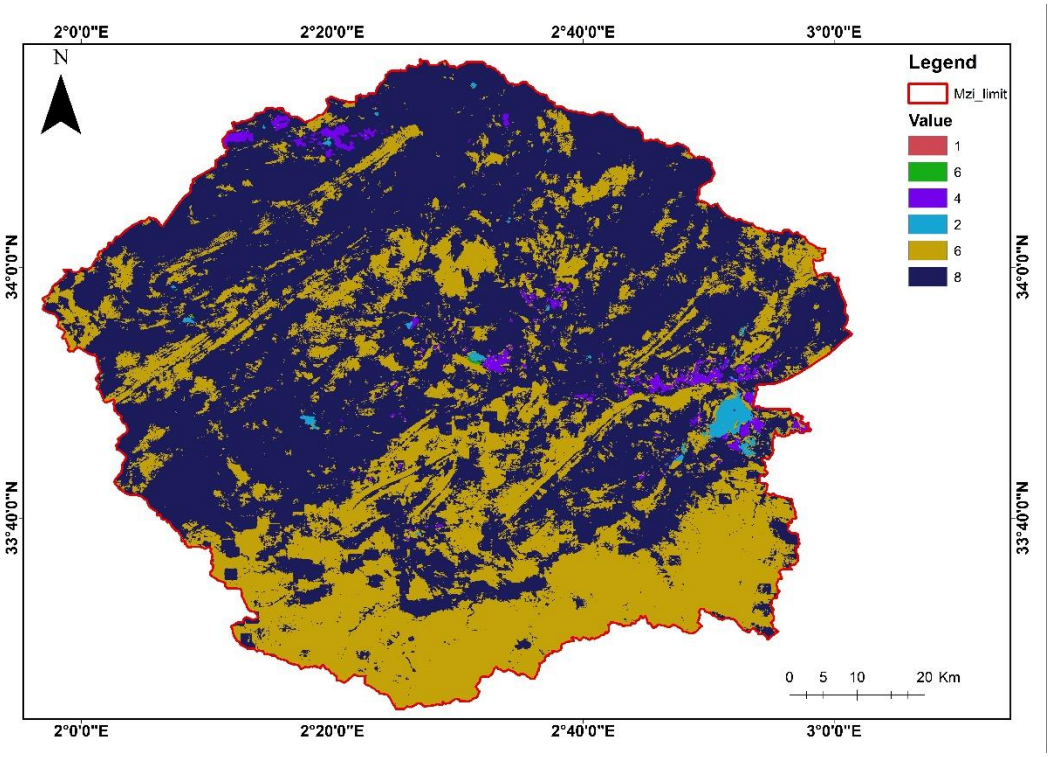
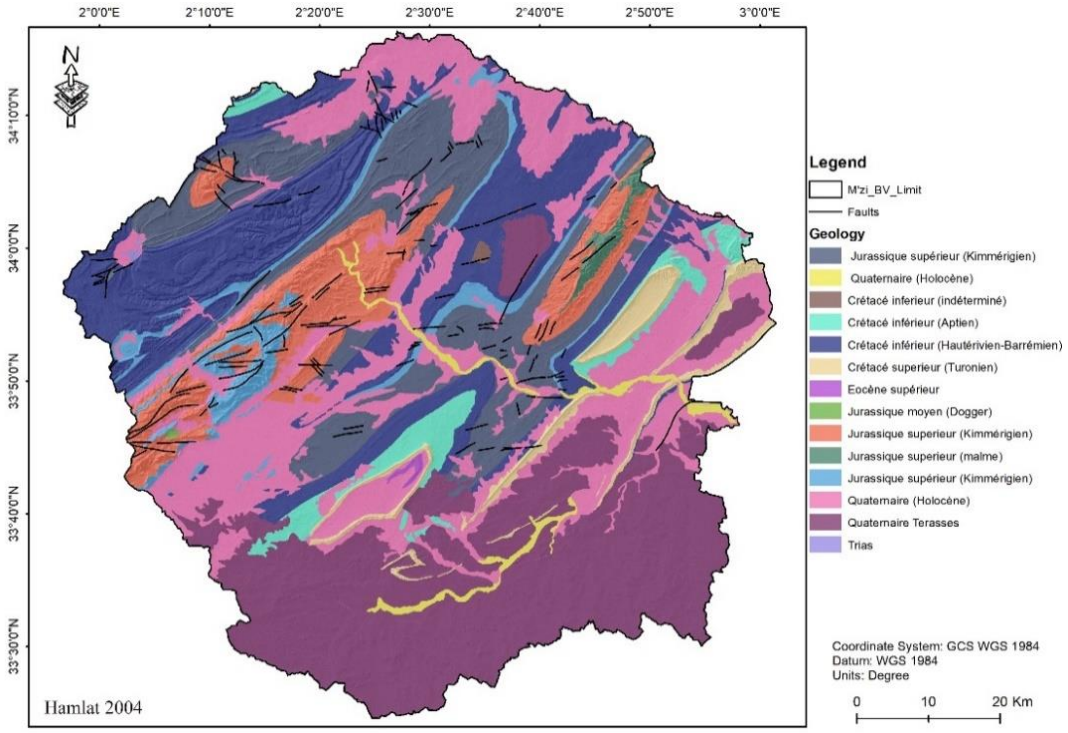


Figure *IV.2.* : La carte d'occupation du sol du bassin versant Oued M'Zi

IV.3.3. Géologie

La géologie (nappe alluviale)est le facteur le plus important dans le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains.la tranche de distribution de la tectonique des roches et des structures géologiques doit être prise en compte dans l'implantation des barrages .les lieux sélectionnes doivent être situes sur terrains ou la nappe alluviale est présente

,loin des perturbations tectoniques telles que les failles et les fissures rocheuses, qui représentent souvent des zones haute perméabilités .



FigureIV.3. : la carte géologie du bassin versant Oued M'Zi

IV.3.4. Indice d'humidité topographique

Il s'agit d'un indicateur qui nous donne les endroits où l'eau s'accumule dans la zone d'étude en fonction de la différence d'altitude dans la zone.

Pour déterminer l'indice d'humidité topographique et la cartographier, il faut

(MNT, flow direction, flow accumulation, slope layer)

Nous appliquons ensuite les équations suivantes dans l'ordre

$$slope = slope \times 1.570796/90 \quad (1)$$

$$tan\ slope = con(slope > 0, tan(slope), 0.001) \quad (2)$$

$$fa_{scaled} = (fa + 1) \times cell\ size \quad (3)$$

$$TWI = ln(^{fa_{scaled}}/_{\tan slope}) \quad (4)$$

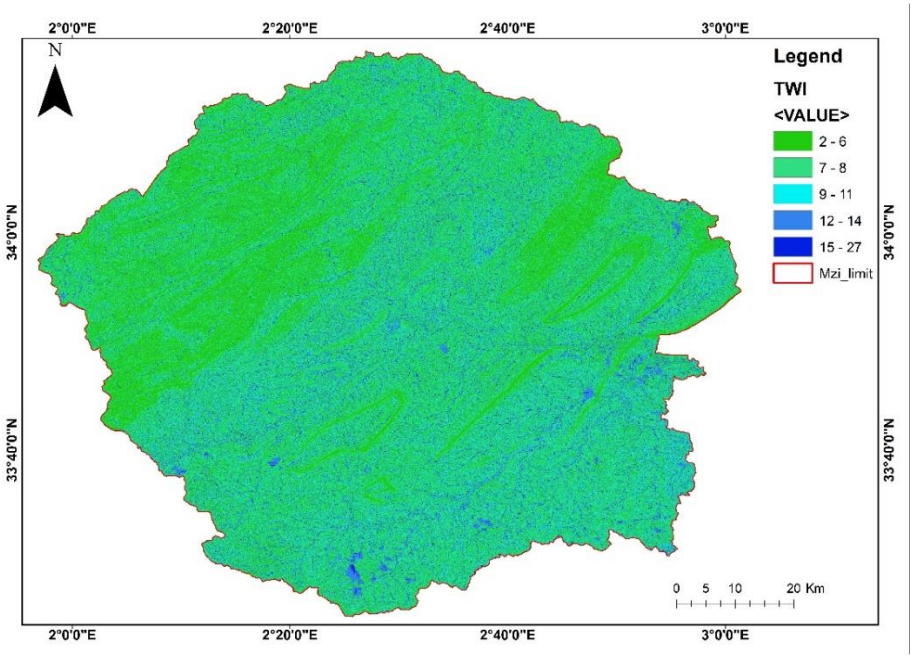


Figure *IV.4.* : La carte d'indice d'humidité topographique du bassin versant Oued M'Zi

IV.3.5. Réseau hydrographie

L'oued M'Zi est un bassin versant de la zone centrale de l'Atlas Saharien, à environ 275 km de la mer. Le bassin draine la partie sud du Djebel Amour, situé au site de Seklafa, à l'est de la ville d'Aflou. L'oued M'Zi est l'un des principaux cours d'eau de la région méridionale de l'Algérie. En aval de Laghouat se trouve l'oued Djedi, qui est formé par les oueds M'Zi et Messad. Sa large vallée limite au sud la chaîne saharienne, se terminant dans le chott Melghir, dans le grand bassin intérieur de l'Algérie au sud de Biskra. Après un parcours de 450 km, il forme un système endoréique caractéristique des régions arides et semi-arides **[32]**. L'oued M'zi a un cours d'eau permanent et les pluies de l'hiver en font souvent une rivière, avec une largeur de plusieurs centaines de mètres.

La rive gauche de l'oued M'Zi reçoit l'oued Chergui en aval de la gorge, près du village de Tadjemout. Au niveau du M'Zi amont (Atlas saharien) et du M'Zi aval (plate-forme saharienne).

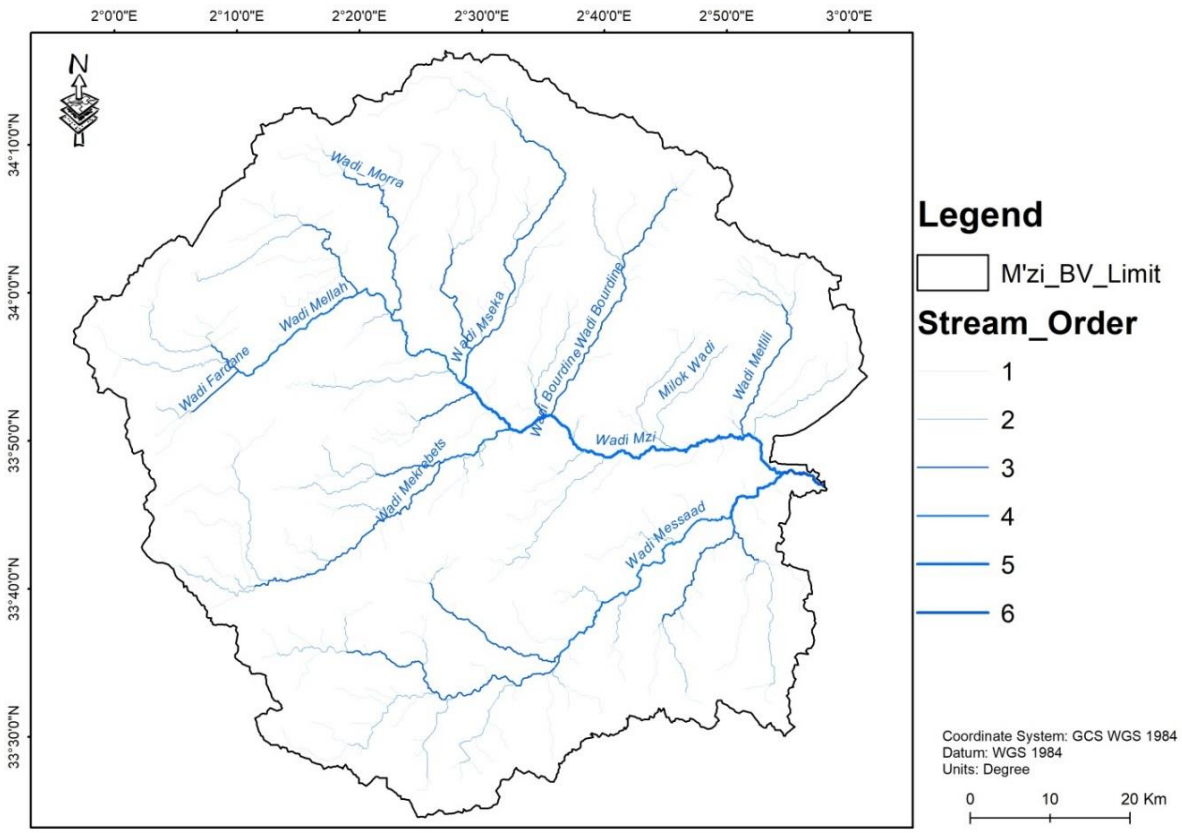


Figure *IV.5.* : La carte d'ordre des cours d'eau du bassin versant Oued M'Zi

IV.3.6. Éloignement des failles

Les failles sont des facture clé dans le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains.si elles se trouvent dans la nappe phréatique, elles fuient et perdent de grandes quantités d'eau, l'implantation choisis doivent être éloignes des failles tectoniques telles que les fractures et les fissures. Dans cette étude, nous avons donc fixe des conditions, à savoir une distance de 200 (m) à droite de la faille et de 200 (m) à gauche de celle-ci. S'il est situé à moins de 200 (m), il est défavorable ; s'il est situé à plus de 200 (m), il est favorable.

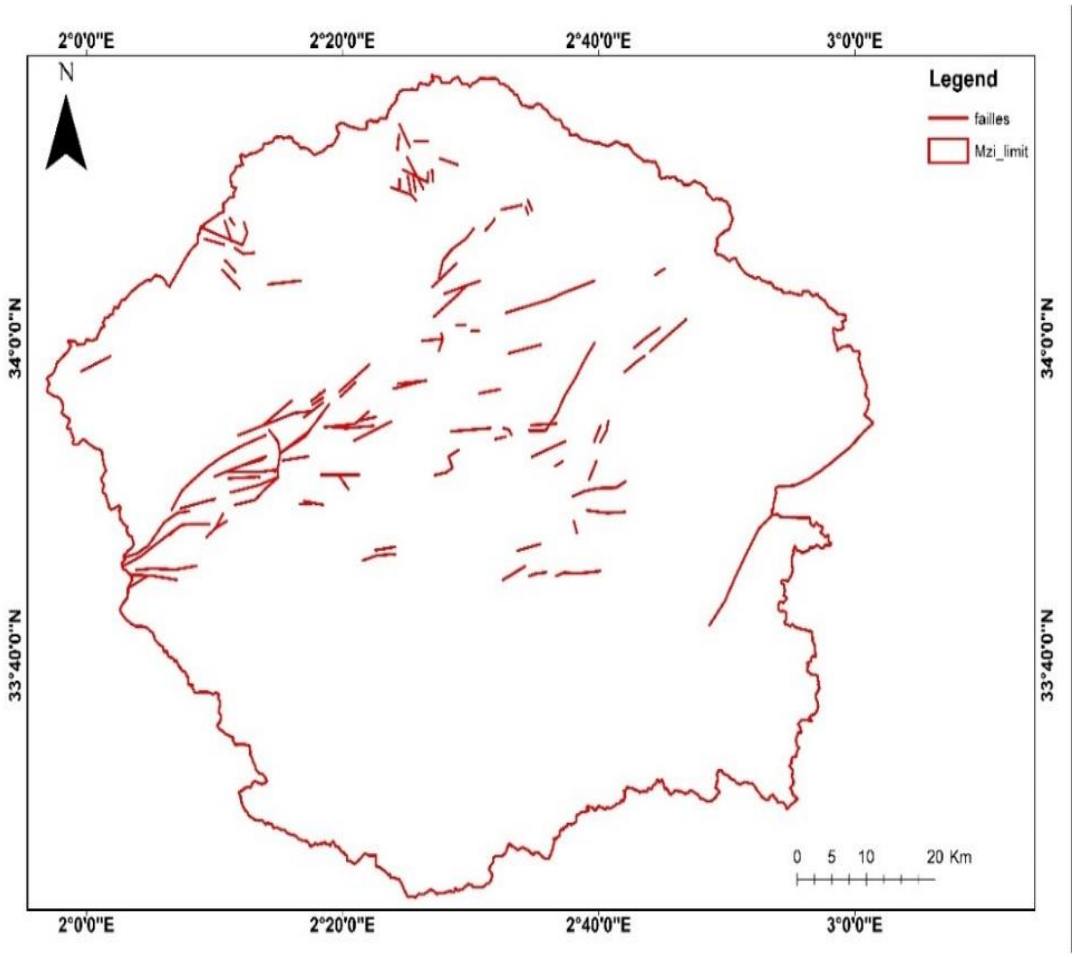


Figure IV.6. : La carte de l'éloignement des failles du bassin versant Oued M'Zi

IV.3.7. Proximité aux villages

La proximité au village affecte l'implantation des barrages souterrains en termes de pollution, plus le barrage est proche du village, plus risque d'être pollué.

Dans cette étude, nous l'avons divisée en deux zones

- La première zone va de **0 à 500 mètres**, c'est la zone défavorable.
- La seconde zone, de **500 à 5000 mètres**, est la zone favorable.

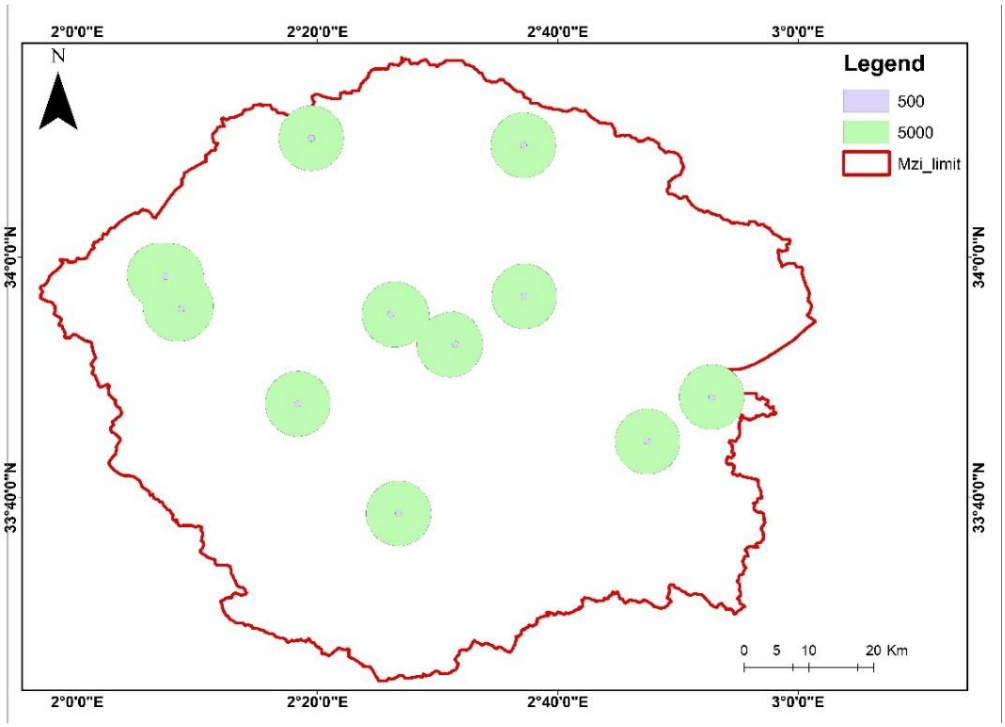


Figure IV.*7* : la carte de la proximité au village

IV.4. Processus d'analyse multicritères hiérarchique

Le processus a commencé par la préparation des couches de données qui sont compatibles avec l'interface Arc Gis. Une fois cette préparation terminée, tous les éléments ont été évalués en utilisant l'Analyse Multicritère Hiérarchique (AHP), une méthode de prise de décision multicritères. L'approche repose sur la comparaison des divers facteurs, en paire. En utilisant une matrice carrée, on peut évaluer l'importance relative d'un facteur par rapport à un autre en utilisant une échelle appropriée comme illustrée dans le tableau IV.2. Les données d'entrée de la matrice ont été utilisées pour les comparaisons par paires de tous les facteurs. Après avoir rempli la matrice de comparaison, la valeur propre de chaque élément est calculée et le vecteur qui lui est propre. L'ordre de priorité ou le poids des facteurs étudiés est indiqué par le vecteur propre. Ce résultat revêt une importance capitale pour évaluer la probabilité.

Parce qu'il servira à indiquer l'importance relative de chaque facteur qui nous aide pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains. Le tableau IV.1 présente la matrice de comparaison par paires de cette étude, qui est une matrice 7 x 7, avec une diagonale de valeur 1. L'importance relative de chaque facteur est définie en comparant les valeurs de chaque ligne à chaque colonne, afin d'obtenir une valeur.

Tableau.IV.1. : Échelle proposée par Saaty

Intensité d'importance	Définition
1	Importance égale de deux éléments.
3	Faible préférence (l'élément i par rapport àl'élément j).
5	Forte préférence (l'élément i par rapport à l'élémentj).
7	Très forte préférence (l'élément i par rapport àl'élément j).
9	Préférence absolue (l'élément i par rapport àl'élément j).
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements(l'élément i par rapport à l'élément j).
1/3	Faible préférence (l'élément j par rapport àl'élément i).
1/5	Forte préférence (l'élément j par rapport à l'élémenti).
1/7	Très forte préférence (l'élément j par rapport àl'élément i).
1/9	Préférence absolue (l'élément j par rapport àl'élément i).
1/2, 1/4, 1/6, 1/8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements(l'élément j par rapport à l'élément i).

Tableau IV.2 : Matrice de comparaison par paire

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2.52	1.13	3.43	2.96	0.96	4.29
2	0.40	1	0.37	1.32	0.95	0.48	2.51
3	0.89	2.68	1	4.88	5.08	2.16	5.79
4	0.29	0.76	0.20	1	1.39	0.70	2.73
5	0.34	1.05	0.20	0.72	1	0.59	2.27
6	1.04	2.09	0.46	1.42	1.68	1	4.82
7	0.23	0.40	0.17	0.37	0.44	0.21	1

Tableau.IV.3 : Matrice de pondération

	Précipitation	LULC	Géol.	TWI	Ordre des cours d'eau	failles	Proximité/villages
Précipitation	1	2	1	2	2	0.5	2
LULC	0.5	1	0.25	0.5	0.25	0.5	1
Géologie	1	4	1	4	4	2	5
TWI	0.5	2	0.25	1	0.5	0.33	2
Ordre des cours d'eau	0.5	4	0.25	2	1	0.33	3
Failles	2	2	0.5	3	3	1	3
Proximité/villages	0.5	1	0.2	0.5	0.33	0.33	1

Après l'élaboration de la matrice de comparaison et la définition des poids des facteurs, il est nécessaire de vérifier la cohérence des jugements, par le calcul du ratio de cohérence. L'équation suivante donne le calcul du ratio de cohérence **[20] :**

$$CR = {}^{CI}/_{CA} \quad (5)$$

Où CI est l'indice de cohérence et CA est l'indice de cohérence aléatoire (Tableau IV.3) dont la valeur dépend du nombre n, et n le nombre de critère (facteurs). La matrice sera cohérente si le rapport est < 0,1.

$$CI = (\lambda max - n) \,/\, (n - 1) \quad (6)$$

Où CI : indice de cohérence ; n : nombre de facteurs évalués ; λmax: la valeur propre calculée à partir de la matrice de comparaison. La matrice de comparaison par paires est cohérente si λ max ≥n **[35].**

(λ max est obtenu par la somme du produit de chaque élément du vecteur propre et la somme de la colonne correspondante de la matrice de comparaison), **[20]**

Tableau *IV.4* : Valeurs de CA en fonction de l'ordre de la matrice **[37].**

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Dans cette étude le nombre de facteur est égal à Sept, et comme résultat, CA est égale à 1,32. λmax= 10.78 ; qui est supérieur à 7. Ainsi, la matrice de pondération est cohérente dans cette recherche. CI = 0,63

CR = 2.1%

Tableau.IV.5 : Classes des facteurs et leur pondération

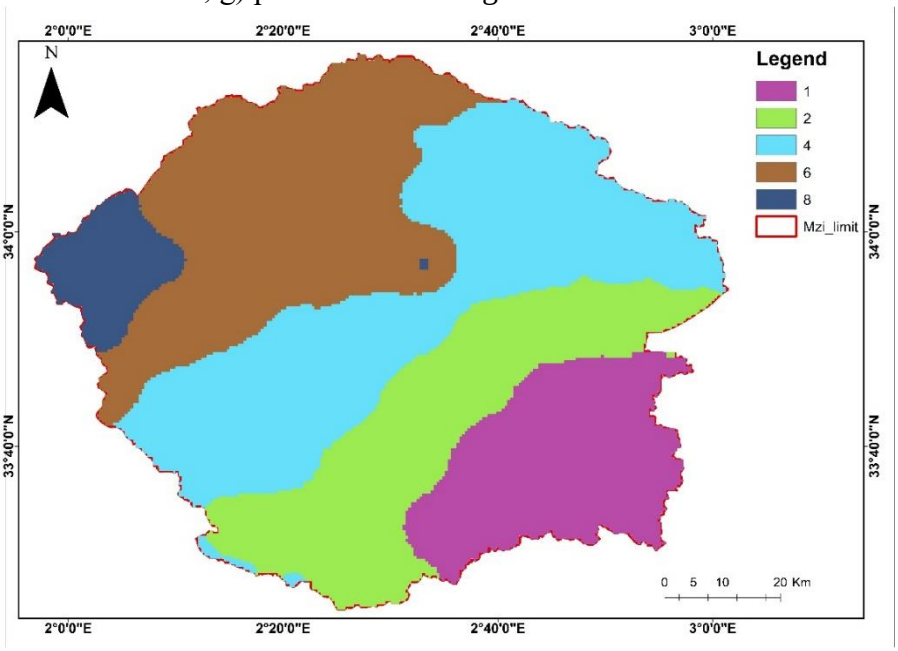
Critère	Classe	Degrés d'importance	Poids (%)
Précipitation (mm)	187–211	1	16.3
	212–229	2	
	230–246	4	
	247–267	6	
	268–305	8	
LULC	Forêts	4	6.1
	Prairies	8	
	Agglomérations	2	
	Sol nu	6	
	Plan d'eau	1	
Géologie		1	30.1
		1	
		1	
		1	
		4	
	Nappe alluviale	8	
Indice d'humidité topographique (TWI)	< 5	1	8.1
	5–10	2	
	10–15	4	
	15–20	6	
	> 20	8	
Ordre des cours d'eau	1	1	12.4
	2	2	
	3	4	
	4	6	
	5	8	
	6	8	
Eloignement des failles (m)	> 200	4	21.5
	< 200	1	
Proximité aux villages (m)	0–500	1	5.5
	500–5000	8	
	> 5000	2	

Les performances du logiciel Arc-GIS sont pour créer toutes les cartes thématiques, aménagées dans l'environnement SIG, en utilisant une méthode de combinaison linéaire de pondération. Par conséquent, une cartographie a été réalisée pour évaluer les sites propices à l'implantation des barrages souterrains en les classant en quatre classes différentes : très favorables, favorables, peu favorables et non favorables. On a déterminé l'espacement des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains en utilisant l'outil Arc GIS - Spatial Analyst - Overlay. Cette méthode permet d'agréger toutes les trames de facteurs pondérés pour obtenir le résultat final, en intégrant l'équation (7).

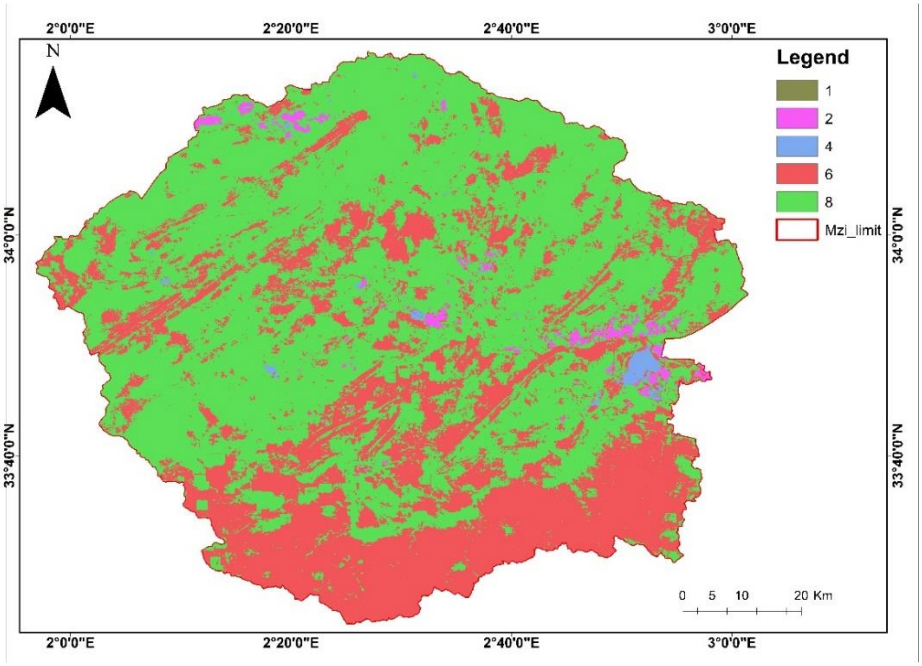
$$\begin{aligned} &choix\ des\ sites\ favorables \\ &= (precipitations \times 0.163) + (LUCL \times 0.061) \\ &+ (GEOL \times 0.301) + (TWI \times 0.081) \\ &+ (ordre\ des\ cours\ d'eau \times 0.124) \\ &+ (Eloignemet\ des\ failles \times 0.215) \\ &+ (proximite\ aux\ village\ \times 0.055) \end{aligned}$$

(7)

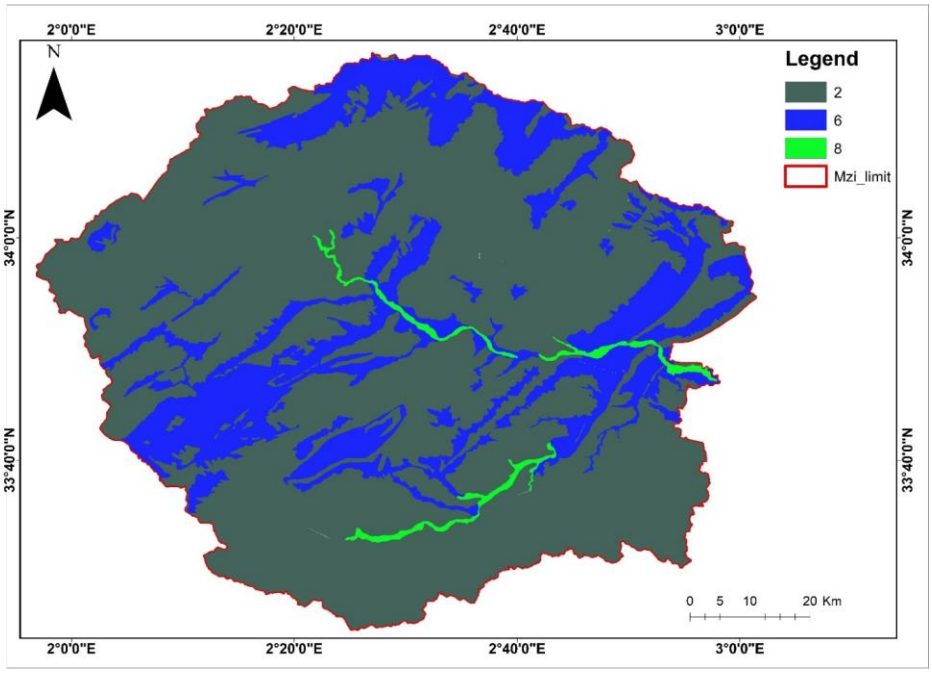
Reclassification des critères incluent dans la cartographie pour le choix des sites favorables à l'implantation du barrage souterraines du bassin versant d'oued M'Zi : a) précipitations, b) l'occupation du sol, c) géologie (nappe alluviale), d) indice topographique d'humidité, e) Éloignement des failles, f) ordre des cours d'eau, g) proximité au village



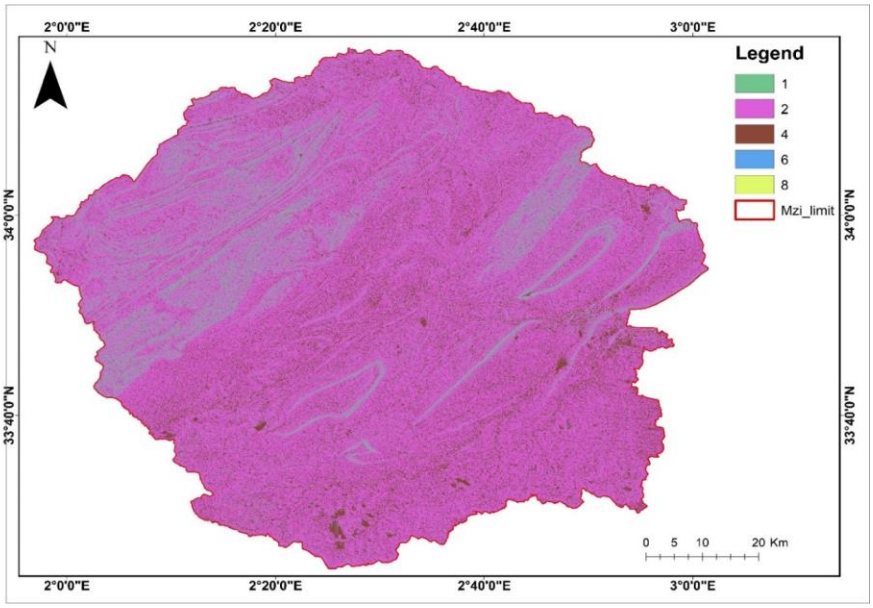
(a)


2°0'0"E
2°20'0"E
2°40'0"E
3°0'0"E
N
Legend
1
2
4
6
8
Mzi_limit
34°0'0"N
33°40'0"N
0 5 10 20 Km

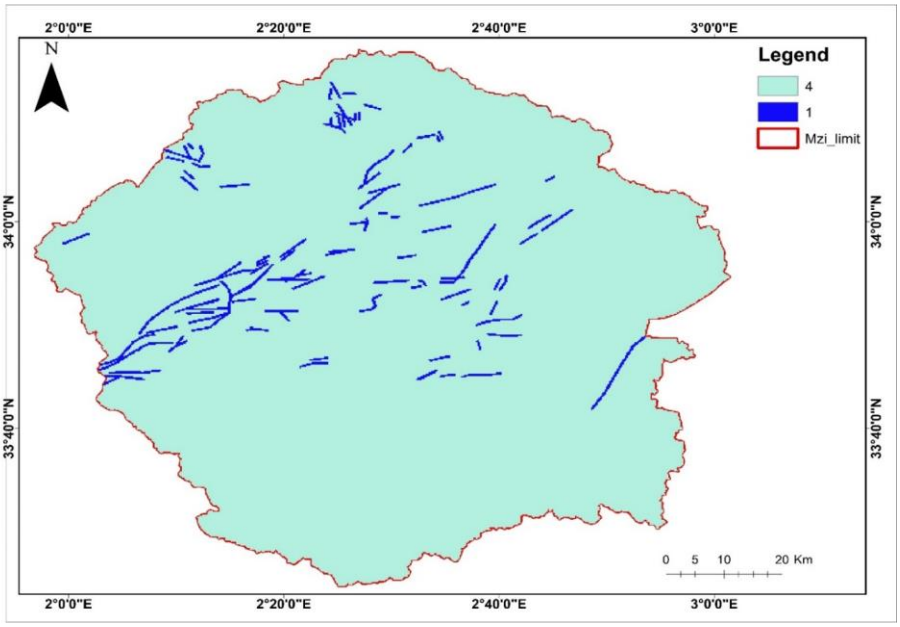
(b)


2°0'0"E
2°20'0"E
2°40'0"E
3°0'0"E
N
Legend
2
6
8
Mzi_limit
34°0'0"N
33°40'0"N
0 5 10 20 Km

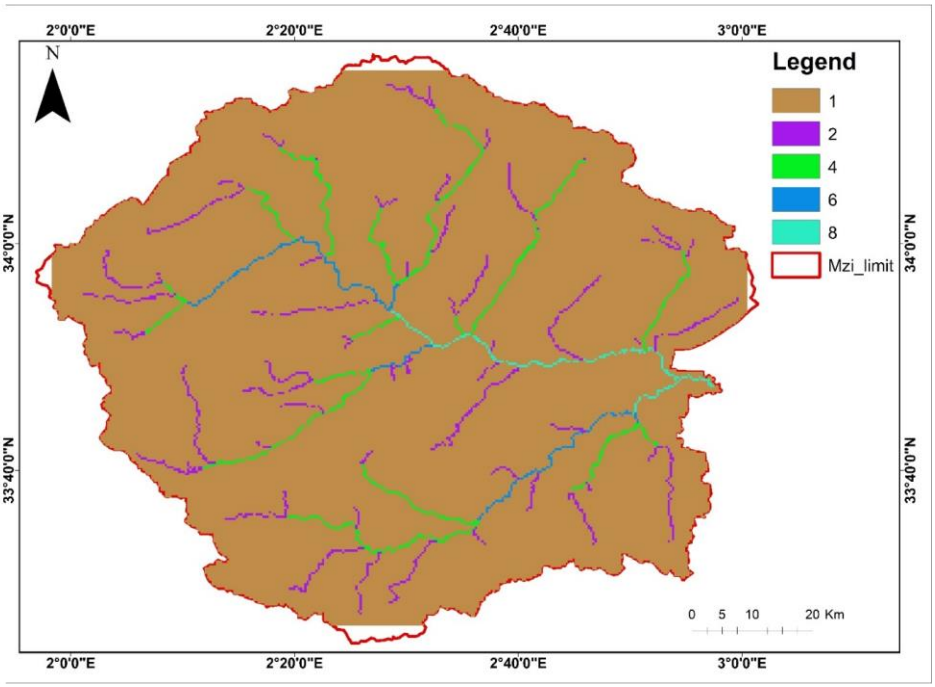
(c)


2°0'0"E
2°20'0"E
2°40'0"E
3°0'0"E
N
Legend
1
2
4
6
8
Mzi_limit
34°0'0"N
33°40'0"N
0 5 10 20 Km

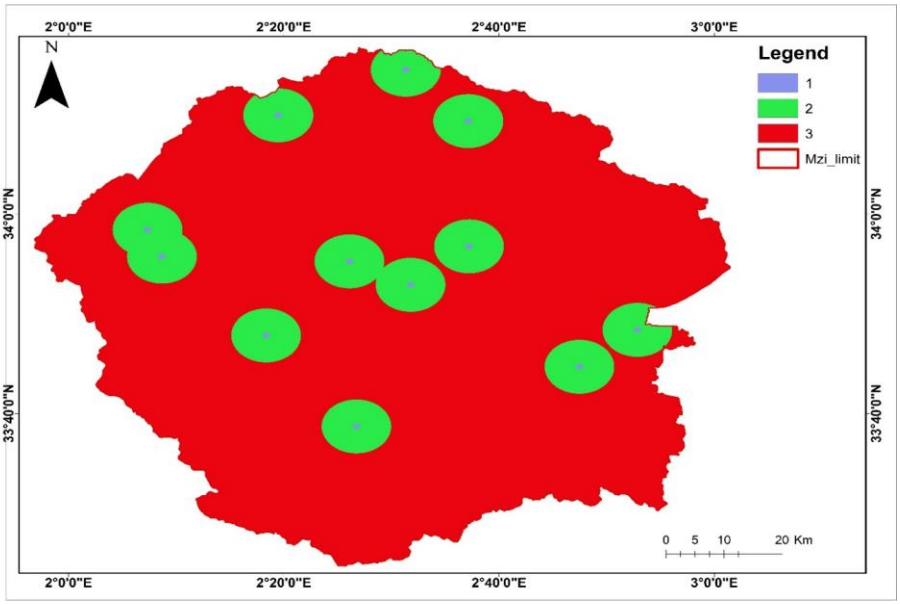
(d)


2°0'0"E
2°20'0"E
2°40'0"E
3°0'0"E
N
Legend
4
1
Mzi_limit
34°0'0"N
33°40'0"N
0 5 10 20 Km

(e)



(f)



(g)

Figure IV.8. **:** Reclassification des critères incluent dans la cartographie pour le choix des sites favorables à l'implantation du barrage souterraines du bassin versant d'oued M'Zi : a) précipitations, b) l'occupation du sol, c) géologie (nappe alluviale), d) indice topographique d'humidité, e) Éloignement des failles, f) ordre des cours d'eau, g) proximité aux villages

Chapitre V
Résultats et interprétations

V.1 Résultats et discussion

V .1.1 Résultats

Pour obtenir la carte finale, les couches d'information préparées, y compris les précipitations, L'occupation du sol, géologie, indice d'humidité topographique, Ordre des cours d'eau, Éloignement des failles et la proximité aux villages ont été superposées à l'aide de la fonction Union et en appliquant les poids finaux calculés.

Après avoir superposé les couches susmentionnées, la carte finale pour localiser le barrage souterrain a été dérivée à l'aide de l'opérateur Query Builder et de l'équation (7) :

$$\begin{aligned} choix\ des\ sites\ favorables \\ = (precipitations \times 0.163) + (LUCL \times 0.061) \\ + (GEOL \times 0.301) + (TWI \times 0.081) \\ + (ordre\ des\ cours\ d'eau \times 0.124) \\ + (Eloignemet\ des\ failles \times 0.215) \\ + (proximite\ aux\ village\ \times 0.055) \end{aligned} \quad (7)$$

Selon l'équation 3, les couches ont été superposées et par conséquent, cette carte ne représente que les régions qui remplissent toutes les conditions d'emplacement des barrages souterrains (figure V.1).

Les résultats de l'étude montrent que les zones les plus favorables à l'implantation des barrages souterrains dans la région d'étude représentent 1.27 % de sa superficie totale, tandis que le reste est non favorable à l'implantation des barrages souterrains.

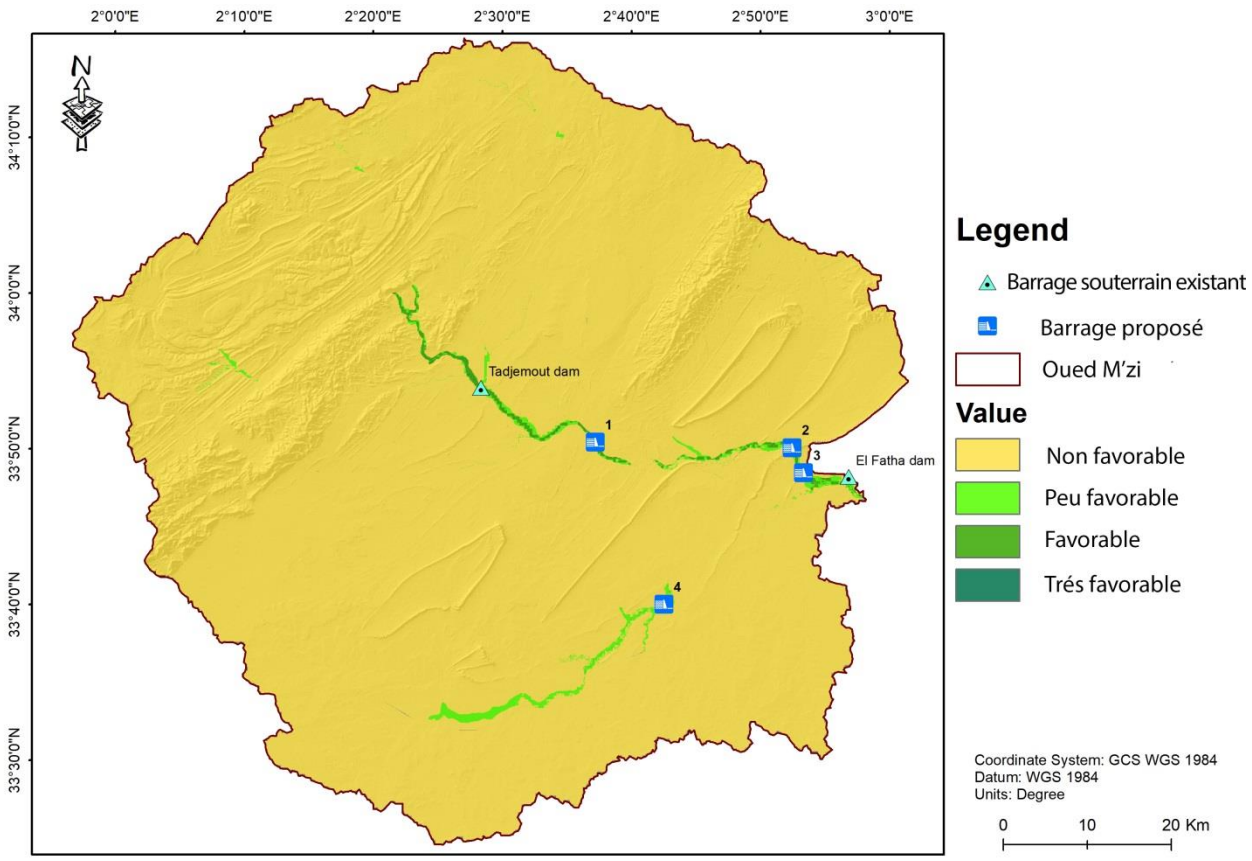


Figure V.1 : La carte finale représentant les sites favorables à l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi **[38].**

Après avoir obtenu la carte finale représentant les sites favorables à l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi, Nous avons sélectionné quelques sites sur la base de la méthode AHP en raison de leurs situations très favorable en se base sur les données géophysiques de la nappe alluviale et sur les images de de Google earth.

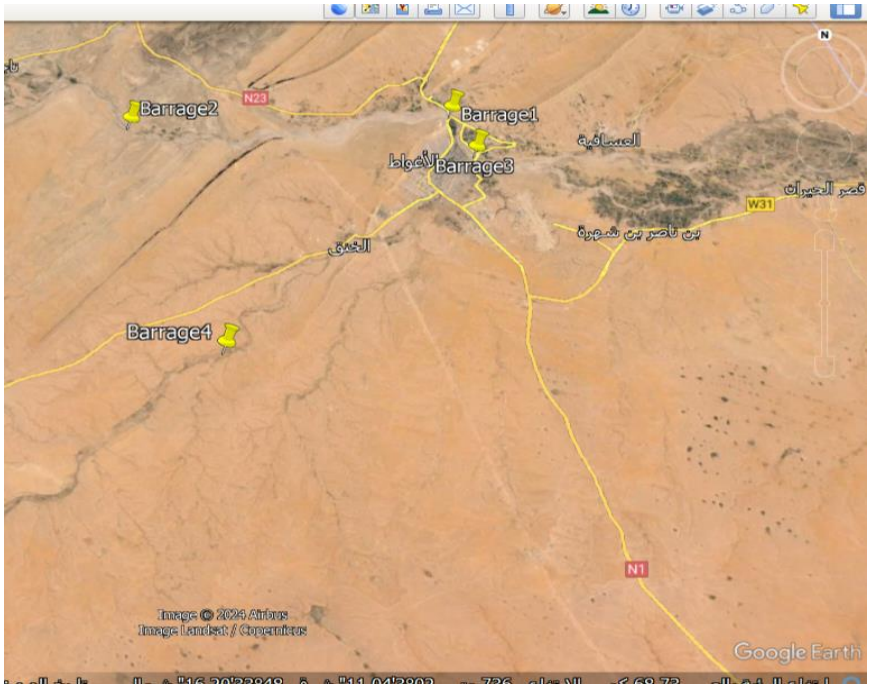


Figure V.2: capture d'écran des sites favorables que nous sélectionnes pour l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi « Google earth »

Une étude géophysique a été réalisée par la Société Strojexport - Praque, et supervisée par la D.E.M.R.H (1974-1977). Elle avait pour but de prospecter la vallée de 1'oued M'Zi sur une longueur de 50 km, et ceci à des fins hydrogéologiques. **[33].** Grace à cette étude, nous avons pu obtenir des informations sur le site à l'implantation du premier et troisième barrage souterrain.

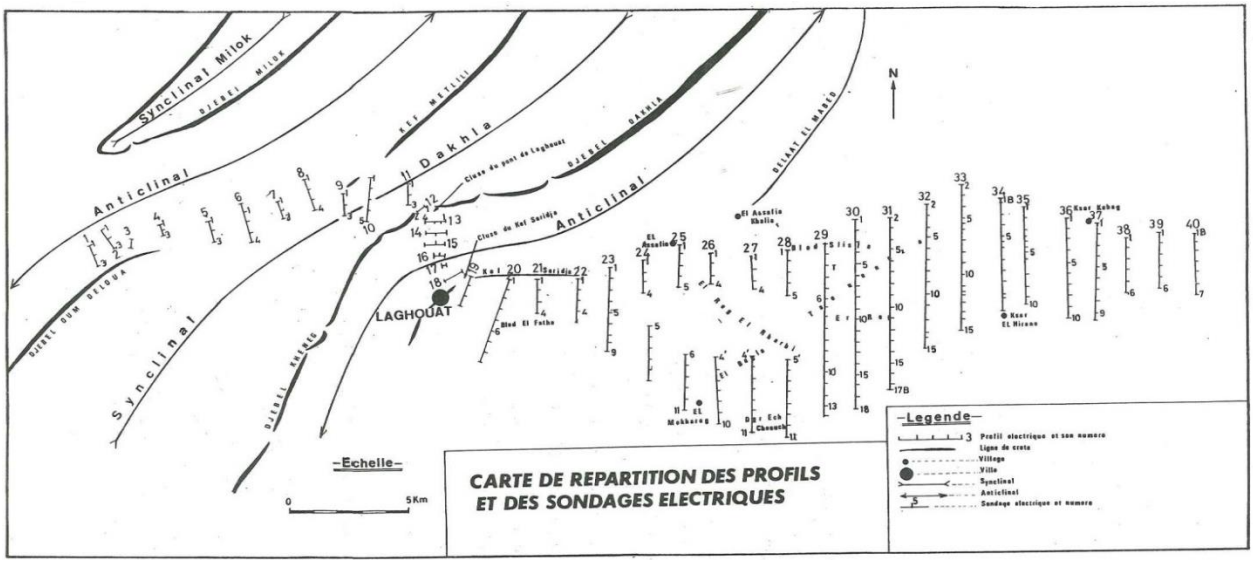
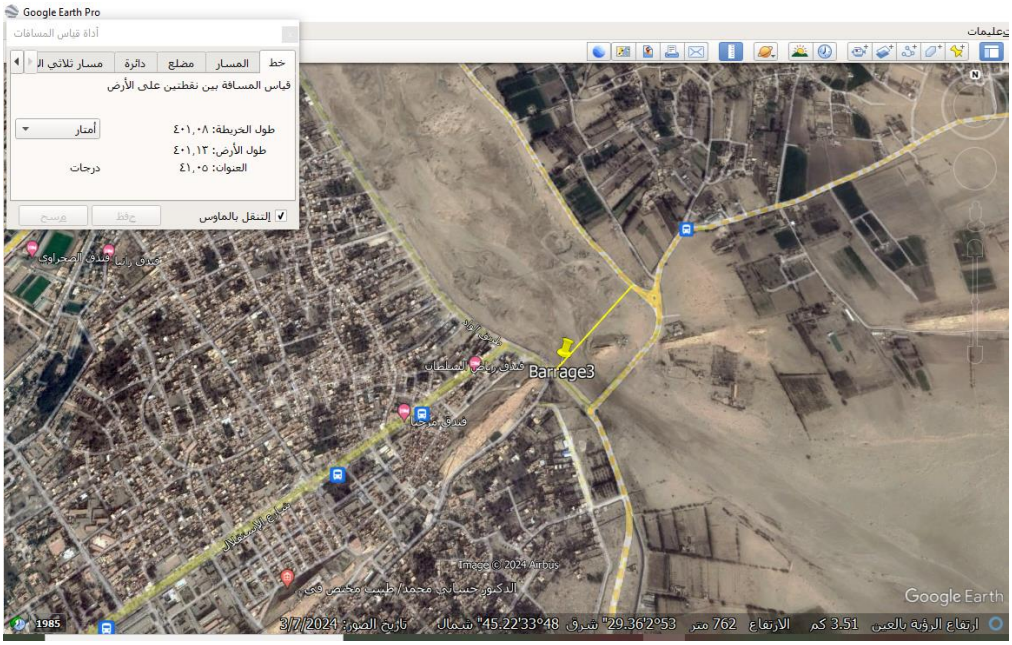


Figure *V.3* : carte de répartition des profils et des sondages électriques

- **Le premier et troisième site**



(a)



(b)

Figure *V.4* : capture d'écran du site de premier et troisième site du barrage souterraine dans le bassin versant Oued M'Zi « Google erath » (a) premier site (b) troisième site

Dans cette partie de vallée, suivant leurs résistivités les alluvions se subdivisent en trois horizons :

- La partie superficielle est caractérisée par des résistivités comprises entre 5 et 250 Ωm (voire même 1600 Ωm) correspondant à des sédiments sableux argileux ;
- Au-dessous vient un niveau dont la résistivité varie entre 27 et 50 Ωm caractérisant probablement des graviers et des galets. Les faibles valeurs peuvent être dues à une matrice argileuse importante ou à la présence d'eau minéralisés ; **[33].**

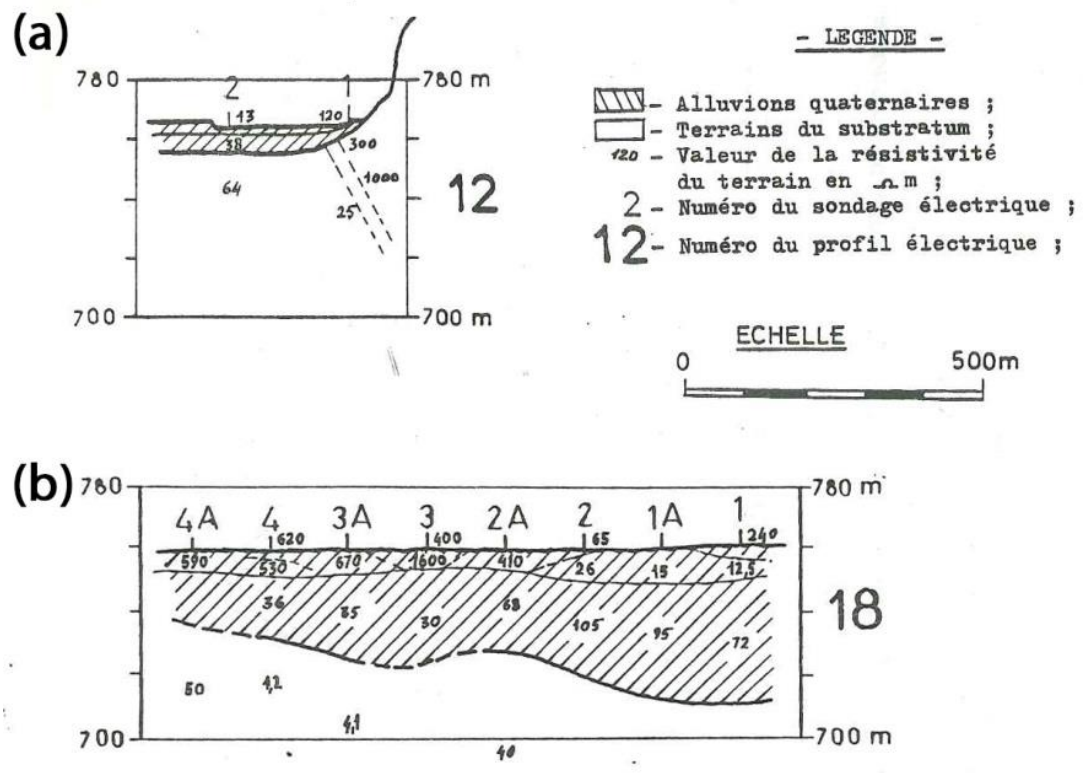


Figure *V.5* : coupes géo électriques de la vallée de l'oued M'Zi (d'après L'étude de la STROJEXPORT, de 1975), (a) premier site, (b) troisième site

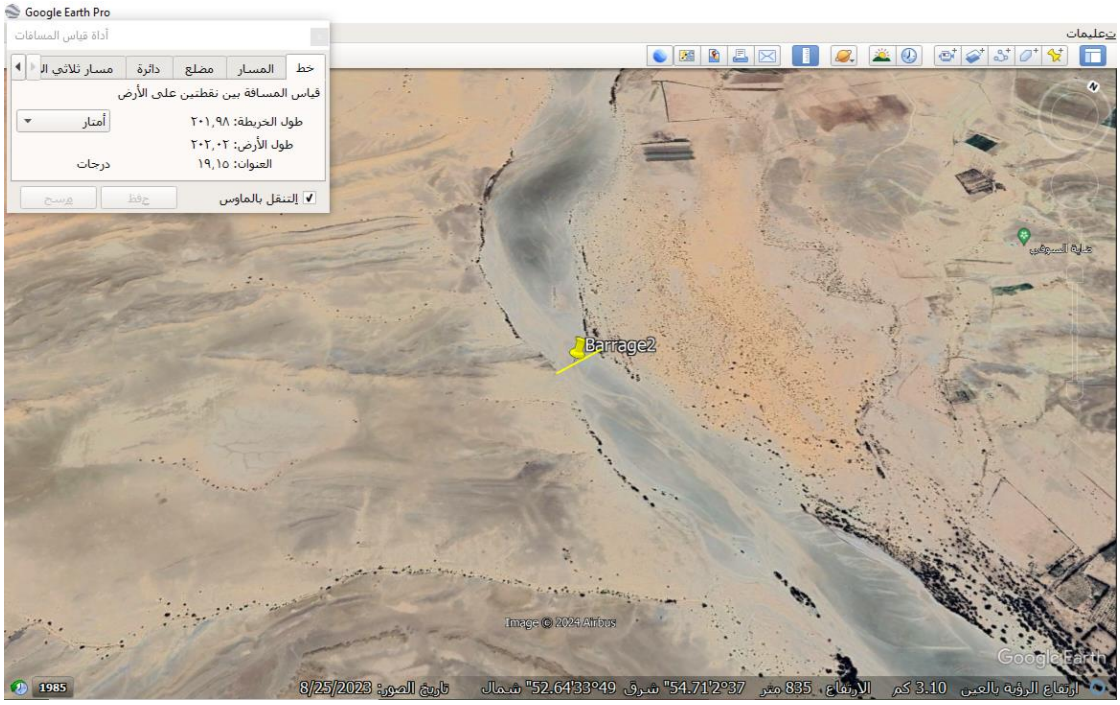
Les valeurs de la perméabilité verticales mesurées sur le terrain s'échelonnent entre 10^{-4} et 10^{-6} m/s. ces valeurs obtenues s'expliquent bien par la nature lithologique des alluvions représentées en surface par des sables fins limoneux plus ou moins argileux. Les Valeurs les plus élevées ont été rencontrées dans les zones les plus à l'amont de notre vallée, entre le pont de Laghouat et Kef Seridja, soit 1,1. 10^{-4} et 1,5. 10^{-4} m/s, à ce niveau les alluvions superficielles

sont représentées par des sables dunaires remanies et des sables alluvionnaires relativement plus grossiers.

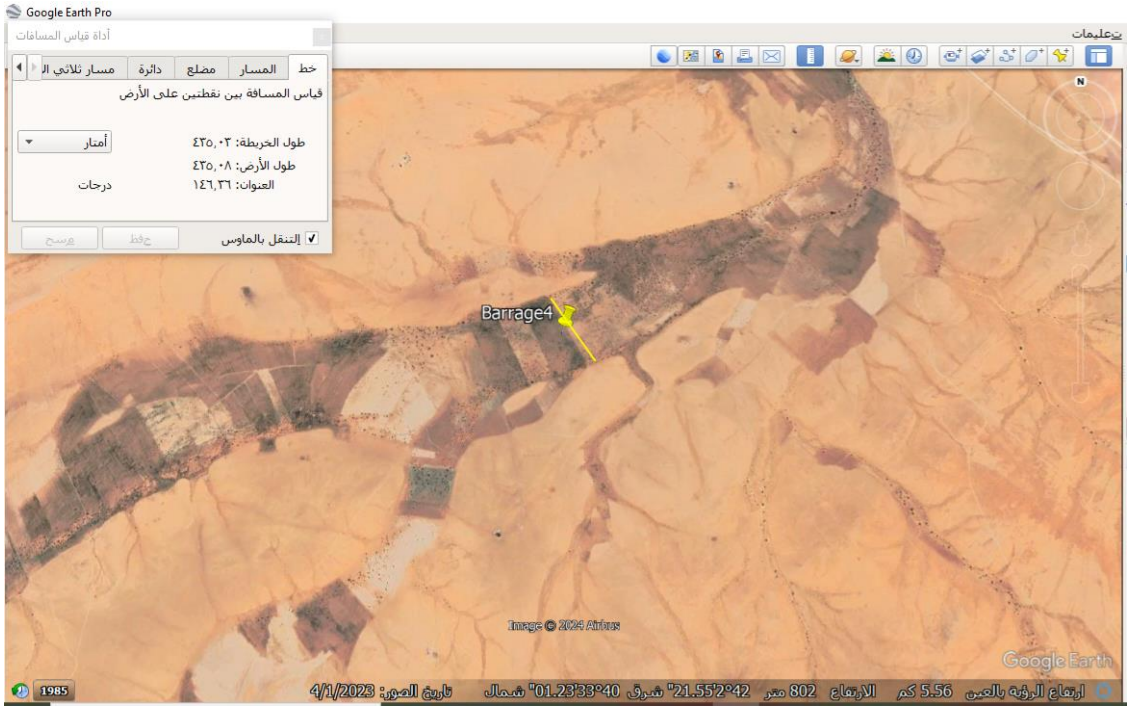
La nature des alluvions, composant la partie superficielle de notre vallée laisse espérer une bonne infiltration, donc une bonne alimentation qui peut faire à partir des crues, des pluies ou du recyclage des eaux d'irrigation. Quant à la part exacte de chacune d'elle, elle reste inconnue, mais pour tout bilan, il est nécessaire de connaitre leurs processus.

A partir des courbes perméabilités verticales – temps cumulés, le temps de stabilisation (c'est à dire le temps nécessaire pour arriver à la saturation) varie d'après les résultats obtenus de 10 à 90 mm ; sa valeur la plus faible a été rencontrée à l'amont de la vallée (10mm) et pour le reste de la région il est supérieur à 20mm. Il serait intéressant en vue d'une bonne connaissance de l'infiltration, d'envisager des études de celles-ci, en milieu sature englobant l'étude de l'alimentation par les crues, et en milieu en voie de saturation par l'étude du recyclage des eaux d'irrigation et de L'alimentation par les pluies, mais encore, faudrait –il tenir compte de leur durée, de leur régime et de leur intensité. **[33]**

- **Deuxième et quatrième site**



(a)



(b)

Figure *V.6* : capture d'écran du site deuxième et quatrième de barrage souterraine dans le bassin versant Oued M'Zi « Google erath » (a) deuxième site, (b) quatrième site

Ces deux sites ont été choisis

- Après avoir superposé les cartes et attribue un poids à chacun d'entre elles, leur position très favorable ;
- A ces endroits la vallée est très courte, ce qui nous permis de les sélectionner plus librement car ils sont économiquement avantageux.

Conclusion Générale

Conclusion

Cette étude a pour objectif principal du choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains dans le bassin versant de l'oued M'Zi. La méthode de l'analyse multicritères (AHP) sélectionné pour cette étude pour évaluer les sites favorables à l'implantation des barrages souterrains au sein d'un système d'information géographique (SIG). La méthode élaborée a été mise en pratique dans le bassin versant de l'oued M'Zi en traitant les informations de sept paramètres : précipitations, l'occupation du sol. La géologie (la nappe alluviale), indice d'humidité topographique, l'ordre des cours d'eau, éloignement des failles et la proximité aux village.

Les valeurs de pondération correspondantes sont définies par un « processus hiérarchie analytique » afin de donner une importance relative à chacun des paramètres pour le choix des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains.

Ensuite, selon l'importance relative de chaque indice à l'échelle du bassin versant de Oued M'Zi, les données spatiales sont combinées, ce qui permet de créer une carte des sites propices à l'implantation des barrages souterrains. La cartographie des sites favorables à l'implantation des barrages souterrains a été créée en tenant compte de facteurs pondérés dans le SIG. Elle comprend quatre catégories : non favorables, peu favorables, favorables et très favorables. Il en résulte que 98.77% de la superficie totale du bassin versant est non favorable à l'implantation des barrages souterrains, 0,85 % à un site peu favorables, 0,37 % à un site favorable et 0,007 % un site très favorable à l'implantation des barrages souterrains.

Une comparaison a été faite de la carte obtenue avec le barrage souterrain qui existe dans la région d'étude. Les barrages souterrains se trouvent dans des endroits très favorables, ce qui confirme notre carte. L'utilisation de cette carte simulée synthétique pour sélectionner les sites potentiellement favorables à l'implantation de barrages souterrains permettra de déterminer les zones propices à l'implantation de barrages souterrains, ce qui en fera un outil approprié pour l'aménagement du territoire. Son objectif est d'éviter la pénurie d'eau et de récupérer la plus grande quantité d'eau de pluie et de ruissellement.

Les résultats majeurs de cette étude sont la mise en place d'une carte thématique liée à la pénurie d'eau régionale qui peut servir aux autorités locales pour diminuer le risque de

sécheresse et récupérer la plus grande quantité d'eau de pluie et d'eau de ruissellement dans la vallée de M'Zi.

Bibliographie

Bibliographie

[1]. Alley,WM , Reilly , Te et Franke , OL (1999). Durabilite des ressources en eaux souterraines (vol 1186).departement de l'interieur des Etats-Unis,US Geological Survey.

[2]. Onder, H., & Yilmaz, M. (2005). Underground dams. *European water*, *11*(12), 35-45.

[3]. Bureau central d'études pour les équipements d'outre-mer (BCEOM) (1978) « les barrages souterrains » Ministère de la coopération français, 135, barrages souterrains (2) PDF.

[4]. BERI BI Djo Michel (2006), Conditions d'évaluation des impacts et suivi du barrage souterrain de Narri (Burkina Faso) « mémoire de fin d'études d'ingénieur de l'équipement Rural – direction des études et des services académiques ».

[5]. Ministère de l'Environnement Japonais-Ovesreas Environnemental Cooperation center (MEJ-OECC) (2004). Technologie du barrage souterrain de Naré, 77 p

[6]. International Water and Sanitation Center (IRC) (1996). Le captage de l'eau, Série de documents techniques, p : 98-109

[7]. R. Kast, La théorie de Décision, Paris : la decoverte, 1993, p, 7.

[8]. A. Tsoukias, c de la théoriede la decision a l'aide à la decisin. » Laboratoire LAMSADE ,2006.

[9]. B. Roy, méthodologie multicritère d'Aide à la Décision, Paris, 1985.

[10]. S. Chakhar, « cartographie Décisionnelle multicritère, formulation et implémentation informatique, » Paris,2006.

[11]. P.Vincke et B.Roy, «theory of games and Economic Behavior. »1989

[12]. Habes Siradj Lamia (2021). SIG et méthode AHP pour la prévision en planification urbaine « Analyse de l'adéquation des sites pour le développement urbain » mémoire de master université Larbi Tebessi, Tébessa.

[13]. Belton V et Stewart T.J. (2002) multiple criteira decision Analysis, An Integrated Approach Springer US. 372 p

[14]. Bektari Mohammed Cherif (2015), les méthode multi critères pour analyser les aptitudes des terres agricoles : les cas du blé tendre en Languedoc Roussillon analysé avec la méthode

AHP mémoire de master université Paul Valléry Montpellier

[15]. Guitouni et Martel, «Tentative Guidelines to help Chossing an Appropriate MCDA Method, » *European Journal of Operation Research,* 1998

[16].E.e al, «Comparison of Multicriteria Decision Making Methods for Selection of Afforestation Sites,» International Journal of Geomatics and Spatial Analysis.

[17]. S.Ben Mena, «Introduction aux méthodes multicritère d'aide à l'aide à la décision,» 2000.

[18]. Abdel YEZZA, Ph.D . La méthode TOPSIS expliqué é pas à pas, une varianté proposé 2017

[19]. A IBRAHIME AND R A SURYA. article: The Implementation of Simple Additive Weighting (SAW) Method in Decision Support System for the Best School Selection in Jambi

[20]. Mokhtari Youcef (2022) « Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (analytic Hierarchy process) a l'analyse multicritères de La vulnérabilité aux inondations cas du bassin versant d'oued M'Zab » mémoire de master, université Ammer Thelidji Laghouat

[21]. S. Ben Mena, « Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision, » biotechnologie Agronomie, société et Environnement, vol,4, pp.8393.2000.

[22]. M. Ghalem, « système d'aide à la décision en aménagement du territoireintergrale de CHOQUET et SIG, » université d'ORAN ES_SENIA ORAN.

[23]. L.Maystre,J.Pictet et J.Simos méthodes multicritères ELECTRE, presse polytechniques et universitaire ,1994.

[24].B.Roy et Bouyssou , Aide à la décision : méthodes et cas , Paris :Economica 1993.

[25]. HADJDJ ABDI Khaoula, Investigation autour de la localisation optimale des stations d'épuration : cas du groupement urbain de Tlemcen. Mémoire de master. Université Abou Bakr Balkaid. Tlemcen 2017

[25].A.Le Gall,Panorama des méthodes d'analyse multicritères comme outils d'aide à la decision,2009.

[26].A.Nafi et C.Werey , Aide à la décision multicritères :introduction aux méthodes d'analyse

multicritères de type ELECTRE,ENGEES Ingénierie Financiere,2010

[27]. Staay, R.W. (1987). The analytic hierarchy process what it is and how it is used. Mathematical modellind,9 (3-5),161-176.

[28]. Reza,B ,Sadiq,R**.,** & Hewage,K.(2011).Sustainbility assessment of flooring systems in the city of Tehran: An AHP-base life cycle analysis. Construction and Building Materials, 25(4),2053-2066

[29]. BESSEDIK. Développement d'un SAID. Collaboratif basé sur les technologies WES et les agents :application à la gestion de production dynamique, mémoire de master 2018.

[30].T.L.Saaty ,Ascaling method for priorities in Hierarchial structures, Journal of Mathematical psychology,vol.15 n 13,pp.234-281.1977

[31]. Mme Aissaoui Asma (2016), Hydrologie et Hydrogéologie du bassin versant de l'oued M'Zi (Laghouat, Algérie) « mémoire pour l'obtention du diplôme de magister, université d'Oran 2 ».

[32] REHAIL ZAKARIA (2023), Étude de l'impact du barrage de Seklafa sur le comportement hydrologique du bassin versant d'oued M'Zi « mémoire de master, université Ammer Thlidji – Laghouat ».

[33]. Hannachi, A., 1981. Relation entre aquifères superficiels et profonds : Hydrogéologie de la vallée d'oued M'Zi à l'Est de Laghouat. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble, 121p.

[34]. HOUYOU, Zohra. (2015) Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat). 2015. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach-Alger.

[35]. Soleilhavoup, F. (1975). Crues de l'Oued M'Zi à Laghouat, d'octobre 1972 à février 1974 : chronologie et description des principaux processus ayant affecté la surface du lit de l'oued. L'enseignement des sciences naturelles en Algérie, 13, 32, 97.

[36]. O. GILARD et N. GENDREAU, Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants. Article,2022.

[37]. Geo-Eco-Trop., 2014, 38, 1, n.s. : 33-44 Application de la Méthode de l'Analyse

Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal : Figueira da Foz – Nazaré

[38] Hamlat, A., Hamdi, K., Kissari, D. E., Kadri, C. B., Guidoum, A., & Sekkoum, M. (2024). GIS-based multi-criteria decision analysis for groundwater dam site selection in an arid and semi-arid region of Algeria. Groundwater for Sustainable Development, 26, 101231. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101231