

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Faculté de Technologie

FILIERE : Hydraulique

Département d'Hydraulique

Option : Ressources Hydraulique

Présenté pour l'obtention du diplôme

MASTER

Par : Mansour yakoub

Et

Toual Hanaa Maissa

**Délimitation des zones de recharge potentielle
des eaux souterraines dans la région d'El Hodna**

Soutenu devant le jury composé de :

	Université M'sila	Adjissi omar
<i>Mezali Farouk</i>	<i>MCB</i>	Université M'sila
		Dougha mostafa
	Université M'sila	

Promotion : 2020/2021



Remerciements

A l'issue de cette étude, nous avons d'abord embauché Dieu qui a réussi à faire ce travail. D'abord Merci Monsieur Mezali Farouk pour ses précieux conseils, et les tendances tout au long de l'année puis nous remercions également nos professeurs de nous montrer l'attention qu'ils nous portent depuis 5 ans et, Enfin nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, même avec un mot gentil.

Dédicace

Nous dédions ce mémoire A` nos très chers parents qui peuvent être fier et trouvent ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour nous aider à avancer dans la vie. Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer leur juste valeur, la gratitude et l'amour qu'ils nous les portent. Chaque ligne de ce mémoire, chaque mot et chaque lettre vous expriment la reconnaissance, le respect et l'estime. Dieu merci, qu'ils soient nos parents.

A` nos sœurs et frères ; `A ceux qui ont toujours été à nos côtés ;

A` nos chers amis, avec qui nous avons partagé les moments les plus agréables. `A tous les étudiantes et Les étudiants de ma promotion, que chacun trouve à travers ces lignes nos sincères amitiés.

Liste des figures

Fig 1 : situation géographique du bassin versant Hodna

Fig 2 : Bassin versant du Hodna (Google Earth Pro).

Fig 3 : Le relief du bassin versant du Hodna

Fig 4 : Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna (05).

Fig 5 : Carte bioclimatique de l'Algérie (Meddour)

Fig 6 : Pédologie de la région du Hodna [Boyadgiev, 1975].

Fig 7 : Carte couvert végétal de l'Algérie de Nord (Benslimane et al 2008)

Fig 8 : Diagramme de phase de l'eau [Musy,2003]

Fig 9 : Géologie du bassin versant du Hodna [Adoui, 2013].

Fig 10 : Exemple d'un Bassin versant topographique [L'Algérois ,Talatizi.2014].

Fig 11 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [Musy et al ,2004].

Fig 12 : schéma des composantes d'un SIG.

Fig 13 : Les fonctionnalités du S.I.G [NOTTET, 2002].

Fig 14 : Domaines d'application du SIG.

Fig 15 : Les différents formats de MNT.

Liste des tableau

Tableau. 1 : caractéristiques et écoulement du bassin du Hodna.

Tableau . 2 : La matrice de comparaison par paires du processus de hiérarchie analytique (AHP).

Tableau. 3 : Matrice AHP normalisée.

Tableau .4 : Évaluation AHP résumée des sous-propriétés des paramètres.

Tableau.5 : évaluation de la GWPZ du champ de drainage hodna.

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHPITRE I: généralités sur le bassin versant du Hodna.....	3
Introduction.....	4
I.2. Situation géographique du bassin versant Hodna.....	4
I.3 Relief.....	5
I.3.1 Les montagnes.....	5
I.3.2 Le piémont.....	6
I.3.3 La plaine.....	6
I.3.4 Chott El Hodna (Sebkha).....	7
I.4 Climat :.....	7
I.4.1 Bioclimat.....	8
I.4.2 La pluviométrie.....	9
I.4.3 sol.....	9
I.4.4 Température.....	11
I.5 Le couvert végétal.....	12
I.5.1 Les terres de culture.....	13
I.5.2 Les forêts.....	13
I.6 Réseau hydrographique.....	14
Conclusion.....	16
Chapitre II : Géologie et hydrogéologie de plein Hodna.....	17
II.1. Cycle et bilan hydrologiques.....	18

II.1.2 L'eau, généralités	18
II.2. Géologie de plein Hodna	19
II.2.1. contexte géologique	19
II.2.2 Litho stratigraphie.....	19
II.3. hydrogéologie de la région	22
II.3.1. caractéristique physique de la nappe profonde.....	23
II. 4.Les altitudes caractéristiques	27
II.4.1.Les altitudes maximale et minimale	27
II.4.2. L'altitude moyenne	27
II.4.3. L'altitude médiane.....	27
II.5.La pente moyenne du bassin versant :	27
II.6.L'indice de pente ip.....	28
Conclusion.....	29
Chapitre 3 : Système d'information géographique	30
Introduction	31
III.1.Définition du bassin versant	31
III.2. Système d'information géographique	33
III.3. Historique du S.I.G.....	34
III.4. Les composantes d'un SIG.....	35
III.4.1.Matériel	35
III.4.2.Logiciels	35
III.4.3.Données	36
III.4.4.Le savoir-faire	36
III.4.5.Les utilisateurs.....	36
III.5. Les fonctionnalités du S.I.G	37
III.6. Le rôle des SIG.....	39
III.7. Domaines d'application.....	39
III.8.Modeles numeriques d'altitude	42

Chapitre IV:Évaluation du potentiel des eaux souterraines par SIG	45
Introduction	46
IV.1. La méthode AHP (Analytic hierarchy process : Procédure hiérarchique d'analyse)	47
IV.2. La zone d'étude	48
IV .3. Méthode.....	49
IV.4. Calcul par la Méthode AHP basée sur le SIG.....	54
IV .5.Résultats et discussion.....	55
IV.5.1. La densité de Drainage (DD)	59
IV.5.2.Lineament densité (LD).....	59
IV.5.3.Précipitations (Pr).....	60
IV.5.4.La pente (P).....	61
IV.5.5 Lithologie (LI.....	62
IV.5.6 Type De Sol (ST).....	63
IV.5.7 La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ).....	64
IV.6. DISCUSION.....	66
Conclusion générale	68
REFERENCES	69

خلاصة

أدى التقدم الحالي في التنمية إلى تحويل الأراضي الذي كان له تأثير على مشكلة تسرب المياه في منطقة الحضنة تهدف هذه الدراسة إلى تحديد توزيع المناطق المحتملة لتغذية المياه الجوفية باستخدام نظام المعلومات الجغرافية كأساس لإدارة المياه الجوفية

يتم الحصول على المنطقة المحتملة لإعادة تغذية المياه الجوفية من خلال تراكم جميع الخرائط الموضوعية التي تؤثر على تسرب المياه الجوفية حيث يتم ترجيح كل خريطة موضوعية وفقاً لمعايير تأثيرها على تسرب المياه الجوفية مثل استخدام الأراضي - 25% ، هطول الأمطار - 20% ، التفسير - 20% ، التربة - 15% ، المنحدر - 10% ، الخط - 5% ، وكثافة النهر - 5% لإيجاد المناطق المحتملة لتغذية المياه الجوفية. تم تقسيم المناطق المحتملة لتغذية المياه الجوفية التي تم الحصول عليها على هذا النحو إلى خمس فئات ، أي مناطق عالية جداً ومرتفعة ومتوسطة ومنخفضة ومنخفضة جداً. قد تكون نتائج هذه الدراسة مفيدة لتخطيط وإدارة المياه الجوفية بشكل أفضل

Introduction

Générale

Introduction générale

L'eau souterraine est la quantité d'eau sous la surface de la terre qui peut être collectée par des puits, des tunnels, des systèmes d'égouts ou par pompage. On peut aussi l'appeler un cours d'eau qui coule naturellement à la surface de la terre par jets ou infiltrations.

La disponibilité des eaux souterraines dans la région est très importante pour la survie de la région du bassin HODNA en tant que l'une des provinces.

Sur la base des résultats de la recherche, il a un statut d'alerte lié au bilan hydrique et aux ressources en eau critiques dans l'aquarium. Alors qu'une autre étude concluait que d'ici 2025, le nombre de régions connaissant des déficits hydriques augmentait de 78,4% avec des déficits allant d'un à douze mois, ou des déficits tout au long de l'année. Cela signifie que la disponibilité de l'eau dans la région HODNA nécessite une attention particulière en matière de conservation. Le développement rapide de la zone a entraîné une conversion des terres entraînant une diminution de la zone d'infiltration des eaux souterraines. Les bassins versants inférieurs perturbent la reconstitution des eaux souterraines, réduisant la disponibilité des eaux souterraines. En général, le processus de filtration de l'eau se produit par le processus de percolation (mouvement de l'eau du haut vers la surface du sol) et de filtration (mouvement des eaux souterraines vers le bas de la zone non saturée vers le bas de la zone saturée) qui se produisent séquentiellement. Le taux d'infiltration sera égal à l'intensité de la pluie si le taux d'infiltration est toujours inférieur à la force d'infiltration. La filtration dans la zone saturée contient de manière optimale l'eau qui se produit dans la zone autour des précipitations, ainsi que la sécheresse dans la zone autour de la zone environnante c'est une indication de problèmes d'intrusion d'eau souterraine. L'eau de pluie qui ne s'infiltré pas dans le sol autant que possible provoque un tel désastre. L'absence d'une carte de la zone de recharge potentielle des eaux souterraines dans HODNA a conduit le programme de développement à ne pas considérer le bassin versant comme une zone à protéger et à conserver dans le cadre de la conservation des eaux souterraines. La zone de recharge des eaux souterraines est la zone où l'eau de pluie s'infiltré dans le sol puis se transforme en eau souterraine. Pour déterminer la zone potentielle de recharge des eaux souterraines, la cartographie et le traitement via SIG doivent être utilisés. Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique ou une technologie créée dans le but de collecter, stocker, traiter, analyser et présenter des données et des informations sur un objet ou un phénomène lié à son emplacement ou son existence à la surface de la Terre. Le SIG peut être fondamentalement divisé en plusieurs sous-systèmes interdépendants qui incluent la saisie de données, la gestion des données, le traitement ou

l'analyse des données, les rapports (sortie) et les résultats des données Cartographie des zones potentielles de recharge des eaux souterraines à l'aide du SIG.

CHPITRE I:
généralités sur le
bassin versant du Hodna

Introduction

□□ Historiquement Ibn Khaldûn qui évoque El Hodna et ses espaces de la manière suivante : région El Hodna (bi-l-Ḥuṣna بالحسنى (Ḥoḍna), Magra , N'gaous et

M'sila comme villages du Hodna.(Ibn Khaldûn, 2000-2001 : IV p, 35, 46, 588)

□□ Hodna signifie (plaine entouré de montagnes) (F.A.O. 1971)

□□ Hodna signifie la brassée :

La plaine du Hodna est enserrée dans un cadre montagneux, le mot désigne pour ses habitants une région aux caractères précis : ce sont les plaines situées à l'Est et au Nord d'un vaste Sebkha plaine.

C'est une région steppique située au sud des hauts plateaux ayant pour capitale M'sila cette dernière située au Sud- Est à 248 km d'Alger elle est occupée la région centrale du territoire algérien , située à une altitude de 441 m, elle couvre près de 18.175 km², avec 1,094,000 habitants jusqu'au (31/12/2010) et limitée au Nord par les wilayas de Sétif , BBA , et Bouira , à l'Est Batna , à l'Ouest Médéa, au Sud- Est Biskra , au Sud et au Sud Ouest Djelfa.

Les coordonnées géographiques sont :

□□ Longitude : 04o30'.

□□ Latitude : 35o40'.

I.2. Situation géographique du bassin versant Hodna

La Wilaya de M'sila, dans ses limites actuelles, occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du nord dans son ensemble, elle fait partie de la région des Hauts Plateaux du Centre et s'étend sur une superficie de 18.175 km². Elle est limitée :

Au Nord Est : les wilayas de Bordj Bou-Argeridj et Sétif

Au Nord-Ouest : les wilayas de Médéa et Bouira

A l'est : la wilaya de Batna

A l'ouest : la wilaya de Djelfa

Au Sud Est : la wilaya de Biskra

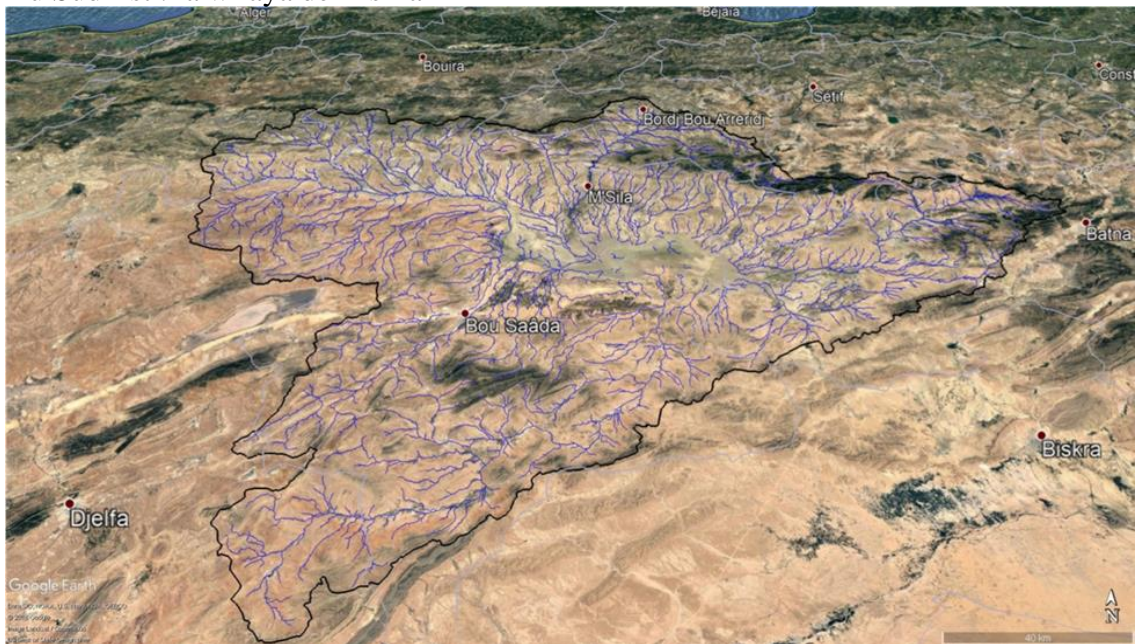


Fig.I.1 Bassin versant du Hodna (Google Earth Pro).

I.3 Relief

Le relief est le visage de la terre, résulte d'un ensemble de plusieurs facteurs et particulièrement par l'évolution géologique et par l'action de l'érosion à une grande échelle (des milliers ou des millions d'années) (Belagoune. 2012)

Les reliefs du Hodna se composent de deux ensembles nettement différenciés : le cadre montagneux des deux atlas et le bassin Hodna compris entre ceux-ci. C'est ce dernier qui constitue la véritable région du Hodna.

I.3.1 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 font toujours par une rupture marquée.

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

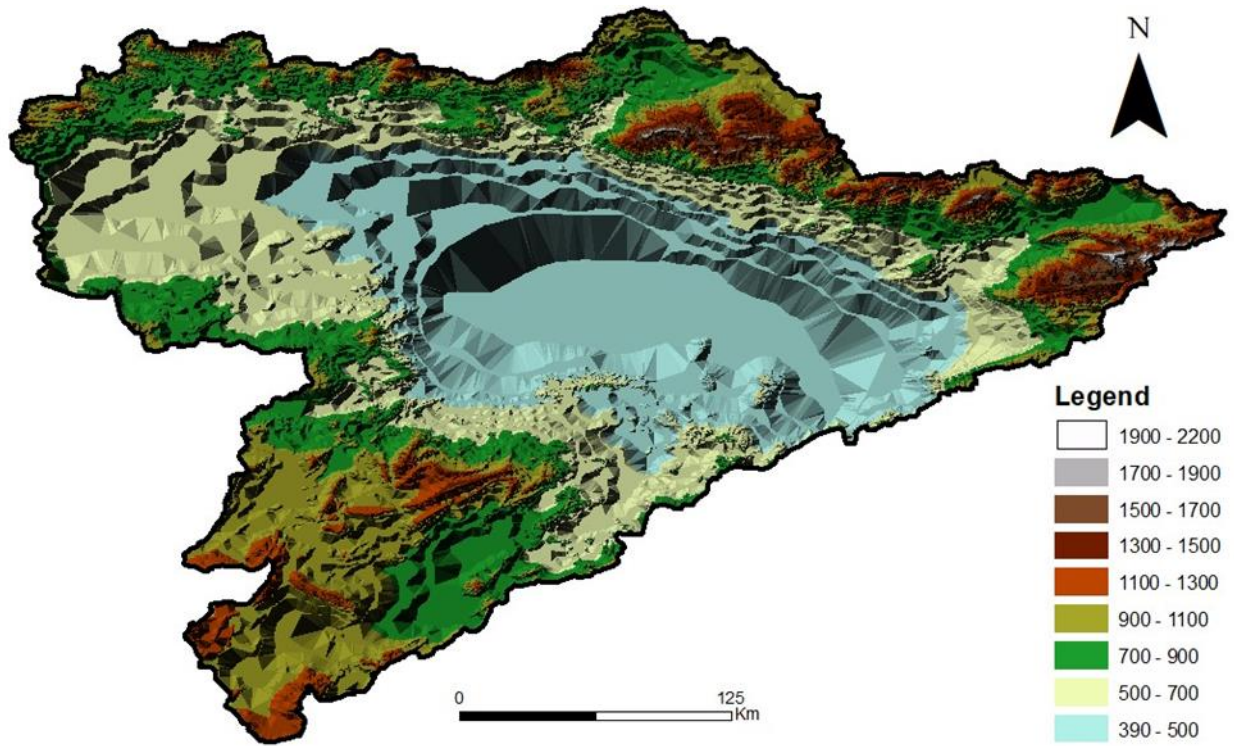


Fig. I.2. MNT du relief de bassin versant du Hodna(Originale).

I.3.2 Le piémont

Appelé Djerr, entre 500 à 700 m transition entre la montagne et la plaine allongée Ouest-Est .

Au Nord, il est assez large et se constitue en forme de grands paliers correspondant à des niveaux de glacis qui sont profondément entaillés par une série d'Oueds qui descendent des djebels septentrionaux. Le piémont Sud, beaucoup moins étendu, est plat et encombré

d'accumulation de sable.

I.3.3 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.

I.3.4 Chott El Hodna (Sebkha)

Appelé aussi la «niche des oiseaux migrateurs», 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.

I.4 Climat :

Hodna est une steppe plus chaude et plus sèche que les hautes steppes de l'Algérois et del'Oranie. Sa position au fond d'une cuvette lui vaut une sécheresse et une pluviométrie capricieuse qui préfigurent le Sahara.

La situation géographique nous donnons une année climatique partagée entre deux grandes saisons : une saison fraîche et relativement humide de novembre à avril et une saison chaude et sèche de mai à octobre.

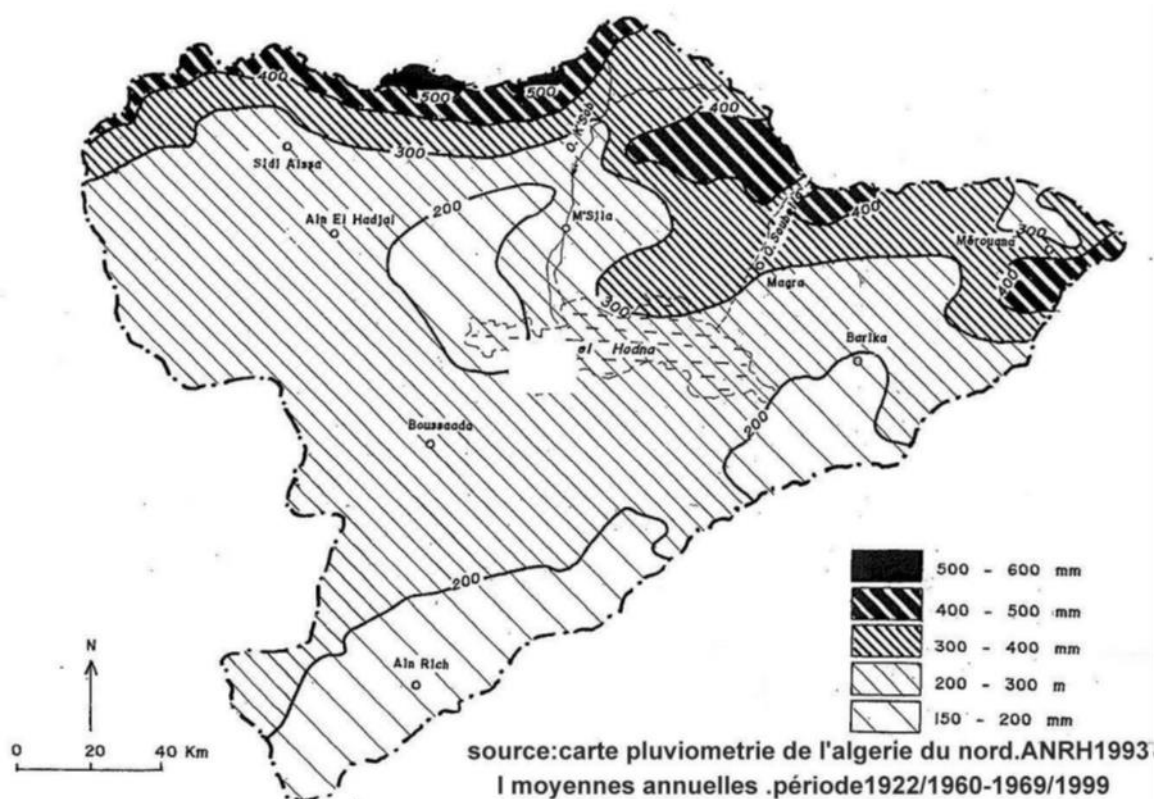


Fig I.3 Pluviométrie dans le bassin versant du Hodna (05).

I.4.1 Bioclimat

D'une manière générale

□□ Aride sub désertique ou l'aride inférieur : au niveau du chott et la zone de Rmel ce climat caractérisée par une sécheresse presque continuelle de 11 à 12 mois secs et d'une faible précipitation.

□□ Sub aride ou l'aride moyen : il correspond à une grande partie de la plaine Hodna il couvre le piémont et la plaine au nord de la sebkha avec 5 à 9 mois secs.

□□ semi aride ou l'aride supérieur existant dans la zone des montagnes de l'atlas tellienne (monts du Hodna, massif des Belezma) et le bassin amont de oued l'ksob situé sur les hautes plaines Sétifiennes ainsi que les monts des Ouled nail au Sud- Est du Boussaâda

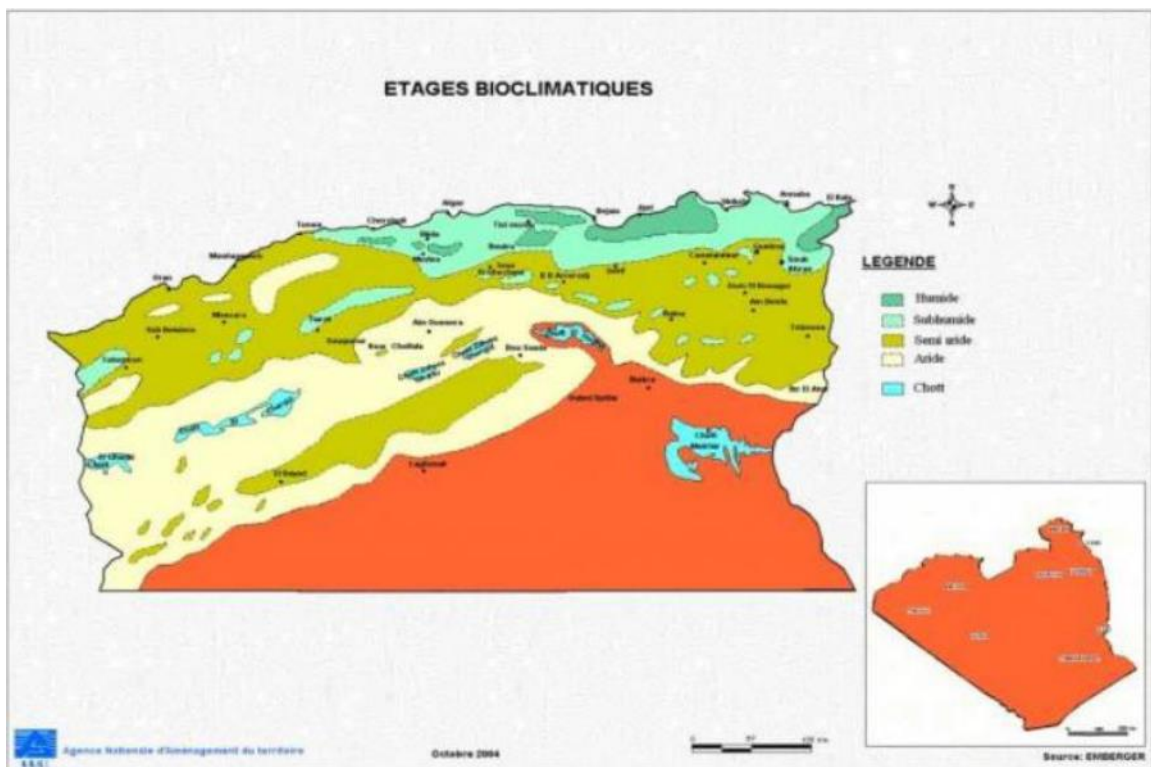


Fig.I.4. Carte bioclimatique de l'Algérie (Meddour)

I.4.2 La 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 al-Hana 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 à des crues soudaines qui détruisent tout sur leur passage (inondations de Wadi Al-M'sila, automne 2008).

La distribution mensuelle des précipitations moyennes sur une période de 10 ans (2000-2009) est enregistrée dans le tableau (annexe).

I.4.3 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 -Calcimorphes.- Hydromorphes).
- Sols peu évolués halomorphes.
- Sols sodiques.
- Sols très fortement à excès de sel.
- Sols minéraux bruts xériques inorganisés d'apport.
- Sols peu évolués d'apport éolien.
- Sols sur croûte et encroûtement calcaire.
- Sols minéraux bruts d'érosion.

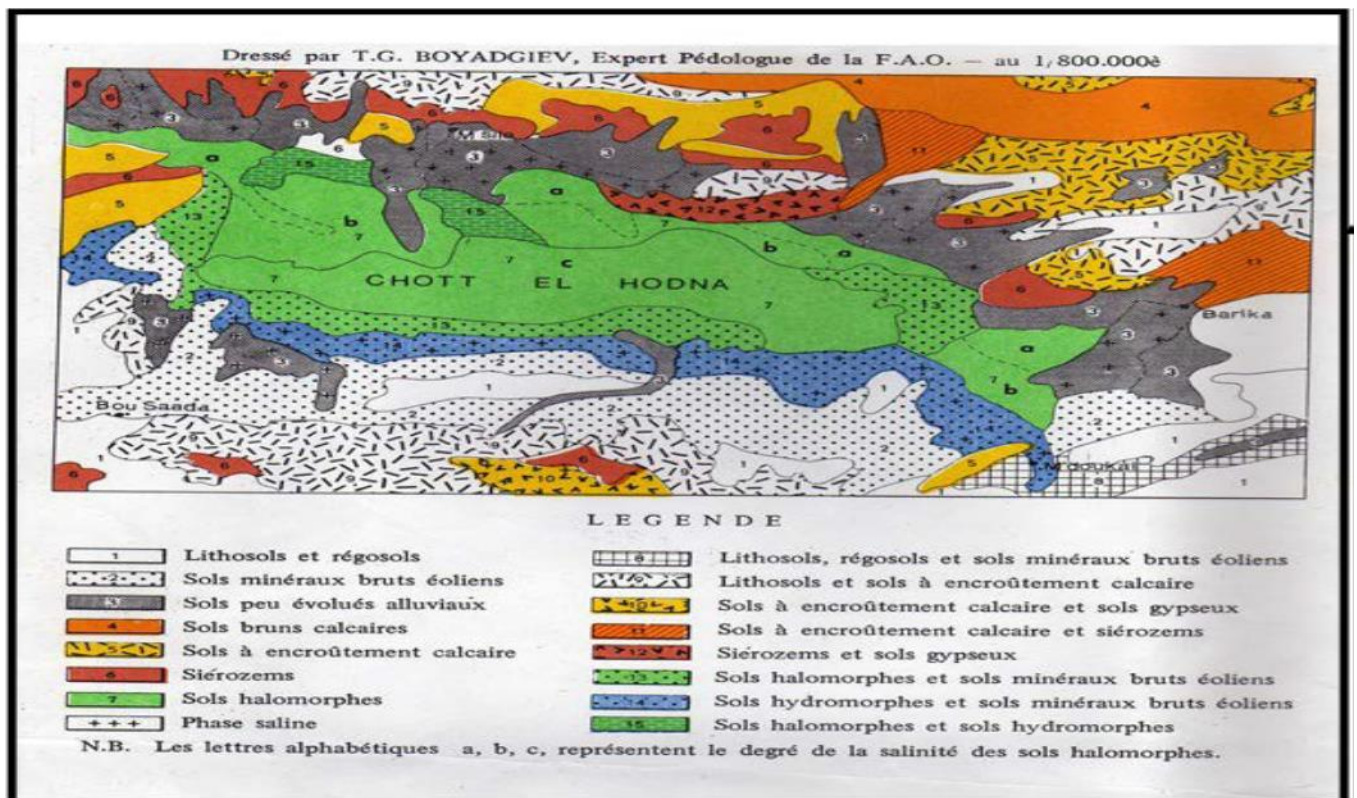


Fig. I.5. Pédologie de la région du Hodna[Boyadgiev, 1975].

I.4.4 Température

Les températures moyennes annuelles et mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographique, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier. (Bouanani.A 2004).

Les valeurs thermiques de continentalité du Hodna, le gradient thermique annuelle est élevé, 0,75°C pour une augmentation de 100 mètres par rapport au gradient moyen admis en Algérie qui est de 0,55°C tous les 100 m maximale varié entre 24°C et 27°C en plaine , entre 19 et 21 dans les hauts plateaux, minimal entre 9 °C et 12°C en plaine , 6°C et 9 en altitude .

L'étude des températures minimales et maximales introduit des nuances dans le régime thermique du Hodna.

I.5 Le couvert végétal

L'occupation végétale a une influence sur la rapidité du ruissellement superficiel, le taux d'évaporation et la capacité de rétention du bassin versant. elle joue un rôle primordial dans la protection du sol, avec un patronage mécanique directe sur l'écoulement pour diminuer la force des eaux et en favorisant leur infiltration.(Belagoune. 2012) Donc la présence de végétation va jouer le rôle de « Régulateur » dans le régime d'écoulement.

Le couvert végétal se caractérise par une zonalité très nette de direction nord-sud constituant parfait révélateur des nuances bioclimatique et la variété morpho- pédologique.

Sur les versant montagneuse, les groupements forestiers tell que le pin d'Alp (*pinus halepensis*) domine avec quelques chênes verts et rarement des cèdres(*cedrus atlantica*) sur les sommets.

Dans l'ensemble de la cuvette Hodna, les groupements steppiques couvrent la plus grande superficie suivant le bioclimat et la nature des sols, on peut distinguer les steppes fraîches et les steppes chaudes.

Sur les glacis à encroûtement calcaire du piémont le couvert végétal est l'armoise blanche (*artemisia herba alba*) associée au chobrouk (*noaea mucronata*)

A l'aval du piémont, dans la plaines proprement dite, le paysage végétal est toujours la steppe, mais avec des espèces adaptées à la salure comme *Artiplaxe halimus* (*guetaf*)

An passant de la plaine vers le chott les groupements végétaux deviennent hiperhalophiles Pour disparaître complètement dans la sebkha.

La région de Rmel comporte une vegetation psammophile telle Que le drinn (*Aristida punens*) l'arta (*calligonum comosum*) et le rtem) *retama- retam*) en association avec d'autres groupements ou l'on retrouve l'alfa) *stipa tenacissima*) l'armoise l'ousara (*salsola vermi - culata*) Fait l'important, l'alfa ne forme dans le bassin du

Hodna que de très maigres peuplements sans commune mesure avec ceux des hautes steppes sud oranaises elle couvre prés de tiers de la

superficie de la region L'alfa est une espèce qui craint la sècheresse et qui exige un hiver froid ou frais ce qui n'est pas le cas dans le Hodna qui reste un bassin surchauffé.

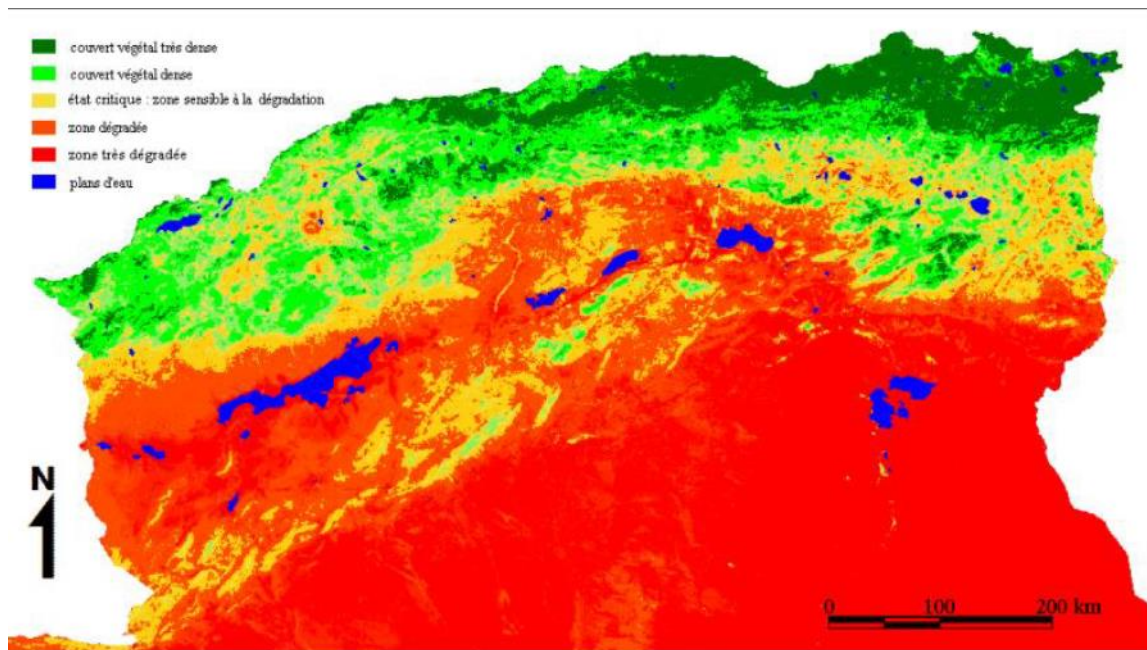


Fig. I.6 Carte couvert végétal de l'Algérie de Nord (Benslimane et al 2008)

I.5.1 Les terres de culture : subdivisées en trois catégories

les terres haï : c-t-d vivifiables au moyen de barrages construits sur les principaux Oueds

(K'sob, Selmane, Barika.....). ces terres sont partagées entre les individus qui ont pris part aux travaux des barrages

les terres Djelf (limoneuses) 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 : pierreuses et trop élevées pour que les crues puissent les atteindre, sont affectées au parcours.

I.5.2 Les forêts

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

I.6 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	Pluviométrie annuelle	Température Moyenne	Ecoulement moyen	Hypothèse d'utilisation	Ecoulement au chott
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 le 5^{ème} grand bassin Algérien, il est situé au centre de l'Algérie avec une superficie de 25830 Km². Il est divisé entre 23 sous bassins. Son relief est caractérisé par des séries de montagnes au Nord et au Sud en organisant le bassin autour d'une cuvette fermée d'une altitude de 400 m. Au centre de cette cuvette on trouve le chott avec une superficie de 1150 km².

Le réseau hydrographique du Hodna est irrégulier lié à son régime pluviométrique, ses oueds les plus principaux sont : El Ham, K'sob, Barika, Soubella, Lougmane Selmane et Berhoum».

Chapitre II :
Géologie et hydrogéologie
de plein Hodna

II.1. Introduction

L'hydrogéologie est une branche de la géologie appliquée à l'étude, exploitation et planification des ressources en eau. Pour cela, la géologie est importante pour le domaine de l'hydraulique

II.1. Cycle et bilan hydrologiques .

II.1.2 L'eau, généralités

L'eau est la source principale et originelle de toute vie. Elle se présente, dans la nature, sous trois états :

- Solide : neige et glace.
- Liquide : eau chimiquement pure ou chargée en solutés.
- Gazeux : à différents degrés de pression et de saturation.

Le changement de phase de l'eau dépend essentiellement de la température et de la pression mais aussi du degré de pollution de l'atmosphère. La figure suivante donne les différentes conditions de pression et de température pour les trois états de l'eau, ainsi que les transformations de phase.

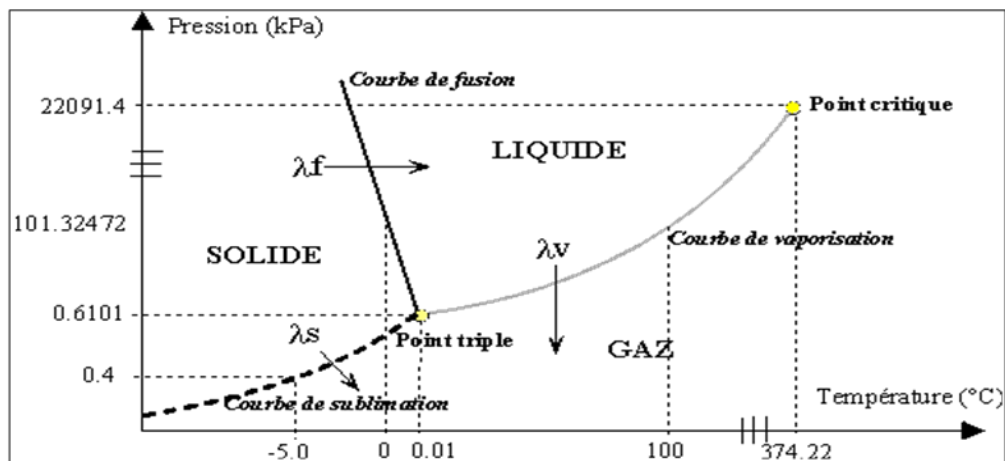


Fig. I.1 . Diagramme de phase de l'eau [Musy, 2003].

L'eau se retrouve, sous ses trois formes dans l'atmosphère terrestre. Les eaux sont en constante circulation sur la terre et subissent des changements d'état. L'importance de ces modifications fait de l'eau le principal agent de transport d'éléments physiques, chimiques et biologiques. L'ensemble des processus de transformation et de transfert de l'eau forme le cycle

hydrologique. Les mécanismes des mouvements de l'eau dans la nature sont déterminés par l'énergie thermique solaire, la gravité, l'attraction solaire, l'attraction lunaire, la pression atmosphérique, les forces intermoléculaires, les réactions chimiques, nucléaires et les activités biologiques, et enfin les activités humaines. L'énergie thermique du soleil produit une circulation de l'air dans l'atmosphère, en raison du fait que la surface terrestre est réchauffée de façon inégale. La force de gravité est responsable des phénomènes de précipitations, de ruissellement, d'infiltration et de courant de convection. L'attraction solaire et lunaire est à l'origine des marées et des courants marins. Les différences de pression atmosphérique occasionnent les déplacements horizontaux de l'air. Les vents sont eux-mêmes responsables du mouvement des couches superficielles dans les lacs et les océans. Les forces intermoléculaires dans le sol provoquent les phénomènes capillaires ainsi que la viscosité et influencent donc la vitesse d'écoulement. L'eau est une des composantes de plusieurs réactions chimiques organiques ou inorganiques. Un autre type de transformation de l'eau est le processus physiologique qui se produit dans l'organisme animal. Finalement, l'homme intervient directement sur les processus de mouvement et de transformation de l'eau. Son action peut conduire à une meilleure gestion de sa plus précieuse ressource naturelle, mais elle peut aussi causer de nombreux problèmes, notamment en perturbant le cycle hydrologique, tant au niveau quantitatif que qualitatif (Musy et Higy, 2003).

II.2. Géologie de plein Hodna

II.2.1. contexte géologique

La région du M'sila est une zone qui contient une très grande variation de faciès et une tectonique complexe.

Les terrains qui forment la région sont essentiellement Mésozoïques (Secondaire). Le Paléozoïque (Primaire) est absent, le Trias et le Jurassique n'occupent que des surfaces réduites, alors que le Crétacé forme la majorité des affleurements en relief.

II.2.2 Litho stratigraphie

A) Le secondaire

- Le Trias : Dans la région de M'sila, les affleurements Triasiques sont assez nombreux. Ils sont composés de marnes, d'argiles, de gypses et de dolomies.

-Le Jurassique : Avec le Jurassique apparaissent les séries stratigraphiques normales les plus anciennes de la région, il est essentiellement carbonaté et son épaisseur est de l'ordre de trois cent cinquante mètre (350m). On remarque que pendant le Lias inférieur et moyen, le caractère marin de la sédimentation s'accroît, alors que la présence d'Oolithes, de Crinoïdes et d'une argile calcareuse traduit un milieu épicontinental.

Des changements interviennent au Lias supérieur, ils sont marqués par l'apparition de marnes.

-Le Crétacé : Le Crétacé affleure largement dans la région et on note la présence d'un Crétacé inférieur et d'un Crétacé supérieur.

1) Le Crétacé inférieur : Il est essentiellement carbonaté terrigène mais on note le développement de formations gréseuses avec d'importantes variations de faciès. Il n'affleure qu'aux noyaux et sur les flancs des anticlinaux au Nord et au Sud des monts du Hodna.

- Le Néocomien : Il englobe

- a) Le Berriasien : Qui débute par une formation marneuse, avec une intercalation de grès et de calcaire gréseux, puis se termine par une alternance argilo-gréseuse.

- b) Le Valanginien : Correspond à une succession de marnes grises et rouges, des grès à ripples et des calcaires grossiers gréseux.

- c) L'Hauterivien : Formé par des grès blanc, sur lesquels repose une barre de calcaire dolomitique de quatre-vingt mètre (80 m) d'épaisseur, puis vient une alternance de calcaire. De calcaire gréseux, de marnes et de grès. L'épaisseur de cet ensemble est de deux cent mètre (200m).

- Le Barrémien et Aptien : Représenté par des marnes grises avec une mince intercalation calcaire. L'Aptien inférieur est représenté par une grosse barre de calcaire dolomitique, alors que L'Aptien supérieur est constitué par une alternance de calcaire à Rudistes, de grès blanc à ripples marks, de calcaire à huitres et de marnes rouges. L'épaisseur de cet ensemble est de deux cent cinquante mètre (250m).

- L'Albien : L'Albien inférieur est constitué par des formations argilo-gréseuses et de dolomies alors que l'Albien supérieur se termine par une série calcaire-dolomitique.

En conclusion, on peut dire que le crétacé inférieur est caractérisé par de nombreuses oscillations de la mer. On y observe des sédiments continentaux (grès et argiles gréseuses) et marins (calcaires et dolomies). du début du crétacé inférieur (berriasien) jusqu'à l'aptien, les dépôts gréseux se sont généralisés et ont envahi toute la zone.

2) le crétacé supérieur : les formations du crétacé supérieur correspondent à un milieu néritique, tous les étages sont représentés et l'épaisseur des formations est importante.

a) le cénomanien : transgressif, surtout dans la partie orientale des monts du Hodna. Il est représenté par des marnes noirâtres et verdâtres, ayant deux à trois cent mètres (200 à 300m) d'épaisseur avec de minces lits de calcaire surmontés soit par une barre de calcaire, soit par des marno-calcaires, d'une dizaine de mètres d'épaisseur.

b) le turonien : représenté par des masses de calcaires compactes avec de rares intercalations marneuses. L'épaisseur est estimée à quatre cent mètres (400m).

c) le sénonien : dans la région le coniacien et santonien sont formés à la base par de marnes vertes, puis par une alternance irrégulière de marnes et de calcaires argileux, de trois cent soixante-dix mètres (370m) d'épaisseur. Le campanien est constitué de marnes vertes gypseuses avec de très rares intercalations de calcaires argileux et de nombreuses lumachelles. Son épaisseur est de six cent mètres (600m). Le maestrichtien est marneux à la base, puis calcaire à nette tendance récifale avec rudistes et polypiers. Il se termine par des marnes verdâtres gypseuses. L'épaisseur totale du sénonien est de mille trois cent quatre-vingt mètres (1380m). Ainsi, pendant le crétacé supérieur, la sédimentation marine persiste encore partout, dans la région du Hodna. Elle correspond, dans l'ensemble, à des calcaires, des marnocalcaires et des marnes.

b) *Le tertiaire*

a- eocène : les formations de l'eocène varient suivant les zones, l'eocène débute par des calcaires blancs à intercalations de marnes se terminant par un ensemble conglomératique. L'eocène est représenté par des grès rouges, des argiles variées viennent ensuite des calcaires et des conglomérats. Ils constituent les contreforts méridionaux des monts du Hodna.

b- Miocène : les séries continentales sont constituées d'une alternance d'argile sableuse, de grès, de sables, de graviers et de conglomérats.

c) le quaternaire

1) le quaternaire ancien : ce niveau comporte des conglomérats à gros blocs, des horizons à galets et feuillets d'encroûtement calcaires rouge orange.

2) le quaternaire moyen : il est représenté par de gros bancs de calcaires, de galets emballés dans une matrice de croûte calcaire gréseuse, des conglomérats et d'argiles à débris prismatique.

3) le quaternaire récent : au niveau du chatte el hodna, il est constitué par des limons, de couleur grise, avec des cristaux de gypse.

par contre, dans les dunes on trouve des sables fins, des argiles et du gypse. les galets sont localisés au pied des reliefs.

II.3. hydrogéologie de la région

La zone d'étude se situe au-dessus de la nappe du Hodna, mais notre zone d'étude est Spécifie par des aquifères superficiels et profonds et la majorité des forages de la région touchent les deux aquifères (forages mixtes).

L'aquifère superficiel est constitué principalement par la formation du quaternaire, par contre l'aquifère profond est formé majoritairement par la mio-pliocène.

La nappe superficielle est constituée par un niveau à galets mal consolidés attribués au soltanien mais qui pourraient correspondre à un ancien cône de déjection de l'oued M'sila.

L'épaisseur du niveau est de 10 à 20 m selon les régions. Ces galets supportent des sables argileux d'une dizaine de mètre d'épaisseur puis quelques mètres de limon Rharbiens. Ces formations au toit de la nappe superficielle, contribuent à mettre cette nappe très légèrement en charge dans la partie centrale du cône de déjection. Au sud, vers le chott, la nappe superficielle circule dans des formations quaternaires plus fines (limoneuses) et plus argileuses intercalées de niveaux de sable et de gravier discontinus. Cette zone constitue l'exutoire du système aquifère.

La nappe profonde en charge a la même extension géographique que la nappe superficielle. Elle est limitée, au Nord par les affleurements du troisième cycle miocène, à l'Est par la structure anticlinale du chott el Hammam qui s'ennoie vers le Sud-ouest.

La définition du matériel géologique qui contient la nappe, décrit à partir d'observation de surface et des coupes de forage. La seule formation continue susceptible de contenir la nappe profonde correspond au niveau du troisième cycle miocène qu'on trouve dans certains forages effectués, Les grés et les conglomérats du troisième cycle miocène forment une gouttière synclinale qui plonge progressivement vers le sud-ouest. Les conglomérats semblent plus épais aux extrémités nord-est et sud-ouest de l'axe anticlinal. Leur épaisseur augmente également du nord vers le sud puis tend à diminuer à nouveau. A l'aplomb de l'axe synclinal miocène, ces grés et conglomérats, ont une épaisseur de 250 m environs.

Au-dessus du miocène repose une série détritique, épaisse de 50 à 150 m, attribué au Plio- Quaternaire. Cette série est très hétérogène. Elle est constituée par des argiles intercalées de lentille de galets et de sable plus ou moins argileux. Bien que ces conglomérats aient toujours été considérés comme l'aquifère profond le plus important. Ces observations permettent de définir l'aquifère profond comme un système multicouche comprenant un faisceau de nappes liées à des horizons ayant de meilleures caractéristiques hydrodynamiques. Le mode d'alimentation de ces nappes va être régit par des phénomènes de drainance à travers des épontes semi-perméables.

Dans la zone à différence de charges positives entre les aquifères profondes et superficielles, cette drainance va avoir lieu à travers le mur des horizons privilégiés.

Des observations piézométriques et hydrochimiques suggèrent de faire de cette zone du sud de M'sila, une nappe libre bien individualisée, caractérisée par le fait qu'elle est en relation avec le réseau hydrographique.

II.3.1. caractéristique physique de la nappe profonde

Les données d'observation sur l'aquifère mixte sont peu nombreuses. Quelques isopièzes ont cependant été tracés sur la base de niveau piézométrique mesuré dans certains forages. On observe un écoulement de la nappe selon le sens Nord-sud pour la zone occidentale de la plaine El Hodna.

Le gradient hydraulique moyen est de 0,002 pour la première zone et de 0,008 pour la deuxième. Pour la zone orientale cette différence s'explique par l'existence de la structure anticlinale du chott el Hamman. On remarque enfin que les gradients sont sensiblement les même pour les nappes superficielle et profonde.

L'étude des différentes coupes de forages, montre qu'il est impossible de préciser les limites entre la nappe superficielle et la nappe profonde en charge sur la base des données géologiques. Les séries détritiques attribuées au plio- quaternaire auraient des épaisseurs variant entre 50 et 100 m et plus, dans les régions méridionales (selon les données de la géophysique). Ces observations permettent de définir la nappe superficielle par les caractères suivants :

a- les domaines des nappes superficielles et profondes ne peuvent être définis qu'en tenant compte des différences de charges existant entre les nappes.

b- l'hétérogénéité des séries se traduit par des axes d'écoulement préférentiels de la nappe superficielle. Il en résulte que la plus grande part du débit de la nappe circule à travers une section restreinte.

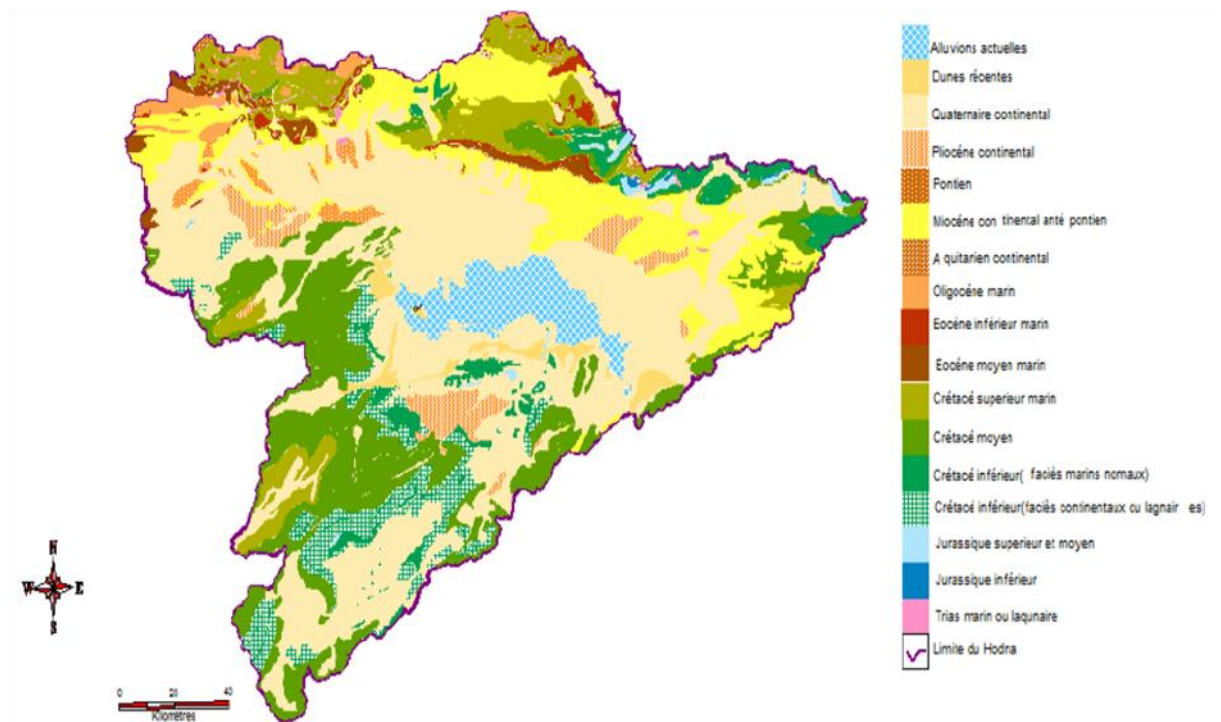


Fig. II.1. Géologie du bassin versant du Hodna [Adoui, 2013].

a-Le vent : C'est un facteur favorisant l'évaporation, il transporte les couches d'air saturées qui sont près des surfaces de l'eau ou des sols pour être remplacées par des couches d'air plus au moins sec.

Les vents dominant sont ceux de l'ouest et du nord-ouest, ils sont fréquent pendant la période hivernale, et relayés par les vents du sud (sirocco) pendant la saison estivale (juin, juillet, août) avec un nombre de jours variant entre 25 et 34 par ans (Bouthelja, 2005).

D'après les données des deux stations climatiques de l'Office Nationale de Météorologie, à Ghezel (M'sila) et à Bordj Bou Arreridj, c'est dans la période allant d'avril à août que les moyennes mensuelles sont les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 4,5 m/s à M'sila et 3m/s à BBA. Les écarts entre les vitesses moyennes mensuelles, en plus de la moyenne annuelle (4.32 et 2.95 m/s) à M'sila sont plus importants qu'à BBA (Grine, 2009).

b-Humidité : L'humidité de l'air joue un rôle dans l'évaporation. Plus l'air n'est

moins humide, il est apte à absorber de l'humidité supplémentaire. Le bassin du Hodna est

caractérisé par un climat méditerranéen semi-aride. Une pluviométrie d'automne, d'hiver et de printemps avec une fréquence d'averses printanières qui engendrent des crues violentes quelque fois accompagnées de grêle. Une sécheresse d'été marquée avec une irrégularité des précipitations dans l'espace et dans le temps (Bouthelja, 2005).

-La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm au Nord et de 200 mm au Sud.

-Les températures maximales moyennes oscillent entre 24°C et 27°C en plaine, 19°C et 21°C dans les hauts plateaux et dans les zones d'altitude.

-Les températures minimales moyennes varient entre 9°C et 12°C en plaine, 6°C et 9°C dans les zones d'altitude.

-L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après la formule de Turc varie entre 1085 et 1362 mm ; pour la majeure partie du bassin elle est de 1250 mm environ.

-L'évaporation moyenne annuelle mesurée à la station M'Sila (bac classe A américain) après sa correction pour l'évaporation sur de grande surface libre est de 2120 mm (Hedjazi, 2009).

c. Couvert végétal

Le 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 physico-géographiques de chaque bassin, des caractéristiques climatiques qui en découlent 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) (Bourenane, 2008).

d. Géologie

La géologie du Hodna est assez complexe en raison de la position de la cuvette au contact des atlas tellien et Saharien.

Le substratum géologique, outre son importance dans le façonnement du relief, joue un rôle essentiel dans la distribution des sols comme matériaux originaux des sols (roche mer).

Le bâti géologique du Hodna comporte des formations d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire. (Zeroual, 2016).

La description lithologique du Hodna est obtenue essentiellement des travaux de Savorin (1920) et d'Emberger (1964) où on distingue :

a-Le trias : dans les régions qui entourent la dépression du Hodna où les affleurements triasique sont assez nombreux mais n'apparaît qu'en certains points du bassin ; ils sont présentés principalement par des argiles, marnes et minéraux de néoformation, des lambeaux calcaires dolomiques, ainsi que des roches volcaniques.

b-Le jurassique et le carbonate : occupants des surfaces réduites du bassin.

c-Le crétacé : le crétacé inférieur présente une alternance de faciès marno-gréseux et argilogréseux de fortes épaisseurs. d- Le Paléocène : il présente en deux types de formation :

-Formation autochtone : représentées par l'éocène de faciès marnes et gypses à passées jaunâtre due à l'alter

II. 4.Les altitudes caractéristiques

II.4.1.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 et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente (Musy et Higy, 2003).

II.4.2.L'altitude moyenne : L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique.

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 oeuvre de modèles hydrologiques(Talatizi, 2014).

II.4.3.L'altitude médiane : L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. (Musy et al, 2004).

II.5.La 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 - donc sur le temps de concentration t_c - et influence directement le débit de pointe lors d'une averse (Musy et Higy, 2003).

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.

Cette méthode de calcul donne de bons résultats dans le cas d'un relief modéré et pour des courbes de niveau simples et uniformément espacées. Dans les autres cas, il convient de styliser les courbes de niveau pour que leur longueur totale ait un sens réel vis-à-vis de la pente.

Le calcul de la pente moyenne tout comme celui de leur exposition (orientation des pentes) peut-être assez facilement automatisée en se basant sur des données numériques représentant la topographie des bassins versants (Modèle Numérique d'Altitude). Le recours à ces données et méthodes est vivement encouragé.

II.6.L'indice de pente ip

Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent. Il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée.

La notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius, introduite par Roche (1963), permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement.

Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité) et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle (Talatizi,2014).

La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau (Talatizi,2014).

Si L et l représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, alors : Le périmètre du rectangle équivalent vaut : $P=2(L+l)$; la surface: $A=L.l$; le coefficient de compacité :

En combinant ces trois relations, on obtient :

$$\text{Si } KKG \geq 1,12$$

Le tracé des droites de niveau du rectangle équivalent découle directement de la répartition hypsométrique cumulée.

Conclusion

Ce chapitre veut exprimer ou bien veut montrer que la nature géologique de bassin Hodna est riche et diverse ce qui influe sur les eaux souterraines et sur leur composition.

Chapitre 3 :

Systeme d'information géographique

Introduction

La question de la disponibilité et d'accès à l'eau est sans aucun doute un des problèmes majeurs auquel devra faire face l'humanité durant le siècle à venir. Aujourd'hui on estime en effet qu'un habitant sur cinq de la planète n'a pas accès à l'eau en suffisance et un sur trois a une eau de qualité. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau". (Déclaration de Dublin, 1992). De fait, la compréhension et l'analyse du cycle de l'eau est la base de toute étude et réflexion au sujet de la gestion des eaux.

III.1.Définition du bassin versant

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

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. Les différents paramètres du bassin versant (forme, altitude, pente, relief...etc.) interviennent dans les différents écoulements (Laborde ,2009).

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire(Talatizi,2014).

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau, est donc défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de cette section. Il est entièrement caractérisé par son exutoire, à partir duquel nous pouvons tracer le point de départ et d'arrivée de la ligne de partage des eaux qui le délimite(Musy et Higy, 2003).

Généralement, la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête. On parle alors de bassin versant topographique. Toutefois, la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante. Lorsqu'un sol perméable

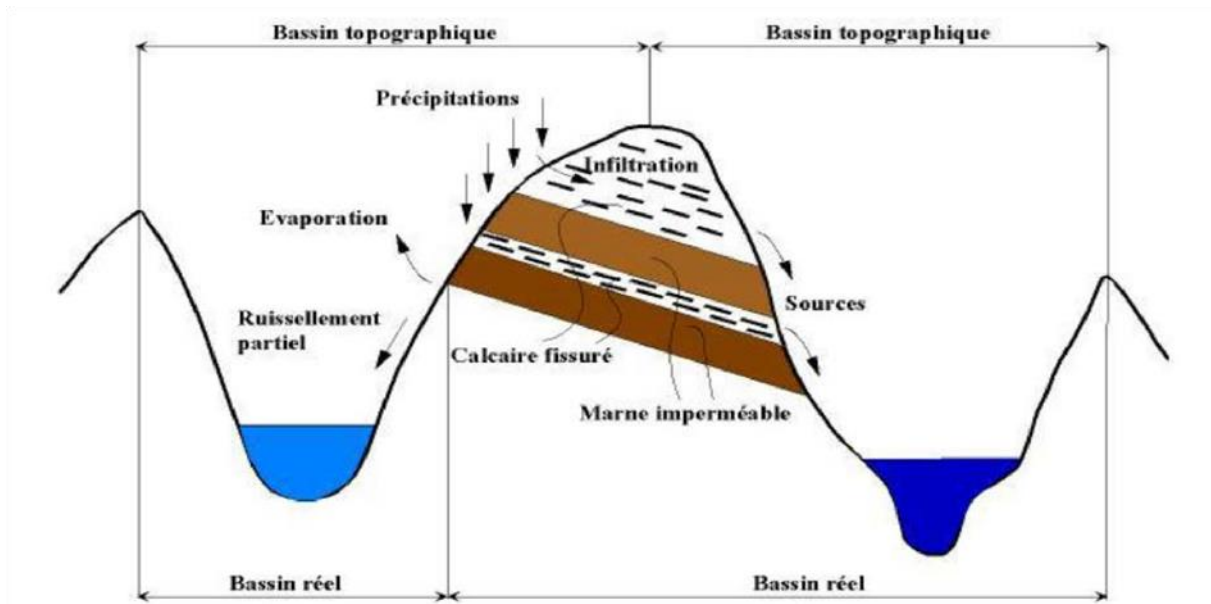


Fig. III.2. Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [Musy et al., 2004].

Cette différence entre bassins réel et topographique est tout particulièrement importante en région karstique. Lorsque l'on s'intéresse au ruissellement, la délimitation du bassin versant doit aussi tenir compte des barrières artificielles (routes, chemins de fer, etc.). En effet, l'hydrologie du bassin versant, et notamment la surface drainée, peuvent être modifiées par la présence d'apports latéraux artificiels (réseaux d'eaux usées ou potables, drainages, routes, pompages ou dérivations artificielles modifiant le bilan hydrologique). Il convient donc également de définir, en plus des délimitations topographiques, les limites souterraines de ce système. De plus, il est aussi nécessaire de tenir compte des effets anthropiques relatifs aux eaux du système (Talatizi, 2014).

III.2. Système d'information géographique

Le système d'information qui a recours à une base de données spatiales pour trouver une réponse à des requêtes de nature géographique au moyen de diverses manipulations, telles que le tri, la recherche sélective, le calcul, l'analyse spatiale et la modélisation. Il est connu par abréviation S.I.G (système d'information géographique) ou SIT (Systèmes d'Information du Territoire) et il définit :

-Le système d'information géographique (S.I.G) se définit comme étant un système d'acquisition, de gestion, d'analyse et de représentation des données. Il est spécifiquement conçu pour traiter des entités géographiquement référencées, c'est-à-dire dont on connaît les

coordonnées x {longitude}, y{latitude}, voire z{altitude} selon une projection donnée {Lambert, etc.} ;

- le S.I.G est une méthode d'enregistrement, de gestion et d'extraction d'information relative à l'environnement terrestre et ayant une forme structurée. Cette information est définie, entre autres, par ses paramètres de localisation spatiale permettant de la manipuler et de la cartographier de plusieurs manières (BONN, 1994).

Le terme de « système d'information à référence spatiale » (SIRS) a été proposé comme étant plus générique, il s'est notamment largement répandu au Canada. Mais, le terme « système d'information du territoire » (SIT) est généralement utilisé dans les domaines du cadastre et de l'aménagement du territoire (KNOEPFEL et al, 2005).

Qu'il soit dénommé SIG, SIRS ou SIT, le système d'information géographique est un ensemble organisé de matériels informatiques, de logiciels, de données géographiques et de personnels capables de saisir, stocker, mettre à jour, manipuler, analyser et présenter toutes formes d'informations géographiquement référencées.

Un système d'information est un objet artificiel greffé sur un objet naturel pouvant être une organisation. Il est conçu pour mémoriser un ensemble d'images de l'objet réel à différents moments de sa vie. Il constitue ainsi une extension de la mémoire humaine, qui amplifie la capacité de la mémorisation des acteurs et facilite leur prise de décision (CEMAGREF, 2000).

III.3. Historique du S.I.G

a. Période des précurseurs (années 60) :

-Développement "aléatoire" ;

-Travaux pionniers des laboratoires de calcul (USA principalement) (BELTRAN et GRISET, 2007) ;

-Applications pilotes (USA Bureau of the Census, militaires). b. Expérimentation (années 70) :

-Arrivée des unités graphiques, informatique des spécialistes ; -Apparition des premières compagnies de logiciels de S.I.G ; -ESRI 1969, Intergraph, Computer Vision, Synercom. c. Mise en œuvre (années 80) :

-Développement des applications ;

-Diffusion des outils (Ex :ArcInfo 1982) ;

-Essor de la recherche, mise en place des programmes d'enseignement ; -Emergence d'une communauté d'utilisateurs. d. Maturité (années 90) :

-Généralisation des applications et élargissement des thématiques ;

-Multiplication des outils, apparition du Desktop GIS ; -Apparition d'un marché commercial ; -S.I.G sur internet.

e. Diffusion (années 2000) :

-S.I.G Mobile (Geolocation based services); -Interopérabilité (RIEDO et CHETELAT, 2001).

III.4. Les composantes d'un SIG

Un Système d'Information Géographique est constitué de cinq composants majeurs(COLLET, 1994).

III.4.1.Matériel : Le traitement des données à l'aide des logiciels ne peut se faire sans ordinateur. Pour cela, les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs.

III.4.2.Logiciels : Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour l'exécution des 05 fonctionnalités des SIG : (Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage, Accès).

Les principaux composants d'un logiciel SIG sont :

- Outils de saisie et de manipulation des informations géographiques ;
- Système de Gestion de Base de Données ;

- Outils géographiques de requête, d'analyse et de visualisation ; - Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

III.4.3.Données : Les données sont la composante la plus importante des SIG (données graphiques spatiales, données alphanumériques...). Les données géographiques peuvent être, soit importées à partir de fichier, soit saisies manuellement par l'opérateur.

III.4.4.Le savoir-faire : Tous les éléments décrits précédemment ne peuvent prendre visans une connaissance technique de ces derniers. Un SIG fait appel à de divers savoir-faire, donc à des divers métiers qui peuvent être effectués par une ou plusieurs personnes. On retiendra notamment la nécessité d'avoir des compétences analyse des données et des processus, en traitement statistique, en sémiologie cartographique et en traitement graphique.

III.4.5.Les utilisateurs : Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui l'ont créé et le maintiennent jusqu'aux utilisateurs ordinaires.



*Fig. III.3.*schéma des composantes d'un SIG.

III.5. Les fonctionnalités du S.I.G

Le système d'information est défini par Burrough(BURROUGH, 1986) en fonction des opérations que permet cet outil informatique :

- La saisie (numération) des données ;
- Le stockage (base de données graphiques et attributaire) ;
- L'analyse (requête, modélisation, simulation) ;

-La sortie (production de cartes, tableaux et graphiques, exportation et transfert de fichiers). Le S.I.G offre cinq fonctionnalités, plus connues sous le terme des «5A » (Abstraction, Archivage, Analyse, Affichage et Acquisition) (DENEGRÉ et SALGE, 1996), (Fig. I.15).

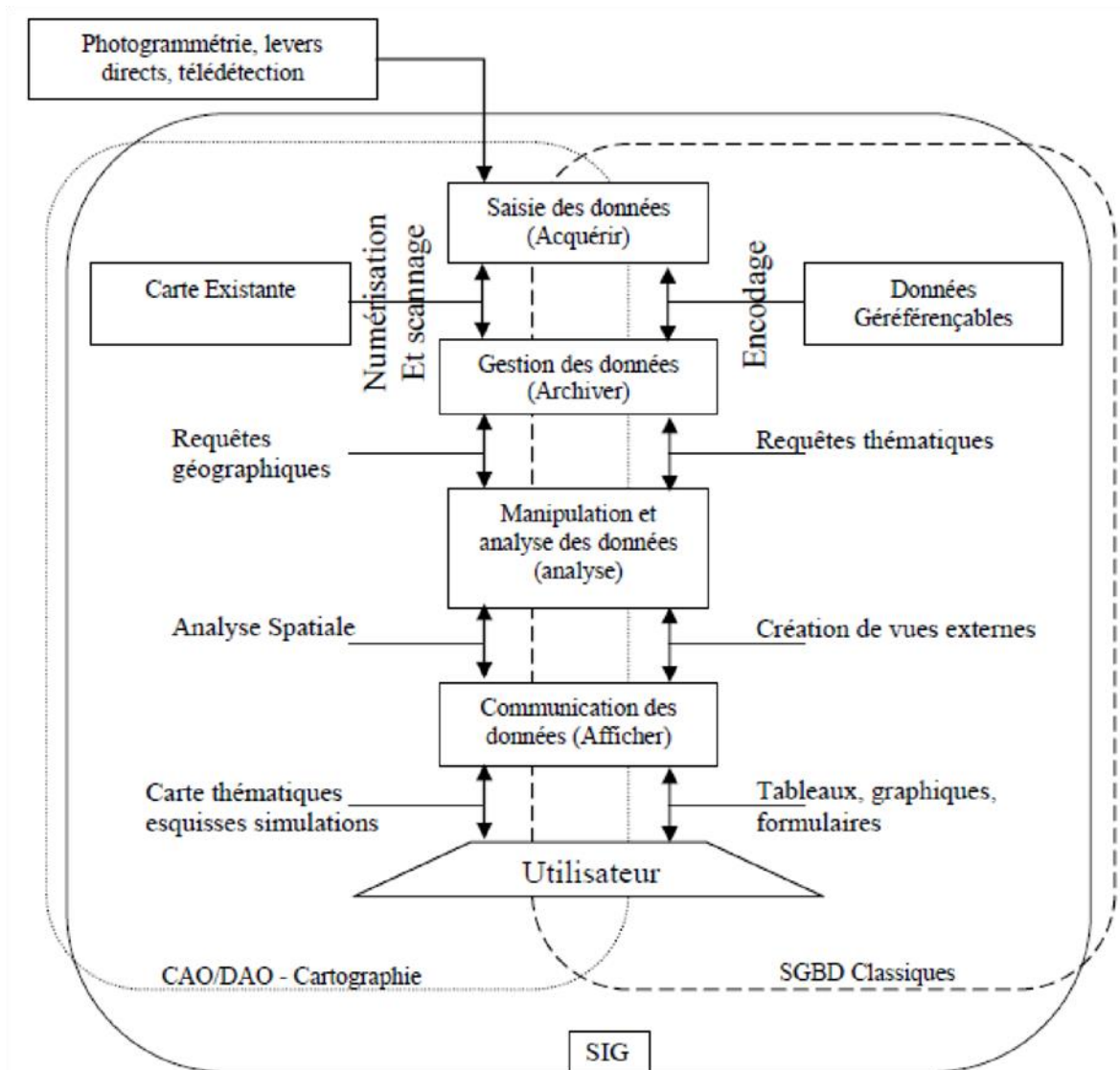


Fig. III.4. Les fonctionnalités du S.I.G [NOTTET, 2002].

Les fonctionnalités sont :

- L'acquisition des données localisées dans une base d'information géographique ;
- L'archivage des informations sous forme de plans thématiques, permettant un accès rapide ;
- L'accessibilité aisée à l'ensemble des informations par un affichage des couvertures ou par un accès direct aux fichiers informatiques ;
- L'analyse des informations par divers traitements spatiaux basés sur une ou plusieurs couches (s), et conduisant à produire une information inédite ;
- La valorisation des résultats sous différentes formes : tableaux, cartes et consultations à l'écran (AUGRIS, 2004).

III.6. Le rôle des SIG :

Le rôle du système d'information est de proposer une représentation plus ou moins réaliste de l'environnement spatial en se basant sur des primitives graphiques (vecteur) ou des maillages (raster). À ces primitives sont associées des informations qualitatives telles que la nature (route, voie ferrée, forêt, etc.) ou toute autre information contextuelle (HAMENNI, 2011).

*Acquisition, archivage, analyse, affichage, abstraction

*Organisation des données descriptives et des données géométriques (IAAT, 2003) :

*Acquérir revient à alimenter le SIG en données les fonctions d'acquisition consistent à entrer d'une part les formes des objets géographiques et d'autre part leurs attributs et relations :

*Archiver consiste à transférer les données de l'espace de travail vers l'espace d'archivage (disque dur). Cette fonction dépend de l'architecture du logiciel avec la présence intégrée ou non d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD);

*Analyser permet de répondre aux questions que l'on se pose ;

*Afficher pour produire des cartes de façon automatique, pour percevoir les relations spatiales entre les objets pour visualiser les données sur les écrans des ordinateurs;

*Abstraire revient à concevoir un modèle qui organise les données par composants géométriques et par attributs descriptifs ainsi qu'à établir des relations entre les objets.

III.7. Domaines d'application

Les domaines d'application des S.I.G sont aussi nombreux que variés (Fig. I.16.). Citons cependant :

-Les applications touchant l'environnement (météorologie, océanographie, changement climatique) ;

-L'aménagement du territoire (ex. urbanisme, agriculture de précision et sylviculture)

-La prospection (ex. pétrole, gaz) ;

- La prévention et la gestion des catastrophes naturelles ;
- La surveillance des traités (OCDE, 2004), (ex. environnement, désarmement (C3R)).

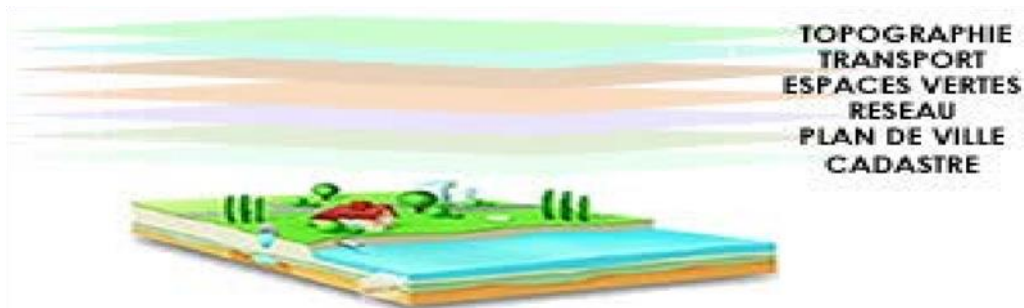


Fig.III.5. Domaines d'application du SIG.

I.3.15. Présentation des principaux logiciels de S.I.G I.3.15.1. Logiciels en mode vectoriel

-ArcGIS : Il est conçu par la société ESRI. ArcGIS 9x est constitué de différents éléments:

-ArcGIS Desktop : suite intégrée d'applications S.I.G professionnelles ;

-ArcGIS Engine : composants pouvant être incorporés par des développeurs afin de personnaliser des applications S.I.G;

-Applications S.I.G pour serveur : ArcSDE®, ArcIMS® et ArcGIS Server ;

-Applications S.I.G nomades : ArcPad®, ainsi qu'ArcGIS Desktop et ArcGIS Engine pour les tablettes PC.

ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées :ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcToolbox ainsi que Model Builder. Il est vendu sous trois niveaux incluant plus ou moins de fonctionnalités : ArcView, ArcEditor et ArcInfo.

-ArcMap : application centrale qui effectue toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse spatiale et la mise à jour ; -ArcCatalog : organisation et gestion des données ; -ArcToolBox et ModelBuilder : géotraitement ; -ArcGlobe : visualisation 3D dynamique.

L'une des suites logicielles les plus complètes du marché, ArcGIS propose également de nombreuses extensions tels que Spatial Analyst (module raster) et 3D Analyst.

- MapInfo : Mapinfo est un logiciel S.I.G qui présente une inter-opérabilité importante, en raison d'un convertisseur de formats intégrés. Sur le plan des fonctions disponibles, il est moins complet qu'ArcGIS mais s'avère toutefois suffisant pour de nombreuses applications. Afin de pouvoir effectuer des calculs raster, il est nécessaire de lui adjoindre le module additionnel Vertical Mapper.

- Géoconcept : Il est développé par une société française, ce logiciel se démarque de la majorité de ses concurrents en proposant une organisation basée sur un modèle "objet" et non sur une association table/entité.

- APIC : D'une conception française, ce logiciel fonctionne également en mode objet et il est particulièrement adapté pour la gestion des réseaux. Basé sur un langage de programmation en français, il est caractérisé par une adaptabilité élevée. Issu du monde UNIX, son application Windows est relativement austère, ce qui limite en partie sa diffusion.

- Geomedia : La suite logicielle Geomedia comprend une gamme importante de logiciels :

- GeoMedia Professional : digitalisation, analyse, présentation cartographique etc. ;

- GeoMedia Terrain : création et analyse de MNT ;

- GeoMedia Image : traitement d'images ;

- GeoMediaGrid : analyse de données raster ;

- GeoMedia : version allégée de GeoMediaProfessional ;

- GeoMediaWebMap : applications Web SIG;

- Ainsi que Image Station Stereo for GeoMedia, GeoMedia Fusion, GeoMedia Transaction Manager, GeoMedia VPF.

- StarGIS : La société belge « STAR Informatique » propose une gamme variée de logiciels SIG :

- STAR GIS est une plate-forme S.I.G bureautique conçue pour interroger et mettre à jour des

bases de données, produire des rapports, réaliser des analyses thématiques etc ; -STAR NeXt est une plate-forme S.I.G par Internet ; -WinSTAR est un S.I.G professionnel.

- Manifold : il est proche de MapInfo, ce logiciel est d'une diffusion actuellement anecdotique en France.

- Savane : Il s'agit d'une suite logicielle particulièrement complète. Ce logiciel souffre d'une interopérabilité très limitée et d'une architecture complexe, ce qui explique sa diffusion limitée au monde universitaire.

- Jump : c'est un logiciel S.I.G vectoriel gratuit, il intègre toutes les fonctionnalités de base nécessaires à la gestion d'un S.I.G de taille réduite.

I.3.14.2. Logiciels en mode RASTER

- IDRISI : est un S.I.G en mode image, ainsi qu'un système puissant de traitement d'images, développé par l'université américaine de Clark.

- SAGA : il s'agit d'un logiciel modulaire libre. SAGA propose de nombreuses potentialités, notamment en ce qui concerne l'analyse topographique.

- Grass : c'est un logiciel libre et très complet. Grass offre une interopérabilité importante et présente l'avantage de pouvoir fonctionner sous Linux.

- Visualiseurs : il est gratuit et il permet de lire un nombre très important de formats S.I.G propriétaires.

III.8. Modèles numériques d'altitude

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) 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 part tir d'un point exutoire donné, retrouver les contours d'un bassin versant, le réseau hydrographique, etc. La plus grande difficulté consistait à digitaliser le relief à partir de supports cartographiques.

(HAMENNI, 2011).

Le modèle numérique d'altitude (MNA) offre une représentation numérique du relief d'un territoire généré à partir de données altimétriques (altitude) et planimétriques (rectangulaires ou géographiques).

Un MNA peut être représenté sous différentes formes et suivant son exploitation (CharleuxDemargne, 2001). Les représentations les plus courantes sont les suivantes (Fig.I.17).

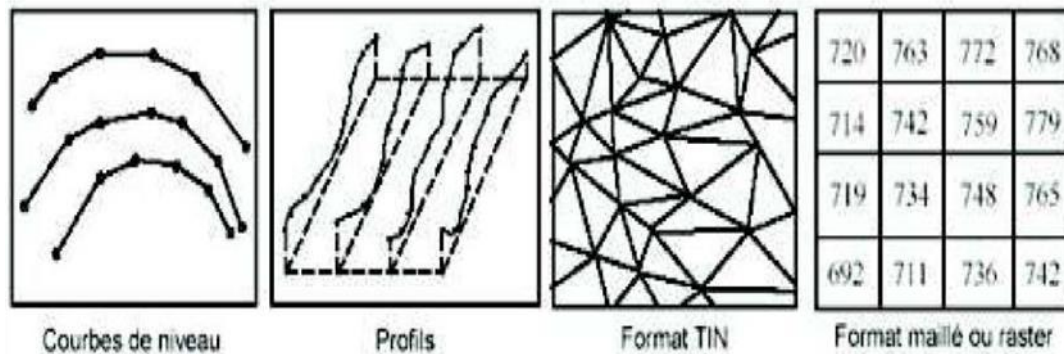


Fig.III.6. Les différents formats de MNT.

Une nouvelle approche est développée pour la représentation altimétrique fondée sur la

Triangulation de Delaunay(TIN), c'est-à-dire l'approche géométrique des MNT (ROGNANT, 2000). Le résultat n'est plus une grille régulière, mais un réseau de triangles irréguliers reliant un ensemble de points en nombre fini dont l'altitude est connue. Le MNA est calculé à partir de cet ensemble de points. Comme pour les MNA raster, ces points sont aussi ceux de construction des courbes de niveau. Contrairement au MNA raster, le TIN n'est interpolé qu'à partir des points existants. Il s'agit ici d'une tessellation irrégulière.

A partir de cette approche (TIN), il est possible de déterminer plusieurs attributs du modèle numérique d'altitude tels que des attributs topographiques (élévation, orientation, pente, surface, courbure) qui influencent diverses grandeurs intervenant directement dans les processus d'écoulement (ROCHE, 1963).

Etant donné, que nous disposons des courbes de niveau à l'échelle 1/50 000, la structure TIN (Triangular Irregular Network) est une adaptation du modèle vectoriel pour la représentation de la topographie (Gatre, 1991 ; Laurini et Thomson, 1992). Ainsi, grâce au SIG, nous avons pu obtenir le Modèle Numérique d'Altitude (MNA) de la zone d'étude et déduire les fichiers dérivés notamment carte hypsométrique, situation géographique, les cartes de

répartition spatiale, etc....à l'aide d'un SIG (ArcGis et GvSig).La projection utilisée dans cette étude est celle de coordonnées kilométriques Lambert. (HAMENNI, 2011).

Et en fin les cartes ont une place toute particulière au sein d'un SIG. Le processus de réalisation d'une carte avec un Système d'Information Géographique est beaucoup plus souple qu'une carte produite manuelle ou automatisée. Les informations existantes sur support papier peuvent être digitalisées et toutes les autres sources informatiques sont facilement intégrées au sein du SIG.

Le SIG offre 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 vues3D.

Aujourd'hui, le développement de techniques modernes d'acquisition et de mise à disposition d'informations digitales a rendu possible la représentation à la fois de la topographie du milieu par le biais de modèle numérique d'altitude (MNA) ainsi que la représentation de l'occupation des sols par le biais de photographies aériennes ou de données satellitaires. Ces informations servent de plus en plus à la description des caractéristiques physiques des bassins versants et à la cartographie numérique de leur couverture (HAMENNI, 2011).

Chapitre IV:
Évaluation du potentiel
des eaux souterraines par SIG

Introduction

Les eaux souterraines représentent une ressource alternative importante pour le développement des zones urbaines et rurales aux besoins en eau croissants. La demande en eau douce augmente en raison de différents facteurs tels que la croissance démographique, les activités agricoles irriguées et le changement climatique. Le changement climatique et la sécheresse, le potentiel des eaux de surface et le risque de pollution des eaux de surface causée par les activités humaines telles que l'agriculture et l'industrialisation nécessitent l'identification de ressources en eau alternatives. Étant moins polluées que les eaux de surface, les eaux souterraines sont une ressource essentielle précieuse. Les eaux souterraines sont également une source d'eau essentielle lors de pénuries en eau de surface, en particulier dans les régions au climat semi-aride comme le bassin du Hodhna et la majorité des bassins Algérien. Cependant, l'utilisation non planifiée des eaux souterraines perturbe l'équilibre naturel des aquifères. Une utilisation excessive des aquifères pourrait avoir des conséquences néfastes sur l'environnement, l'écologie et l'économie de la région. Pour cette raison, les zones de captages des eaux souterraines doivent être déterminées en mettant l'accent sur une gestion appropriée de l'eau. Bien qu'il soit toujours possible d'identifier le potentiel des eaux souterraines - en matière de rechargeabilité en eau - avec des puits de forage, cela n'est pas rentable dans des zones étendues.

Plusieurs techniques ont été adoptées par divers chercheurs qui ne nécessitent pas un travail de terrain, par exemple, le modèle d'arbre de décision, l'analyse en composantes principales (ACP) et la régression logistique. La plupart de ces méthodes sont basées sur des techniques statistiques multivariées.

En revanche, la méthode connue sous l'abréviation (AHP : Analytic hierarchy process ou Procédure hiérarchique d'analyse) est considérée comme une technique simple, efficace, transparente et fiable. La méthode AHP est facile à identifier de manière utile en intégrant les données du système d'information géographique (SIG) et de la télédétection (RS : remote sensing). Les paramètres qui gouvernent la recharge des eaux souterraines tels que les précipitations, la nature aquifère, l'utilisation des terres et le type de sol peuvent facilement être définis comme des données spatiales dans un environnement SIG. Ainsi, la méthode est très utile pour identifier les zones potentielles d'eaux souterraines et elle est bien adaptée pour l'identification utile des régions potentielles pour les eaux souterraines.

IV.1. La méthode AHP (Analytic hierarchy process : Procédure hiérarchique d'analyse)

L'AHP est une approche qui a été développée par Thomas L. Saaty au début des années 1980]. Il a été développé avec des critères planifiés selon une certaine étape, en évaluant les poids de ces critères, et en comparant les critères avec d'autres études similaires. Il est possible et préférable de déterminer les paramètres hydrologiques et hydrogéologiques qui influencent la formation des eaux souterraines et leurs effets sur la formation des eaux souterraines et de générer des cartes potentielles des eaux souterraines avec des techniques de prise de décision multicritères (MCDM) basées sur les SIG. L'analyse décisionnelle multicritère basée sur le SIG (MCDA) a été largement utilisée dans le domaine des ressources hydrologiques et en eau. Elle avait gagné en popularité au cours de la dernière décennie.

La plupart des études actuelles ont largement appliqué les techniques AHP-MCDM basées sur RS et les SIG pour l'évaluation des zones potentielles d'eaux souterraines (GWPZ :) qui donnent des résultats efficaces. Lorsque ces études ont été examinées, il a été constaté que l'utilisation des terres, la lithologie (LI), la précipitation (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), de densité de linéament (LD), de lithologie (LI) et de profondeur de la nappe phréatique (WTD) ont été utilisés dans presque toutes les études. Les valeurs de l'indice de potentiel des eaux souterraines (GWPI) des bassins ont été conditionnées en superposant tous les poids de ces critères avec les méthodes AHP. Ces valeurs GWPI ont ensuite été classées, et des cartes GWPZ de différentes régions du monde ont été créées. Cependant, les couches thématiques utilisées pour identifier les GWPZ diffèrent selon les études et les régions, et le choix des couches qualitatives est arbitraire. Dans presque toutes les études, les paramètres LU, Sol, GM, DD, SL ont été principalement utilisés. Dans notre travail nous nous sommes restreints notre paramètres aux paramètres 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 nous a été imposé par les délais de ce mémoire, et la disponibilité des données et des travaux précédents qui nous manquaient beaucoup.

IV.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 montagnes 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. 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 Melrhir ;

□ 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.

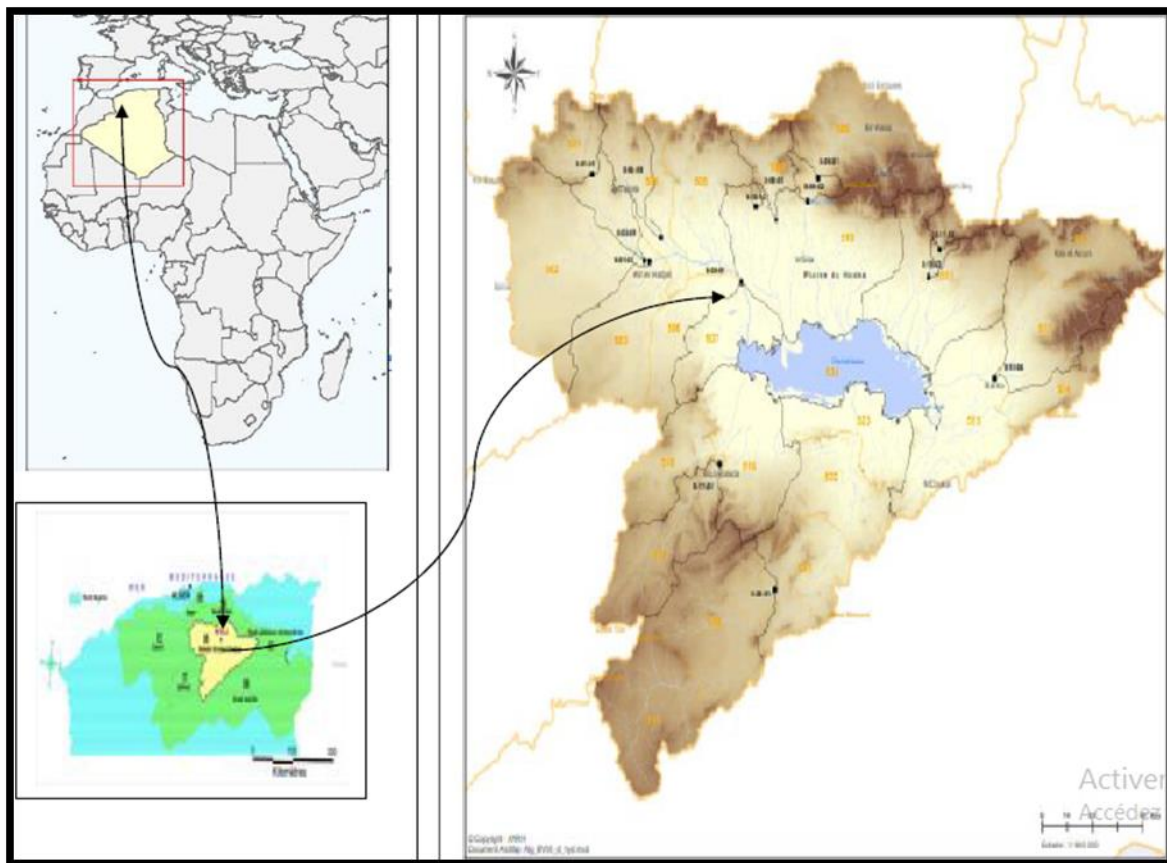


Figure IV.1 situation géographique du bassin versant Hodna

IV .3. Méthode

La combinaison SIG-MCDM 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 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 **Figure IV.2** .

Pour obtenir des cartes du potentiel des eaux souterraines de la zone de elhodhna, on a utilisé des cartes de modèle numérique de de résolution de 30 X 30 m obtenu du site earth.explorer. de NASA. (**Figure IV .3**). 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 (**Figure IV .3**) a été obtenue (**Figure IV .4**) ; 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 (**Figure IV .5**) dans la zone du bassin.

$$DD = L/A \dots\dots\dots (1)$$

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

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

i=1

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 (1980-2030), observés par les stations météorologiques de l'ANRH de M'sila répartie sur la région de elHodhna, ont été analysés par la méthode d'interpolation Spatial Analyst Inverse Distance Weighting IDW ; ensuite, des cartes de précipitations ont été formées. Les coordonnées de ces stations ont été tirées par google-earth.

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

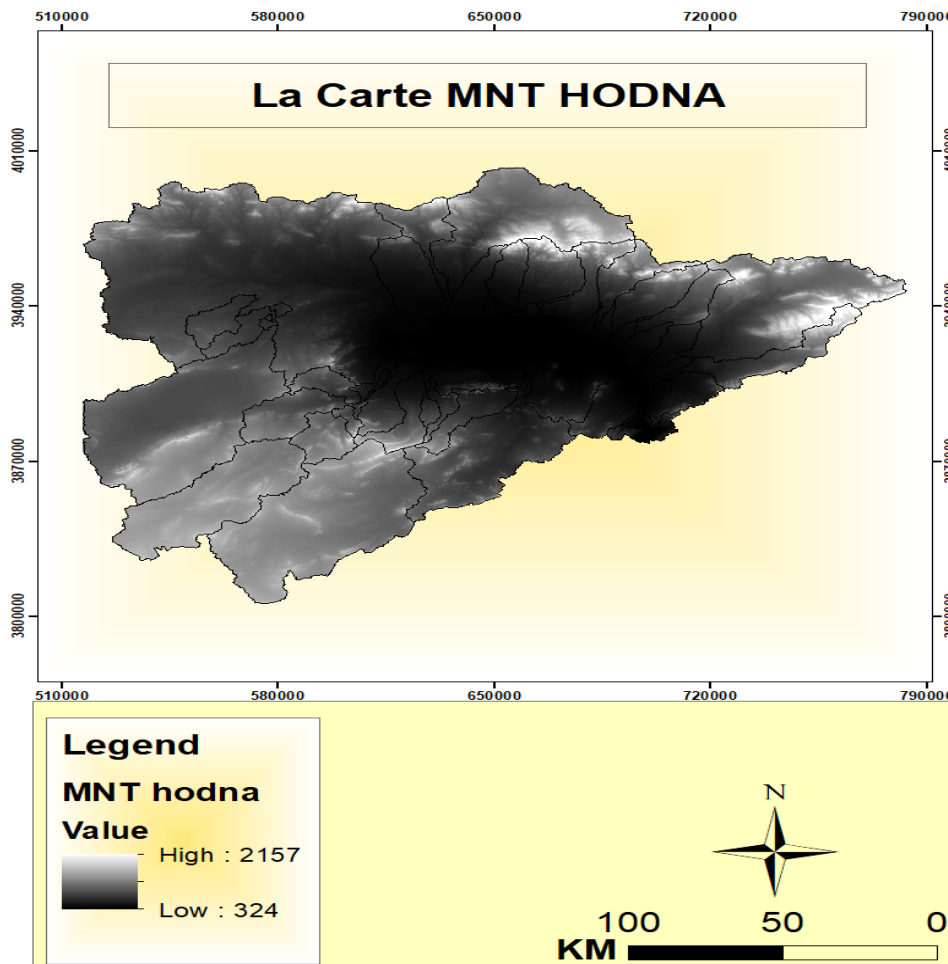


Figure IV .3. MNT B.V HODNA

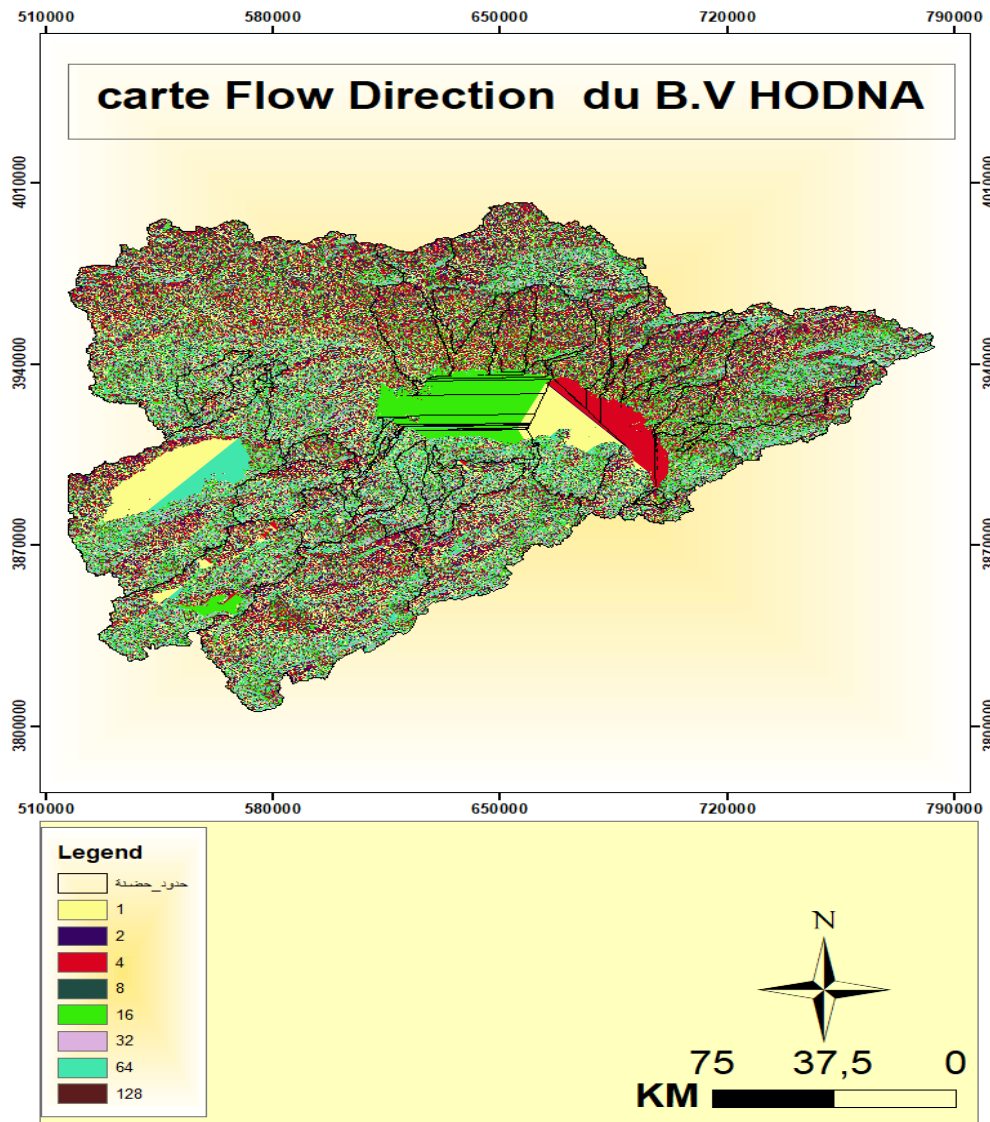


Figure IV .4: la carte flow direction du B.V Hodna

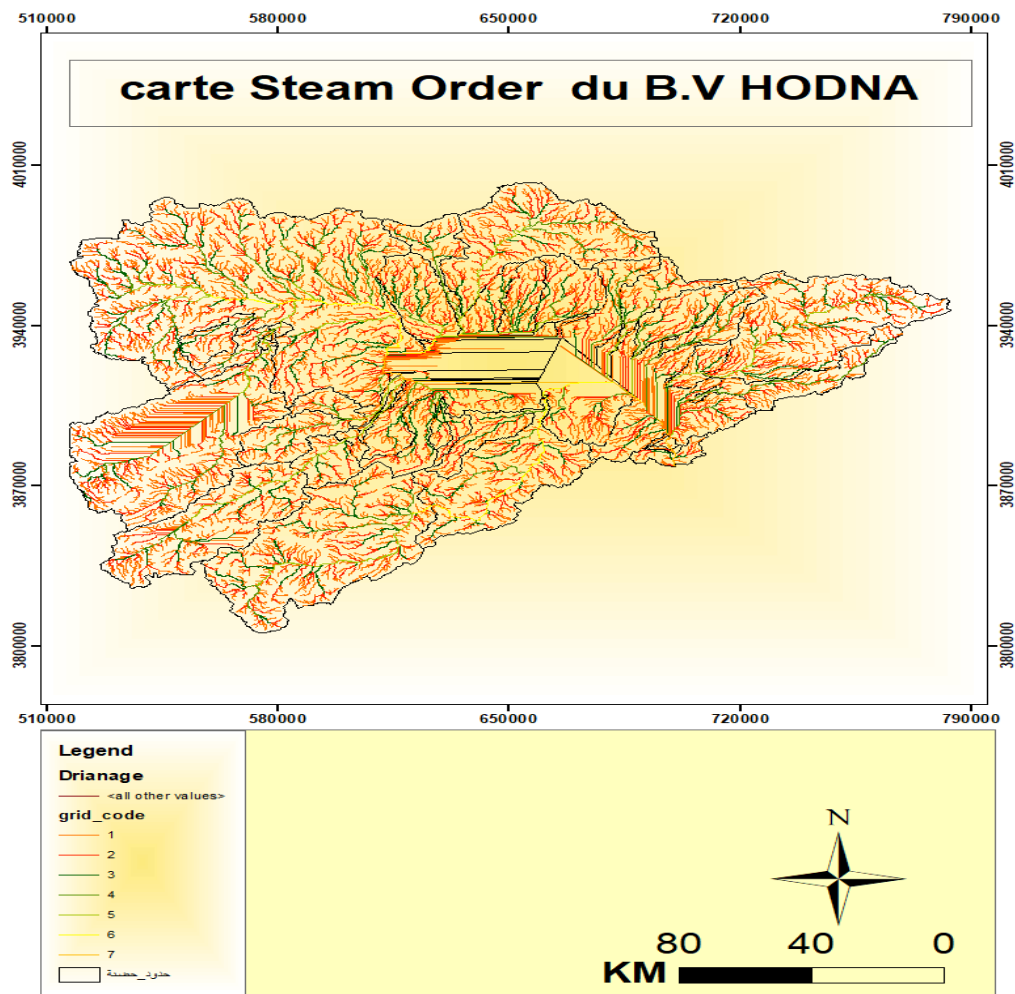


Figure.IV .5 : la carte stream ordre du B.V Hodna

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 MCDM 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 :

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

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 .

IV.4. Calcul par la Méthode AHP basée sur le SIG

L'AHP est l'une des méthodes MCDM 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 MCDM 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 :

$$\mathbf{P} = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

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

Étape 2. Calcul du poids normalisé :

$$W_n = GM_n / \sum_{n=1}^N GM_n$$

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

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

$$CR = CI / RCI$$

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

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1}$$

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

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n (PiW)n}{N.W}$$

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.

IV .5.Résultats et discussion

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 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**

	Den de lineament	Lithologie	La pente	Den de drainage	Précipitation	Type de sol
Den de lineament	1	0,71	0,58	0,71	0,56	0,71
Lithologie	1,40	1	0,78	1	0,78	1
La pente	1,80	0,71	1	1,29	1	1,29
Type de sol	1,80	1	0,49	1	0,78	1
Den de drainage	1,40	1,21	0,89	1,29	1	1,29
Précipitation	1,40	1	0,78	0,5	0,78	1

Tableau . 2 : La matrice de comparaison par paires du processus de hiérarchie analytique (AHP).

Parametres	Densité de linéament	Lithologie	La pente	Den de drainage	Précipitation	Type de sol	poids
Densité de linéament	1	0,89	1,8	1,29	1,29	1,29	0,20
Lithologie	1,124	1	1,8	1,29	1,29	1,29	0,20
La pente	0,556	0,556	1	0,71	0,71	0,71	0,11
Densité de drainage	0,775	0,775	1,408	1	1	1	0,16
Précipitation	0,775	0,775	1,408	1	1	1	0,16
Type de sol	0,775	0,775	1,408	1	1	1	0,16
Total							0,99

Tableau 3 : Matrice AHP normalisée

$\lambda_{max} = , CI = , RCI = , CR = 0.0 < 0.1$: acceptable.

$$Poids = \sum \frac{DL + LI + P + TS + Dd + Pr}{6}$$

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	Poids	Rank	Over all
Densité de lineament			
very high	20	5	95
High		4	76
Moderate		3	57
Low		2	38
very low		1	19
La pente			
0 1	11	5	50
1 2		4	40
2 3		3	30
3 5		2	20
>5		1	10
Den de drainage			
very high	16	1	6,4
High		2	12,8
Moderate		3	19,2
Low		4	25,6
very low		5	32
Précipitation			
very high	16	1	40
High		2	10
Moderate		3	30
Low		4	20
very low		5	50
Lithologie			
Cretaceous	20	1	48
Jurassic		2	36
marine sediments		3	24
Sabkhas		4	24
Triassic		5	24
Type de sol			
BK	16	1	25
I		2	53
LC		3	19
XH		4	31
XK		5	65
YH		6	46
YK		7	54
YY		8	39
ZG		9	27
ZO		10	27
ZT		11	27

Tableau 4 : Évaluation AHP résumée des sous-propriétés des paramètres.

IV.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 Sebkhha de chott elhodhna.

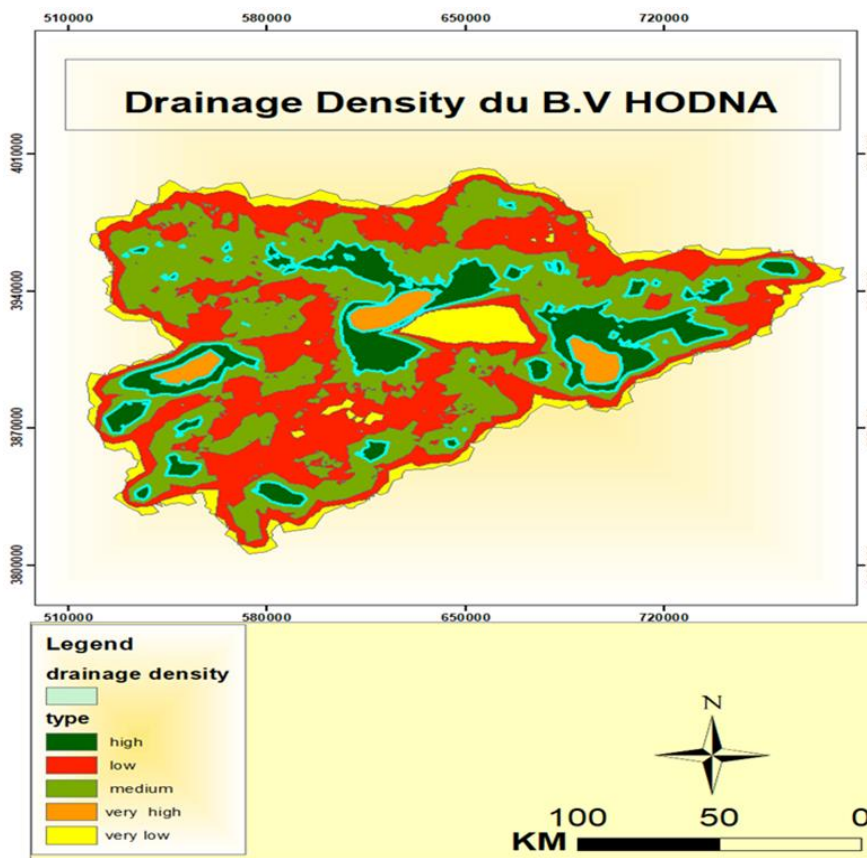


Figure.IV.6 :La carte de densité de drainage du B.V Hodna

IV.5.2. Lineament 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.

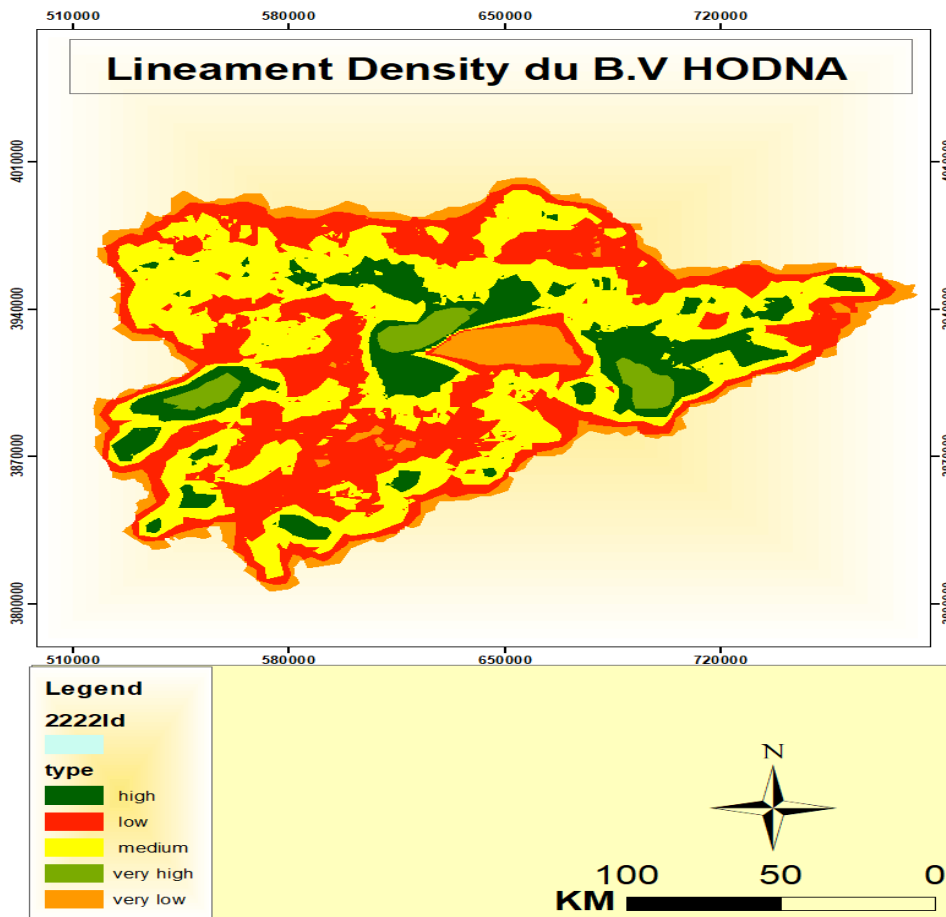


Figure.IV.7 : La carte densité de linéament du B.V Hodna

IV.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.

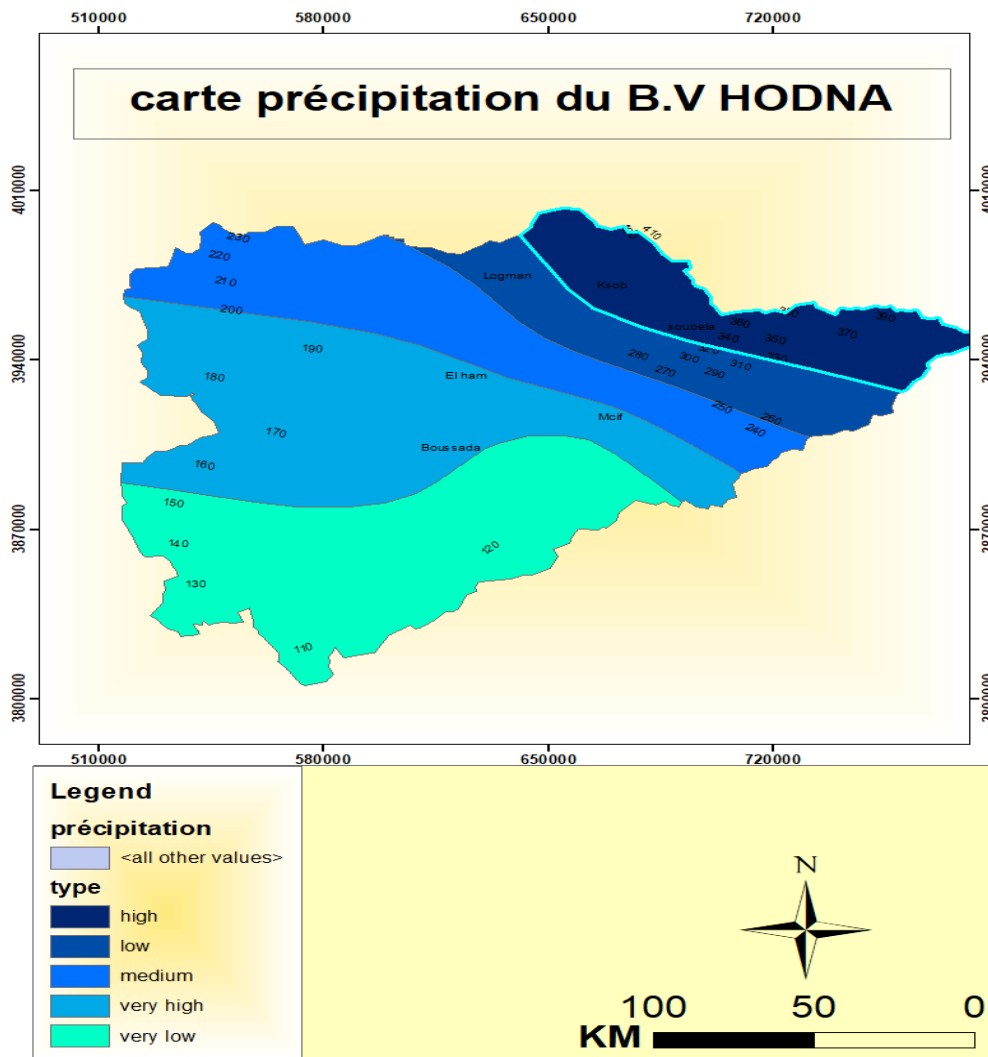


Figure.IV.8: la carte précipitation du B.V Hodna

IV.5.4.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.

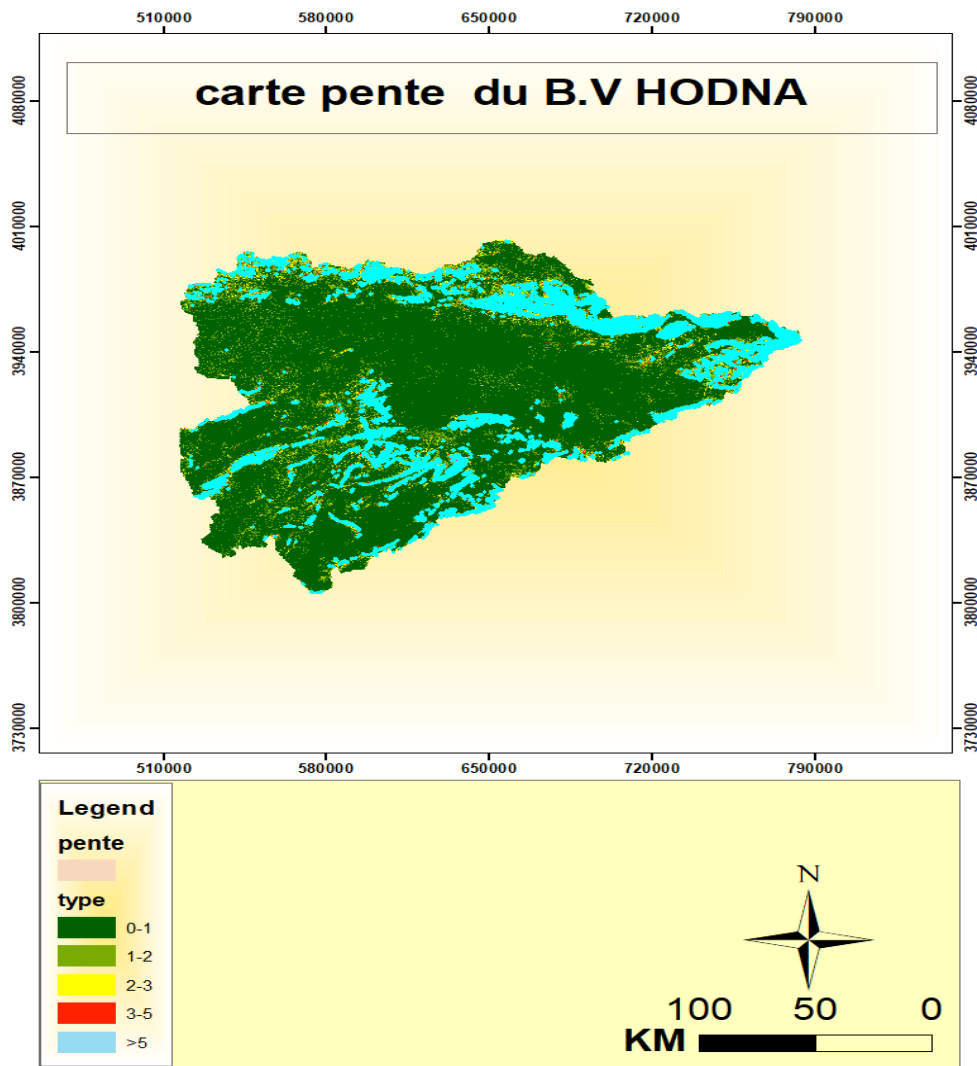


Figure.IV.9. la carte pente du B.V Hodna

IV.5.5 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.

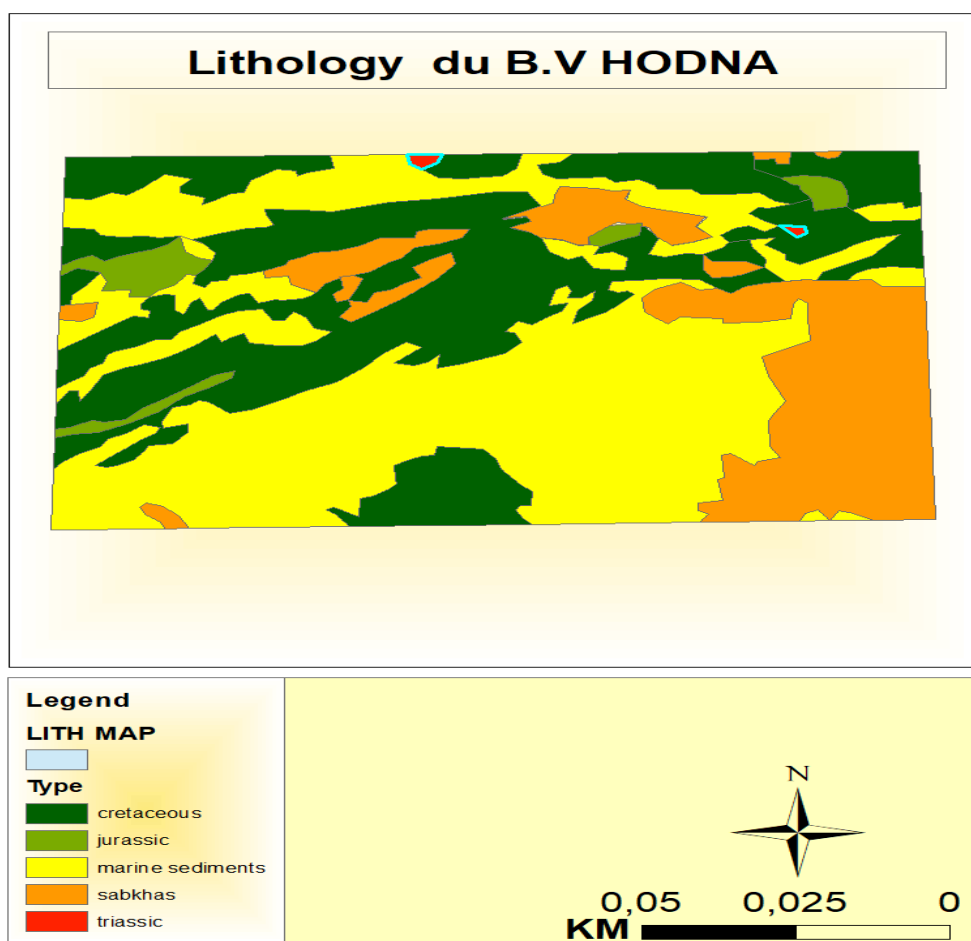


Figure.IV.10 . la carte lithologie du B.V Hodna

IV.5.6 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

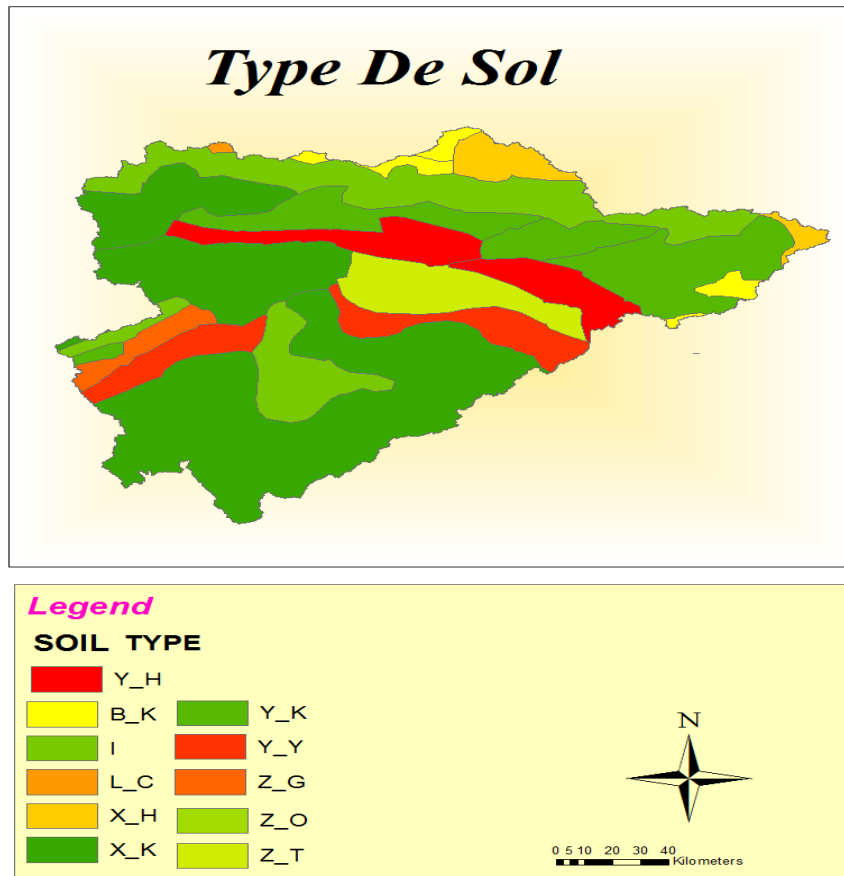


Figure.IV.11. la carte type de sol du B.V Hodna

IV.5.7 La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)

Le GWPI 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. GWPI varie pour une région Selon la diversité des caractéristiques qui constituent le potentiel des eaux souterraines, le plus souvent, facteur d'importance. Cette carte finale montre les zones de rejet d'eau douce avec des taux potentiels faibles, moyens et élevés. La carte GWPZ a été dérivée au moyen de la classification périodique GWPI, comme le montre la figure 5. En conséquence, Le tableau 4 résume l'évaluation de la GWPZ du bassin comme suit : très pauvre (30,82 km² ; 8%), pauvre (65,84 km² ; 16%), moyen (86,21km² ; 21%), bon (103,8 km² ; 25%), très bon (121,60 km² ; 30%). Comme indiqué, le poids maximum de l'aquarium est de 30% GWPZ modéré

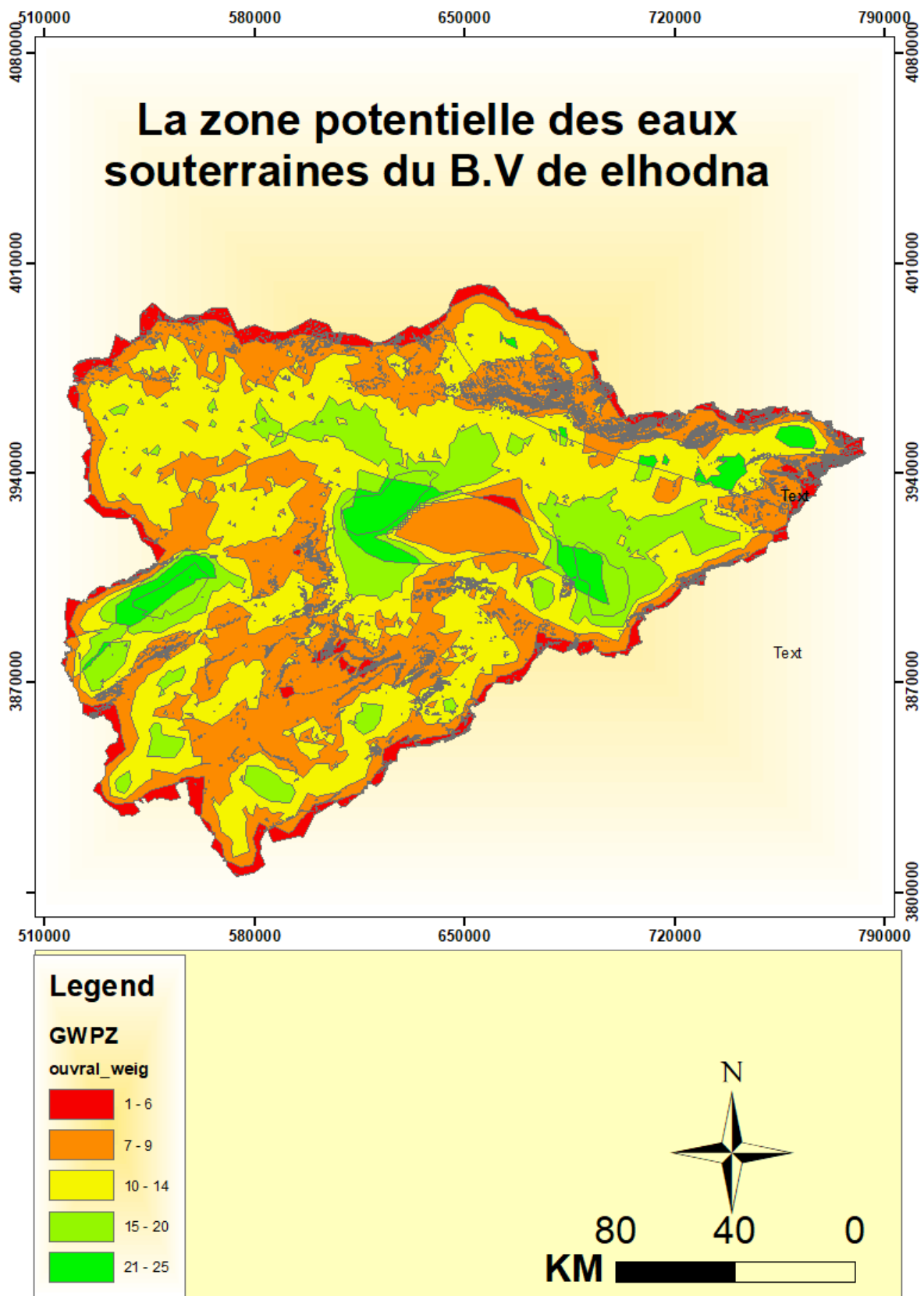


Figure.IV.12. La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ)

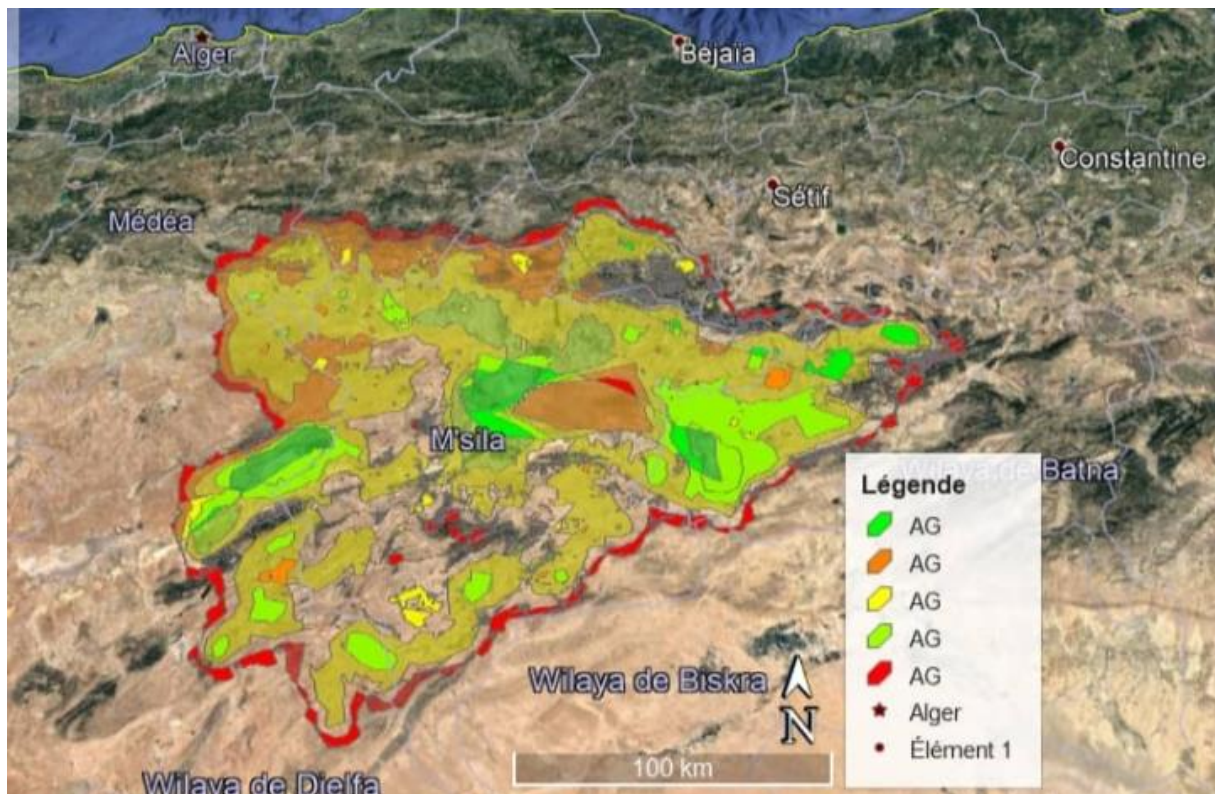


Figure.IV.12 : La zone potentielle des eaux souterraines (GWPZ) dans google earth

IV.6. Discussion

L'analyse décisionnelle multicritère 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 MCDM basée sur le SIG est une bonne alternative dans ce domaine de recherche. Les techniques MCDM sont utilisées très efficacement pour résoudre des problèmes dans divers domaines. Malgré les nombreuses méthodes utilisées dans les applications MCDM, 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 elhodhna 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.

Evaluation	km ²	%
Très pauvre	30.82	8
Pauvres	65.84	16
Modérer	86.21	21
Bien	103.72	25
Très bon	121.60	30

Tableau.5 : évaluation de la GWPZ du champ de drainage Hodna.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, le potentiel des eaux souterraines dans la zone du bassin versant d'elhodhna a été exploré en intégrant des outils d'analyse spatiale avec MCDM. La technique MCDM - AHP a été appliquée avec succès en considérant six variables (pente, linéaement, densité de drainage, type de sol, lithologie, précipitation). Soitn au total, six couches ont été utilisées dans le logiciel de SIG. À la suite de la superposition de ces cartes, les valeurs GWPI pour le bassin ont été extraites. Ces valeurs GWPI 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 finale 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 MCDM. 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.

REFERENCES

1. **Benedjeddou fatiha** :analyse et cartographie de l'érosion hydrique dans le bassin versant Hodna. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere:Hydraulique, Université de M'Sila.
2. **Titraoui ismail , Lamani okba**. caracterisation statistique de la qualité des eaux souterraines de plaine Hodna . Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere:Hydraulique, Université de M'Sila.
3. **Zeroual, S. (2016)**. Etude de la sensibilité du sous bassin versant de Ksob a l'érosion hydrique par une approche quantitative. Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de master .Filiere:Hydraulique, Université de M'Sila.123p
4. **(D.R.E).Direction des ressources en eau M'sila.(2021)**
5. **ANRH. (1993)**. Carte pluviométrique de l'Algérie du nord, à l'échelle 1: 500.000 et notice explicative. ANRH, Algérie.
6. **ANRH.(2018)**. Situation de bassin versant du Hodna dans L'ensemble des Bassins Versants Algériens(ANRH,2018).
7. Groundwater Potential zone Mapping in Arc GIS using Analytic Hierarchy Process (AHP) - Part 1-_M8UWnkz108
8. Groundwater Potential zone Mapping in Arc GIS using Analytic Hierarchy Process (AHP) - Part 2-aU4BYD9bhfM
9. Evaluation of Groundwater potential by GIS-Based Multicriteria decision making as a spatial prediction tool case study in the tigris river batman -hasankeyf sub-basin turkey