

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE HYDRAULIQUE.
N



FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : Ressources Hydraulique

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
Par : BENLAITER ABDELKADER
HMAITICHE ABDELLAH
Intitulé

**Délimitation des zones de
recharge potentielle des eaux
souterraines dans la région de
l'Ouad El K'sob**

Soutenu devant le jury composé de:

Mezali Farouk

.....

.....

.....

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Université de M'sila

Rapporteur

Co-Rapporteur

Examineur

Examineur

Année universitaire : 2022 /2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

**Louange à Dieu Tout-Puissant pour mon succès dans
accomplir ce travail. Remercier Dieu pour ce qu'il a
Bénédiction.**

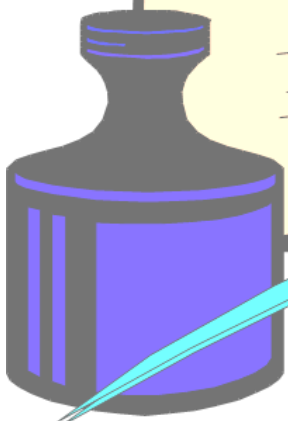
**Nous exprimons nos vifs remerciements et notre gratitude à
Professeur M Mezali Farouk**

**Pour ses grands efforts et le soutien qu'il nous a donné
Et vous nous avez apporté la confiance nécessaire pour
faire cette note.**

**Merci à tous les enseignants qui nous ont aidés
Connaissances depuis les premiers stades de l'école jusqu'à
en ce moment.**

**Je tiens également à remercier tous ceux qui nous ont aidés
directement ou loin.**

ABDELKADER+ ABDELLAH





Dédicaces

**A mes chers parents, que Dieu me les
préserve. À tous mes frères et sœurs qui
m'ont appris le sens de la force. A tous
mes amis et à ceux qui m'ont accompagné
pendant mes études. A tous ceux qui n'ont
ménagé aucun effort pour m'aider.**

ABDELKADER+ ABDELLAH

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	a
CHAPITER I Génialité sur Le bassin versant du Hodna	
Introduction	3
1. Situation géographique du bassin versant du Hodna	4
2. Le relief	4
2.1. Les montagnes	4
2.2. Le piémont	5
2.3. La plaine	6
2.4 Chott El Hodna (Sebkha)	6
3. Le climat	6
3.1. Bioclimat	7
3.2. Pluviométrie	8
3.3. Sol	10
3.4. Température	11
4. Le couvert végétal	12
4.1. Les terres de culture	13
4.2. Les forêts	13
5. Réseau hydrographique	14
Conclusion	16
CHAPITER II: Géologie et hydrogéologie du bassin de l'Oued El k'sob	
INTRODUCTION	18
1- Caractéristique du barrage El K'sob	19
1-1- Régime hydrologique	19
1-2- les précipitations	20
1-3- la température	21
1-4- humidités relatives (%)	21
2 - Flore et faune de Oued El K'sob	22
2-1- La flore	22
2-2- La faune	23
3. Etude de relief	23
3.1. La courbe hypsométrique	23
3.2. Les altitudes caractéristiques	25
3.2.1. L'altitude moyenne	25
3.2.2. Les altitudes maximale et minimale	26
3.3. Dénivelée simple	26
3.4. Pente moyenne du bassin versant	27
3.5. Densité de drainage	27

3.6. La dénivelée spécifique	28
3.7. Indice de pente de roche	29
3.8.Coefficient de torrentialité	30
3.9. Indice de pente globale	30
3.10. Le rapport de confluence	30
3.11. Le rapport des longueurs	31
3.12. Le temps de concentration	32
3.13 La vitesse moyenne	32
4. Eologie et interaction hydrologique	33
4.1 Impact de la géologie sur l'hydrologie	33
4.2 Lithologie	34
4.3. Lithostratigraphie	34
4.3.1. alluvions du Quaternaire	34
4.3.2. Le Miocène	34
4.3.3. Le Maastrichtien (crétacé supérieur)	34
CONCLUSION	36
CHAPITER III: Les systèmes d'information géographique (SIG)	
Introduction	38
1.Les SIG : objectifs généraux	37
1.1.Saisie et stockage numérique de plans et de cartes	37
1.2.Structuration de l'information	37
1.3.Calculs métriques (distances, surfaces), calculs techniques (visibilité, volumes recherche opérationnelle), positionnement et projections géographiques	37
1. 4.Gestion administrative et partage de données entre utilisateurs	37
1. 5.Gestion et analyse spatiale	37
1. 6.Il existe de nombreux autres objectifs, notamment	37
2.Definitions	40
3.Les composants d'un SIG	40
3.1.Matériel	40
3.2.Logiciels	40
3.2.1.Principaux composants logiciel d'un SIG	41
3. 3.Données	41
3.4.Utilisateurs	41
3.5.Méthodes	41
4.Les principales fonctions	42
4.1.Saisie	42
4.2.Manipulations	42
4.3.Gestion	43
4. 4.Interrogation et analyses	43
4. 5.Analyse spatiale	44
4.6.Visualisation	44
5.Comment fonctionne un SIG	44
5. 1.Références géographiques	45
5.2.Modèles de données vecteurs et raster	45
5.2. 1.Le modèle vecteur	45
5.2.2.Le modèle raster	45

6.Structure d'un SIG	46
7.Types de données dans un SIG	46
7.1.Données spatiales	47
7. 2.Données associées	48
7.2.1.Données de classification	48
7.2.2.Données d'identification	48
7.2. 3.Données attributaires	49
8.Les modèles numériques	49
8. 1.Les modèles numériques d'altitudes (MNA)	49
8.2.Les modèles par triangulation (TIN)	51
9.Le bassin versant	51
9,1, Notion de "Bassin Versant"	51
9.1.1.Bassin versant topographique	51
9.1.2.Bassin versant hydrogéologique	52
Chapitre IV:Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG	
Introduction.	54
1. La méthode AHP (Analytic hierarchy process: Procédure hiérarchique d'analyse..)	55
2. La zone d'étude	55
3. Méthode	56
4. Calcul par la Méthode AHP basée sur le SIG...	61
5. Résultats et discussion	62
5.1. La densité de Drainage (DD).	66
5.2.Lineament densité (LD)	66
5.3.Précipitations (Pr)	67
5.3.1.La pente (P)	68
5.4.Lithologie (LI..)	69
5.4.1.Type De Sol (ST)	71
5.4.2.La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)	72
6. DISCUSSION....	74
Conclusion générale	76
Références bibliographiques	78

List des Figures

le nombre	Figures	arrangement
1.	Figure1: Bassin versant du Hodna (Google Earth Pro).	4
2.	Figure2: MNT du relief de bassin versant du Hodna(Originale).	5
3.	Figure3: Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna.	7
4.	Figure4: Carte bioclimatique de l'Algérie (Meddour)	8
5.	Figure5: Précipitations mensuelles et annuelles moyennes en (mm) de la région de M'Silla durant la période (1988-2014).	9
6.	Figure6: la pluviométrie de M'sila	9
7.	Figure7: Pédologie de la région du Hodna [Boyadgiev, 1975].	11
8.	Figure8: les températures mensuelles moyennes de M'Sila de la période de (1988-2014).	12
9.	Figure9: Carte couvert végétal de l'Algérie de Nord (Benslimane et al 2008)	13
10.	Figure10: Bilan hydrologique mensuel du barrage d'El k'sob entre septembre 2015et mars 2016.	20
11.	Figure11: Courbe d'hypsométrie du K'sob A partir de la courbe : • H (95%)=800 m • H (5%)=1695m • H (50%)=1100m	25
12.	Figure 12 : Dénivelée simple	26
13.	Figure 13: Composantes d'un SIG	42
14.	Figure 14 : Représenter le monde réel	46
15.	Figure 15 : Deux différents types de modèles géographiques	46
16.	Figure 16 : Structure d'un SIG	46
17.	Figure 17: Types de données dans un SIG	47
18.	Figure 18 : Données spatiales	48
19.	Figure 19 : Notion de couches de données	48
20.	Figure 20 : Données associées	49
21.	Figure 21 : modèles numériques	49
22.	Figure 22: modèles numériques d'altitudes	50
23.	Figure 23: modèle par triangulation (TIN)	51
24.	Figure 24: Bassin versant topographique	52
25.	Figure 25 : Bassin versant hydrogéologique	52
26.	Figure 26: situation géographique du bassin versant Oued EL KOSSAB	56
27.	Figure 27 : Organigramme de la méthodologie de l'étude.	58
28.	Figure 28: MNT B.V EL KESSAB	59
29.	Figure 29: la carte flow direction du B.V EL KESSAB	60
30.	Figure 30 : la carte stream ordre du B.V EL KESSAB	60
31.	Figure 31 : La carte de densité de drainage du B.V oued EL Kessab	66

32.	Figure 32 : La carte densité de linéament du B.V oued EL Kessab	67
33.	Figure 33: la carte pente du B.V oued EL kessab	68
34.	Figure 34: la carte lithologie du B.V oued EL Kessab	71
35.	Figure 35: la carte type de sol du B.V Oued EL Kessab	72
36.	Figure36: La zone potentielle des eaux souteííaines (GWPZ)	73

List des Tableau

le nombre	Tableau	arrangement
1.	Tableau 1: caractéristiques et écoulement du bassin du Hodna	15
2.	Tableau 2: Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm) de la région de M'sila pour la période (2015-2016)	21
3.	Tableau 3: Moyennes mensuelles et annuelles des températures enregistrées dans le barrage El k'sob (Septembre 2015- Mars 2016).	21
4.	Tableau 4: Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en (%) enregistrées dans le barrage El k'sob (Septembre 2015- Mars 2016).	22
5.	Tableau 5: les courbe hypsométrique	24
6.	Tableau 6 : indice de pente de roche	29
7.	Tableau 7 : Rapport de confluence	31
8.	Tableau 8: Résultat des rapports des longueurs	32
9.	Tableau 9: Rectangle équivalent de bassin versant de k'sob	33
10.	Tableau10 : La matrice de comparaison par paires du processus de hiérarchie analytique(AHP).	63
11.	Tableau 11 : Matrice AHP normalisée	63
12.	Tableau 12 : Évaluation AHP résumée des sous-propriétés des paramètres.	65
13.	Tableau13: évaluation de la GWPZ du champ de drainage oued EL Kessab.	75

الملخص:

في هذه الدراسة، قمنا بتحليل المناطق المحتملة لإعادة شحن المياه الجوفية في حوض وادي القصب في الحضنة باستخدام أنظمة المعلومات الجغرافية وتطبيق طرق التحليل المتعددة المعايير، إذ تم إجراء عملية تحديد المناطق عن طريق تداخل عدة خرائط للعوامل التي تؤثر على إعادة شحن المياه، تشمل هذه العوامل نوع التربة (20٪)، وكمية الأمطار (32٪)، وكثافة خطوط الانكسار (7٪)، والصخور الأساسية (13٪)، وكثافة التصريف (3٪)، والميل (25٪)، للعثور على مناطق محتملة لإعادة شحن المياه الجوفية؛ و تم تصنيف المناطق المحتملة لإعادة شحن المياه الجوفية إلى خمس فئات: شديدة الارتفاع (20.11٪، 17822.97 هكتار)، عالية (20.11٪، 29613.14 هكتار)، متوسطة (25.76٪، 37935.35 هكتار)، منخفضة (27.03٪، 39791.84 هكتار)، وشديدة الانخفاض (14.97٪، 22050.25 هكتار) للشحن. يمكن أن تساهم نتائج هذه الدراسة في تحسين استخدام وإدارة المياه الجوفية من أجل الحفاظ عليها.

الكلمات المفتاحية: وادي القصب -إمكانية الشحن -المياه الجوفية - AHP - أنظمة المعلومات الجغرافية

Résumé

Dans cette étude, nous avons examiné les zones potentielles de recharge en eau souterraine dans le bassin de "l'oued Al-Kessab" à Al-Hodhna en utilisant les systèmes d'information géographique et en appliquant les méthodes d'analyse multicritères. Le processus de détermination des zones a été réalisé en superposant plusieurs cartes de facteurs influençant la recharge d'eau. Ces facteurs comprennent le type de sol (20%), les précipitations (32 %), Densité de lineament (7%), Lithologie (13%), Densité de drainage (3%), La pente (25%) pour trouver des zones potentielles de recharge des eaux souterraines. Les zones de recharge potentielle des eaux souterraines obtenues ont été classées en cinq catégories : très haute (20.11%, 17822.97Ha), haute (20.11%, 29613.14Ha), moyenne (25.76%, 37935.35Ha), basse (27.03%, 39791.84Ha) et très basse (14.97%, 22050.25Ha) recharge. Les résultats de cette étude peuvent contribuer à une meilleure utilisation et gestion des eaux souterraines en vue de leur préservation.

Mots clés: Oued Al-KESSAB – Potentiel de recharge- eaux souterraines – AHP - Systèmes d'information géographique

Abstract

In this study, we examined the potential groundwater recharge areas in the "Wad Al-Kessab" basin in Al-Hodhna using geographic information systems (GIS) and applying multi-criteria analysis methods. The process of determining the areas was done by overlaying several maps of factors influencing water recharge. These factors included soil type (20%), precipitation (32%), lineament density (7%), lithology (13%), drainage density (3%), and slope (25%) to identify potential groundwater recharge zones. The obtained potential groundwater recharge zones were classified into five categories: very high (20.11%, 17,822.97 hectares), high (20.11%, 29,613.14 hectares), medium (25.76%, 37,935.35 hectares), low (27.03%, 39,791.84 hectares), and very low (14.97%, 22,050.25 hectares) recharge. The results of this study can contribute to a better utilization and management of groundwater resources for their preservation.

Keywords: Wadd Al-KESSAB – Recharge potential - Groundwater - AHP - Geographic Information Systems."

Introduction

Générale:



Introduction Générale :

L'eau souterraine correspond à la quantité d'eau située sous la surface terrestre, pouvant être captée à travers des puits, des tunnels, des systèmes d'égouts ou par pompage. Elle peut également se manifester à la surface de la terre sous forme de cours d'eau qui s'écoulent naturellement par écoulements ou infiltrations.

La disponibilité des eaux souterraines dans la région de l'oued El Ksob revêt une importance primordiale pour la survie de cette zone, qui est l'une des provinces du bassin. Des études de recherche ont alerté sur l'état critique du bilan hydrique et des ressources en eau dans cette région. Cela indique que la disponibilité en eau dans la région de l'oued El Ksob nécessite une attention particulière en termes de conservation.

Le développement rapide de la zone a entraîné des changements d'affectation des terres, entraînant une réduction de la zone d'infiltration des eaux souterraines. Les bassins versants inférieurs perturbent le processus de recharge des eaux souterraines, réduisant ainsi leur disponibilité. En général, le processus de filtration de l'eau se déroule en deux étapes successives : la percolation (mouvement de l'eau du haut vers la surface du sol) et la filtration (mouvement des eaux souterraines de la zone non saturée vers la zone saturée). Si le taux d'infiltration est inférieur à l'intensité des précipitations, il peut y avoir des problèmes d'intrusion d'eau souterraine. Une pluviométrie insuffisamment absorbée par le sol peut entraîner de tels désastres. L'absence d'une cartographie de la zone de recharge potentielle des eaux souterraines dans l'oued El Ksob a conduit les programmes de développement à négliger la protection et la conservation du bassin versant dans le cadre de la préservation des eaux souterraines.

La zone de recharge des eaux souterraines correspond à la zone où l'eau de pluie s'infiltre dans le sol pour devenir de l'eau souterraine. Pour déterminer cette zone potentielle de recharge, il est nécessaire d'utiliser des techniques de cartographie et de traitement des données via un Système d'Information Géographique (SIG). Un SIG est un

système informatique ou une technologie qui permet de collecter, stocker, traiter, analyser et présenter des données et des informations géographiques liées à un objet ou à un phénomène situé à la surface de la Terre. Le SIG est composé de plusieurs sous-systèmes interdépendants, comprenant la collecte de données, la gestion des données, le traitement ou l'analyse des données, les rapports (sortie) et les résultats des données. La cartographie des zones potentielles de recharge des eaux souterraines peut ainsi être réalisée en utilisant un SIG.

CHAPITER I

Généralité sur Le bassin versant du Hodna

Introduction

Les eaux souterraines sont des réserves d'eau situées sous la surface terrestre qui peuvent être récupérées par des puits, des tunnels, des systèmes d'égouts ou par pompage.

Elles peuvent également être considérées comme des cours d'eau qui coulent naturellement à la surface de la terre par jets ou infiltrations.

La disponibilité de l'eau souterraine est cruciale pour la survie de la région du bassin HODNA en tant que province.

Cependant, des études ont montré que la disponibilité de l'eau dans cette région nécessite une attention particulière en matière de conservation, car le développement rapide de la zone a entraîné une diminution de la zone d'infiltration des eaux souterraines.

Les bassins versants inférieurs perturbent la reconstitution des eaux souterraines, réduisant leur disponibilité.

Le processus de filtration de l'eau se produit par le mouvement de l'eau du haut vers la surface du sol (percolation) et de la zone non saturée vers la zone saturée (filtration). La carte de la zone de recharge potentielle des eaux souterraines est essentielle pour la conservation de ces ressources, car elle indique la zone où l'eau de pluie s'infiltre dans le sol pour devenir de l'eau souterraine.

Cette carte peut être établie par cartographie et traitement SIG. Le SIG est un système informatique permettant de collecter, stocker, traiter, analyser et présenter des données et informations liées à un objet ou un phénomène sur la surface de la Terre. La cartographie des zones potentielles de recharge des eaux souterraines à l'aide du SIG est une méthode essentielle pour la conservation de cette ressource en eau précieuse.

1. Situation géographique du bassin versant Hodna

La wilaya de M'sila, située dans la partie centrale de l'Algérie du nord, occupe une position stratégique dans la région des Hauts Plateaux du Centre. Avec une superficie de 18 175 km², elle est bordée par les wilayas de Bordj Bou-Arreidj et Sétif au nord-est, les wilayas de Médéa et Bouira au nord-ouest, la wilaya de Batna à l'est, la wilaya de Djelfa à l'ouest, et la wilaya de Biskra au sud-est.

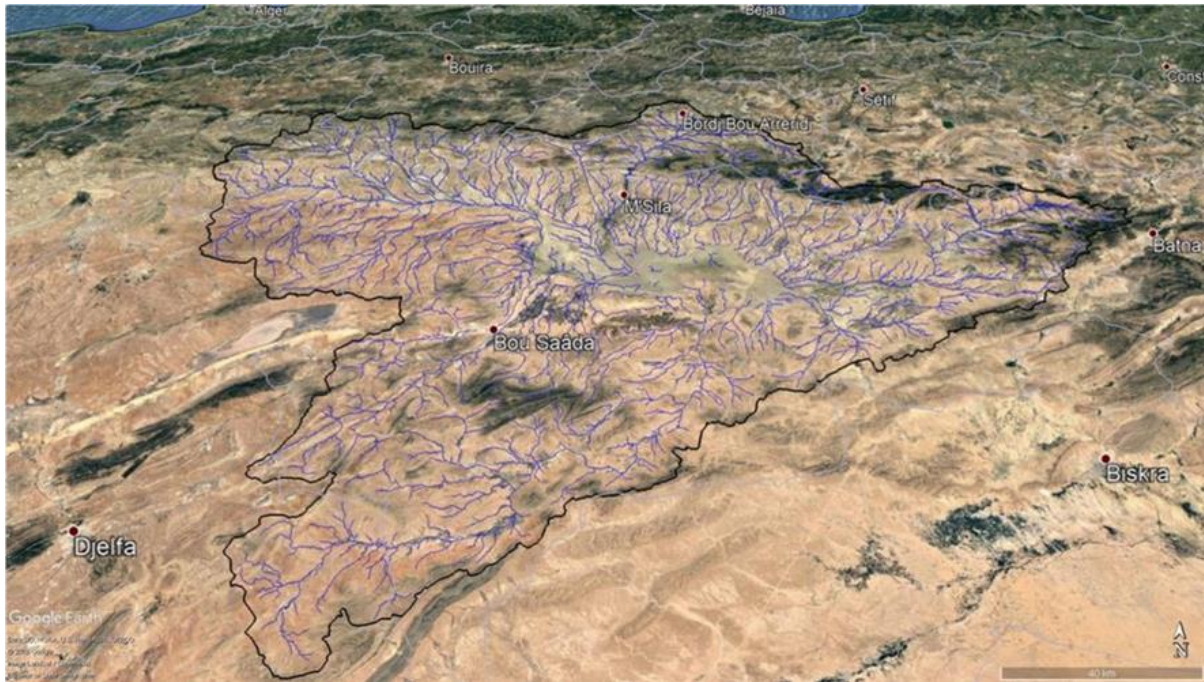


Figure1: Bassin versant du Hodna (Google Earth Pro).

2. Le relief

Le relief est l'ensemble des irrégularités du sol qui se mesurent par rapport au niveau de la mer.

Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important.

Le bassin du Hodna est divisé en quatre unités géomorphologiques : La région montagneuse, la plaine du Hodna, le Chott Sebkha et la région du R'mel.

D'une altitude variable de 1400 à 1800 m qui relie l'atlas tellien à l'atlas saharien, le Chott Sebkha occupe une superficie 100 km².

S'étire de Boussaâda à M'doukal, la région du R'mel présente un paysage de dunes et de steppes sableuse.

2.1. Les montagnes

Au Nord et à l'Est les limites sont très nettes où le contact avec le massif de Ouennougha, les monts du Hodna et du Belezma se fait toujours par une rupture marquée.

Cette barrière forme un véritable écran montagneux dont l'altitude varie entre 1400 et 2000 m (dj Maadid 1863 m, dj Tachirt 1902 m et dj Tichao 2141 m) de par leur vigueur, ces reliefs Comme

on le verre plus loin , joue un rôle important de point de vue hydrologique et climatique en réduisant les influences maritimes.

Au Sud et à l'Ouest, le cadre montagneux est nettement plus confus et d'altitude plus élevée et correspond à la retombée Nord de l'Atlas saharien il est représenté dans sa version Nord-Est et Nord-Ouest par Djebel Fernane 1675 m Djebel Tsegna.

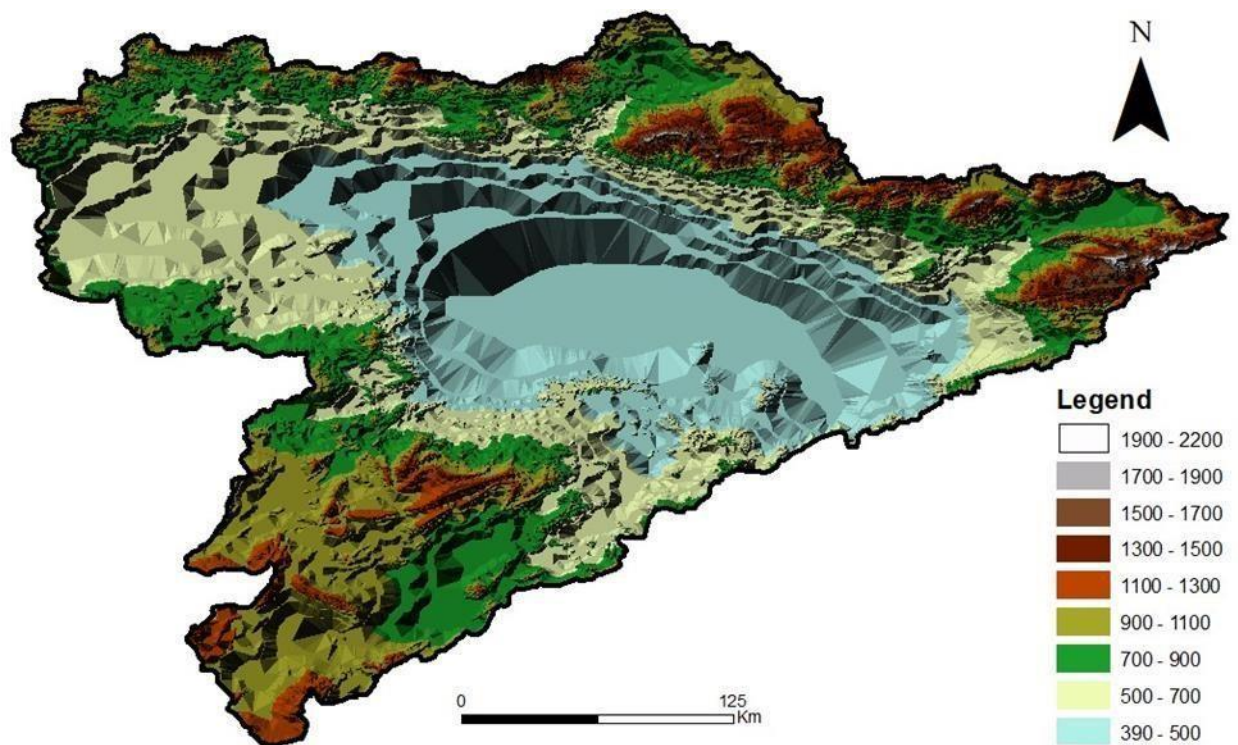


Figure2: MNT du relief de bassin versant du Hodna(Originale).

2.2. Le piémont

Appelé Djerr. Cette région mesure entre 500 et 700 mètres d'altitude et s'étend d'ouest en est. Au nord, elle est assez large et se compose de grands paliers qui correspondent à des niveaux de glaciaires. Cependant, ces paliers sont profondément entaillés par une série d'oueds qui descendent des montagnes situées au nord. Le piémont sud, en revanche, est beaucoup moins étendu et plat. Il est également encombré d'accumulations de sable.

Il est intéressant de noter que cette région semble avoir été façonnée par l'érosion des montagnes au nord, qui ont créé les oueds profondément entaillés dans les paliers de glaciaires.

Les accumulations de sable dans le piémont sud pourraient également être le résultat de l'érosion et du transport de matériaux par les cours d'eau.

2.3. La plaine

Proprement dite définie assez exactement par la courbe de niveau 500m et couvre les deux tiers du Hodna . Elle s'étale jusqu'aux abords de chott qui occupe le centre du bassin. Il faut, là également, distinguer la plaine du Nord et de l'Est et celle du Sud appelé Rmel .

Au Sud , Le rmel offre un paysage d'étendue sablonneuse, plate avec souvent des champs de dunes de quelque mètres de hauteur. le sable est accumule soit en masse informe , soit en de petits massifs allongées de véritables dunes vives appelées erg qui marquent en partie les bonnes terres et le chott

2.4 Chott El Hodna (Sebkha)

Appelé aussi la «niche des oiseaux migrants», vaste surface d'épandage des eaux de crues 1150 km², situées au coeur de bassin Hodna de forme presque elliptique se trouve au centre de la plaine. C'est une étendue argileuse, absolument plane et fortement salée où toute végétation est absente.

3. Le climat

La région semble avoir une année climatique divisée en deux grandes saisons. La première, fraîche et relativement humide, s'étend de novembre à avril. La seconde, chaude et sèche, se déroule de mai à octobre. Cette répartition saisonnière des précipitations peut avoir un impact important sur les activités agricoles et pastorales de la région.

Il est intéressant de noter que la région du Hodna semble être soumise à des conditions climatiques difficiles en raison de son emplacement géographique.

Cependant, cela peut également la rendre unique sur le plan écologique et culturel, en offrant des opportunités uniques pour la biodiversité et les communautés locales.

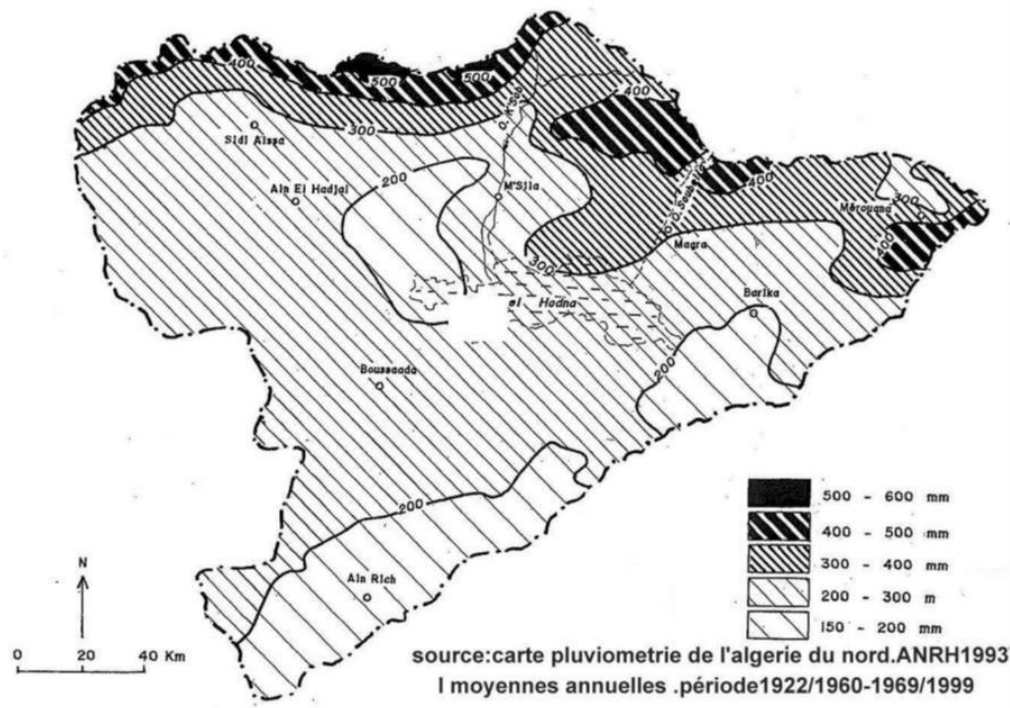


Figure3: Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna.

3.1. Bioclimat

Les différents types de climats arides qui existent en Algérie.

Le premier type de climat que vous mentionnez est l'aride subdésertique ou inférieur, qui se trouve dans les régions du chott et de la zone de Rmel. Ce climat est caractérisé par une sécheresse presque constante de 11 à 12 mois secs et de faibles précipitations.

Le deuxième type de climat est le sub-aride ou moyen, qui couvre une grande partie de la plaine de Hodna, ainsi que le piémont et la plaine au nord de la sebkha. Ce climat a des périodes de sécheresse de 5 à 9 mois.

Enfin, le troisième type de climat est le semi-aride ou supérieur, qui se trouve dans les montagnes de l'Atlas tellien (monts du Hodna, massif des Belezma), le bassin amont de l'oued l'ksob situé sur les hautes plaines Sétifiennes, ainsi que les monts des Ouled Nail au Sud-Est de Boussaâda. Ce climat a des périodes de sécheresse moins longues que les deux précédents types, mais il reste relativement sec

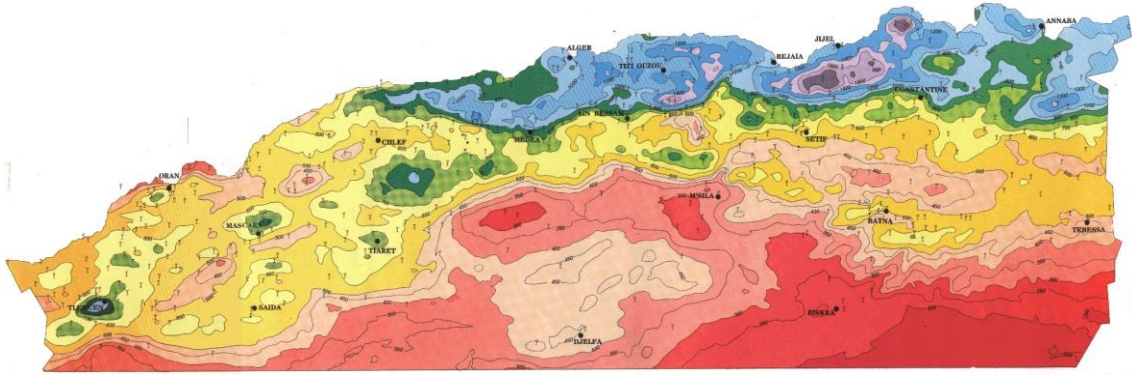


Figure4: Carte bioclimatique de l'Algérie (Meddour)

3.2. Pluviométrie

Paramètre climatique hydrologique de base dans les ouvrages de bassin versant, dans la région HODNA, le système d'écoulement est étroitement lié aux précipitations, à l'intensité, à la continuité, à la fréquence, voire à l'origine, à l'emplacement et à la violence de l'écoulement. (Kurdoud 2006)

La tranche d'eau reçue varie d'environ 500 à 600 mm sur les hauts plateaux à couvain, alors qu'elle varie entre 200 à 400 mm et moins de 200 mm au niveau du sable et dans la région HODNA.

L'examen des données de précipitations contenues dans les tableaux (annexe) permet de décrire le système de sédimentation des stations étudiées.

La zone de M'sila se situe entre 500 mm égaux au niveau des inscriptions septentrionales (les monts Hodna) et 150 mm au niveau du Shatt (rempli d'une trêve) (Le Crohn, 1999), avec une précipitation annuelle moyenne de 16,35 mm

Les pluies affectent le système Shatt El-Hodna et les vallées qui l'alimentent.

Le mois le plus humide va de septembre à mai. La saison des pluies commence en septembre et les pluies d'automne sont parfois fortes et plus ou moins catastrophiques (septembre 2008).

Les pluies hivernales sont moins violentes que le calendrier (annexe).

Dans ces conditions, le ruissellement de surface s'intensifie et conduit des crues soudaines qui détruisent tout sur leur passage (inondations de Wadi Al-M'sila, automne 2008)[4].

La figure 1.11 montre la répartition des pluviométries mensuelles moyennes sur une période de 29 ans.

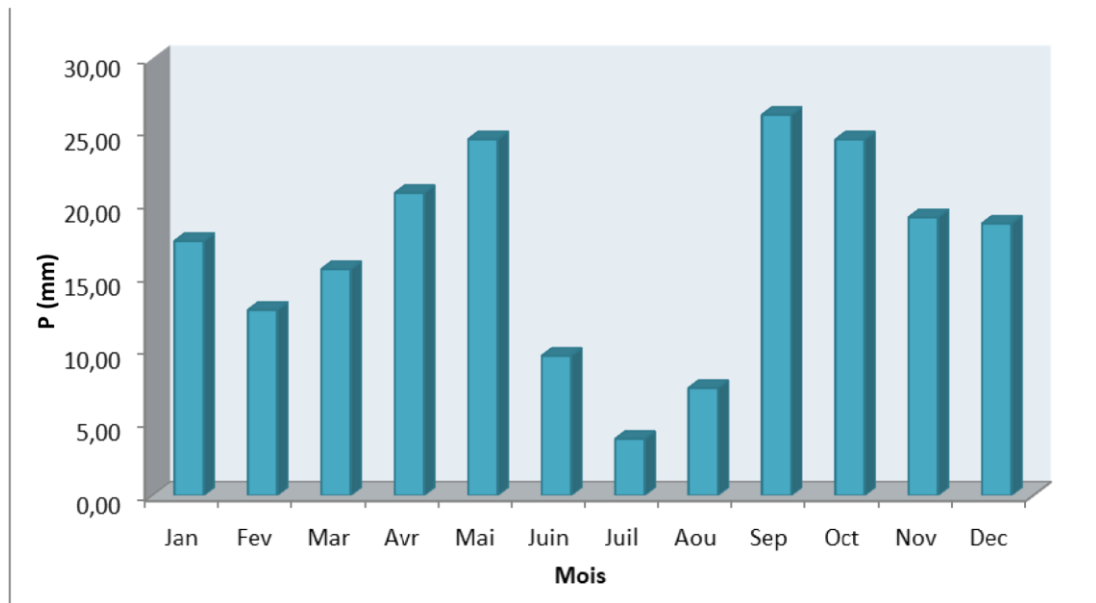


Figure 5: Précipitations mensuelles et annuelles moyennes en (mm) de la région de M'Silla durant la période (1988-2014).



Figure6: La pluviométrie de M'sila

3.3. Sol

Les sols salés ont une grande extension dans les pays du Maghreb. Ils sont dus aux conditions arides ou semi-arides d'une grande partie de cette région où les possibilités d'évaporation sont considérables et les précipitations pluviales limitées, à présence fréquente de dépôts géologiques salifères et de nappes phréatiques salées (Aubert, 1976). Plusieurs travaux pédologiques ont été réalisés dans le Hodna (Belouam, 1976 ; Dekkich, 1974 ; Boyadgiev, 1975 ; Daoud et Doggar, 1985). Les sols, en majorité sableux, présentent des caractères salins, calcaires ou gypseux ou soumis à l'effet de la nappe phréatique ou à l'érosion éolienne.

D'une manière générale, à cause de leur texture et leur faible teneur en matière organique, le niveau de fertilité est faible (faible capacité d'échange cationique et de rétention en eau) ; le recours à la fertilisation et aux amendements organiques est indispensable pour assurer des rendements acceptables.

Selon Boyadgiev (1975), le chott entourant la sebkha et la sebkha elle-même portent des sols à accumulations gypso-salines de nappe qui deviennent franchement salines dans la sebkha (Chlorure de sodium) ; leur conductivité électrique est très élevée. Au sud du chott, la situation est toute autre. La partie centrale a été et est fortement influencée par des apports massifs de sables éoliens (R'Mel) formant des sols minéraux bruts auxquels succèdent les glacis encroûtés comparables à ceux du nord.

La carte pédologique du Hodna (Boyadgiev, 1975) présente les types de sols suivants :

- Sols bruns calcaires en association avec régosols et lithosols. □ Sols minéraux bruts et sols peu évolués régosoliques.
- Sols peu évolués d'apport alluvial.
- Sols peu évolués d'apport alluvial : (Peu steppisés -Callimorphes.- Hydro morphes).
- Sols peu évolués halomorphes.
- Sols sodiques.
- Sols très fortement à excessivement salins.
- Sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apport.
- Sols peu évolués d'apport éolien.
- Sols sur croûte et encroûtement calcaire.
- Sols minéraux bruts d'érosion [4]

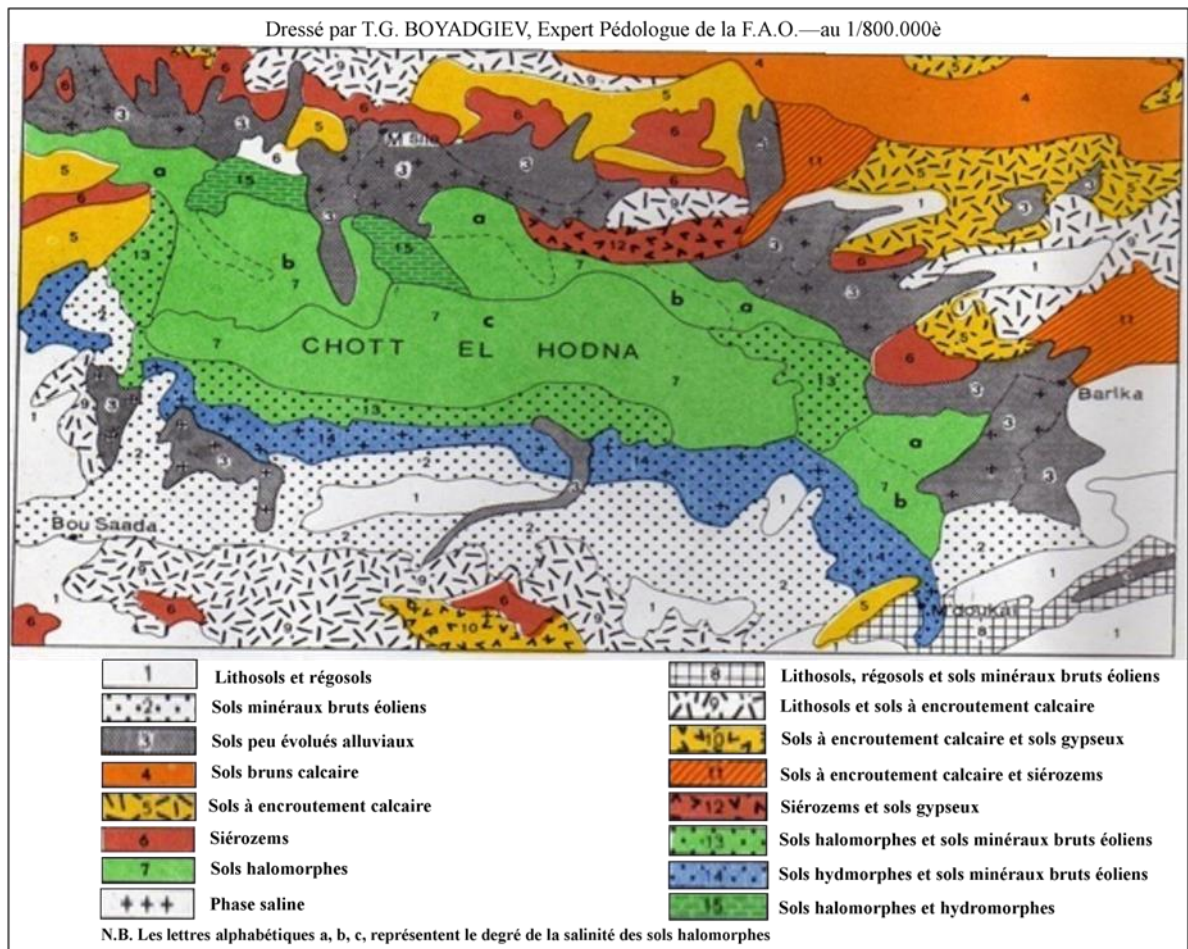


Figure7: Pédologique de la région du Hodna [Boyadgiev, 1975].

3.4 Température

La température de l'air est l'un des paramètres ayant une grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle. Elle est en fonction de l'altitude, de la distance de la mer, des saisons (OZENDA, 1982) et de la topologie (TOUBAL, 1986).

La Température moyenne annuelle est de 23,37 °C, le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 10,44 °C et le mois le plus chaud est représenté par le mois d'Août avec une température de l'ordre de 37,92 °C (FIG. 1.12) [5].

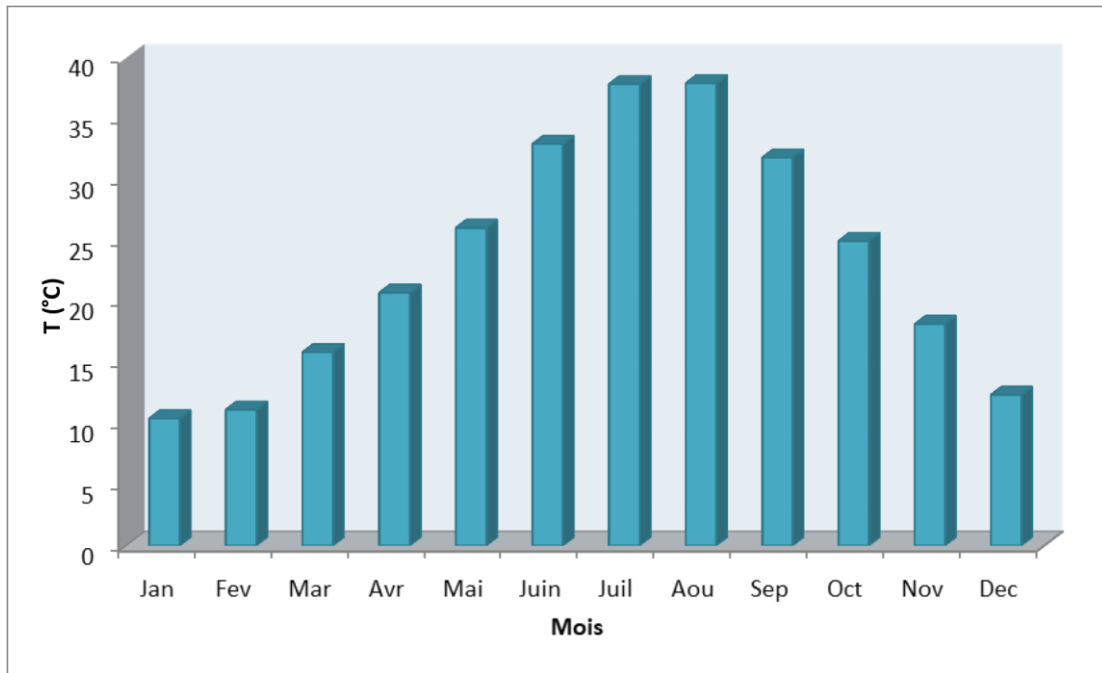


Figure8: les températures mensuelles moyennes de M'Sila de la période de (1988-2014).

4. Le couvert végétal

Il couvert végétal influe beaucoup sur les quantités d'eau disponibles pour l'écoulement de surface. En effet, l'évapotranspiration par les végétaux est très importante ,elle varie selon la nature des végétaux (forêts, cultures, prairies).

La répartition du couvert végétal et la part de chaque type de couvert dans chaque sous bassin versant dépend des caractéristiques physicogéographiques de chaque bassin, des caractéristiques climatiques qui en déroulent et de l'influence de l'action anthropique. Pour le bassin du Hodna on distingue:

- Des superficies forestières dominantes Djebels Messaad (33 814ha), Medjedel (16 321ha), Slim (14 916ha), Maadhid (6 448ha), Hammam El Dalaa (16 819ha), Boussaâda (3 739ha) à base de Pin d'Alep et Genévrier de Phénicie.
- Des superficies agricoles dans la plaine de M'sila qui propice aux cultures maraîchères (15125ha), aux céréales (741 945ha) et les arbres fruitiers (14 170ha) (Zeroual S .2016).

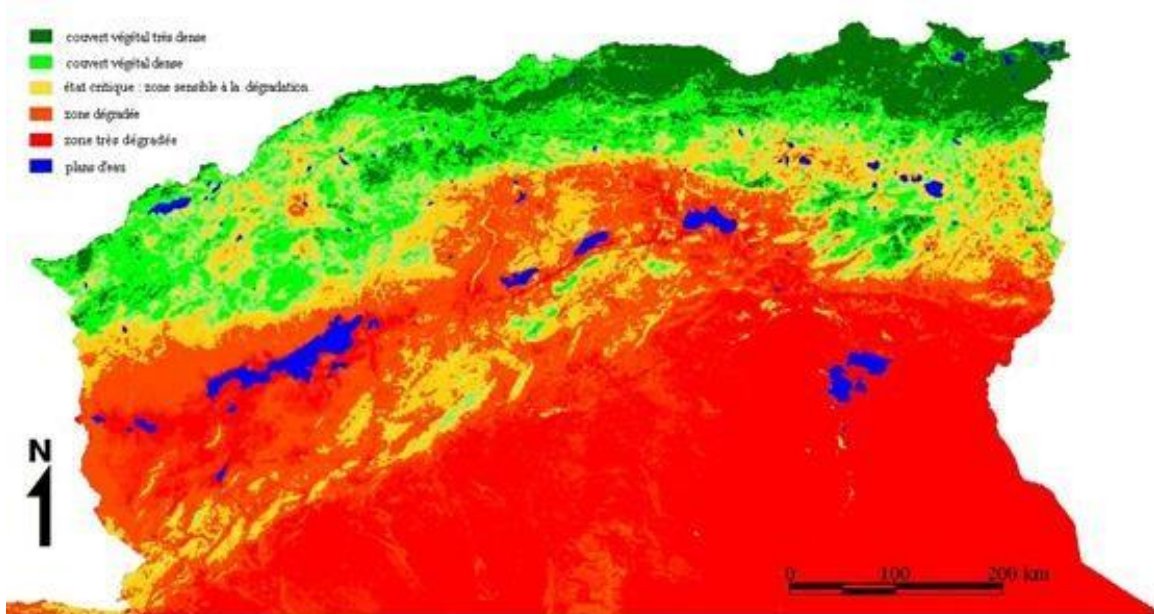


Figure9: Carte couverte végétale de l'Algérie de Nord (Benslimane et al 2008)

4.1. Les terres de culture

Les terres de culture peuvent être subdivisées en trois catégories en fonction de leur nature et de leur situation géographique:

Les terres haï : sont des terres vivifiables au moyen de barrages construits sur les principaux oueds tels que K'sob, Selmane, Barika, etc.

Ces terres sont partagées entre les individus qui ont participé à la construction des barrages. Elles bénéficient d'un système d'irrigation régulier qui leur permet d'être cultivées toute l'année.

Les terres Djelf: sont des terres limoneuses qui sont labourables comme les terres haï, mais elles ne sont arrosées que par les eaux détournées de leur cours (faïd) au moment des crues, grâce à de petits ouvrages de canalisation construits dans les environs immédiats. Elles ne jouissent donc que d'inondations irrégulières, contrairement aux premières qui sont irrigables toute l'année.

Les terres hamada : sont des terres pierreuses et trop élevées pour que les crues puissent les atteindre. Elles sont affectées au parcours et ne peuvent pas être utilisées pour la culture.

Il est important de noter que ces catégories de terres sont spécifiques à la région ou à la zone géographique concernée, et peuvent varier d'une région à l'autre en fonction de la nature des sols, de la topographie, du climat et des précipitations.

4.2. Les forêts

Les Forêts couvrent 188 566 ha, soit 7,7% de sa surface globale.

Hodna

Djbel om saad 33,566 ha

Mjadel 21,277 ha

Driaât 16, 935 ha

Ouennougha 1,500 ha

El Sfi 4,855 ha (CDF)

5. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents, Permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et Convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire). (Blagoune.)

Le réseau hydrographique est tout diversifié, mais il se distingue par sa dégradation et le régime des oueds Hodna se caractérise aussi par l'existence d'un grand nombre d'années sèches entrecoupé par un petit nombre d'année humide avec crues violentes. l'irrégularité, la faiblesse des étiages et l'ampleur des crues réduisent considérablement l'intérêt des eaux de surface pour l'agriculture, la plus grande partie des volumes annuels coule au moment des crues, ensuite pendant le reste de l'hiver et il n'en reste guère pour les mois secs qui sont ceux au cours desquels l'agriculture est demandeuse. Pour la majorité, ce sont des Oueds à écoulement temporaire.

On peut citer d'Ouest en Est les oueds suivants:

Oued Elham, dont le bassin présente 1/5 ou 1/6 de la totalité du bassin hydrologique du Hodna, oued Targa, l'un de ses affluents est particulièrement salé, surtout pendant l'étiage (50 g/l résidu sec).

Le régime de cet oued est permanent:

*Oued Lougmane dont le régime est permanent

*Oued Ennafida. le régime est temporaire

*Oued Nakrar dont le régime est temporaire

*Oued Barika sur lequel existe un barrage de dérivation. Cet oued draine les monts du Belazema, son régime est permanent.

*Oued Bitam dont le régime est temporaire. Par contre dans la zone Sud du chott Hodna. il n'existe que deux oueds importants :

*Oued Boussaâda et son affluent Maitar. Son régime est temporaire. *Oued Mellah ou oued M'cif plus en aval, rejoint le chott à l'ouest de Guelalia.

Au Nord, les oueds prennent naissance au mont du Hodna et s'acheminent vers le Chott, sur les formations lithologiques des plaines et hautes plaines.

La période des sécheresses étant longue, ces oueds restent longtemps à sec.

Tous les oueds, permanents ou non, ont des crues secondaires et fortes, les eaux se déversant dans le chott sont estimées à 150 hm³ par an pour une année moyennement pluvieuse les oueds

les plus importants sont centrés au Nord et à l'est de chott : Oued El ham, Oued Ksob, Oued Barika Oued Maitar qui débouche dans la plaine à Boussaâda, et Oued M'cif qui jette dans le chott près de Guellallia ; ils sont variés d'une année à l'autre, Tableau I.1

SOUS Bassins du Hodna	caractéristiques				Ecoulement(en million en m ₃)		
	Surface km ²	Altitude moyenne	Pluviomoyenne annuel	Température Moyenne	Ecoulement moyen	Hypothèse d'utilisation	Ecoulement
Leham	6400	710	292	16.2	62	34	28
Mellah	4200	950	251	14.7	33	10	23
Maiter	2800	950	300	14.5	33	20	13
Ksob	2400	870	343	15.8	57	47	10
Barika	2100	920	345	15	54	30	24
Romana	1450	670	290	16.5	9	6	3
Mdoukal	1100	520	180	17.6	1	1	0
Lougman	1000	650	255	16.7	10	3	7
Boutaleb	1000	750	320	16	17	4	13
Selmane	1000	770	330	15.8	23	6	17
Bitam	1000	735	245	16.1	12	10	2
Soubella	4007	790	353	15.7	12	2	10

Tableau 1 : caractéristiques et écoulement du bassin du Hodna

Conclusion

Le bassin versant du Hodna est en effet l'un des plus importants bassins hydrographiques d'Algérie. Il est situé au centre du pays et s'étend sur une superficie de 25 830 km². Ce bassin est

divisé en 23 sousbassins qui drainent les eaux de pluie des montagnes environnantes vers la cuvette centrale, où se trouve le chott, une vaste dépression salée.

Le relief du bassin du Hodna est caractérisé par des chaînes de montagnes situées au nord et au sud, qui encadrent la cuvette centrale. Cette dernière a une altitude moyenne de 400 mètres et est donc relativement plate. Les montagnes du bassin versant du Hodna sont une source importante de précipitations pour la région, ce qui alimente le réseau hydrographique du bassin.

Le régime hydrologique du bassin du Hodna est fortement influencé par le régime pluviométrique de la région, qui est caractérisé par des précipitations irrégulières et souvent violentes. Les principaux cours d'eau du bassin sont les oueds El Ham, K'sob, Barika, Soubella, Lougmane Selmane et Berhoum. Ces cours d'eau peuvent être soumis à des crues soudaines et violentes en période de fortes pluies, ce qui peut causer des dégâts importants aux infrastructures et aux habitations situées le long de leurs rives.

En résumé, le bassin versant du Hodna est un important bassin hydrographique d'Algérie, qui est caractérisé par un relief montagneux encadrant une cuvette centrale. Son réseau hydrographique est influencé par le régime pluviométrique de la région, ce qui peut entraîner des crues soudaines et violentes en période de fortes pluies.

CHAPITER II:
Géologie et hydrogéologie du
bassin de l'Oued El k'sob

INTRODUCTION

Le bassin hydrographique, ou bassin versant, est l'unité ou cadre de toute étude hydrologique. Les limites d'un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux qui le séparent des bassins adjacents. Elles sont facilement repérables dans les régions où le relief est bien marqué. Il n'en est pas de même dans les régions très planes où les eaux divaguent, dans celles où les écoulements temporaires se perdent dans les sables ou dans les cuvettes désertiques. Lorsqu'un karst souterrain est bien développé, la circulation des eaux suit souvent des trajectoires indépendantes des réseaux de surface et les eaux fuient d'un bassin à un autre. Les limites souterraines d'un bassin ne coïncident donc pas toujours avec les lignes de partage des eaux du bassin de surface.

Dans un bassin hydrographique, la topographie, ou système de pentes, commande la trajectoire des écoulements et l'organisation du drainage ou réseau hydrographique. Celui-ci dépend de l'alimentation en eau. Le terme de bassin hydrographique est parfois remplacé par celui de bassin versant, qui désigne la surface d'interception des précipitations alimentant un cours d'eau. On parle de bassin ruisselant quand il s'agit d'un réseau d'oueds

1- Caractéristique du barrage El K'sob

Le barrage du EL k'sob fait partie du territoire de la wilaya de M'Sila, il est localisé dans la partie Sud du bassin versant de Oued El K'sob, à 15 km au Nord de la ville de M'Sila et à 40 km au Sud de ville de Bordj Bou Arreridj - au lieu dit Hammam entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Groun.

Le barrage d'El k'sob est inscrit au registre mondial des grands barrages (Mimoune, 1995) et est actuellement envasé à 70% suite à l'érosion intense dans le bassin versant (Remini et Hallouche, 2005). Le barrage desservait par l'intermédiaire d'une canalisation à ciel ouvert un périmètre de 13000 ha, d'une capacité de 30 hm³ et une profondeur de 47 m.

Les caractéristiques techniques du barrage sont les suivantes:

- Barrage à voûtes multiples en béton armé ;
- Début des travaux 1933, achèvement 1939 ;
- Hauteur au dessus du talweg : 32 mètres ; □ Longueur du couronnement : 254 mètres ; □ 2 galeries d'évacuation des crues.

En 1975; les travaux de surélévation du barrage ont commencé une quinzaine de mètres et permettra au barrage de retrouver les dimensions initiales prévues (Mimoune, 1995).

1-1 - Régime hydrologique

Les régimes hydrologiques des systèmes fluviaux du bassin versant Oued El K'sob sont caractérisées par une grande variabilité spatiale et temporelle. Oued El K'sob, qui est le chargeur et le pivot de l'activité agricole dans la région (Bahlouli *et al.*, 2012).

L'envasement progressif du réservoir est un phénomène problématique en raison de la diminution résultant en sa qualité de l'eau pose la question de l'efficacité. La capacité maximale du réservoir permet actuellement moins de 25 hm³ du volume d'eau régularisés (surface 230 ha) (Benkadja *et al.*, 2012).

Les résultats repris dans la figure 4 Montrent que plus de 50 % des apports sont concentrés entre le mois de Septembre et celui de Décembre (2015). Le volume stocké dans la retenue a enregistré une rapide augmentation au mois d'Octobre 2015, liée à une bonne pluviométrie au cours de cette période, puis une diminution progressive, passant de 11,792 Hm³ à 7,113 Hm³ en mois de Décembre 2015, cette réduction en volume liée aux deux facteurs :

- l'irrigation avec un maximum enregistré au mois de Novembre (2,584Hm³).
- L'évaporation durant la période automnale.

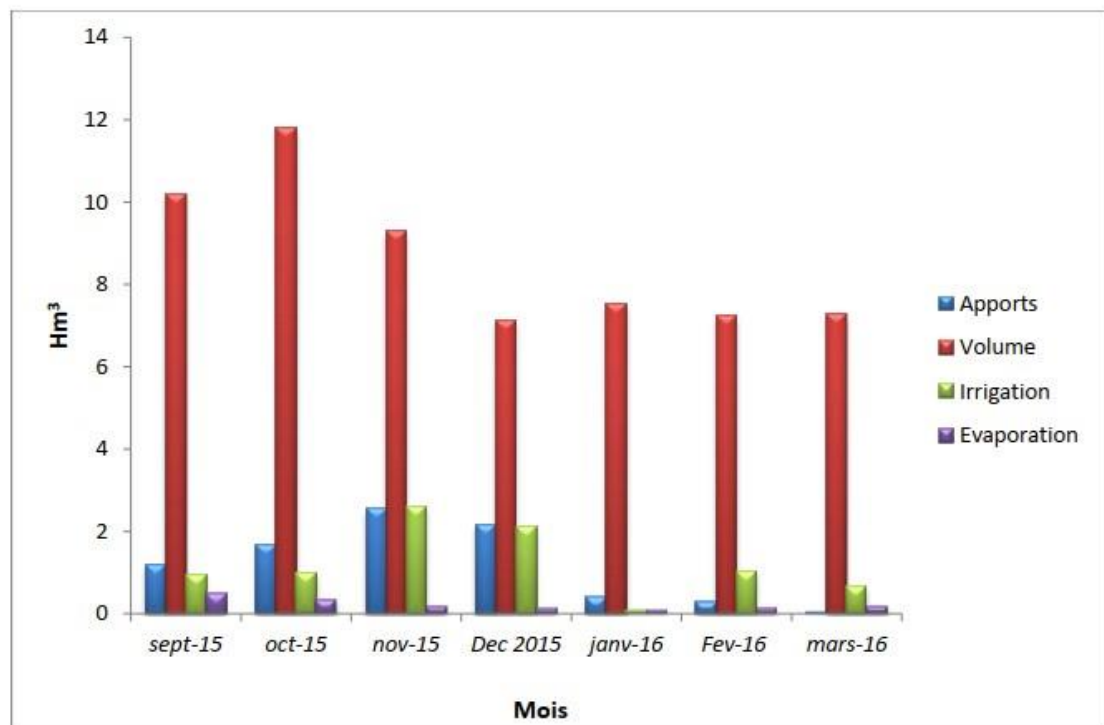


Figure10: Bilan hydrologique mensuel du barrage d'El k'sob entre septembre 2015et mars 2016.

Le climat en région méditerranéenne est un facteur déterminant en raison de son importance dans l'établissement, l'organisation et le maintien des écosystèmes. Joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivants. Il dépend de nombreux facteurs tels que la température, les précipitations, l'humidité et le vent (Faurie, 2011). La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat (Faurie et al, 2003).

1-2 les précipitations

La précipitation est une équation de première degré qui ne dépend que du contenu de vapeur dans l'atmosphère et de divers facteurs externes comme la température de l'air et la qualité de l'eau à la surface de la terre (Ricklefs et Miller, 2005). Elles constituent un facteur écologique d'importance fondamentale, non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes limniques (Ramade, 2003) .Selon ce même auteur, les précipitations jouent un rôle important dans l'apparition du tapis végétal.

Tableau 2 : Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles en (mm) de la région de M'sila pour la période (2015-2016)

mois	Septembre 2015	Octobre 2015	Novembre 2015	Décembre 2015	Janvier 2016	Février 2016	Mars 2016
P (mm)	21,5	48,9	2,8	0	5,8	17	8,2

D'après le tableau 4, le mois le plus pluvieux est le mois d'Octobre 2015 soit 48,9 mm alors que le mois le plus sec est le mois de Décembre 2015

1-3 la température

La température est un facteur écologique important qui détermine de grandes region climatiques terrestres, le facteur thermique agit directement sur la vitesse de réaction des individus, sur leur abondances et leur croissances (Dajoz, 2006 ; Faurie *et al*, 2011),

Tableau 3 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures enregistrées dans le barrage El k'sob (Septembre 2015- Mars 2016).

Mois	Septembre 2015	Octobre 2015	Novembre 2015	Décembre 2015	Janvier 2016	Février 2016	Mars 2016
T°C moy	27,50	21,50	16,50	9,00	15,00	12,00	12,00
T°C max	31,63	24,00	16,00	18,50	16,95	21,00	18,00
T°C min	26,00	12,50	5,00	1,50	7,00	6,50	4,50

Le tableau 5 ci-dessus montre qu'au niveau de la station du El K'sob le mois de Décembre (2015) est le mois le plus froid (9 °C), bien que le mois de septembre est le mois le plus chaud (27,5°C).

1- 4 humidités relatives (%)

L'humidité relative est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à la quantité maximale de vapeur d'eau que cet air peut contenue à température et pression constantes on l'exprime pourcentage, (Valle *et al.*, 1999).

Il agit sur la densité des populations en provoquant une diminution du nombre d'individus lorsque les conditions hygrométriques sont défavorables pour les organismes (DAJOZ, 1971).

Les valeurs de l'humidité relative moyenne mensuelles pour un période 2015-2016 dans le barrage de k'sob sont portées dans le tableau 6.

Tableau 4 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air en (%) enregistrées dans le barrage El k'sob (Septembre 2015- Mars 2016).

Mois	Septembre 2015	Octobre 2015	Novembre 2015	Décembre 2015	Janvier 2016	Février 2016	Mars 2016
Humidité (%)	41, 33	56 ,58	58,20	62,86	59,37	53,57	46,03

D'après le tableau 6, la valeur maximal de l'humidité relative moyenne est enregistrées en mois de Décembre avec la valeur de 62,86 % par contre, la valeur minimal est notée pour le mois Septembre avec 41,31% .

2 - Flore et faune de Oued El K'sob

2-1- La flore

Les plantes aquatiques jouent un rôle important dans l'écosystème de l'Oued El K'sob, Elles oxygènent l'eau et procurent la nourriture et l'abri à toutes sortes d'animaux, L'inventaire de la flore d'Oued El K'sob à différents stations compte environ 77 espèces, appartiennent à 40 familles, 40% de ces espèces sont aquatiques, qui explique que l'Oued est modérément diversifiée sur ce plan floristique, (Agoune et Safer , 2007).

Les bordures de l'Oued El K'sob, comportent tout le long une végétation arborée et arbustive éparses, La végétation arborée est présenté par : *Populus alba* B., *P. nigra* L., *Ulmus campestris* L, *Eucalyptus* sp, La végétation arbustive remarquable est constituée d'un groupement plus ou moins homogène, à *Tamarix gallica* L, *Nerium oleander* L, Cette ripisylve colonise la majeure partie de l'Oued El K'sob et possède un cortège floristique relativement varié, Une troisième formation, composée de plantes immergées et subimmergées caractérisée surtout de ; *Veronica anagalis-aquatica* L, *Rumex* sp, *Cotula coronopifolia* L, *Carex* sp, *Phragmites communis* Trin, Les plantes aquatiques se développent surtout dans les sites où le fond de l'Oued présent une pente très graduelle, On observe, aussi une plus grande diversité de plantes dans les endroits où le débit de l'eau est lent (Tatar, 1985) (Annexe 1).

Parmi La flore du K'sob relativement diversifiée comporte l'espèce *Cotula coronopifolia* L, selon Quezel et Santa (1962); cette espèce est très abondante au mois d'avril, Cette plante

colonise vite où les en droits de la végétation est claire et ou il ya une bonne exposition au soleil et ceci en dehors des crues.

La formation de Peuplier présente dans les bordures de l'oued k'sob par contre la formation du Tamarix caractérise tous les endroits de l'affluent, On observe La plus grande variété de plantes en amont, l'oppose, la diversité est la plus faible en aval.

2-2- La faune

La diversité de milieux implique la présence de nombreuses espèces animales, Sur un tronçon (amont et aval du barrage) de l'Oued le long d'une dizaine de kilomètres et au fonctionnement relativement préservé, il est ainsi possible de rencontrer: des Mammifères, des Oiseaux (Bensaci et *al*, 2010), des Batraciens et des poissons (Annexe 2) (Mimeche, 2014).

3. Etude de relief

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse de l'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants

3.1. La courbe hypsométrique

Le relief du bassin versant est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique. Cette courbe fournit, en effet, une vue synthétique sur la pente du bassin, donc du relief.

Celle-ci représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude.

Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve audessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée (Tableau. I.2).

Tableau 5: les courbe hypsométrique

Altitude courbe de niveau (m)	Surface entre les courbes (m2)	Pourcentage du total (%)	Pourcentage au dessus de la limite inférieure (%)
600-700	56.586	4.33	99.99
700-800	93.563	7.11	95.66
800-900	165.556	12.54	88.55
900-1000	262.614	19.67	76.01
1000-1100	248.843	18.71	56.34
1100-1200	109.419	9.43	37.63
1200-1300	102.016	7.52	28.2
1300-1400	92.967	6.99	20.68
1400-1500	76.608	5.76	14.92
1500-1600	50.274	3.78	9.16
1600-1700	37.373	2.81	5.38
1700-1800	34.181	2.57	2.57
total	1330	-	-

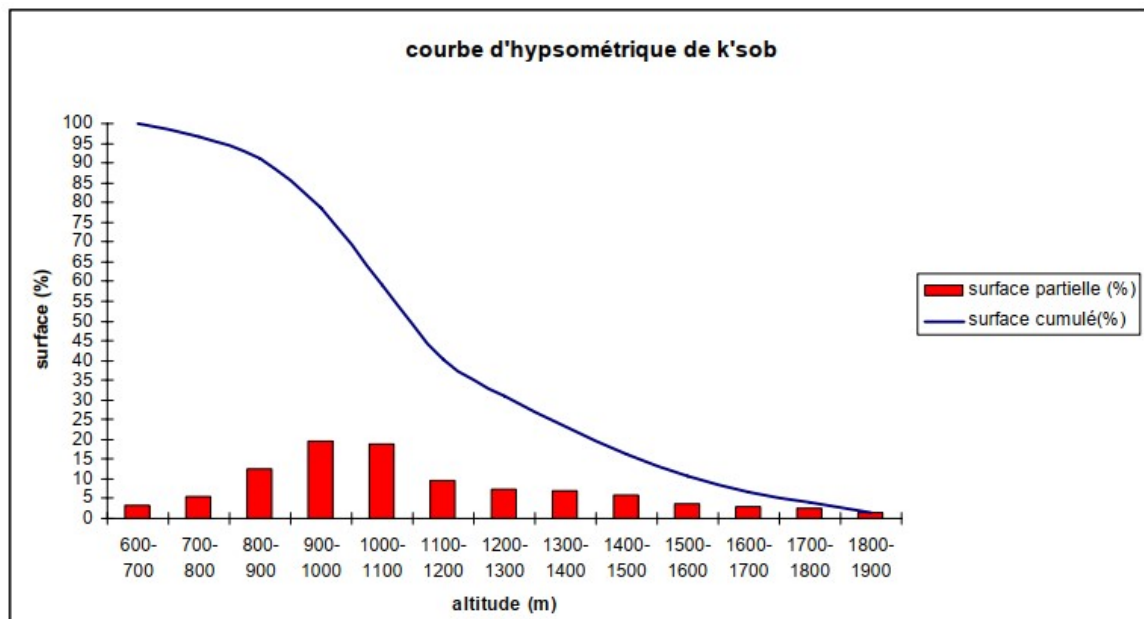


Figure11: Courbe d'hypsométrie du K'sob A partir de la courbe : •

H (95%)=800 m • H (5%)=1695m • H (50%)=1100m

3.2. Les altitudes caractéristiques

3.2.1. L'altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum (H_i * S_i)}{S}$$

Alors :

$$H_{\text{moy}} = 1080 \text{ m}$$

Où H_{Moy} : Altitude moyenne du bassin (m),

S_i : L'aire comprise entre deux courbes de niveau consécutives (km²), H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau consécutives (m),

S : L'aire totale du bassin de drainage (km²).

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques.

3.2.2. Les altitudes maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

3.3. Dénivelée simple

Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière (figure I.3).

Bien souvent, on définit aussi la "dénivelée D" comme étant la différence de cote entre H5% et H95% :

$$D = H5\% - H95\%$$

Donc :

$$D=895 \text{ m}$$

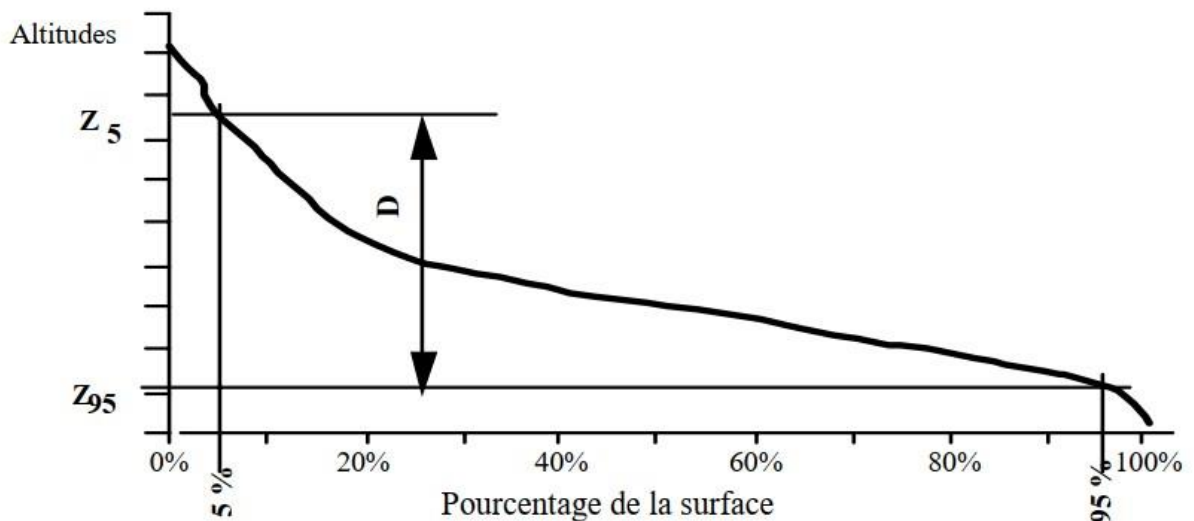


Figure 12 : Dénivelée simple

3.4. Pente moyenne du bassin versant

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct et influence directement le débit de pointe lors d'une averse (amplitude des crues).

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative.

La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données.

$$I_{moy} = \frac{(H_{max} - H_{min})}{\sqrt{S}}$$

A partir à la carte topographique on peut déterminer H max et H min

- H max= 1885 m
- H min = 610m

Alors:

$$I_{moy} = 0.0349$$

3.5. Densité de drainage

La densité de drainage est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant. Elle correspond pour un bassin versant donné de superficie A comme étant la longueur totale des cours d'eau d'ordre quelconque sur la superficie totale S du bassin versant. La densité de drainage est exprimée en km/km ou en km. Elle est donc :

$$D_d = \frac{L_T}{S} \quad \text{Alors :}$$

$$D_d = 4.0 \text{ km}$$

Avec :

Dd : la densité de drainage, en km / km² (mi / mi²),

LT : la longueur totale de cours d'eau, en km (mi),

S : l'aire totale du bassin, en km² (mi²).

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et

anthropiques. En effet, les secteurs situés en zones de roches perméables ont en général des densités de drainage faibles, alors que les secteurs de roches imperméables ont des densités plus élevées.

Les conditions climatiques jouent également un rôle le important : les climats ayant des précipitations réparties également tout au long de l' année auront des densités de drainage plus faibles que les régions à climat très contrasté comme les zones semi-arides. Les activités humaines ont parfois un rôle le important sur l'évolution hydrologique. Cette influence peut avoir un effet régulateur mais aussi un effet accélérateur du ravinement.

3.6. La dénivelée spécifique

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Alors :

$$D_s = 539.37 \text{ m.}$$

Avec : I_g : Indice de pente globale. (m/km),

S : Surface de bassin versant (km²)

$10 \text{ m} < D_s$	—————>	relief très faible
$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$	—————>	relief faible
$25 \text{ m} < D_s < 50$	—————>	m relief assez faible
$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$	—————>	relief modéré
$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$	—————>	relief modérérelief
$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$	—————>	assez fortrelief
$D_s > 500 \text{ m}$	—————>	fortrelief très fort

	I_g	Relief selon (I_g)	D_s	Relief selon (D_s)
Bassin versant du K'sob	14.79	Modéré	539.37	Relief très fort

3.7. Indice de pente de roche L'indice de pente de roche est proposé comme indice de pente plus facile à calculer que le précédent. I_p est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^n S_i B_i$$

Avec :

L : longueur de rectangle équivalent.

S_i : fonction en (%) de la surface a comprise de niveau de distance D_i .

Tableau 6 : indice de pente de roche

Tranches d'altitudes (m)	Surface S_i (km ²)	B_i (km)
600-700	56.586	2.49
700-800	93.563	4.12
800-900	165.556	7.29
900-1000	262.614	11.56
1000-1100	248.843	10.95
1100-1200	109.419	4.80
1200-1300	102.016	4.49
1300-1400	92.967	4.08
1400-1500	76.608	3.37
1500-1600	50.274	2.21
1600-1700	37.373	1.64
1700-1800	34.181	1.50
1800-1900	56.586	2.49
Totale	1330	58.56

$$I_p = 5.529$$

3.8. Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage : C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage :

$$C_T = D_d \cdot F_1$$
$$F_1 = n/s$$

Alors :

$$C_T = 0.018$$

Avec

Dd : densité de drainage

F1 : fréquence des thalwegs élémentaires ($F_1 = n / S$)

n : nombre de cours d'eau d'ordre S : surface du bassin versant.

3.9. Indice de pente globale

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g

$$I_g = D / L$$

Alors :

$$I_g = 14.79 \text{ m/ km}$$

Avec :

I_g : pente globale du bassin (m/km);

D : la dénivelée $D = H_{5\%} - H_{95\%} = 895\text{m}$; L : longueur de rectangle équivalent. $L = 60.5\text{m}$.

3.10. Le rapport de confluence

$$R_c = N_n / N (n+1)$$

Il est défini par :

Où

R_c : rapport de confluence.

Nn : nombre de cours d'eau d'ordre n

Tableau 7 : Rapport de confluence

ordre	nombre d'affluent	rapport de confluence
1	2450	2.06
2	1185	2.25
3	525	2.16
4	243	3.03
5	80	2.28
6	35	

$$R_c = (R_{c1} + R_{c2} + R_{c3} + R_{c4} + R_{c5}) / 5$$

Donc : **$R_c = 2,35$**

Si l'on admet que pour un bassin parfaitement organisé $R_c = 2$; les sous bassins de K'sob sont hiérarchisés.

3.11. Le rapport des longueurs La définition est

la suivante :

$$R_L = \frac{L_{(N+1)}}{L_N}$$

L_N : longueur de cours d'eau d'ordre n (km).

Tableau 8: Résultat des rapports des longueurs

Ordre	Longueur du cours d'eau	Rapport des longueurs
1	864	2.16
2	400	1.98
3	202	2.88
4	70	2.33
5	30	1
6	30	

$$R_L = \frac{\sum R_{Li}}{5}$$

Donc:

$$RL=2,07$$

3.12. Le temps de concentration C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul, nous faisons appel à la formule empirique suivante : **Formule de Giandotti (sud de l'Italie 1937)**

$$Tc = \frac{4\sqrt{s} + 1.5L}{0.8\sqrt{Hmoy - H \min}}$$

Avec :

L : Longueur du cours d'eau principal (Km) : L = 61.85 Km

S : La superficie du bassin versant (Km²),

Hmoy : Altitude moyenne du bassin versant (m NGA), Hmin : Altitude minimale du bassin versant (m NGA).

Cela nous donne : **Tc =13.76 Heures**

$$V = \frac{L}{3.6T_c}$$

3.13 La vitesse moyenne

Donc :

L : longueur du talvegue principal (km). Tc : temps de concentration (h).

$$V=1.24 \text{ Km /H}$$

Nous récapitulons dans le tableau suivant les principales caractéristiques du bassin versant du K'sob objet de notre étude :

Tableau 9: Rectangle équivalent de bassin versant de k'sob

Caractéristiques	Résultat
H moy (m)	1080
I moy	0.0349
D (m)	895
Ip	5.529
I g (m/km)	14.79
D s (m)	539.37
T c (h)	13.79
V (km/h)	1.24
Dd (km/km2)	4.0
C t	0.018
L teww (km)	61.85
H max (m)	1885
H min (m)	610
Rc	2.35
RL	2.07

4. Geologie et interaction hydrologique

4.1 Impact de la géologie sur l'hydrologie

Le type des formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en général une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches

imperméables mais meubles, comme des marnes ou des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration.

4.2 Lithologie

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles et marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomites,...). La nature des affleurements a une influence sur l'hydrologie de surface et le type du dépôt alluvionnaire.

Dans ce chapitre, nous allons présenter brièvement quelques caractères généraux sur la géologie de K'sob.

Le bassin de K'SOB est constitué principalement de terrains d'âge du Crétacé et du Miocène.

4.3. Lithostratigraphie

4.3.1. alluvions du Quaternaire: On rencontre ce type de terrains dans la dépression de Medjana, dans les cuvettes de Ras el oued et

Bordj R'dir. Ces terrains sont constitués de cailloutis, de sables calcaires et parfois de vases sur les bords des oueds et particulièrement sur l'oued k'sob et L'Ouled EL Amri. Les derniers dépôts se composent de graviers et de sables à éléments locaux.

Ces terrains s'étendent sur de grandes surfaces, occupent ainsi 35% du bassin versant.

4.3.2. Le Miocène: Ce faciès occupe toute la partie sud ouest et centre du bassin (Djebel Zegueur, Djebel Mansourah et Ouled Krelouf). On le retrouve également au nord du bassin (Kef EL Mellah).

Ses terrains sont constitués essentiellement de calcaires et de grès, souvent glauconieux ou gris, à ce grès sont associés des lits plus ou moins épais de marnes gréseuses.

Ces terrains occupent approximativement 30% du bassin versant.

4.3.3. Le Maastrichtien (crétacé supérieur): Ce faciès affleure en large bande dans le sud du bassin de MEDJEZ au djebel ARGOUB, puis largement sur le flanc nord du djebel MAADID, on le retrouve aussi au nord du bassin au sud ouest de MEDJANA.

Le meastrichtien (y compris la partie calcaire du danien) comprend presque partout trois (03) subdivisions :

- La partie inférieure est constituée par une série de calcaire et de grès.
- La partie moyenne est particulièrement marneuse avec intercalations de calcairesgrès compacts.

- La partie supérieure présente en grande partie le même faciès que la partie inférieure, vers le sommet, on rencontre fréquemment des calcaires ocreux faunes à niveau glauconieux pétris de fragments d'huîtres.

Ces terrains occupent approximativement 25% du bassin versant. Toujours au sud du bassin et particulièrement dans les monts du HODNA, on rencontre des calcaires durs de l'albien contenant une riche faune à ammonites ; ainsi que des marnes du campanien grisâtres ou blanchâtres avec de nombreuses intercalations de marne calcaires et de calcaires marneux.

On doit noter que toute la partie sud du bassin de MEDJEZ (50% de la superficie) est affectée par la fracturation ou fissuration.

La partie nord du bassin est constituée principalement de roches calcaires, de grès et d'alluvions du quaternaire.

On peut considérer le bassin de k'sob comme un bassin perméable (A.N.R.H).

CONCLUSION

L'analyse de ces différents paramètres physiques et géomorphologiques (lithologiques). permettra une meilleure compréhension des causes des variations des régimes hydrologiques de chaque bassin versant étudié et par conséquent leur contribution dans la genèse des crues. Leur interaction détermine la variabilité des phénomènes hydrologiques dans le temps et dans l'espace. A cet effet, l'analyse des données physiques et hydro pluviométriques par différents outils statistiques s'est avérée nécessaire. L'analyse de l'influence des caractéristiques physiques sur la répartition et l'évolution spatio-temporelle des écoulements superficiels permettra de mieux comprendre le comportement hydrodynamique au sein de bassin versant étudié. Ces outils représentent une évaluation préliminaire pour l'étude de tout système hydrologique avant d'établir un modèle de son mode fonctionnement.

CHAPITRE III:
Les systèmes d'information
géographique (SIG)

Introduction :

Les systèmes d'information géographique (SIG) regroupent différentes méthodes et techniques informatiques, permettant de modéliser, de saisir sous forme numérique, de stocker, de gérer, de consulter, d'analyser, de représenter des objets ou des collections d'objets géographiques, la dénomination « SIG » recouvre une grande variété de réalisations logicielles construites suivant des choix techniques différents, aux fonctionnalités et aux performances très diverses.

Les systèmes d'information géographique ont la particularité de faire appel à de nombreux domaines scientifiques et techniques et à de nombreuses méthodes, comme systèmes de gestion de bases de données, le traitement d'images, l'algorithmique géométrique, la modélisation et l'interpolation géométrique, la statistique, la cartographie automatique, l'analyse spatiale, la gestion des eaux, etc...

1. Les SIG : objectifs généraux :

1.1. Saisie et stockage numérique de plans et de cartes : le premier et principal objectif des SIG reste le stockage numérique de données géographiques, bi- ou tridimensionnelles. Mais il y a beaucoup de différences entre un système qui va conserver des objets, avec une description aussi bien graphique que descriptive, et un système qui va seulement conserver un dessin sans contenu sémantique.

1.2. Structuration de l'information : Comme tout système de gestion de bases de données, un SIG qui gère une base de données demande une modélisation du monde réel et une structuration de l'information. Cette structuration est souvent plus complexe, car elle touche des objets qui peuvent avoir de multiples représentations, aussi bien graphiques que descriptives, essentiellement en fonction de l'utilisation qui en sera faite.

1.3. Calculs métriques (distances, surfaces), calculs techniques (visibilité, volumes, recherche opérationnelle), positionnement et projections géographiques : Les SIG permettent de calculer facilement surfaces, distances et volumes à partir des données de localisation des objets. Les calculs et les changements de projections géographiques sont facilement accessibles. La recherche opérationnelle (essentiellement calculs de chemins dans des graphes) trouvent dans les SIG toutes les données dont elle a besoin.

1.4. Gestion administrative et partage de données entre utilisateurs : Lorsque les données sont partagées entre plusieurs utilisateurs, comme c'est souvent le cas pour les applications administratives de type cadastre, le SIG a pour objectif de gérer ce partage et d'optimiser l'accès des données entre utilisateurs.

1.5. Gestion et analyse spatiale : Les SIG ont vocation à gérer tout type d'objet géographique, du point au pixel, en passant par les zones, les réseaux, etc. L'objectif à atteindre est la constitution d'une base de données géo-référencées, permettant la mise en relation des différents objets de la base, quels que soient les types de ces objets. Cette mise en relation doit

1.6. Il existe de nombreux autres objectifs, notamment :

- Gestion spatio-temporelle
- Statistique et géostatistique
- Simulation et modélisation
- Télédétection, géo-référencement et traitement d'image
- Dessin et édition cartographique, cartographie automatique, 3D
- Internet et accessibilité distante

2. DEFINITIONS:

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace.

Un système d'information géographique est aussi un système de gestion de base de données pour la saisie, le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées.

C'est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision Un système d'information géographique peut être aussi défini par les questions auxquelles il apporte des réponses: Où ? Quoi ? Comment ? Quand ? Et si?

- **Où ?** Où cet objet, ce phénomène se trouve-t-il ? Plus généralement, où se trouvent tous les objets d'un même type ? Cette interrogation permet de mettre en évidence la répartition spatiale d'un objet. **Ex :** Où se trouve l'échangeur ?
- **Quoi ?** Que trouve-t-on à cet endroit ? Il s'agit de mettre en évidence tous les objets ou phénomènes présents sur un territoire donné.
- **Comment ?** Quelles relations existent ou non entre les objets et les phénomènes ? C'est la problématique de l'analyse spatiale. **Ex :** Comment est organisée la circulation ?
- **Quand ?** A quel moment des changements sont intervenus ? Quels sont l'âge et l'évolution de tel objet ou phénomène ? C'est la problématique de l'analyse temporelle. **Ex :** Depuis quand cette bretelle est-elle en service ?
- **Et si ?** Que se passerait-il si tel scénario d'évolution se produisait ? Quelles conséquences affecteraient les objets ou phénomènes concernés du fait de leur localisation ? **Ex :** Si l'autoroute s'élargi, quelles sont les populations qui risquent d'être le plus touchées (population à moins de 300 mètres de l'autoroute) ?

3. Les composants d'un SIG :

Un Système d'Information Géographique est constitué de 5 composants majeurs :

3.1. Matériel :

Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

3.2. Logiciels :

Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations.

3.2.1. Principaux composants logiciel d'un SIG :

Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.

Système de gestion de base de données.

Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.

Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

3.3. Données :

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.

3.4. Utilisateurs :

Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence.

Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.

3.5. Méthodes :

La mise en œuvre et l'exploitation d'un SIG ne peut s'envisager sans le respect de certaines règles et procédures propres à chaque organisation.



Figure 31: Composantes d'un SIG

4. Les principales fonctions :

4.1. Saisie :

Avant d'utiliser des données papier dans un Système d'Information Géographique (SIG), il est nécessaire de les convertir dans un format informatique. Cette étape essentielle depuis le papier vers l'ordinateur s'appelle digitalisation.

Les SIG modernes sont capables d'automatiser complètement ces tâches pour des projets importants en utilisant la technologie des scanners.

D'autres projets moins importants peuvent se contenter d'une phase de digitalisation manuelle (table à digitaliser). Aujourd'hui de nombreuses données géographiques sont disponibles dans des formats standards lisibles par les SIG. Ces données sont disponibles auprès de producteurs de données et peuvent être directement intégrées à un SIG.

4.2. Manipulations :

Les sources d'informations (comme celles décrites précédemment) peuvent être d'origines très diverses. Il est donc nécessaire de les harmoniser afin de pouvoir les exploiter conjointement (c'est le cas des échelles, du niveau de détail, des conventions de représentation...) Les SIG intègrent de nombreux outils permettant de manipuler toutes les données pour les rendre cohérentes et ne garder que celles qui sont essentielles au projet.

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Ces manipulations peuvent, suivant les cas n'être que temporaires afin de se coordonner au moment de l'affichage ou bien être permanentes pour assurer alors une cohérence définitive des différentes sources de données.

4.3. Gestion :

Si pour les petits projets il est envisageable de stocker les informations géographiques comme de simples fichiers, il en est tout autrement quand le volume de données grandit et que le nombre d'utilisateurs de ces mêmes informations devient important.

Dans ce cas il est essentiel d'utiliser un SGBD (Système de Gestion de Bases de Données) pour faciliter le stockage, l'organisation et la gestion des données. Un SGBD n'est autre qu'un outil de gestion de la base de données.

Il existe de nombreux types de SGBD, mais en Système d'Information Géographique, le plus utilisé est le SGBDR (Système de Gestion de Bases de Données Relationnel). Les données y sont représentées sous la forme de tables utilisant certains champs comme lien. Cette approche qui peut paraître simpliste offre une souplesse et une flexibilité sans équivalent permettant aux SIG de s'adapter à tous les cas de figure.

4.4. Interrogation et analyses :

Disposant d'un SIG et de données, vous allez pouvoir commencer par poser des questions simples telles que :

- A qui appartient cette parcelle ?
- Lequel de ces deux points est le plus loin ?
- Où sont les terrains utilisables pour une industrie ?

Et des questions intégrant une analyse, comme par exemple:

- Quels sont les terrains disponibles pour construire de nouvelles maisons ?
- Quels sont les sols adaptés à la plantation de chênes ?
- Si je construis une autoroute ici, quel en sera le trafic ?

Les SIG procurent à la fois des outils simples d'interrogation et de puissantes solutions d'analyses accessibles à tous les publics. Ils disposent de nombreux et puissants outils d'analyse, dont deux d'entre eux apparaissent comme particulièrement essentiels :

- L'analyse de proximité : Combien existe-t-il de maisons dans une zone de 100 mètres de part et d'autre de cette autoroute ?
- Quel est le nombre total de client dans un rayon de 10 km autour de ce magasin ?

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Pour répondre à ces questions, les SIG disposent d'algorithmes de calcul appelés " buffering " afin de déterminer les relations de proximité entre les objets.

4.5. Analyse spatiale :

L'intégration de données au travers des différentes couches d'information permet d'effectuer une analyse spatiale rigoureuse. Cette analyse par croisement d'informations, si elle peut s'effectuer visuellement (à l'identique de calques superposés les uns aux autres) nécessite souvent le croisement avec des informations alphanumériques.

Croiser la nature d'un sol, sa déclivité, la végétation présente avec les propriétaires et les taxes payées est un exemple d'analyse sophistiquée que permet l'usage d'un SIG.

4.6. Visualisation :

Pour de nombreuses opérations géographiques, la finalité consiste à bien visualiser des cartes et des graphes. Une carte vaut mieux qu'un long discours. La carte est en effet un formidable outil de synthèse et de présentation de l'information.

Les SIG offrent à la cartographie moderne de nouveaux modes d'expression permettant d'accroître de façon significative son rôle pédagogique. Les cartes créées avec un SIG peuvent désormais facilement intégrer des rapports, des vues 3D ; des images photographiques et toutes sortes d'éléments multimédia. *Un SIG répond à 5 fonctionnalités (**les 5 A**) :

- Abstraction: modélisation de l'information.
- Acquisition: récupérer l'information existante, alimenter le système en données.
- Archivage: stocker les données de façon à les retrouver et les interroger facilement.
- Analyse: réponses aux requêtes, cœur même du SIG.
- Affichage: restitution graphique.

En d'autres termes, un SIG est un environnement informatisé d'analyse d'une information spatiale numérisée.

5. Comment fonctionne un SIG :

Un SIG stocke les informations concernant le monde sous la forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie.

Ce concept, à la fois simple et puissant a prouvé son efficacité pour résoudre de nombreux problèmes concrets.

5.1. Références géographiques :

L'information géographique contient soit une référence géographique explicite (latitude & longitude ou grille de coordonnées nationales) ou une référence géographique implicite (adresse, code postal, nom de route...).

Le géocodage, processus automatique, est utilisé pour transformer les références implicites en références explicites et permettre ainsi de localiser les objets et les événements sur la terre afin de les analyser.

5.2. Modèles de données vecteurs et raster :

Les Systèmes d'Information Géographique exploitent deux différents types de modèles géographiques :

5.2.1. Le modèle vecteur :

Dans le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées x, y.

Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves...) sont eux représentés par une succession de coordonnées x,y. Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée.

Le modèle vectoriel est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes.

5.2.2. Le modèle raster :

Le modèle raster, quant à lui, est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres.

Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol...

Chacun de ces deux modèles de données dispose de ses avantages. Un SIG moderne se doit d'exploiter simultanément les données raster et vectoriel de représentation.

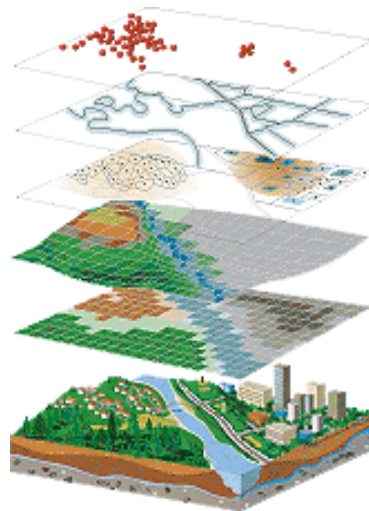


Figure 4: Représenter le monde réel

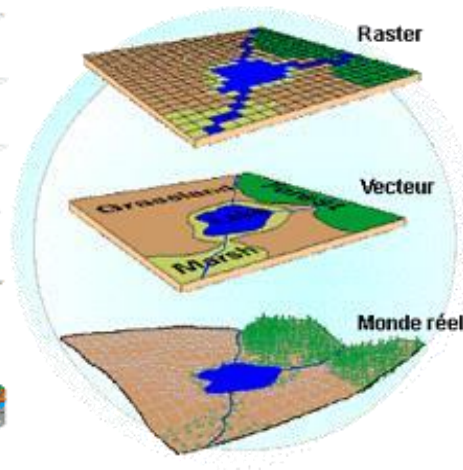


Figure 5: Deux différents types de modèles géographiques

6. Structure d'un SIG :

Couche d'applications : l'acquisition des données géographiques d'origines diverses, la gestion pour le stockage et la recherche des données, l'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation et enfin la présentation des résultats sous forme cartographique.

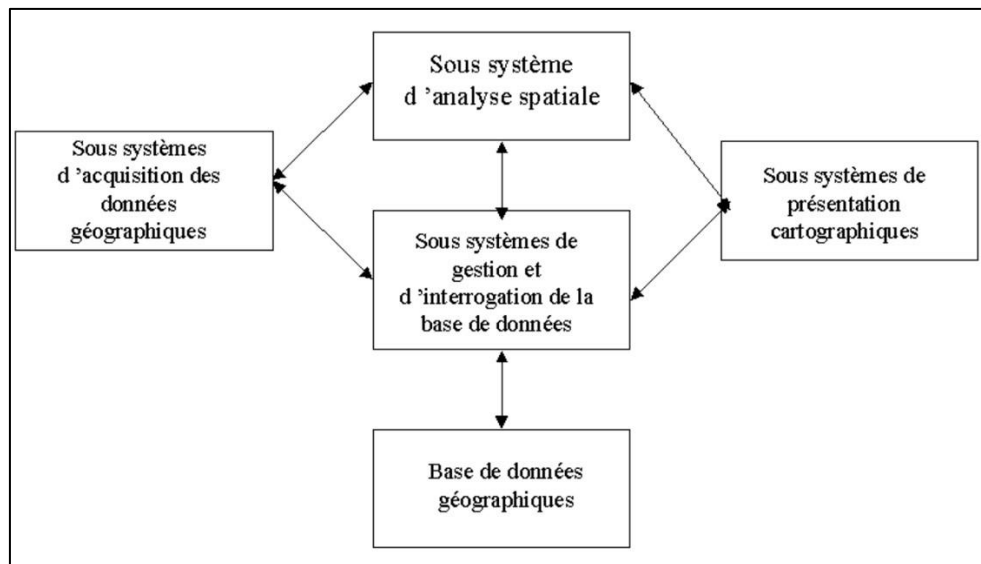


Figure 6: Structure d'un SIG

7. Types de données dans un SIG :

Généralement pour qu'un objet spatial soit bien décrit et prêt à être utilisé par un SIG, trois informations doivent être fournies:

- sa position géographique dans l'espace
- sa relation spatiale avec les autres objets spatiaux : topologie

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

- son attribut, c'est à dire ce qu'est l'objet avec un caractère d'identification (code)

Les systèmes d'information géographique permettent de traiter les données spatiales et associées.

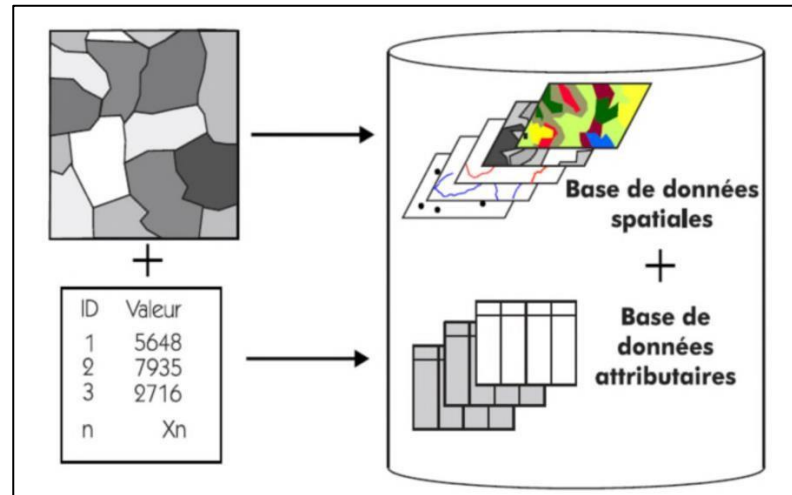


Figure 17: Types de données dans un SIG

7.1. Données spatiales :

Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques:

- La localisation : coordonnées par rapport à une échelle graphique de référence.
- La forme: point, ligne, surface.
- La taille: longueur, périmètre, surface.

Les informations font référence à des objets de trois types (figure 1.13): - Point: est désigné par ses coordonnées et à la dimension spatiale la plus petite.

- Ligne: a une dimension spatiale constituée d'une succession de points proches les uns des autres.
- Polygone (zone ou surface): est un élément de surface défini par une ligne fermée ou la ligne qui le délimite.

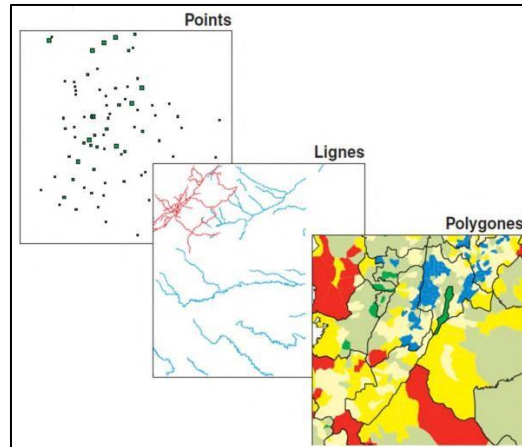


Figure 8: Données spatiales

7.2. Données associées :

Les données associées des entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone. Parmi ces données il faut distinguer :

7.2.1. Données de classification : Ces données permettent de ranger le point isolé, la ligne ouverte ou la ligne fermée, dans une catégorie: limite administrative, contour de parcelle, bordure de trottoir, arbre d'alignement, conduite de réseau d'eau... Souvent ces distinctions seront prises en compte par l'organisation même du travail de saisie. Tout se passe, comme si l'on distinguait plusieurs couches d'informations, que l'on saisit successivement.

7.2.2. Données d'identification: Ces données permettent d'individualiser chaque objet figurant sur le plan: nom propre de l'objet, par exemple nom de la commune ou numéro permettant de l'identifier: numéro de parcelle, numéro de vanne...

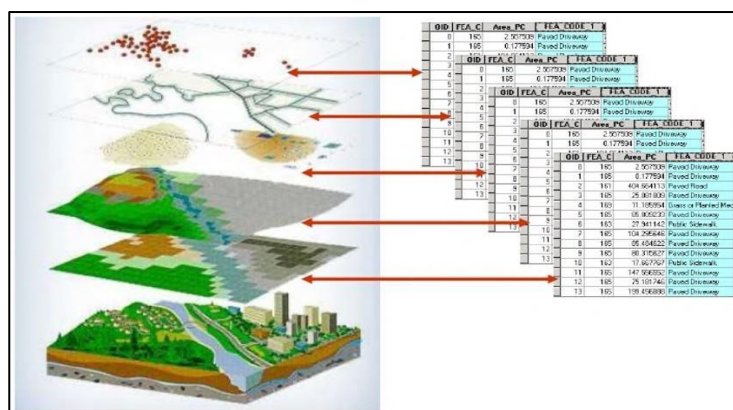


Figure 19 : Notion de couches de données

7.2.3. Données attributaires : Ces données viennent apporter une information supplémentaire, propre à chaque objet identifié: le propriétaire de la parcelle, le diamètre de la conduite d'eau...

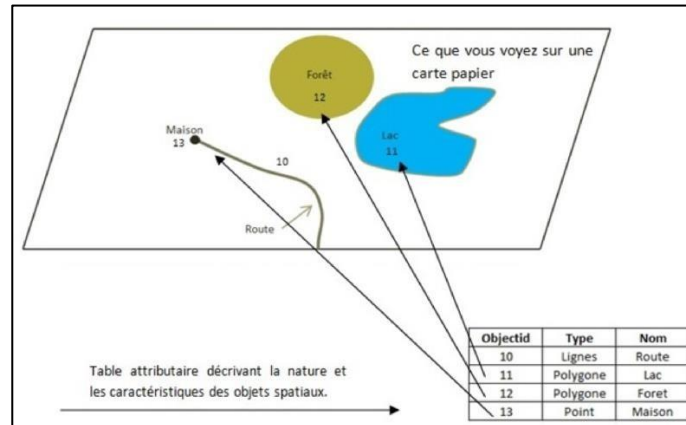
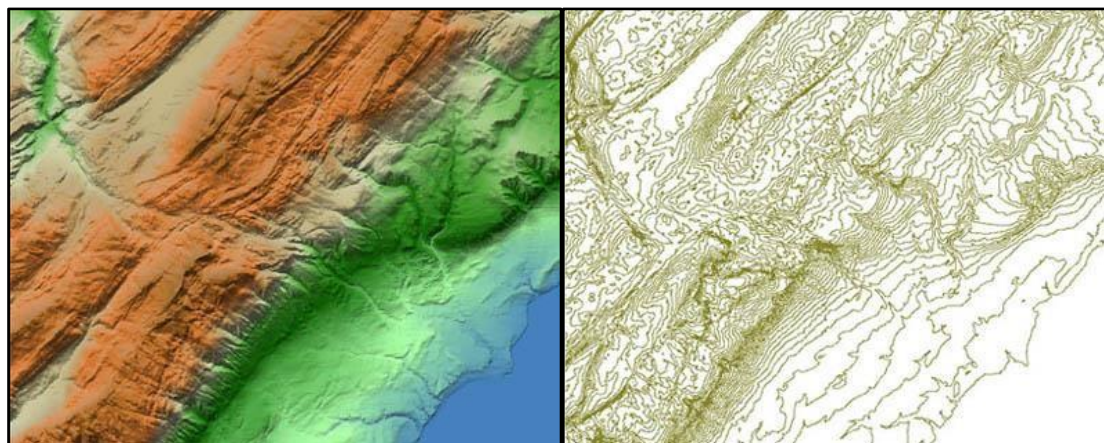


Figure 20: Données associées

http://www.corse.fr/infogeo/Qu-est-ce-que-le-SIG_a24.html

8. Les modèles numériques :

Le relief se modélise par l'altitude (élévation, hauteur d'un point) audessus du niveau de la mer. La cartographie le représente par les courbes de niveau.



Extrait du modèle numérique d'altitude sur la région de Nyon (source Swisstopo MNA2, maille de 25 mètres). Les couleurs représentent des intervalles d'altitude du moins élevé en bleu au plus élevé en brun.	Les courbes de niveau à 30 mètres sur la même région.
--	--

Figure 21 : modèles numériques

8.1. Les modèles numériques d'altitudes (MNA) :

Depuis les années 1990, la puissance des micros ordinateurs a permis le large développement des Modèles Numériques de Terrain .Sous ce vocable on confond souvent l'ensemble de programme permettant de traiter la topographie d'une zone (leMNT.au sens strict)

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

et les altitudes aux nœuds d'un maillage régulier couvrant la zone d'étude (le Modèle Numérique d'Altitude). A partir d'un MNA., le MNT permet de calculer automatiquement tous les paramètres classiques tels que la pente, l'orientation des versants, etc...il peut également déduire de la topographie et à partir d'un point exutoire donné, retrouver les contours d'un bassin versant, le réseau hydrographique, etc.

Depuis l'avènement du numérique, le relief est modélisé le plus souvent par une grille à maille régulière d'altitudes mesurées ou estimées. Un modèle numérique d'altitude (MNA) est un modèle du relief. D'autres termes sont souvent employés : MNT (modèle numérique de terrain), ou DEM (Digital elevation model) en anglais, ou encore DTM (Digital Terrain Model). Un MNA est un tableau numérique exprimant les altitudes estimées ou mesurées aux nœuds d'une grille régulière virtuelle appliquée sur la carte topographique du territoire.

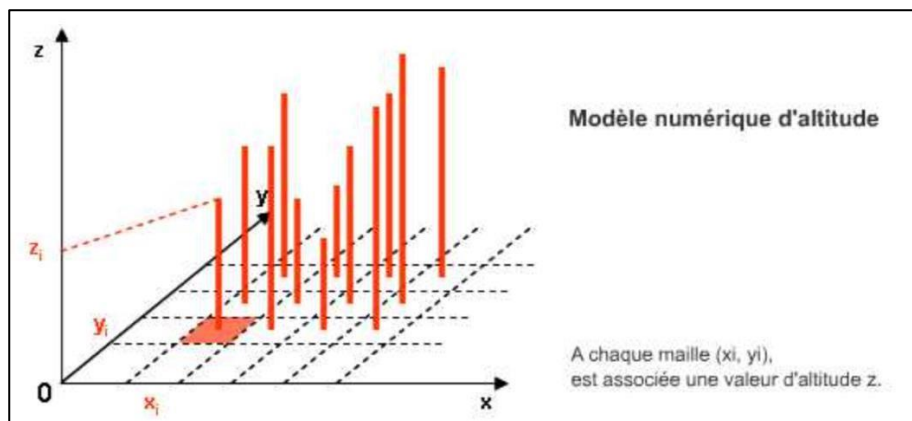


Figure 22: modèles numériques d'altitudes

Un MNA se caractérise par son mode d'acquisition, sa résolution et sa précision. Par exemple, on peut trouver les MNA suivants :

- MNA à faible résolution : "Digital Chart of the World" - Résolution 30'' d'arc (environ 800m) - Mode d'acquisition et précision inconnus, couverture totale de la Terre - Disponibilité : Web, gratuit
- MNA à résolution moyenne : RIMINI - couverture de la Suisse - Résolution 250m, acquisition par carte topographique au 1:25'000 - Précision : équivalente à celle de la carte topographique
- SRTM (Département de la défense US) : Résolution d'acquisition : 30 m - Précision de l'ordre de 2 m - Mode d'acquisition : radar sur navette spatiale US - Pas encore disponible

- MNA25 de l'Office fédéral de topographie - Mode d'acquisition et propriétés décrites dans le paragraphe suivant
- MNA à très haute résolution : Résolution : 1 m - Acquisition par balayage laser (laser scanning), par radar aéroporté ou par photogrammétrie

8,2, Les modèles par triangulation (TIN) :

Le relief est aussi parfois modélisé par un échantillonnage irrégulier semi-dirigé intégrant les lignes de structure. La représentation prend la forme de TIN (Triangular Irregular Network)

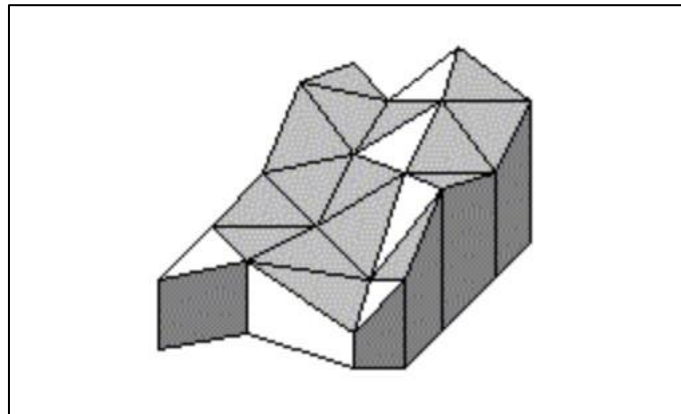


Figure 23: modèle par triangulation (TIN)

9. Le bassin versant :

9.1. Notion de "Bassin Versant" :

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval.

Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions.

9.1.1. Bassin versant topographique :

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente comme le montre la figure ci-jointe.

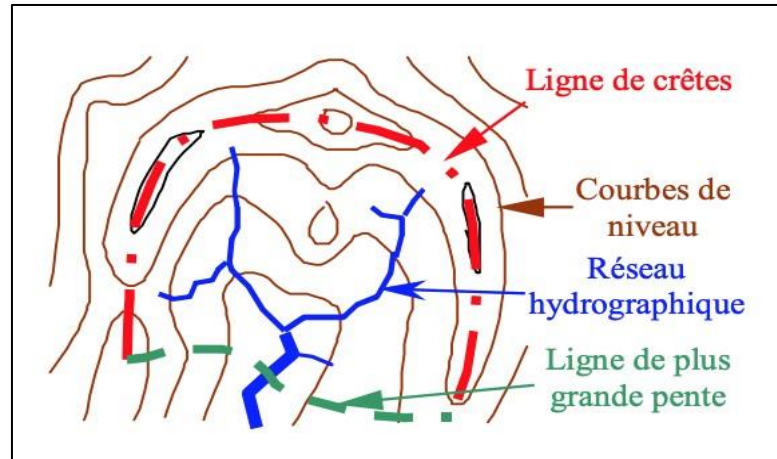


Figure 24: Bassin versant topographique

9.1.2. Bassin versant hydrogéologique :

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infiltre puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin).

Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant.

Cette distinction entre bassin topographique et hydrogéologique se justifie surtout pour les petits bassins. En effet, lorsque la taille du bassin augmente, les apports et les pertes souterraines ont plus de chance de se compenser.

De plus, on peut admettre que le débit des cours d'eau est proportionnel à la surface du bassin, les échanges souterrains se font, eux, aux frontières et varient donc sensiblement comme le périmètre. Lorsque la taille du bassin augmente, la surface croît plus vite que le périmètre et la valeur relative des échanges souterrains par rapport au débit de surface tend à devenir négligeable.

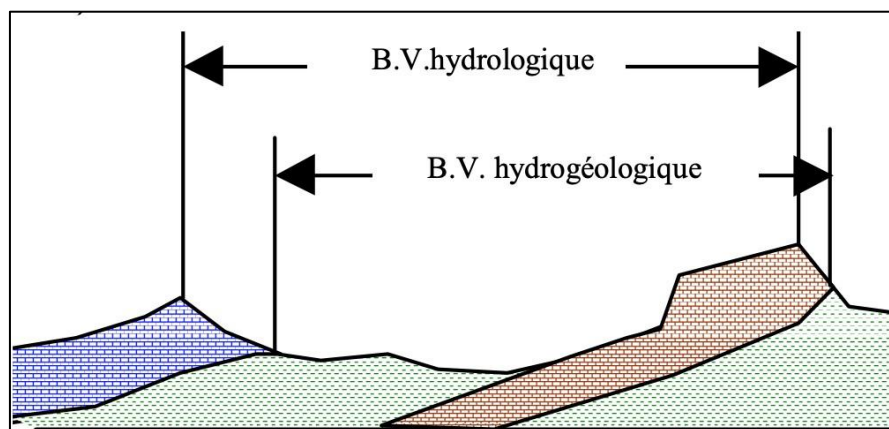


Figure 25 : Bassin versant hydrogéologique

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Introduction

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Les eaux souterraines sont une ressource essentielle pour répondre aux besoins croissants en eau des zones urbaines et rurales. La demande en eau douce est en augmentation en raison de facteurs tels que la croissance démographique, l'agriculture irriguée et le changement climatique. Cependant, le changement climatique, la sécheresse, la pollution des eaux de surface et le potentiel limité des eaux de surface nécessitent la recherche de ressources alternatives en eau. Les eaux souterraines sont une ressource précieuse car elles sont moins polluées que les eaux de surface. Elles jouent également un rôle crucial en cas de pénuries d'eau de surface, notamment dans les régions semi-arides comme le bassin du Oued EL KESSAB et la plupart des bassins en Algérie. Cependant, une exploitation non planifiée des eaux souterraines peut perturber l'équilibre naturel des aquifères, avec des conséquences néfastes pour l'environnement, l'écologie et l'économie de la région. Il est donc essentiel de déterminer les zones de captage des eaux souterraines et de gérer l'eau de manière appropriée. L'identification du potentiel des eaux souterraines, en termes de capacité de recharge, peut être réalisée à l'aide de techniques telles que le forage de puits, mais cela peut être coûteux dans de vastes zones.

Diverses méthodes ont été développées par des chercheurs pour identifier les zones potentielles d'eaux souterraines, sans nécessiter de travaux sur le terrain. Parmi ces méthodes, on trouve l'arbre de décision, l'analyse en composantes principales (ACP) et la régression logistique, qui reposent sur des techniques statistiques multivariées. En revanche, la méthode de l'Analytic Hierarchy Process (AHP), également connue sous le nom de Procédure hiérarchique d'analyse, est considérée comme simple, efficace, transparente et fiable. L'AHP peut être facilement appliquée en intégrant des données provenant de systèmes d'information géographique (SIG) et de télédétection (télédétection spatiale). Les paramètres qui influencent la recharge des eaux souterraines, tels que les précipitations, la nature de l'aquifère, l'utilisation des terres et le type de sol, peuvent être facilement représentés sous forme de données spatiales dans un environnement SIG. Ainsi, la méthode AHP est extrêmement utile pour identifier les zones potentielles d'eaux souterraines et permet une identification précise des régions présentant un potentiel en eaux souterraines.

1. La méthode AHP (Analytic hierarchy process :

Procédure hiérarchique d'analyse)

L'approche connue sous le nom d'Analytic Hierarchy Process (AHP) a été développée par Thomas L. Saaty au début des années 1980. Elle implique une série d'étapes planifiées pour évaluer et comparer les critères pondérés par rapport à d'autres études similaires. Il est possible et recommandé de déterminer les paramètres hydrologiques et hydrogéologiques qui influencent la formation des eaux souterraines et d'utiliser des techniques de prise de décision multicritères (AMC) basées sur les systèmes d'information géographique (SIG) pour générer des cartes potentielles des eaux souterraines. L'analyse multicritère basée sur le SIG (MCDA) est couramment utilisée dans le domaine des ressources en eau et a gagné en popularité ces dernières années.

De nombreuses études actuelles ont largement utilisé les techniques AHP-AMC basées sur la télédétection spatiale (RS) et les SIG pour évaluer les zones potentielles d'eaux souterraines (GWPZ), ce qui a donné des résultats efficaces. Lors de l'examen de ces études, il a été observé que les paramètres suivants étaient utilisés dans presque toutes les études : l'utilisation des terres, la lithologie (LI), les précipitations (P), la densité de drainage (DD), le modèle numérique de terrain (DEM), les précipitations (PR), la pente (P), les paramètres de masse d'eau de surface (SW), la densité de linéament (LD), la lithologie (LI) et la profondeur de la nappe phréatique (WTD). Les valeurs de l'indice de potentiel des eaux souterraines (GWPI) des bassins ont été calculées en pondérant ces critères à l'aide de la méthode AHP. Ces valeurs GWPI ont ensuite été classées pour créer des cartes GWPZ dans différentes régions du monde. Cependant, les couches thématiques utilisées pour identifier les GWPZ varient d'une étude à l'autre et d'une région à l'autre, et le choix des couches qualitatives est subjectif. Dans la plupart des études, les paramètres LU, Sol, GM, DD et SL ont été les plus utilisés. Dans notre travail, nous avons restreint notre sélection de paramètres aux suivants : la géologie (G), la densité de drainage (DD), le modèle numérique de terrain (DEM), les précipitations (RF), la pente (SL), la densité de linéament (LD) et la lithologie (LI). Ce choix a été motivé par les contraintes de temps de notre mémoire et le manque d'accès à certaines données et travaux antérieurs.

2. La zone d'étude

Le bassin versant du Hodna d'une superficie de 25 856 km² est le cinquième grand bassin de l'Algérie. Il est situé dans la patrie Nord de l'Algérie entre les longitudes 3°9'24 "et 6°26'17" et les de 34°29'22"et 36°16'37"de latitude (Fig. II.1).Il couvre une superficie de 26000 km² et il touche les 7 wilayas, à savoir : la wilaya de M'sila, Batna, BBA, Djelfa et Médéa, Bouira et Sétif. Il est limité au nord par les montages de Bibans et le plateau Sétifien, à l'Ouest par les hautes plaines algéroises, tandis qu'au sud et à l'Est, il est limité par l'Atlas saharien.

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Les limites de zone d'étude sont :

Au Nord ,par le bassin de soummam ;

Au Sud et Sud-Est, par le bassin versant de chott Melhrir ; À l'Est, par le bassin versant

□ des Hauts plateaux Constantinois ; À l'Ouest, par le bassin versant de Chleff et de

□ Zahrez a Djelfa.

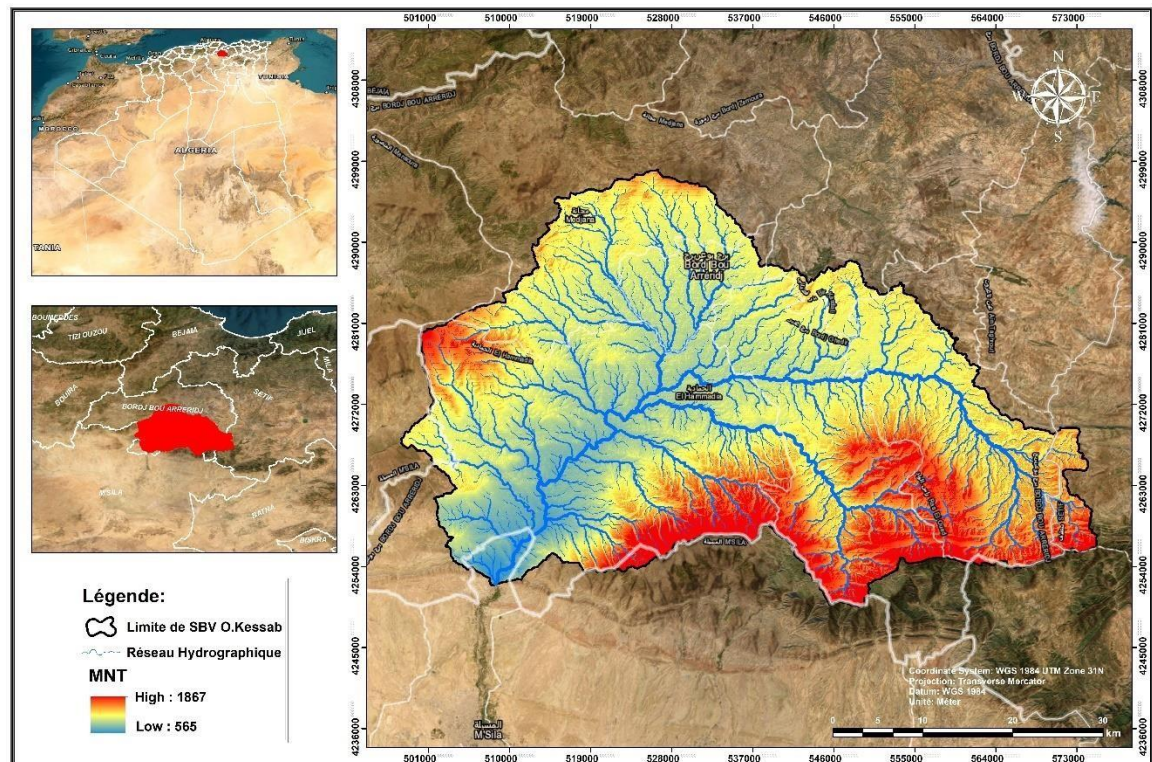


Figure26: situation géographique du bassin versant Oued EL
KOSSAB

3. Méthode

La combinaison SIG-AMC est un excellent outil d'évaluation qui utilise l'analyse multicritères dans un environnement SIG . Il simplifie la résolution des problèmes et améliore l'utilisation de critères multiples ; l'extension Spatial Analyst du programme Arc GIS est parfaitement adaptée pour implémenter ce modèle. Le processus d'analyse a été effectué avec les outils d'analyse spatiale et de superposition en tenant compte des valeurs relatives, et en gardant et interpolant les cartes thématiques finales. Pour déterminer le potentiel en eaux souterraines de la région, 6 paramètres ont été pris en compte : LI, DL, DD, P,Pr et TS. Le poids relatif de chaque paramètre a été

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

déterminé par la méthode AHP. Les matrices binaires de comparaison de ces paramètres sont indiquées dans **Tableau 2**, et les poids de chaque paramètre obtenus à la suite des valeurs normalisées de ces paramètres sont indiqués dans **Tableau 3**. Enfin, les cartes thématiques du potentiel en eaux souterraines du bassin ont été acquises avec la méthode de superposition d'analyse spatiale Arc GIS.

L'organigramme méthodologique de l'ensemble de l'étude est présenté

Pour obtenir des cartes du potentiel des eaux souterraines de la zone de elOued EL KESSAB, on a utilisé des cartes de modèle numérique de de résolution de 30 X 30 m obtenu du site earth.explorer. de NASA. Les caractéristiques hydrologiques des terres ont été extraites à l'aide de cartes de densité de drainage. La densité de drainage, comme le montre l'équation (1), a été acquise en divisant la longueur du cours d'eau par la zone de drainage. DD a été préparé avec les données DEM en utilisant le programme Arc Hydro. Une carte de direction d'écoulement a été obtenue ensuite, la carte de la densité du drainage a été extraite en divisant les cartes thématiques des rivières dérivées d'une opération d'accumulation de débit (Fac) et de définition de cours d'eau dans la zone du bassin.

$$DD = \frac{L}{A} \dots \dots \dots (1)$$

où DD est la densité de drainage, L est la longueur de drainage et A est la surface par unité

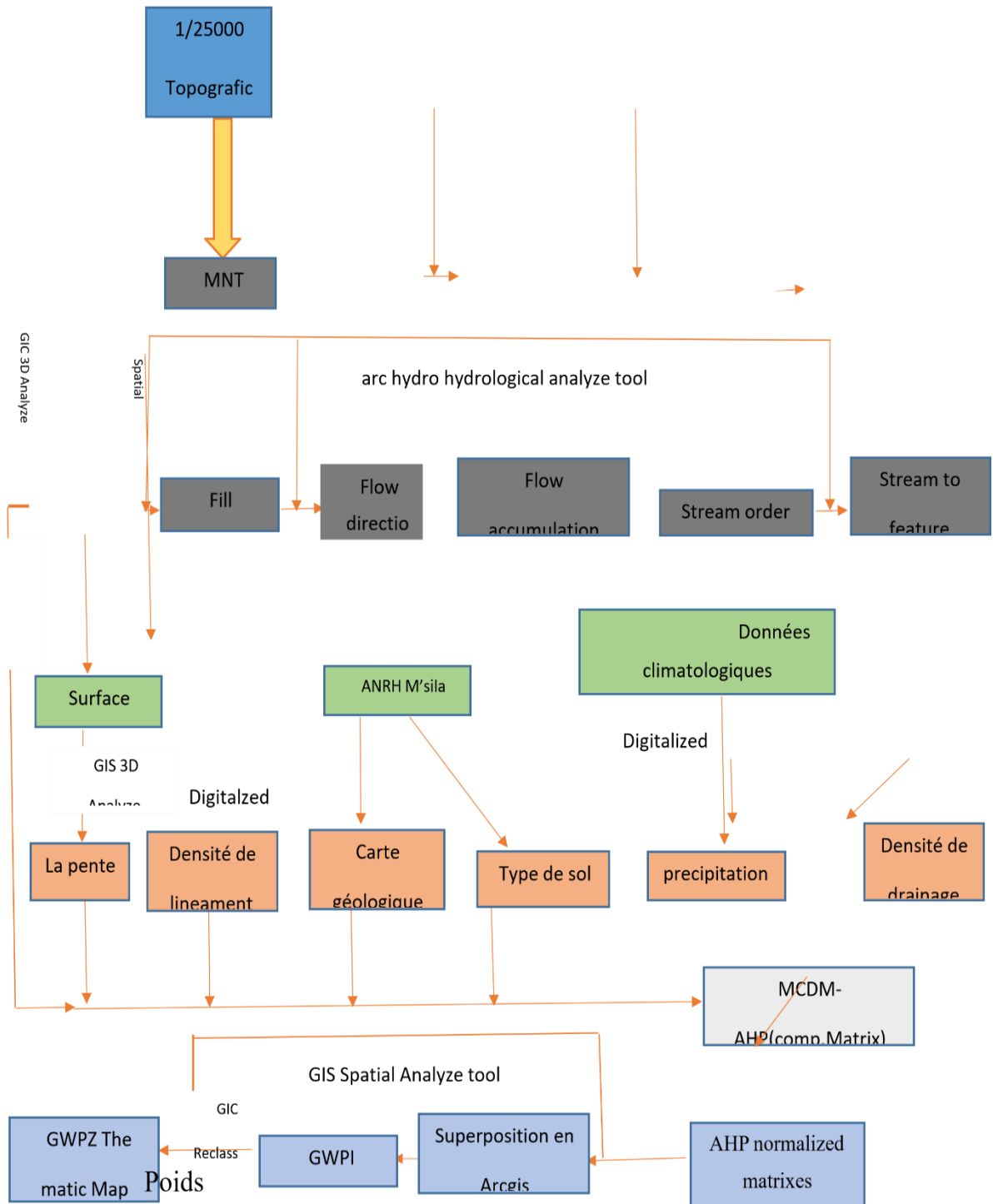


Figure27 : Organigramme de la méthodologie de l'étude.

Les cartes des pentes (S) ont été créées avec le programme spatial analyse tools d'ArcMap.

Les formations géologiques ont été converties au format raster avec la représentation associée, et l'état géologique de la région a été analysé. La densité de linéament (défaut) (LL) a été calculée selon l'équation (2)

$$LL = \sum_{i=1}^n Li \dots \dots \dots (2)$$

où LL est la densité de linéament, Li est la longueur de linéament, i est le numéro de linéament et A est l'aire.

Les chiffres moyens des précipitations annuelles des 10 ans (2000-2021), observés par la base de données climatique Eras5 de répartie sur la région de Oued EL KESSAB, ont été analysés par la méthode d'interpolation Spatial Analyst Inverse Distance Weighting IDW ; ensuite, des cartes de précipitations ont été formées.

L'étude de type de sol a été téléchargée du site de la FAO [www.http://www.fao.org](http://www.fao.org) .com.

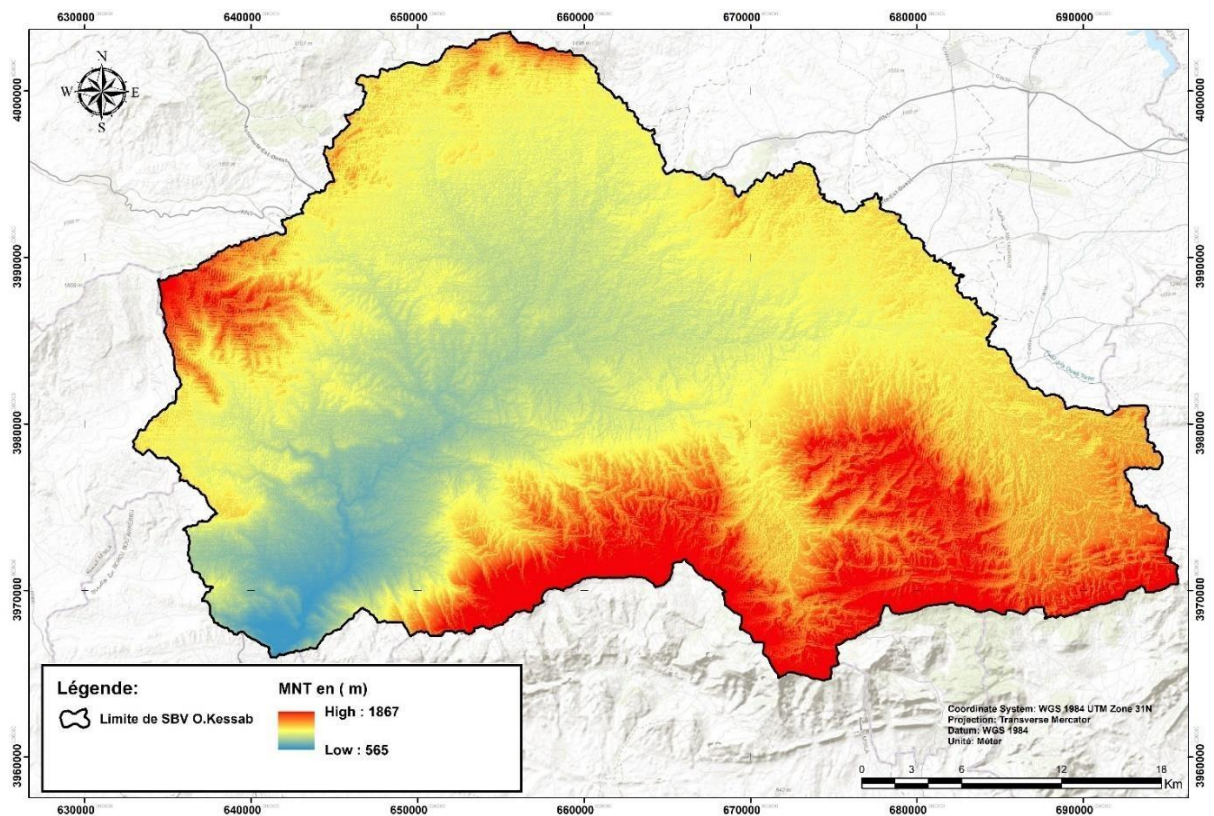


Figure.28: MNT B.V EL KESSAB

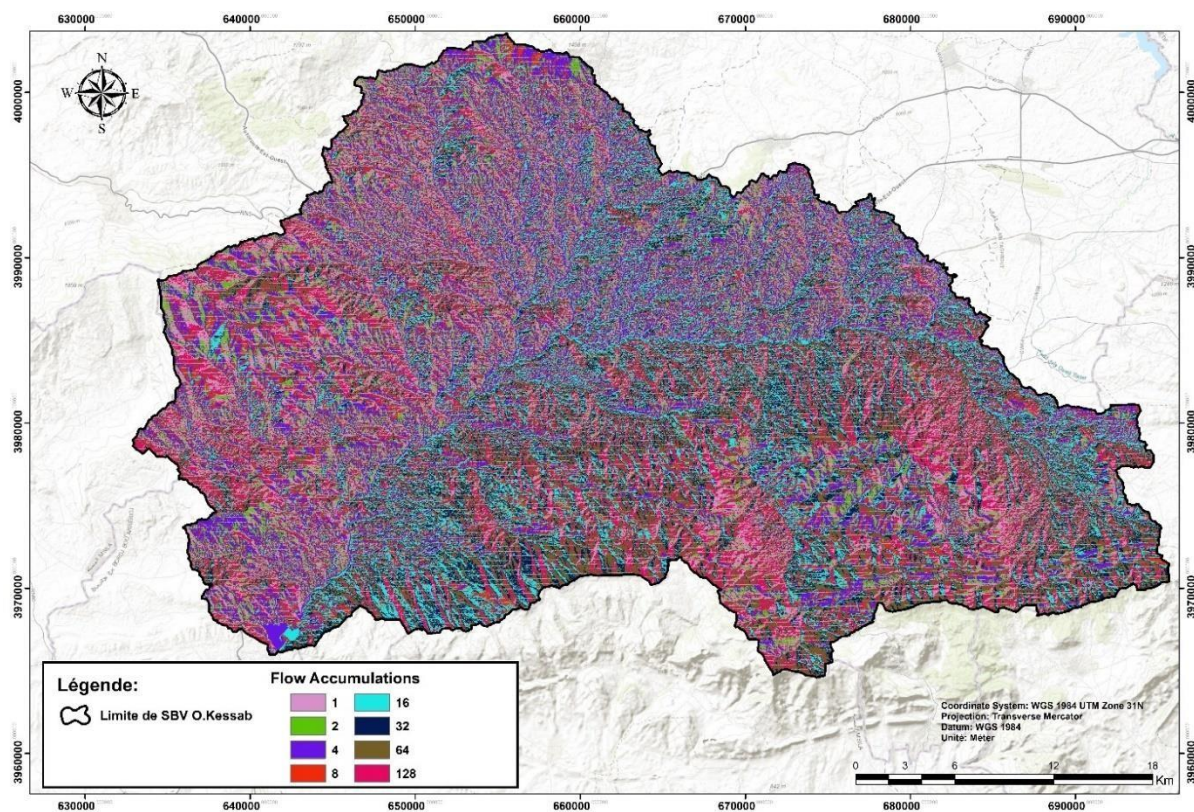


Figure 29: la carte flow direction du B.V EL KESSAB

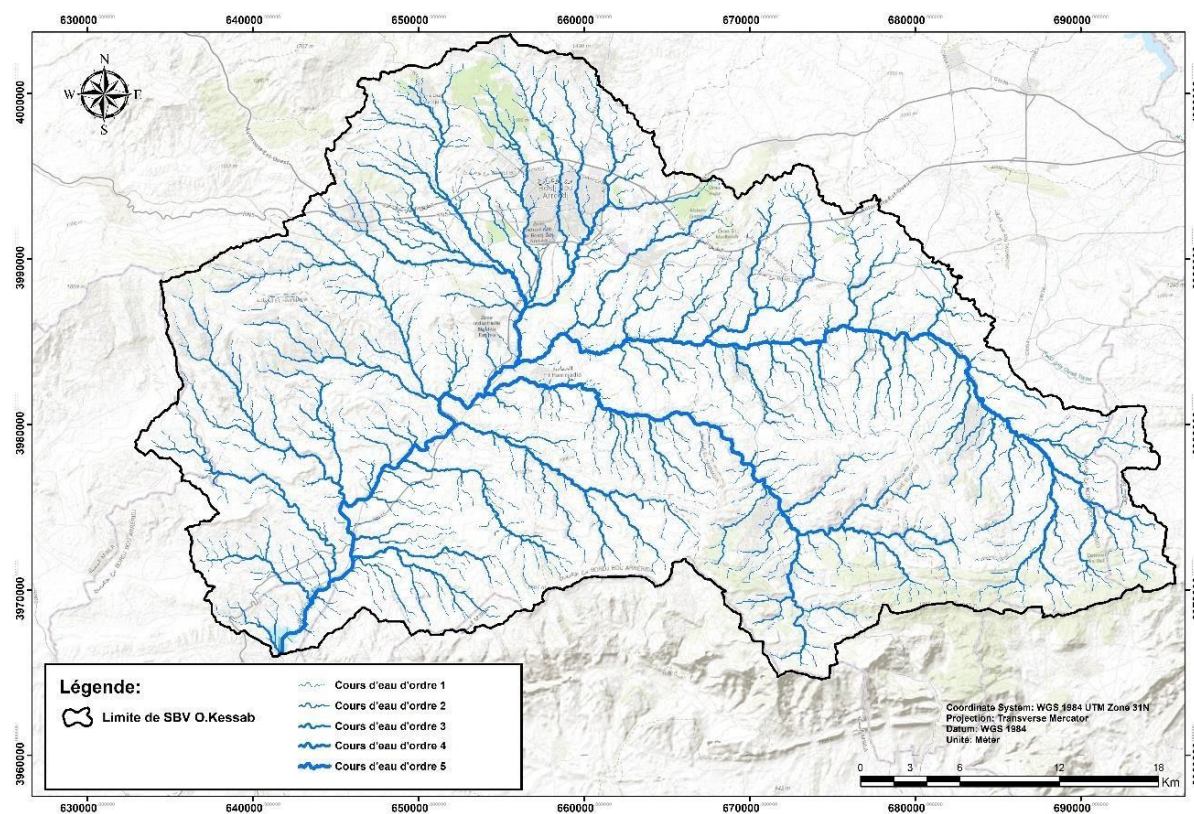


Figure30 : la carte stream ordre du B.V EL KESSAB

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Le GWPI est une grandeur sans dimension formée par la somme des poids relatifs des paramètres affectant le potentiel des eaux souterraines. Ce coefficient a été obtenu en calculant les poids des critères constituant le potentiel des eaux souterraines par la méthode

AHP et AMC basée sur le SIG comme indiqué dans Équation (3) . Cet indicateur donne des informations sur le potentiel des eaux souterraines dans différentes régions . Il est calculé selon la méthode AHP comme suit :

$$GWPI = Pr.Pw + DLr.DLw + Llr.Llw + TSr.TSw + Prr.Prw + DDr.DDw \dots \dots \dots (3)$$

où GWPI est l'indice de potentiel des eaux souterraines, (P) est la pente, (DL) est la densité de linéament, (LI) est la lithologie, (TS) est le type de sol, (Pr) est les précipitations et (DD) est la densité de drainage. De plus, les indices r et w font respectivement .

4. Calcul par la Méthode AHP basée sur le SIG

L'AHP est l'une des méthodes AMC les plus utilisées. Ici, la méthode AHP a été appliquée pour évaluer les facteurs sélectionnés. Afin de déterminer l'importance relative des facteurs de sélection et de la formation du poids, la méthodologie AHP a été appliquée et une évaluation objective du poids a été réalisée. Une importance relative a été accordée à ces critères, de sorte que les informations et l'expérience sont particulièrement importantes pour une évaluation et une analyse précises. Les critères peuvent être qualitatifs et quantitatifs. Le AMC basé sur le SIG en tant qu'approche basée sur les connaissances d'experts qui est très utile pour résoudre des problèmes complexes.

L'application de la technique SIG et de l'analyse décisionnelle multicritère fournit des solutions plus flexibles pour la prédiction des zones de potentiel des eaux souterraines.

En conséquence, une matrice de décision a été formée sur la base d'une échelle de 1 à 9 pour les paramètres affectant une décision. Les critères de l'échelle de notation étaient les suivants : (1) extrêmement sans importance, (2) très sans importance, (3) sans importance, (4) modérément sans importance, (5) tout aussi important, (6) modérément important, (7) plus important , (8) très important, (9) extrêmement important.

Dans cette étude, la pondération de différents critères a été réalisée à partir d'expériences de terrain et d'une revue de la littérature. Les étapes de base pour déterminer le poids normalisé et le rapport de consistance (CR) du système étaient les suivantes :

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

$$p = \begin{matrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$$

où p_{1n} affiche la n ième unité indicatrice et p_{nn} est l'élément de la matrice de jugement.

Étape 2. Calcul du poids normalisé :

$$w_n = \frac{GM_n}{\sum_{n=1}^n GM_n}$$

où W est le vecteur de poids (colonne) et GM_n est la moyenne géométrique de la n ième ligne du jugement.

Étape 3. Calcul CR pour vérifier la cohérence des jugements :

$$CR = \frac{CL}{RCL}$$

L'indice de cohérence (CL) est noté comme suit :

$$CL = \frac{H_{max} - N}{N - 1}$$

où est la valeur propre de la matrice de jugement et elle est calculée comme suit :

$$h = \sum_{i=1}^n \frac{(piw)_n}{N \cdot w}$$

L'indice de cohérence aléatoire (RCL) peut être obtenu à partir de tableaux standard. La valeur CR devait être d'environ 0,10 ou moins pour être acceptée.

5. Facteurs de recharge

Dans ce mémoire, les critères de pente, de densité de linéament, de géologie, de type sol, de précipitations et de densité de drainage ont été pris en considération. La matrice de comparaison par paire est représentée dans le tableau 2. Le poids relatif normalisé (P) des critères a ensuite été calculé et est présenté dans le tableau 3. RCI a été calculé comme étant de 0 Par conséquent, les critères de pondération à l'intérieur des critères étaient assez cohérents. La distribution dans le bassin et les poids relatifs de ces cartes thématiques sont présentés dans le tableau 4. Afin de

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

déterminer les zones de potentiel d'eaux souterraines de notre zone d'étude, on a réalisé les cartes thématiques qui sont présentés dans (Figure.IV.5)(Figure.IV.6)(Figure.IV.7)(Figure.IV.8)(Figure.IV.9)(Figure.IV.10). Ces cartes sont LI, DL,DD, P, Pr, et TS. En conséquence, la carte GWPZ extraite par les poids de ces paramètres est présentée à Figure.IV.12

Factors	Prc	PN	S	Lit	DL	DD
Prc	1	2	2	3	5	6
PN	1/2	1	2	3	5	6
S	1/2	1	1	3	5	6
Lit	1/3	1/3	1/3	1	4	7
DL	1/5	1/5	1/5	1/4	1	5
DD	1/6	1/6	1/6	1/7	1/5	1

Tableau 10 : La matrice de comparaison par paires du processus de hiérarchie analytique (AHP).

Factors	Prc	PN	S	Lit	DL	DD	Sum	Criteria Weights	Criteria weight (%)
Prc	0.3704	0.4762	0.3509	0.2887	0.2475	0.1935	1.9272	0.3212	32
PN	0.1852	0.2381	0.3509	0.2887	0.2475	0.1935	1.5039	0.2506	25
S	0.1852	0.1190	0.1754	0.2887	0.2475	0.1935	1.2094	0.2016	20
Lit	0.1235	0.0794	0.0585	0.0962	0.1980	0.2258	0.7813	0.1302	13
DL	0.0741	0.0476	0.0351	0.0241	0.0495	0.1613	0.3916	0.0653	7
DD	0.0617	0.0397	0.0292	0.0137	0.0099	0.0323	0.1866	0.0311	3

Tableau 11 : Matrice AHP normalisée

$L_{max} - n = 0.58$

$n - 1 = 5$

$CI = 0.12$

$CR = 0.0 < 0.1$: acceptable.

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Remarque :

Le système de coordonnées géographique utilisé dans la préparation des cartes et les différents calculs est le système :

WGS_1984_UTM_ZONE_31N.

Factors	Criteria Weights	Criteria weight (%)
Prc	0.3212	32
PN	0.2506	25
S	0.2016	20
Lit	0.1302	13
DL	0.0653	7
DD	0.0311	3

Factors	Poids	Rank	Over all
Densité de lineament			
very high	7	5	35
High		4	28
Moderate		3	21
Low		2	14
very low		1	7
La pente			
0 10	25	5	125
10 20		4	100
20 30		3	75
30 40		2	50
>50		1	25
Den de drainage			
very high	3	1	3
High		2	6
Moderate		3	9
Low		4	12

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

very low		5	15
Précipitation			
very high	32	5	160
High		4	128
Moderate		3	96
Low		2	64
very low		1	32
Lithologie			
Cretaceous	13	1	13
Jurassik		2	26
marine sediments		3	39
Sabkhas		4	52
Triassic		5	65
Type de sol			
BK (cambisols calciques)		1	20
I (lithosols)		2	40
LC (luvisols chromiques)		3	60
XH (xérosols hapiliques)		4	80
XK (xérosols calciques)		5	100
YH (yermosols hapiliques)	20	6	120
YK (yermosols calciques)		7	140
YY (yermosols gipsiques)		8	160
ZG (solonchaks gleyiques)		9	180

ZO (solonchaks orthiques)		10	200
ZT (solonchaks takyriques)		11	220

Tableau 12: Évaluation AHP résumée des sous-propriétés des paramètres.

5.1. La densité de Drainage (DD)

La densité de drainage est l'un des facteurs affectant l'indice de potentiel des eaux souterraines dans les débits fluviaux, la densité de drainage est faible aux limites du bassin lorsque la densité de drainage est faible, l'infiltration se produit à une vitesse plus élevée car le débit est lent.

Au limite du bassin , la densité de drainage varie de faible à moyenne, tandis que la forte densité de drainage se situe proche du Sebkha de chott elOued EL KESSAB.

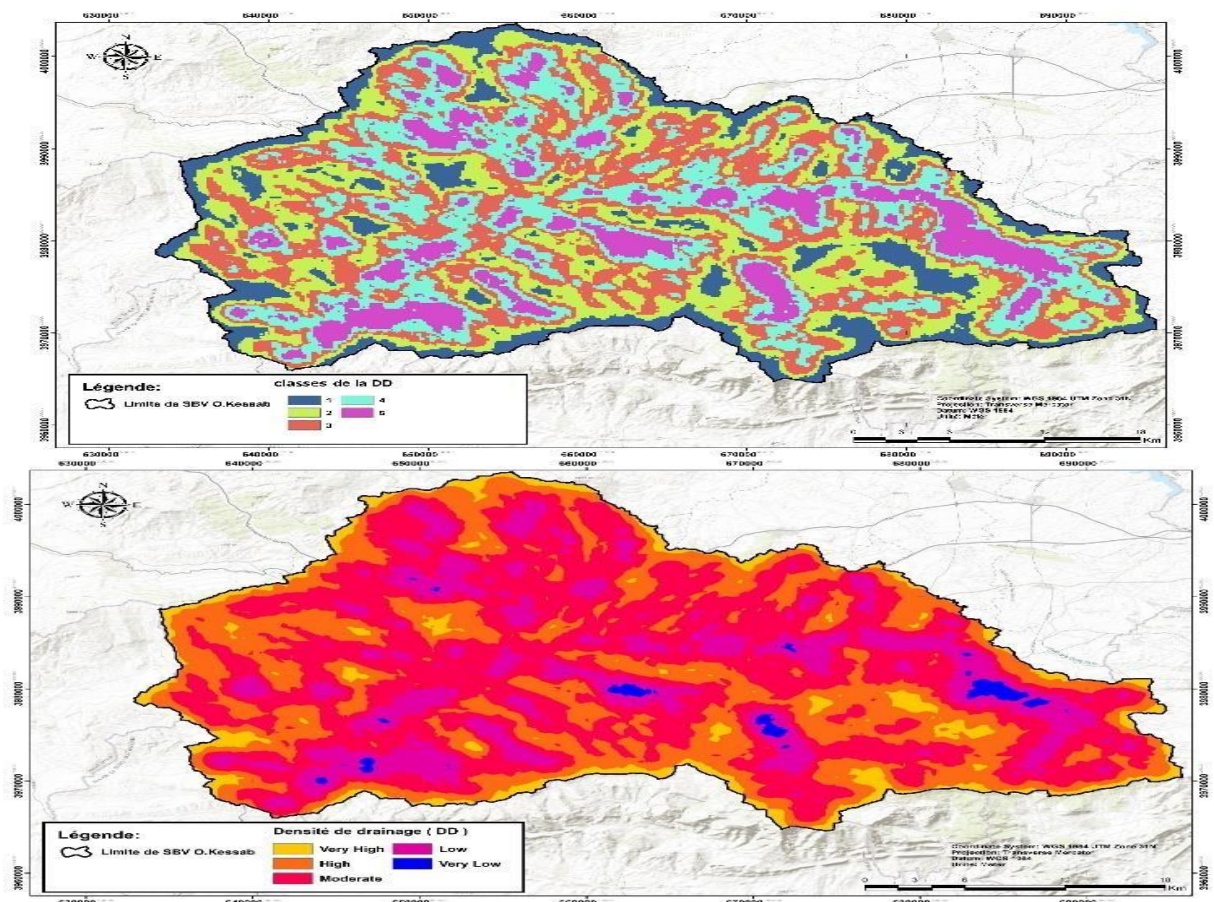


Figure31 :La carte de densité de drainage du B.V oued EL Kessab

5.2. Linéament densité (LD)

La densité de linéament est une caractéristique géologique importante qui montre la pénétration des précipitations dans le sol. L'alimentation est plus fréquente dans les zones de faille souterraine. Bien que les zones de rift créent une discontinuité entre les zones, elles permettent d'alimenter les aquifères en pluie en moins de temps. Dans les zones où la densité de linéament est élevée, l'approvisionnement en eau souterraine est plus élevé. Dans les régions où la densité est faible, l'approvisionnement en eau souterraine est moindre.

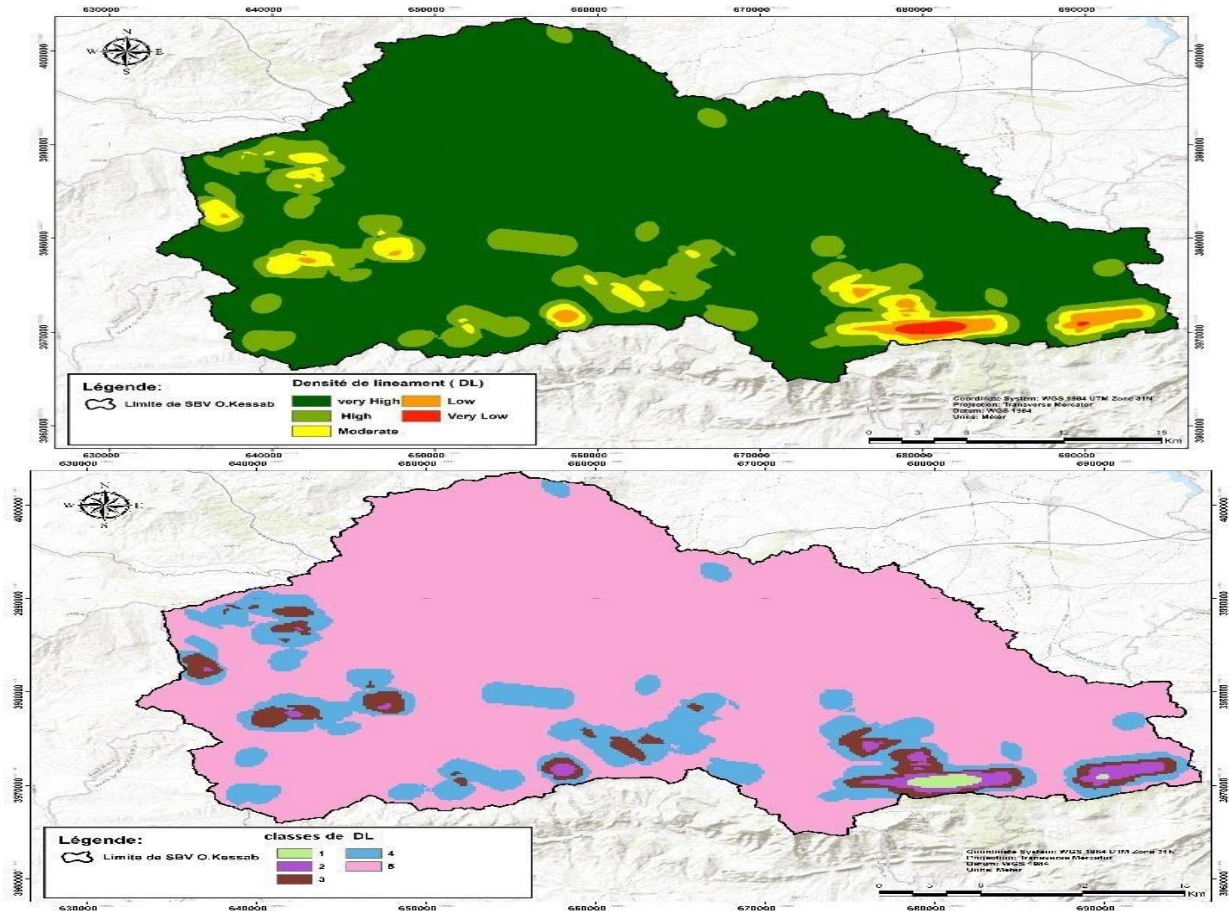


Figure32 : La carte densité de linéament du B.V oued EL Kessab

5.3. Précipitations (Pr)

La pluviométrie est l'une des facteurs les plus importantes pour les eaux souterraines. Les eaux souterraines sont constituées de précipitations jusqu'au sol. Par conséquent, les précipitations dans le sud du bassin sont faibles, atteignant 102.90mm/an à 202.02 mm/an. Au milieu du bassin, les précipitations sont moyennes, 202.02mm/an à 335mm/an. Dans le nord, les précipitations sont élevées, 335 mm/an à 411.15mm/an.

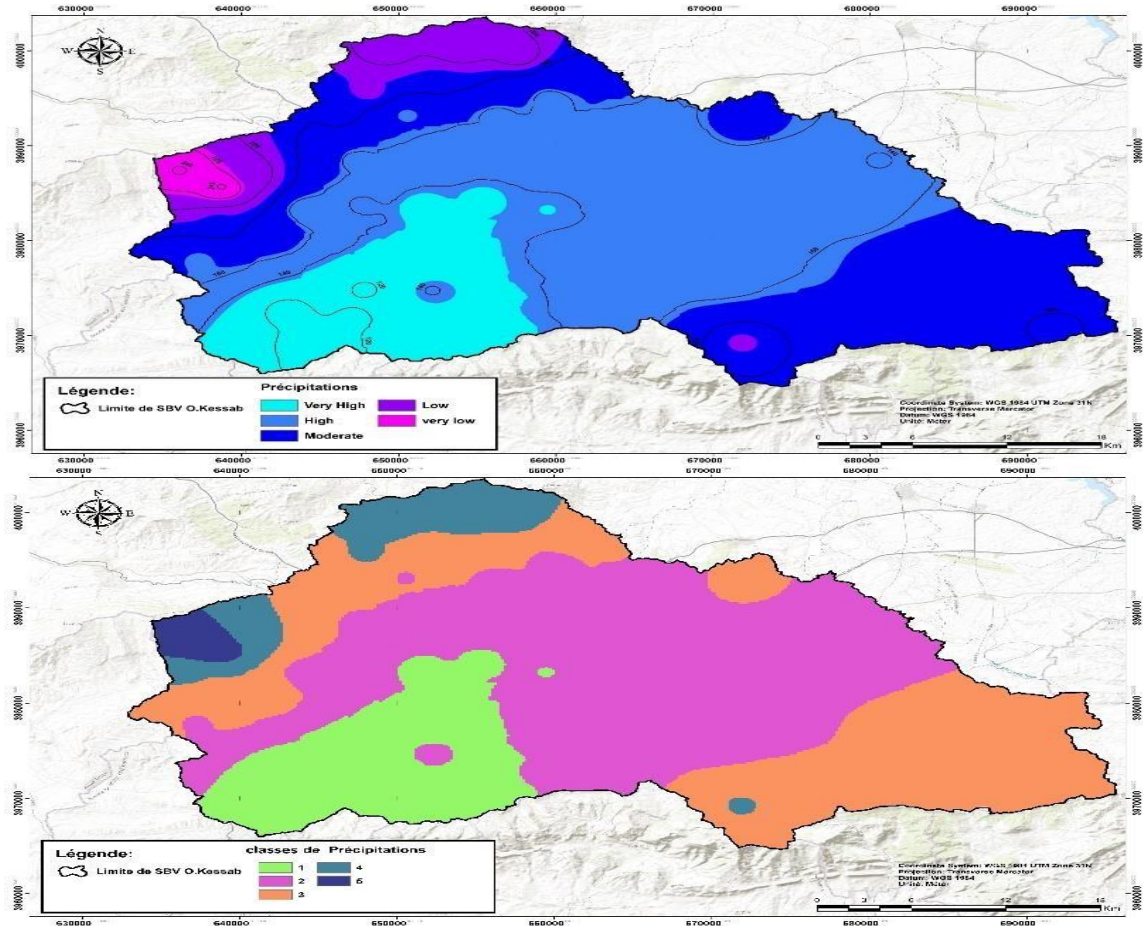


Figure33 : la carte précipitaion du B.V oued EL Kessab

5.3.1. La pente (P)

L'infiltration est un facteur hydrologique efficace pour la recharge des eaux souterraines. Dans les endroits à faible pente, l'infiltration dans le sol est plus fréquente parce que le débit de surface sera moins. À mesure que la pente augmente, le débit de surface augmente et l'infiltration du sol diminue. Comme le montre (**Figure.IV.9.**), la pente est faible au centre de la zone d'étude et élevée au nord et au sud et au l'est.

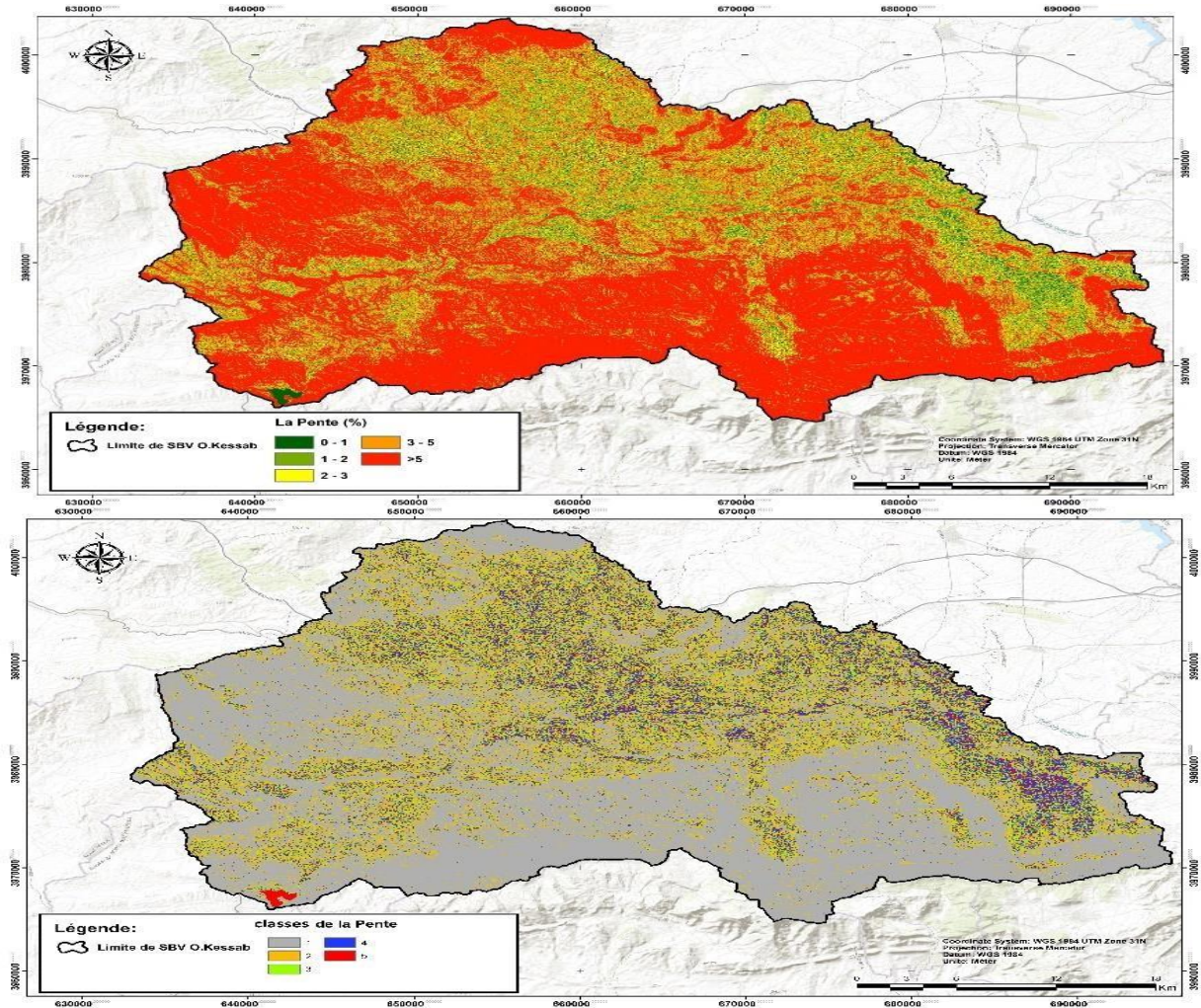


Figure33: la carte pente du B.V oued EL Kessab

5.4. Lithologie (LI)

Les caractéristiques géologiques sont l'un des facteurs les plus importants en termes d'eau souterraine Capacité. Les caractéristiques géologiques sont importantes en termes de reflet de l'état de l'aquifère, qui est montré Stockage des eaux souterraines. La carte géologique du bassin est composée de sables et de graviers dans une matrice argilo vaseuse, ce sont des formations très limitées à proximité des vallées, il y a des terrasses d'une longueur de 5 mètres au plus, constituées de sable et de conglomérats à ciment de chaux.

Le Crétacé est une période géologique qui s'est déroulée il y a environ 145 à 66 millions d'années. C'est la dernière période de l'ère mésozoïque et elle succède au Jurassique.

Du point de vue géologique, la couche crétacée est composée principalement de roches sédimentaires :

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

Calcaires : Les calcaires sont des roches sédimentaires composées principalement de carbonate de calcium.

Argiles : Les argiles sont des roches sédimentaires fines, composées de particules d'argile.

Grès : Les grès sont des roches sédimentaires constituées de grains de sable consolidés.

Craies : Les craies sont des roches sédimentaires blanches à grain fin, composées principalement de calcite.

La couche jurassique est caractérisée par une diversité de roches sédimentaires. Voici quelques exemples des types de roches que l'on peut trouver dans la couche jurassique :

Calcaires : Les calcaires sont des roches composées principalement de carbonate de calcium.

Argiles : Les argiles sont des roches sédimentaires fines, principalement composées de particules d'argile.

Marnes : Les marnes sont des roches sédimentaires qui se situent entre les argiles et les calcaires en termes de composition.

Grès : Bien que moins fréquents dans la couche jurassique, on peut également trouver des grès.

La couche triasique fait référence aux différentes formations géologiques qui se sont déposées pendant la période géologique du Trias. Le Trias est une période de l'histoire de la Terre qui s'est étendue d'environ 252 à 201 millions d'années avant notre ère. Il fait partie de l'ère mésozoïque et précède le Jurassique.

Du point de vue géologique, la couche triasique est composée de différents types de roches sédimentaires. Les formations courantes incluent des grès, des mudstones, des calcaires et des évaporites. Ces roches se sont formées dans des environnements variés tels que des mers peu profondes, des lacs, des deltas et des déserts.

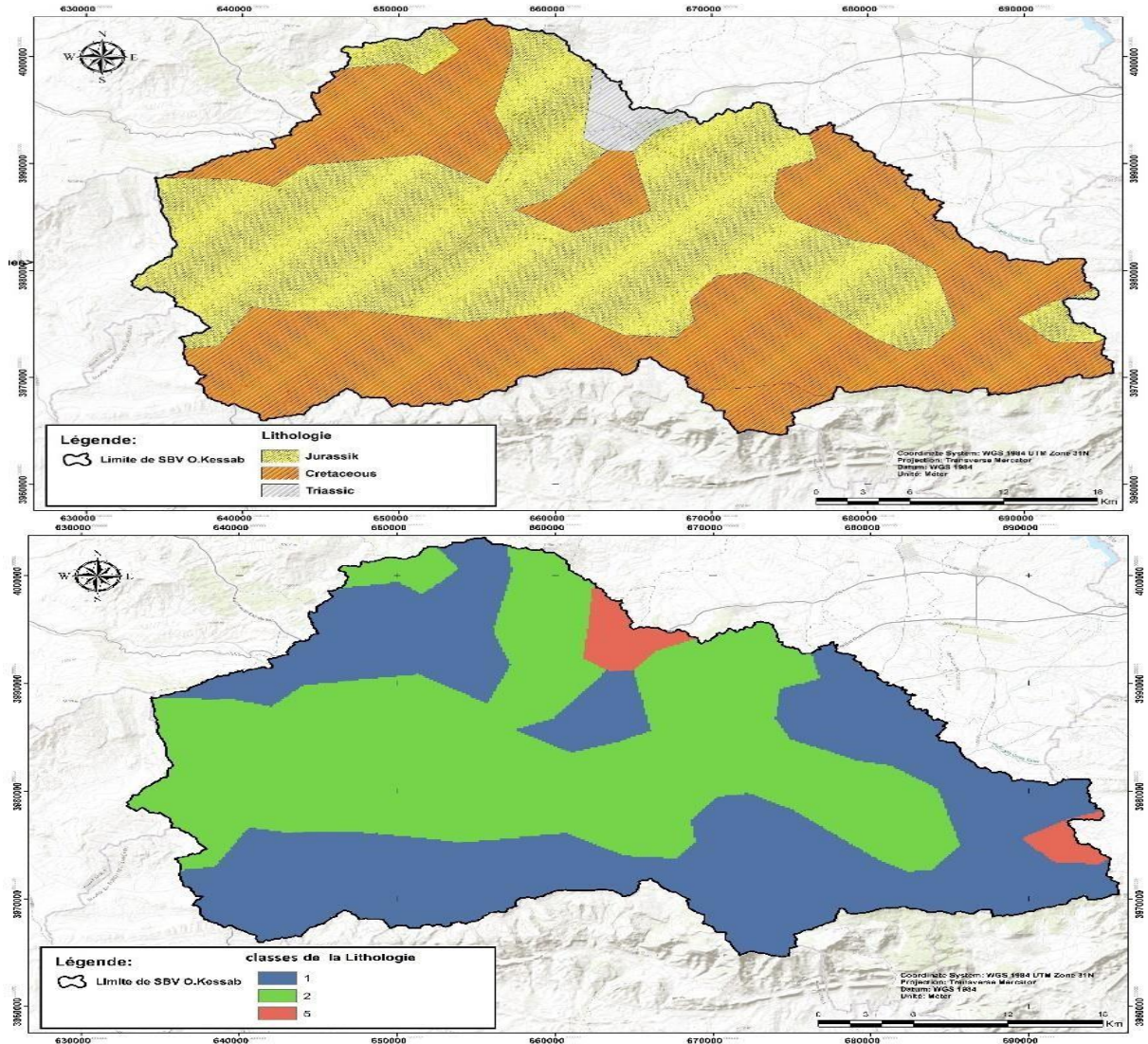


Figure34: la carte lithologie du B.V oued EL Kessab

5.4.1. Type De Sol (ST)

Le sol est un facteur important affectant l'intrusion de la pluie dans le sol. la moyenne La quantité d'infiltration varie en fonction de la structure du grain. Dans les structures poreuses à gros grains, L'intrusion d'eau souterraine est plus élevée. Dans les sols à grains fins tels que l'argile, le lessivage est plus lent et moins. La porosité et la perméabilité jouent toutes deux un rôle important dans le mouvement et la récupération des eaux souterraines, en Carte pédologique du bassin à couvain Après une étude, nous avons remarqué sur les pentes que le sol est de type alluvial, peu développé et n'excède pas 50 cm d'épaisseur, et l'horizon supérieur est une structure granuleuse .Lemono Argylo sat.L'horizon devient plus rouge et plus lourd en profondeur avec une grande quantité de gravier fin et dans les dépressions des montagnes, c'est un sol profond avec un horizon proche de la surface

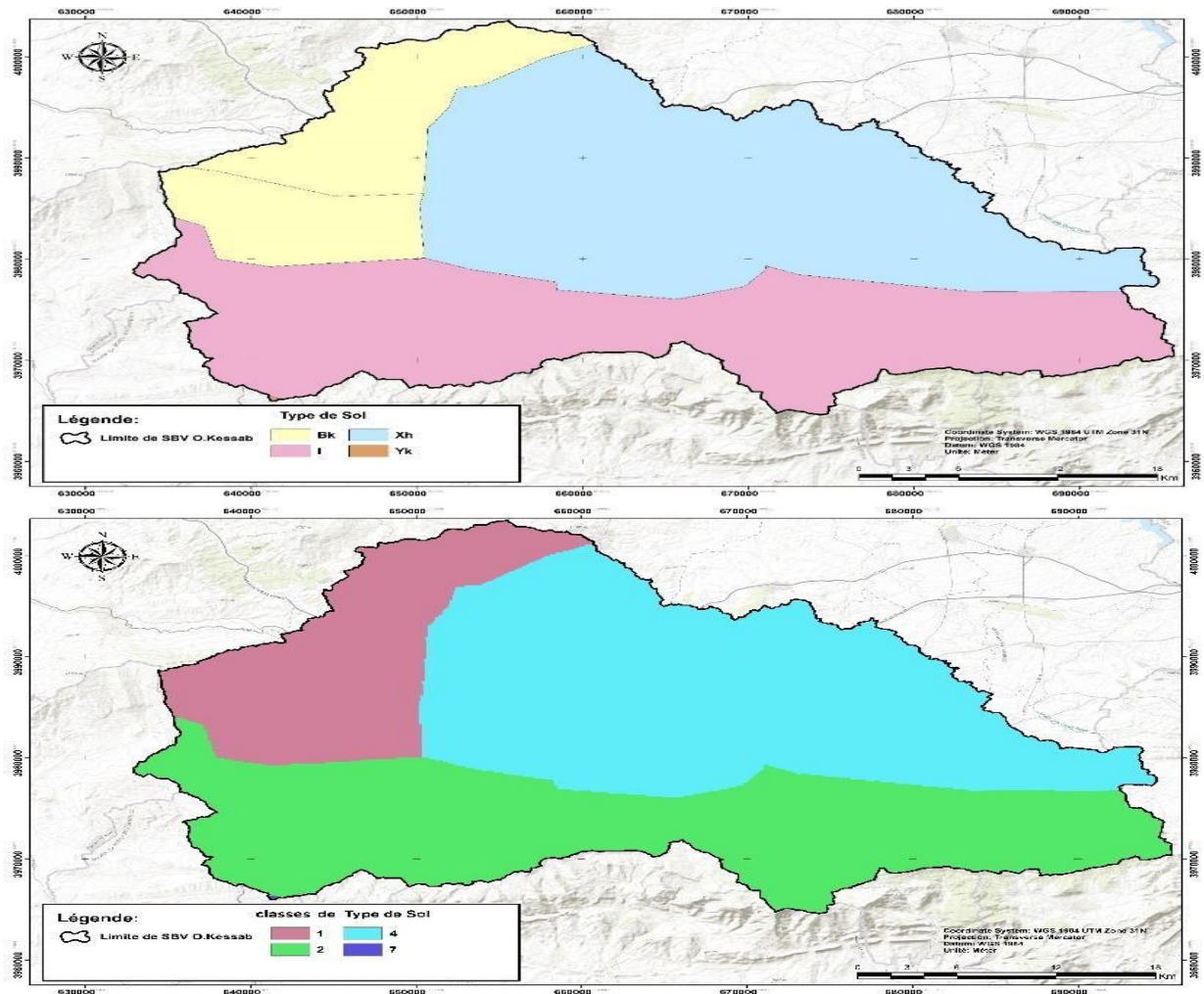


Figure35: la carte type de sol du B.V Oued EL Kessab

5.4.2. La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)

Le GWPZ est un composant pratique qui montre le potentiel des eaux souterraines dans la région. Ce client est défini A propos de la possibilité d'obtenir des ressources en eau souterraine pour cette zone. GWPZ varie pour une région selon la diversité des caractéristiques qui constituent le potentiel des eaux souterraines. Cette carte finale montre les zones de recharge vraisemblable d'eau douce avec des taux potentiels faibles, moyens et élevés. Le tableau 4 résume l'évaluation de la GWPZ du bassin comme suit : très pauvre (30,82 km² 14.97%), pauvre (65,84 km² ; 27%), moyen (86,21km² ; 25.76%), bon (103,8 km² ; 20.11%), très bon (121,60 km² ; 20.11%). Comme indiqué, le poids maximum de l'aquarium est de 30% GWPZ modéré.

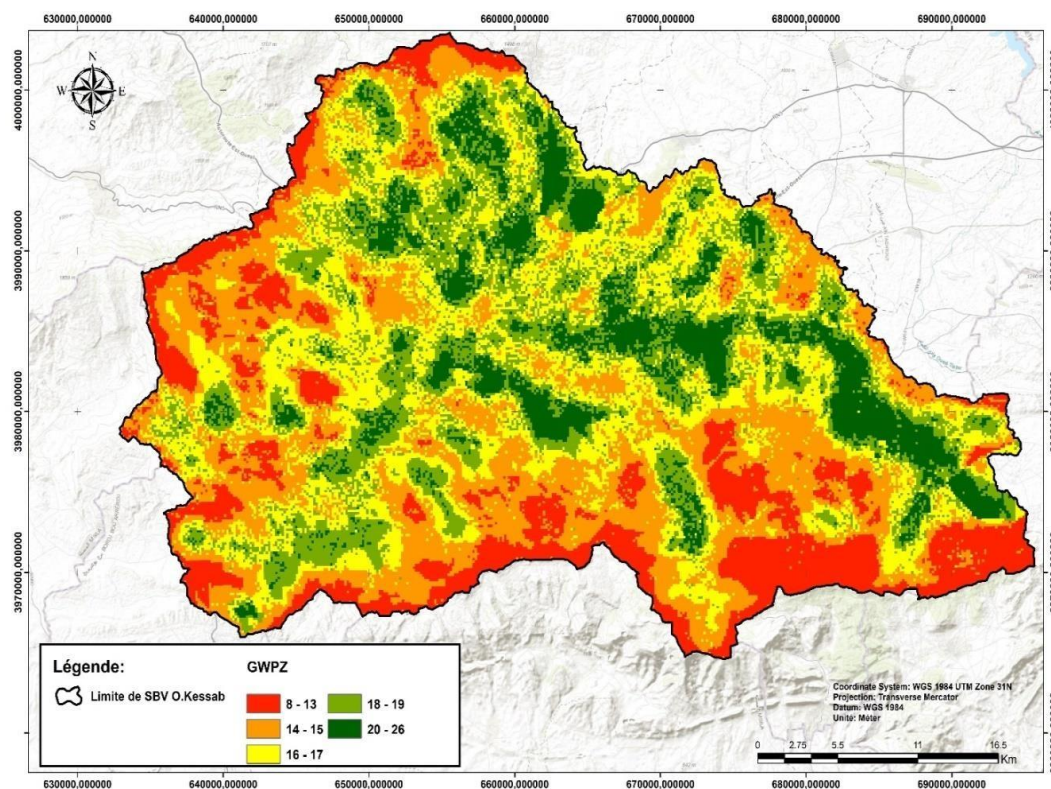


Figure36.: La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)

6. Discussion

L'analyse décisionnelle multicritère (AMC) basée sur le SIG est un outil flexible qui aide les décideurs à déterminer le potentiel des eaux souterraines. Par conséquent, le principal défi dans l'analyse décisionnelle multicritère proposée basée sur le SIG est la sélection des critères pour cartographier les zones potentielles en eau souterraine. La sélection des critères nécessite une bonne connaissance des données du site et du bassin versant, une pondération minutieuse des critères par les hydrogéologues et une collaboration minutieuse des facteurs sélectionnés. L'une des étapes les plus importantes du processus décisionnel consiste à déterminer le poids des critères, c'est-à-dire leur importance. Les pondérations attribuées aux critères affectent directement le résultat de l'analyse décisionnelle. La précision de l'analyse dépend de la détermination des poids avec une précision suffisante. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer les poids des critères, et comme ces méthodes diffèrent les unes des autres en termes de précision, de facilité d'utilisation, de clarté et de structure théorique, la méthode utilisée pour déterminer les poids varie en fonction des priorités du décideur. Bien que les méthodes de classement et de notation soient faciles à utiliser, les méthodes de comparaison binaire et d'analyse de priorité préférée donnent des résultats plus précis.

La méthode AMC basée sur le SIG est une bonne alternative dans ce domaine de recherche. Les techniques AMC sont utilisées très efficacement pour résoudre des problèmes dans divers domaines. Malgré les nombreuses méthodes utilisées dans les applications AMC, AHP est la plus courante. Lors de la sélection des zones appropriées, la prise en compte de l'influence relative des différents paramètres les uns par rapport aux autres donne des résultats utiles dans l'évaluation de l'évacuation des eaux souterraines. Le modèle utilisé dans cette étude nous a permis d'identifier les régions à fort, moyen et faible potentiel de recharge des eaux souterraines.

L'existence de données objectives obtenues par cette approche nécessite que l'exactitude soit vérifiée sur le terrain. Ce n'est pas toujours une méthode économique et rapide, mais il est possible de comparer les bilans hydriques avec des essais sur le terrain. Cependant, les résultats obtenus grâce à cette approche jouent un rôle important dans ce type d'étude de gestion des eaux souterraines. Il a été conclu dans cette étude que les endroits qui contiennent le plus grand potentiel pour les eaux souterraines sont situés au milieu du bassin et autour du chott elOued EL KESSAB où dans cette zone la pente est très faible. Une petite portion du à l'ouest du bassin contient aussi une forte rechargeabilité en eau souterraine.

Chapiter IV: Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG

évaluations	surface en Ha	%
Très pauvre	22050.25937	14.97841393
Pauvres	39791.84514	27.03000982
Modérer	37935.35712	25.76892506
Bien	29613.14752	20.1157716
Très bon	17822.97937	20.1157716

Tableau13: évaluation de la GWPZ du champ de drainage oued EL Kessab.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, le potentiel des eaux souterraines dans la zone du bassin versant d'elOued EL KESSAB a été exploré en intégrant des outils d'analyse spatiale avec AMC. La technique AMC - AHP a été appliquée avec succès en considérant six variables (pente, linéaement, densité de drainage, type de sol, lithologie, précipitation). Soit au total, six couches ont été utilisées dans le logiciel de SIG. À la suite de la superposition de ces cartes, les valeurs GWPZ pour le bassin ont été extraites. Ces valeurs GWPZ ont été reclassées en cinq catégories : très mauvaise, mauvaise, moyenne, bonne et très bonne. En utilisant cette méthode, des cartes GWPZ locales du bassin ont été dérivées.

Les cartes finales ont montré que 34% du bassin a un potentiel d'eau souterraine modéré. Cependant, 36 % du bassin présentaient un faible potentiel, tandis que 30 % du bassin présentaient un bon potentiel. Cette carte GWPZ doit être prise en compte lors de la planification des bassins versants par les gestionnaires. Sur la base des résultats, l'utilisation des eaux souterraines devrait être contrôlée dans les zones à faible potentiel du bassin. Dans ces zones, seules les eaux souterraines doivent être utilisées comme eau potable. L'utilisation des eaux souterraines dans les zones agricoles peut être réalisée dans les zones à potentiel moyen, mais l'irrigation agricole à grande échelle doit être évitée. Dans les zones à bon potentiel, les eaux souterraines peuvent être utilisées pour l'irrigation agricole. Cependant, le forage de puits d'eau doit être correctement contrôlé et ouvert à de larges intervalles sur le terrain.

Il est plus précis de connaître le potentiel des eaux souterraines pour une zone étroite en forant plusieurs puits d'observation. Cependant, dans les grands zones, cela coûte cher et prend du temps. Il est tout à fait logique et précieux d'explorer préférentiellement le potentiel des eaux souterraines des grands bassins dans le schéma macro en utilisant la méthode AMC. Les données hydrologiques et hydrogéologiques sont maintenant relativement plus faciles et moins chères à obtenir en utilisant les méthodes RS et satellitaires. Cette méthode est globale et peut être appliquée à tout les bassins.

Références bibliographiques

Liste des sources et références

1. références

2. **Bois P.H., 1980.** Hydrologie générale. Inst. Polytech. Grenoble.
3. **Mangin, A., 1981.** Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstique. Troisième partie. Contribution et fonctionnement des aquifères karstiques. *Ann. Spéléo.*, 30, 1, p. 21 – 124.
4. **Mangin, A., 1981a.** Utilisation des analyses corrélatoire et spectrale dans l'approche des systèmes hydrologiques. *C.R. Acad. Sc. Paris, T.293, Série II, n°5*, pp. 401-404.
5. **Mangin, A., 1981b.** Apport des analyses corrélatoire et spectrale croisées dans la connaissance des systèmes hydrologiques. *C.R. Acad. Sc. Paris, T.293, Série II, n°14*, pp. 1011-1014.
6. **Mangin, A., 1984.** Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. *Journal of Hydrology*, 67, pp. 25-43.
7. **Max, M., 1980.** Méthodes et techniques de traitement du signal et application aux mesures physiques, 2ème édition ; Masson, Paris.25p
8. **Verdeil, P., 1961.** Principes généraux de l'hydrologie des karsts. *Mem. A.I.H. T IV*. pp 94 - 98. 3 fig.
9. **Refregier, P., (1993).** Théorie du signal - Signal Information Fluctuation. 278 p. Coll. Enseignement de la physique, Masson Ed.
10. **Max, J., (1980).** Traitement du signal et applications aux mesures physiques. Principes et appareillages de traitement en temps réel. 379 p. *Paris, Masson Ed.*
11. **Mangin, A., (1988).** Réflexion sur les mécanismes de l'infiltration dans les karsts à partir de l'exemple de Niaux (Ariège, France). *Bull. Centre d'Hydrogéol.* Neuchâtel, n°8, pp. 3- 25.
12. **Kunt, M.** Traitement numérique des signaux. 402 p. Dunod Ed.1981.
13. **Bouanani A., Mania J., Bensalah M., Baba Hamed K., 2004.** Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies : cas de trois sous- bassins sud méditerranéens (oueds Sebdou, Mouilah et Isser – Tafna- NW Algérie). *Pub. Soumise, Rev. Sci. De l'eau.*
14. **Laborde, J.P.** Eléments d'hydrologie de surface. Tome 2 : Critique et analyse statistique des données hydrologiques. *Ecol. Nat. Sup. de Géol. Appli/ Inst. Nat. Polytech. De Lorraine*, 95 p.1982.
15. **Boutaleb, S., Hsissou, Y., Bouchaou, L., Mudry, J., Mania J. & Chauve,P.**

Références bibliographiques

16. **BENECRI, S.** Histoire et préhistoire de l'analyse des données.DUNOD. 58p
17. **DAGNELIE, P,** Statistique théorique et appliquée.Tome 1, de Boeck Université, Bruxelles.66p.1998.
18. **LAMAS, J.** Hydrologie générale : principes et applications. GAETAN MORIN, Québec. 1985.
19. **BERTAUD, M, BERNARD, CH.** Initiation à la statique et aux probabilités.EYROLLES.PARIS.1980.
20. **RIAD, S,** typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles a partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse doctorat.
UNIVERSITE IBNOU ZOHR D'AGADIR
21. **D'hulst, D., 1978.** Manuel d'utilisation du logiciel STOCHASTOS version 3.0. Variables régionalisées et approche stochastique. C.N.R.S. Lab. Souterrain. Moulis. Saint Giron. 41 p.
22. **Ghachi A., 1986.** Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Thèse. Doctorat. 3e.cycle. Ed. O.P.U. 508 p., 74 fig., 11cartes.
23. **Larocque M., Mangin A., Razack M. Et Banton O. 1998.** Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of a large karst aquifer.(Charente, France). Publ. Journal of hydrology, 205, pp. 217-231.
24. **Mangin, A., 1971** - Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique. Ann. Spéléo. 26, 2. pp. 283 - 329.
25. **Mangin, A., 1974** - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Ann. Spéléo. pp. 283 -332. 15 fig.
26. Application des Analyses Corrélatoires et spectrales pour les systèmes hydrologiques de surface en zone semi-aride: cas de l'oued Issen (Haut Atlas Occidental, Maroc). 2ème Col. *Int. Eau et Environnement, février 99, Fac. Sc. Agadir.*1999.
27. université Mohamed boudiaf-m'sila Analyse Fréquentielle des pluies maximales journalières
28. Application sur le bassin versant du Hodna page numéro 3
29. université Mohamed boudiaf-m'sila Analyse et cartographie de l'érosion
30. Hydrique dans le bassin versant du Hodna page numéro 4
31. université Mohamed boudiaf-m'sila délimitation des zones de recharge potentielle des eaux souterrains dans la région d'EL HODNA page numéro 6 32. université Mohamed

Références bibliographiques

boudiaf-m'sila délimitation des zones de recharge potentielle des eaux souterrains dans la région d'EL HODNA page numéro 10 et 9

33. UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES Phénologie et structure des Tadornes (Tadorne de Belon et Tadorne casarca) dans le Chott El-Hodna (wilaya de M'silla, Algérie.)
34. Zeroual S .2016. Etude de la sensibilité du sous bassin versant de Ksob a l'érosion hydrique par une approche quantitative, Université de m'sila. Page numéro 21.
35. Eléments Méthodologiques De Diagnostic Paysager Utilisant Les Systèmes D'Information Géographique, Thèse No 2961, Joël Chételat, 2005.
36. Universite de nice elements d'hydrologie de surface, laborde, 2009.

2. Sites internet

37. <http://seig.ensg.ign.fr/>
38. <https://www.esrifrance.fr/>
39. <https://www.esrifrance.fr/produits/sig4.aspx>
40. <https://www.esrifrance.fr/produits/sig3.aspx>
41. <https://storymaps.arcgis.com/stories/39ceac3bfa5c49ad80071376f6b94ca2>
42. <https://www.esrifrance.fr/produits/sig3.aspx>
43. https://www.researchgate.net/figure/Structure-dun-SIG-Abdelbaki-C2012_fig2_309741762
44. <http://resources.arcgis.com>
45. <http://www.axesig.fr/produits/sig.html>
46. <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c03-s01.fr.html>
47. http://www.gitta.info/DigitModel/fr/html/Relief_learningObject2.html
48. http://www.gitta.info/DigitModel/fr/html/Relief_learningObject2.html
49. http://www.gitta.info/DigitModel/fr/html/Relief_learningObject2.html
<https://www.pseau.org/>