

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département Sciences de la Terre et de l'Univers



MÉMOIRE

Présenté par

BENKADDOUR Yassine & BENDAHOU Brahim

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

**APPORT DE LA TELEDETECTION ET SIG DANS L'IDENTIFICATION
DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DANS LA REGION DU
CHOTT GHARBI (WILAYA DE NAAMA)**

Soutenu le 10 /07/2021, devant le jury composé de :

Président	Mr BOUDJEMAA.A	M.C.A	Université de TLEMEN
Encadreur	Mr DERDOUR.A	M.C.A	C.Universitaire de Naâma
Examinatrice	Mme KERZABLS	M.C.B	Université de TLEMEN

Année universitaire 2020/2021

Avons-propos

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier tout d'abord Allah le Tout Puissant, pour tout ce qu'il nous a donné en termes de courage, volonté et patience.

Il nous est agréable d'adresser nos sincères remerciements à monsieur **Dr DERDOUR.A** qui nous a fait confiance pour le choix de ce sujet. Nous le remercions de nous avoir guidés pendant toute sa réalisation, pour toutes les connaissances dans le domaine qu'il nous a transmises, pour sa sagesse et sa bonté, qu'elle en soit remerciée.

Nos vifs remerciements vont également à **Mr BOUDJEMAA.A** pour qui nous avons une grande estime et pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury. Nos remerciements vont particulièrement à **Mme KERZABIS** pour avoir accepté de faire partie du jury et nous faire part de leurs critiques.

Nous adressons notre profonde reconnaissance à tout le personnel administratif du Département des Sciences de la Terre ainsi qu'aux enseignants qui ont participé à notre formation. Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'édification de ce mémoire de fin d'étude soient remerciés on particuliers les ingénieurs de **HCDS : Rachid, Khelifa et Ahmed** et aussi **les collègues de la DRE Naâma.**

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents

Mon épouse et ma fille Yakine.

Mes frères et sœurs, leurs enfants et leurs conjoints

Ma belle-famille et mon amis le plus sincère Adda

BENKADOUR Yassine.

C'est avec un grand plaisir et grande émotion que je dédie ce travail à :

Mes très chers parents.

Mon épouse et mes enfants et à ma belle-famille.

Mes frères et sœurs, leurs enfants et leurs conjoints

BENDAHOU Brahim.

Résumé

Les eaux souterraines sont une source essentielle d'eau douce dans les zones arides et semi-arides et elles contribuent à l'approvisionnement en eau à plusieurs fins. La région d'étude c'est le Chott Gharbi se situé dans le Nord-ouest de la wilaya de Naâma qui fait partie des hauts plateaux oranais, l'objectif consiste à identifier et découvrir les ressources en eaux souterraines disponibles et La connaissance de la répartition spatiale du nombre de point d'eau à l'aide de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) est l'un des outils rentables et plus puissants. La méthode du processus de hiérarchie Analytique (AHP) est utilisée pour cartographier les zones de potentiel des eaux souterraines qui ont le plus largement utilisé. Huit couches thématiques sont introduites dans la plateforme SIG: densité de drainage, précipitation, occupation du sol, géologie, pente, altitudes, piézométrie des niveaux statiques et la densité de linéaments Sur la base de l'effet relatif du contrôle de la productivité des eaux souterraines, les couches d'entrée ont été classées. Chaque facteur est classé en classes en fonction des propriétés hydrogéologiques. L'importance de chaque couche thématique et son poids sont discutés pour l'emplacement des zones de potentiel des eaux souterraines utilisant les conditions des eaux souterraines. Les résultats de la validation sont vérifiés que les zones de productivité des eaux souterraines reconnues par la méthode SIG (AHP) sont fiables et pratiques.

MOTS-CLES: Chott Gharbi, Naâma, Télédétection, système d'information géographique, AHP

Abstract

Groundwater is an essential source of fresh water in arid and semi-arid areas and contributes to the water supply for many purposes. The study region is Chott Gharbi located in the northwest of the wilaya of Naâma which is part of the Oran highlands, the objective is to identify and discover the available groundwater resources and knowledge of the Spatial distribution of the number of water point using remote sensing and geographic information system (GIS) is one of the cost-effective and more powerful tools. The Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used to map areas of groundwater potential that have been used the most widely. Eight thematic layers are introduced in the GIS platform: drainage density, precipitation, land cover, geology, slope, elevation, piezometry of static levels and lineament density Based on the relative effect of controlling the productivity of groundwater, the input layers have been classified. Each factor is classified into classes based on hydrogeological properties. The importance of each thematic layer and its weight are discussed for the location of areas of groundwater potential using groundwater conditions. The validation results are verified that the groundwater productivity zones recognized by the GIS method (AHP) are reliable and practical.

Keywords: Chott Gharbi, Naâma, Remote sensing, geographic information system, AHP

Table des matières	
Avons propos	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Liste des tableaux et figures	
Notation et abréviation	
1. Introduction	1
2. Présentation de la zone d'étude	3
2.1. Situation géographique	3
2.2. Aperçus géomorphologique	4
2.3. Synthèse climatique	4
2.4. Cadre géologique et aperçu structural	7
2.5. Hydrogéologie à l'échelle du bassin Chott Gharbi	10
2.6. Aperçu hydrologique	10
3. La télédétection appliquée à l'hydrogéologie	13
3.1. Données de la télédétection	13
3.2. Données satellitaires	16
4. Systèmes d'information géographiques (SIG)	16
4.1. Les fonctions d'un SIG	17
4.2. Les avantages d'un logiciel SIG	17
4.3. Le choix de Logiciel ArcGis	19
5. Matériels et méthodes	19
5.1. Extraction des données climatiques	20
5.2. Le modèle numérique du terrain MNT	21
5.3. Extraction et délimitation du Bassin	21
5.4. Extraction du réseau hydrographique	22
5.5. Altitudes	22
5.6. Géologie	22
5.7. Pente	23
5.8. Densité de linéament	23
5.9. Densité de drainage	23
5.10. Occupation des sols	23
5.11. Précipitations	24
5.12. Niveaux statiques des eaux souterraines	24
5.13. Le processus hiérarchique analytique (AHP)	24
5.14. Analyse de superposition (weithed-overlay)	24
6. Résultats et Discussions des cartes thématiques	25
6.1. Analyse des linéaments	25
6.2. La piézométrie	26
6.3. Carte Altitudes	27
6.4. Carte Géologie	28
6.5. Carte Pente	29
6.6. Carte Densité de linéament	30
6.7. Carte Densité de drainage	31
6.8. Carte Occupation de sols	32
6.9. Carte Précipitations	33

6.10. Niveaux statiques des eaux souterraines	34
6.11. Déterminer les poids et l'influence en utilisant l'AHP	35
6.12. Notes des couches thématiques classées	35
6.13. Carte de Validation	36
7. Conclusion	38
8. Références Bibliographiques	39
9. Annexe	42

Liste des tableaux	
Tab.1 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2000-2018)	4
Tab.2 : Caractéristiques morphométriques du bassin Chott Gharbi	12
Tab.3 : Processus de hiérarchie analytique (AHP)	35
Tab.4 : Zone potentielles d'eaux souterraines	35
Tab.5 : Données de validations des résultats	36
Liste des figures	
Fig.1 : Carte de Localisation du bassin Chott Gharbi	3
Fig.2 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausse, station de Kasdir	3
Fig.3 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	4
Fig.4 : la lithologie des forages exécutés dans le secteur d'étude (Azzoun.C et Reffes.W, 2018)	8
Fig.5 : Carte géologique modifié des hauts plateaux Ouest Algérien 1/500000	9
Fig.6 : Composition colorée des canaux 4.5.2	14
Fig.7 : Architecture générale de logiciel Arc Gis	14
Fig.8 : Organigramme de la méthodologie adoptée dans l'étude	19
Fig.9 : Modèle numériques du terrain MNT de la zone d'étude	22
Fig.10 : Carte Réseaux hydrographique	22
Fig.11 : Carte des Linéaments	25
Fig.12 : Localisation des forages d'eau	26
Fig.13 : Carte piézométrique	26
Fig.14 : Carte d'Altitudes	27
Fig.15 : Carte Géologique	28
Fig.16 : Carte des Pentes	29
Fig.17 : Carte Densité de Linéaments	30
Fig.18 : Carte Densité de Drainage	31
Fig.19 : Carte Occupation de Sol	32
Fig.20 : Carte de Précipitation	33
Fig.21 : Carte des Niveaux Statiques	34
Fig.22 : Carte de validation des zones de potentialités des eaux souterraines dans le bassin Chott Gharbi	37

Notation et abréviation

ANRH : Agence Nationale des ressources hydriques.

ADE : Algérienne des eaux.

DRE : Direction des ressources en eau wilaya de Naâma.

BHOCC : bassin Hydrographique Oranie Chott Chergui.

IDW : Inverse Distance Weighting.

SIG : Système d'Information Géographique.

DEM, MNT : Digital Elevation Model, le Modèle numérique de terrain.

AHP: Analytic Hierarchy Process, le Processus d'analyse hiérarchique.

TIN : les réseaux irréguliers de triangles.

ONM: Office National de la Météorologie.

1. Introduction :

En milieu aride à semi-aride, particulièrement dans les Hauts plateaux oranaises précisément dans la région du Chott Gharbi qui appartient dans le Nord-ouest de la wilaya de Naâma, les eaux souterraines sont fortement sollicitées pour les usages domestiques et dans d'autres activités de la vie courante, ne peut pas être directement vu sur la surface de la terre, c'est une ressource fluctuante difficile à mesurer dans le temps et l'espace (Lee, Kim, & Oh, 2012), la mauvaise connaissance de cette ressource, en raison de sa nature cachée et de sa présence dans des formations souterraines, est un grand obstacle à la gestion efficace de cette ressource importante (Nagarajan & Singh, 2009). Le terme potentiel des eaux souterraines désigne la quantité d'eau souterraine disponible dans une zone et est fonction de plusieurs facteurs hydrologiques et hydrogéologiques (Jha, Chowdary, & Chowdhury, 2010) L'évaluation de la zone potentielle d'eau souterraine pourrait aider au développement et à l'utilisation appropriée des ressources en eau souterraine pour éliminer la pénurie d'eau (N. S. Rao, 2006). La prévision du potentiel des eaux souterraines à l'aide d'une méthode standard est nécessaire pour la gestion des ressources en eaux souterraines, en particulier dans la région Chott Gharbi où les données sont rares, Les technologies modernes se sont avérées utiles pour l'étude des conditions géologiques, structurelles et géomorphologiques ainsi que pour les levés classiques, cette technique facilitent l'intégration et l'analyse de grands volumes de données, tandis que les études de terrain aident à valider l'avantage des résultats. L'intégration de système d'information géographique (SIG) avec des autres approches permet de mieux comprendre les caractéristiques contrôlant la présence d'eau souterraine dans les aquifères (Solomon & Quiel, 2006), À cet égard, la technique de système d'information géographique (SIG) ont récemment attiré l'attention de nombreux chercheurs (Nouayti, Khattach, & Hilali, 2017), c'est aussi un outil excellent et utile pour gérer une énorme quantité de données spatiales et peut être utilisé dans le processus de prise de décision dans un certain nombre de domaines tels que l'hydrologie et la gestion de l'environnement (Rahmati, Samani, Mahdavi, Pourghasemi, & Zeinivand, 2015).

Le processus d'hierarchie analytique (AHP) de Saaty est une technique largement utilisée dans le domaine de l'ingénierie des ressources en eau, La méthode a été développée par le professeur Thomas L. Saaty dans les années 1977. Depuis lors, la méthode a reçu de nombreuses applications dans les ressources naturelles, et la planification et la gestion de l'environnement (Machiwal, Jha, & Mal, 2011), l'AHP a été acceptée par la communauté scientifique internationale comme un outil très utile pour traiter des problèmes de décision complexes. Son innovation majeure a été l'introduction de comparaisons par paires. Il a été constaté que lorsque les évaluations quantitatives ne sont pas disponibles, les humains sont encore capables de reconnaître si un critère est plus important qu'un autre. L'AHP utilise une méthode cohérente pour convertir ces comparaisons par paire en un ensemble de nombres représentant la priorité relative de chaque critère (T. Saaty, 1980). La technique de comparaison par paire représente une approche théoriquement fondée pour calculer des poids représentant l'importance relative des critères. Les pondérations ne sont pas attribuées directement, mais représentent un ensemble de poids « meilleur ajustement » dérivé du vecteur propre de la matrice réciproque carrée utilisée pour comparer toutes les paires possibles de critères (Eastman, 2003), (Chenini, Mammou, & El May, 2010) ont montré que l'analyse multicritère basée sur le SIG a une bonne fonctionnalité pour cartographier la zone de recharge des eaux souterraines, Comme on peut le voir dans la littérature susmentionnée, les méthodes SIG et AHP ont été largement jumelées et

utilisées dans l'évaluation du potentiel des eaux souterraines.

Les objectifs typiques de la présente étude sont:

- Elaborer des cartes thématiques du bassin Chott Gharbi ; densité de drainage, précipitation, occupation du sol, géologie, pente, altitude, piézométrie des niveaux statiques et la densité de linéaments.
- Identifier et délimiter les zones potentielles d'eau souterraine grâce à l'intégration de diverses cartes thématiques dans diverses plateformes SIG.
- La mise en valeur l'apport de la télédétection et des SIG dans le domaine de la recherche hydrogéologique à travers le cas de la région du Chott Gharbi.

2. Présentation de la zone d'étude :

2.1. Situation Géographique :

Le bassin du chott Gharbi est situé dans le nord –Ouest de la wilaya de Naâma, au sud de Tlemcen et s'étend sur une superficie d'environ **11784 km²** qui représente **1/3** de la wilaya.

Il est limité au nord par les monts de Tlemcen (Djebel Sid Abed 1540 m et Mekaidou 1456 m), à l'ouest par les monts du Tendirara 1679 m au Maroc, au sud par les monts de Ksour ; djebels Gaaloul 1612 m, et Guetoub El Hamara 1594 m, à l'Est par le chott Chergui. C'est un bassin transfrontalier qui fait environ **75.56%** en Algérie et **24.46%** au Maroc.

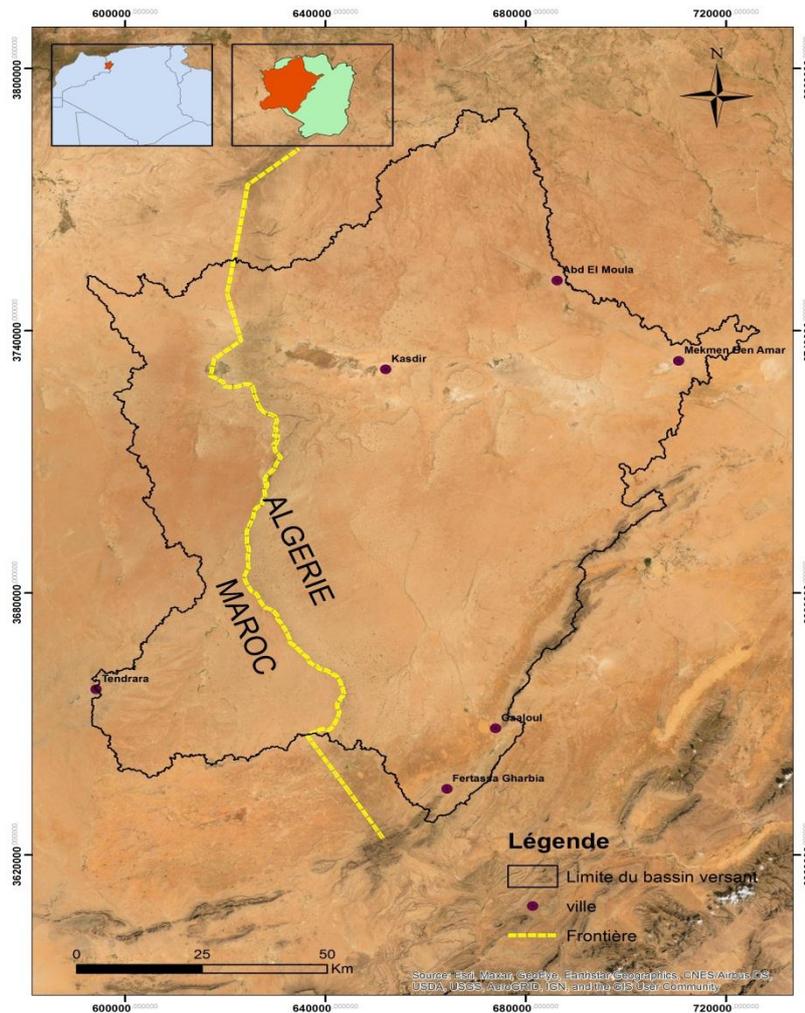


Fig.1: Carte de Localisation du bassin Chott Gharbi.

2.2. Aperçus géomorphologique :

Les chotts sont des dépressions peu profondes situées dans les hauts plateaux et le bas-Sahara, aux bords taillés à pic, à peu près à sec en été, couvertes d'eau saumâtres ou salée en hiver ; cette eau s'évaporant en saison sèche, la salure devient extrême, et finalement il se dépose le sel et du gypse.

Le chott Gharbi, le plus occidental de tous, est une dépression grossièrement rectangulaire, orientée OSO-ENE, entre la chaîne Sidi Abed et l'Antar Guettar de Mécheria. Il occupe ainsi obliquement la région des hauts plateaux comprise entre ces deux chaînes et draine toutes les eaux qui descendent des reliefs situés au Nord et au Sud long de 90 km et large de 15 km en moyenne, il est situé à l'altitude de 1050 m dans l'ouest et de 1090 m. Ses bords sont à une trentaine de mètres en moyenne au-dessus de son fond. Le Chott Gharbi est essentiellement une cuvette d'érosion hydro éolienne comme le sont, plus à l'Est, le chott chergui et les Zahrez, dont les altitudes de plus en plus

basses (980m, 875 m et 840 m) aboutissant au Hodna (400m) jalonnant une série de gauchissements négatifs, comme dit F.Rey, dans lesquels alternent des arrachements violents pendant les périodes de pluies, accompagnés d'accumulations dans le centre de la région déprimée, et des recreusements. Pendant les périodes sèches et venteuses, d'où la formation de cuvettes sous profondeur et pratiquement planes avec lagunes d'évaporation(Russo, 1947).

2.3. Synthèse climatique :

Nous avons travaillé sur le site WorldClim version 1.4. Les données peuvent être utilisées pour la cartographie et la modélisation spatiale et sont fournies à des fins de recherche et d'activités connexes; et certaines compétences et connaissances spécialisées sont nécessaires pour les utiliser on a choisi une station près de Kasdir dans le centre du Chott Gharbi sur les coordonnées :

Lat: 33° 47' 28'' **Long:** 1° 10' 37.16''

On a téléchargé une série de précipitations et températures de (2000 -2018).

L'étude du climat est basée sur deux méthodes:

- **Méthodes graphiques** (courbe de BAGNOULS et GAUSSEN) : déterminent les périodes sèches et humides.
- **Indices climatiques** : caractérisent le type du climat de la région.

2.3.2. Méthode graphique :

a- Diagramme Pluvio-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN:

Le diagramme ombro-thermique de GAUSSEN et BAGNOULS est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées, à gauche les précipitations (P) et les en ordonnées à droite, les températures (T), avec $P=2T$.

- Si la courbe des températures passe au-dessus des précipitations, la période est dite sèche.
- Si la courbe des températures passe au-dessous des précipitations, la période est dite humide.

Les valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles sont présentés dans le tableau suivant :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Ju	Ao
P (mm)	31,13	33,1	38,55	22,7	26,04	19,92	25,77	24,62	27,3	13,03	4,58	12,66
T (C°)	22,25	17,12	10,06	6,42	5,49	6,83	10,47	14,13	18,54	23,89	28,22	27,46

Tab.1 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2000-2018)

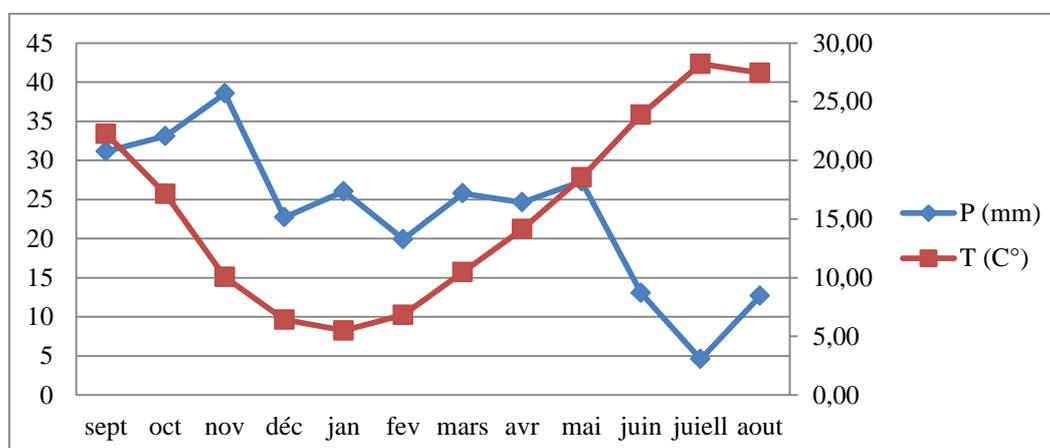


Fig.2 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен, station de Kasdir (2000-2018)

Le Diagramme Ombrothermique (**fig.2**), Montre que la région d'étude a connu une période humide dans le début de l'année hydrologique et par la suite elle devienne sèche dans l'été.

2.3.3. Indices climatiques:

2.3.3.1. L'indice d'aridité de De Martonne :

a- Indice d'aridité annuel (I) : Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes annuelles en (mm) et la température moyenne annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = P/T + 10$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Températures moyennes annuelles (°C).

I Type du climat :

$I > 20$	climat tempéré
$10 < I < 20$	climat semi-aride
$5 < I < 10$	climat désertique
$I < 5$	climat hyper-aride

Pour la station de **Kasdir**:

$P = 279.4$ mm.

$T = 15.9$ °C.

L'indice d'aridité de De Martonne donne : **$I = 10.78$**

I est entre l'intervalle $10 < I < 20$, donc le climat de la région de Kasdir est **semi-aride**.

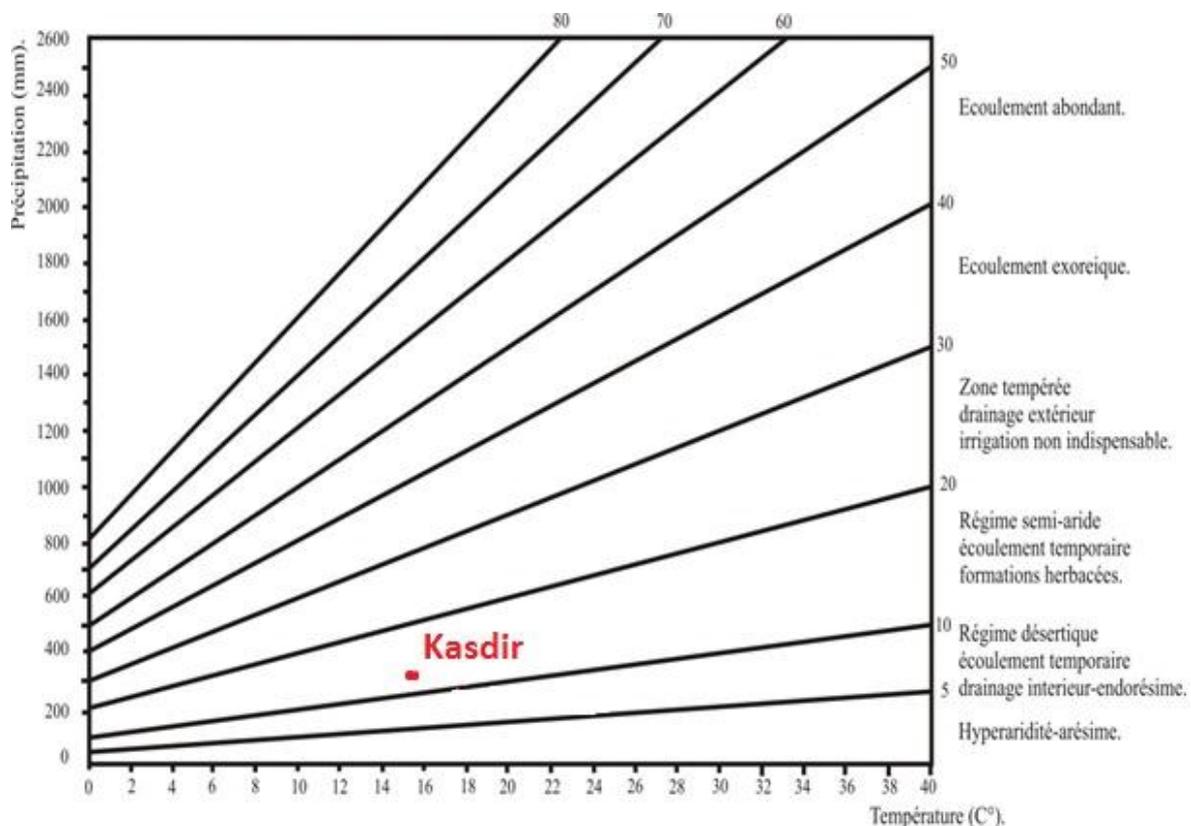


Fig.3 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

La représentation de la station de Kasdir sur l'abaque de Martonne, montre que le climat qui caractérise notre zone d'étude appartient au **régime *Semi-aride écoulement temporaire formations herbacées***.

b-Indice de Moral (Ia) :

a- L'indice annuel de Moral : en 1964, Moral a proposé cet indice pour classer les Climats, il est donné par la formule suivante: **$I(a)=P/T^2-10T+200$**

Avec:

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

- Si **$I(a) < 1$** : le climat est **sec**.

- Si **$I(a) > 1$** : le climat est **humide**.

$I(a)=0.95$ $I(a)<1$: donc le climat de la zone d'étude est **sec**.

2.3.3 Conclusion

A partir de la synthèse climatique de la station de Kasdir sur la période allant de 2000 à 2018, nous avons abouti aux résultats suivants :

- Une moyenne annuelle de précipitation de 279.4mm,
- Une moyenne annuelle des températures de 16°C, et Juillet le mois le plus chaud avec une moyenne de 28.22°C
- A l'échelle saisonnière l'étude des précipitations montrent que l'automne et le printemps sont les saisons les plus humides et l'été correspond à la saison la plus sèche
- La méthode des courbes pluviothermiques nous a permis de définir une période relativement sèche pendant l'année.
- Les indices de Moral et de Marton permettent de préciser qu'il s'agit d'un régime : *Semi-aride écoulement temporaire formations herbacées avec un climat sec*.

2.4. Cadre géologique et aperçu structural :

Les haut-plateaux occidentaux font partie des « avant-pays atlasiques ». Ce terme à une signification régionale, il englobe la zone des chotts et la partie septentrionale de l'Atlas saharien (Marok, 1996). Les hautes plaines oranaises sont représentées par trois grands ensembles géologiques, du Nord vers le Sud :(Fig.5)

1- L'avant-pays occidental (domaine Tlemcenien) qui comprend, les chainons (Les Monts de Tlemcen, Monts de Daïa, Monts de Saida et Monts de Tiaret).

2- Domaine pré-atlasique.

3- L'Atlas Saharien, avec les premiers chainons dans la région de Mécheria. La géologie des hauts-plateaux occidentaux est représentée par des formations qui débutent du Mésozoïque jusqu'au Quaternaire.

La région est constituée de terrains continentaux épais allant du Secondaire au Quaternaire et reposant sur un socle hercynien. Les domaines qui bordent Chott el Gharbi au nord, sont le flanc sud des Monts de Tlemcen et de Daïa, à savoir les Hautes Plaines, et au sud l'extrémité occidentale de l'Atlas Saharien représentée par les Monts des Ksours.(MAHAMMED, 2012)

2.4.1. Stratigraphie :

Les formations géologiques qui constituent les Monts situent au Nord et au Sud des Hautes Plaines Oranaises (Monts de Tlemcen et Ksours) sont essentiellement d'âge secondaire. Le centre du bassin est constitué par un remplissage du Tertiaire continental. La succession litho stratigraphique observée :

2.4.1.1. Le Trias :

Dans le centre du bassin, le Trias se présente sous forme d'auréole assez localisées qu'on peut observer à l'affleurement à la pointe NE du Djebel Sidi El Abed entre Magoura et El Bordj à l'Ouest d'El Aricha. Il est constitué par des argiles salifères et gypsifères de couleur rouge ou lie de vin. Dans les Monts des Ksour au pied du Djebel Khemakhem, au Sud-est de Naâma, les diapirs triasiques argileux et gypseux, renfermant des roches éruptives, vertes ophitiques.

2.4.1.2. Le Lias inférieur :

A été rencontré uniquement sur les Monts Tlemcen et de Daïa. Il est constitué de calcaire avec des passages dolomitiques.

2.4.1.3. L'Aalénien :

Constitue de marnes bariolées dolomitiques, il a été observé uniquement sur les reliefs des Monts de Tlemcen et des monts des Ksours.

2.4.1.4. Le Bajo-Bathonien :

Dans le centre du bassin il repose directement sur le Trias argilo gypseux. Au niveau des reliefs il repose sur l'Aalénien. Il est constitué de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des passages marneux. Son épaisseur est de 175 m sur les bordures. Dans le centre du bassin le facies calcareux-dolomitique passe à une alternance de dolomie, de grès et de marnes. Son épaisseur est de 100 m.

2.4.1.5. Le Callovo-oxfordien :

Il est présent le flanc Sud du Mont de Daïa et dans le centre du bassin. Il est essentiellement argileux avec passage des niveaux de calcaires et de grès.

2.4.1.6. Le Portlandien-Kimmeridjien :

Dans les Monts de Daia il est constitué de calcaires dolomitiques, alors que dans les Monts des Ksour il est plutôt gréseux avec des passages marneux. Au Nord-Est du Djebel Sidi El Abdi, le Portlandien visible à l'affleurement, est constitué de dolomie cristalline avec des intercalations de calcaires, ou de marnes et de calcaire argileux. Le Portlandien repose sur le Toarcien.

2.4.1.7. Le Crétacé inférieur :

Dans les Monts de Tlemcen et de Daia, le Crétacé inférieur affleure sous forme grès à ciment calcaire-dolomitique, notamment à Ras El Maa et Marhoun. Dans le Mont des Ksour, on le rencontre également dans le Djebel Morhad. Au centre du bassin le Crétacé inférieur, n'a pas été traversé par les forages.

2.4.1.8. Le Crétacé moyen :

Affleure dans les Monts de Daia sous forme d'une alternance de grès et de calcaire avec des passées d'argile. Dans les Monts des Ksour, le Barrémien- Aptien présente un faciès marneux avec des passées de grès. L'Albien est constitué de grès à dragées, parfois argileux comme au centre du bassin. Son épaisseur varie entre 45 m au mont de Ksour à 125m dans le centre du bassin.

2.4.1.9. Le Tertiaire :

Les dépôts du Mio-Pliocène, débutent par des brèches argileuses à éléments calcaires. Elles sont surmontées par des argiles et des marno-calcaires de couleur rouge brique, renfermant des niveaux détritiques à éléments calcaires ou siliceux. Des bancs de calcaire lacustre parfois assez importants viennent s'intercaler dans cette masse argileuse. Le remplissage Mio-Pliocène se termine par une carapace calcaire constituant les falaises qui bordent le Chott.

2.4.1.10. Le Quaternaire :

Il est constitué par les alluvions récentes qui occupent les dépressions et les fonds de vallées ainsi que des sables sous forme de dunes.

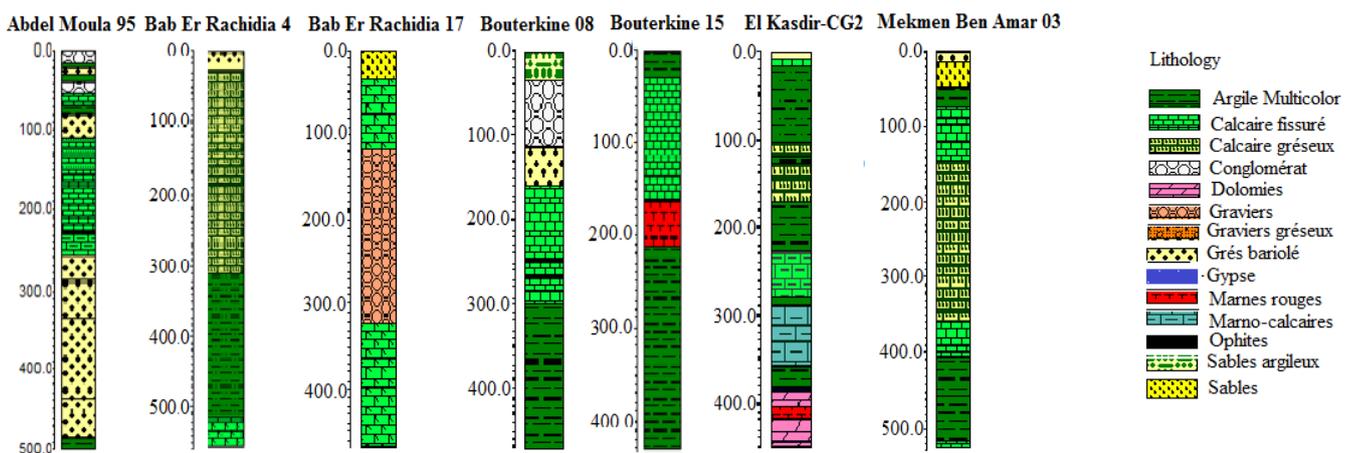


Fig.4 : la lithologie des forages exécutés dans le secteur d'étude (Azzoun, Et, & Reffes, 2018).

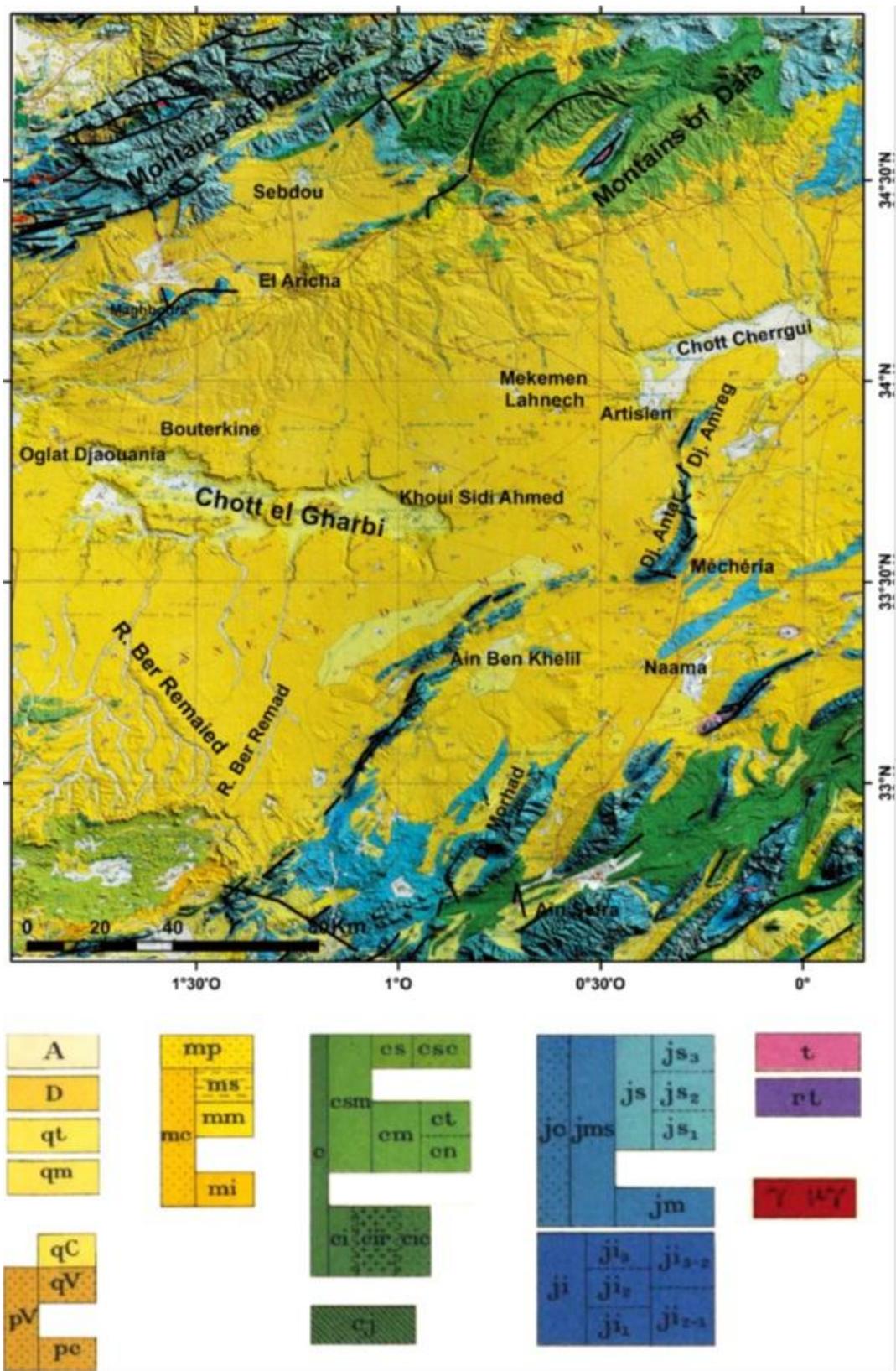


Fig.5 : Carte géologique modifié des hauts plateaux Ouest Algérien 1/500000 (Takorabt, Toubal, Haddoum, & Zerrouk, 2018)

2.5. Hydrogéologie à l'échelle du bassin Chott Gharbi :

Les études hydrogéologiques ont montré que cette zone abrite un système aquifère multicouche formé par: (Azzaz, 1986, 1996), (Boudjema, Guettaia, & Brinis, 2019).

2.5.1. Les alluvions du Quaternaire:

Elles sont formées par des sables (10m à 30m), et peuvent constituer des aquifères d'importance locale, lorsqu'elles occupent les dépressions. Ce sont donc de petites nappes superficielles qui peuvent fonctionner de manière indépendante. Le mur de ces nappes est constitué par des argiles sableuses, relativement imperméable.

2.5.2. Les calcaires lacustres du Mio-pliocène :

Se présentent généralement dans la partie septentrionale du bassin du Chott El Gharbi, sous forme de lentilles assez étendues, et peuvent être rencontrés dans des profondeurs comprise entre 400m et 200m. Ces calcaires sont parfois fissurés et altérés, possédant souvent une bonne perméabilité .Ce sont donc aussi, des petites nappes qui peuvent fonctionner de manière indépendante.

2.5.3. Les grès du Barrémo-Albien: sont intercalés par des calcaires et d'argiles. L'épaisseur de cette formation est comprise entre 100m et 150m au centre du bassin et diminue vers le Sud pour atteindre 50m seulement. Dans notre zone d'étude, ces grès sont recouverts par les dépôts du Tertiaire .Vers l'Ouest et le Sud-Ouest, les grès se biseautent avant de disparaître. Les forages réalisés dans la région d'El Kasdir, Bouterkine et Oglet Moussa n'ont pas traversé les grès.

2.5.4. Les calcaire-dolomitiques du Bajo-bathonien:

Les formation qui présente en générale un réseau de fissures, de diaclases qui peuvent lui confère une perméabilité élevée, à l'exception de la zone située à l'Ouest de Djebel Antar. Dans cette zone ces formations passent à une série schisto-gréseuse moins perméable. Le substratum de cet aquifère est constitué soit par la série saline du Trias au Nord d'El Kasdir, soit par les marno-calcaires du Lias.

2.5.5. L'alimentation : L'alimentation s'effectue par les affleurements au niveau des reliefs, par les eaux de ruissellement et probablement par échange entre les différentes aquifères.

2.6. Aperçu hydrologique :

Les formes des réseaux hydrographiques constituent un caractère fondamental en géologie. Elles sont liées à la fois au caractère lithologique de leur substratum et à la structure géologique (forme, Altitude, pente et relief).Notre bassin fait partie du grand ensemble du bassin Hydrographique Oranie Chott Chergui (BHOCC).

2.6.1. Caractéristiques de forme :

2.6.1.1. Superficie (A) : La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques $A=11784 \text{ km}^2$, elle est déterminé par le système d'information géographique avec le logiciel Arc Gis à l'aide des images du modèle numériques du terrain MNT (Résolution 12.5m).

2.6.1.2. Périmètre (P) :

Il a été estimé à partir le logiciel $P=924 \text{ km}$.

2.6.1.3. Indice de compacité (Kc) :

Cette forme qui peut être traduite par l'indice de compacité de « Gravelus » **Kc**, a également une influence sur l'écoulement ; elle détermine dans une certaine mesure l'allure de l'hydrogramme de crue. Un bassin très allongé ne réagira pas, toutes choses égales d'ailleurs, de la même manière qu'un bassin de forme ramassée (Roche, 1963).

L'indice de compacité (**Kc**) s'établit en comparant le périmètre du bassin (**P**) à celui d'un cercle qui aurait la même surface (**A**) :

$$\text{Soit : } Kc = 0.28 P / \sqrt{A}$$

Avec :

$Kc = 1$ Bassin (circulaire), le modèle choisi étant un cercle.

$1 < Kc < 1.4$ Bassin compact.

$Kc > 1.4$ Bassin allongé.

2.6.1.4. Densité de drainage (Dd) :

La densité de drainage est définie par : $Dd = \Sigma L / A$ Avec,

Dd : densité de drainage en km/km²

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : aire du bassin en km².

2.6.1.5. Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est défini pour pouvoir comparer les bassins entre eux. Les valeurs de la longueur et de la largeur du bassin sont définies d'après les formules suivantes:

$$L = Kc \sqrt{A} / 1.12(1 + \sqrt{1 - (1.12/Kc)}) \text{ et } i = P/2 - L$$

Soit L_r et l , respectivement la longueur et la largeur du rectangle, de superficie (**A**) et de périmètre (**P**).

2.6.1.6. Indices de pente :

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global **Ig**. L'indice de pente globale est calculé d'après la formule suivante :

$$Ig = D / L$$

Ig : indice globale de Roche

D : dénivelée simple ou bien la distance verticale, exprimée en mètres, sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin au-dessous d'elles ; elle peut être assimilée à la distance séparant les deux courbes de niveau maîtresses extrêmes qui délimitent le bassin.

L : longueur du rectangle équivalent telle que définit par M.Roche (km).

Cet indice, sert de base à une des classifications O.R.S.T.O.M. L'indice **Ig** décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins.

La dénivelée spécifique **Ds** ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale **Ig** en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{A} :

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$) et de la forme du bassin (l/L). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins :

$$Ds = Ig \sqrt{A} \text{ (A) la superficie du bassin versant en Km}^2$$

2.6.1.7. Temps de concentration :

C'est le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrologiquement le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Pour sa détermination on utilise la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = 1.5L + 4\sqrt{S}/0.8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}$$

L : longueur du cours d'eau principal

S : Surface totale du bassin versant

H moy : Altitude moyenne

H min : Altitude minimale

2.6.1.8. Constance de la maintenance des Oueds :

La constance de la maintenance des oueds, introduite par Schumm (1956), est l'inverse de la densité de drainage: $C=1/D$.

Elle représente l'aire requise pour maintenir un km linéaire d'un oued. Tout comme la densité de drainage, ce paramètre dépend du type de sol, de sa perméabilité, du climat, du relief et du couvert végétal (Schumm, 1956). Généralement, une constance de la maintenance d'un oued élevée (> 0.40) indique une perméabilité élevée du sol et vice-versa. Notre zone d'étude présente une valeur de $C=2.85$ indiquant une perméabilité élevée du sol.

Paramètres	Unités	Valeurs du Bassin	Paramètres	Unités	Valeurs du Bassin
Surface du B.V	Km ²	11784	Altitude Max	m	1850
Périmètre du B.V	Km	924	Altitude Minim	m	1003
Indice de Compacité	/	2.38	Altitude Moy	m	1301.66
Longueur du rectangle équivalent	Km	433	Indice de pente globale Ig	m/ Km	1.6
Largeur du rectangle équivalent	Km	27.21	Dénivelée Spécifique	m	173.6
Long de Thalweg principale	Km	81	Densité de drainage	Km/Km ²	0.35
Constance de la maintenance des oueds	/	2.85	Temps de concentration	H	21.51

Tab.2 : Caractéristiques morphométriques du bassin Chott Gharbi.

3. LA TELEDETECTION APPLIQUEE A L'HYDROGEOLOGIE :

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'informations à distance, sans contact direct avec l'objet détecté (Bonn & Rochon, 1992). Comme elle fait appel à des techniques en évolution rapide dans un monde en changement, ses possibilités d'application sont en croissance constante et l'on découvre de plus en plus de domaines où elle peut avantageusement remplacer des méthodes traditionnelles longues et coûteuses, ou encore intervenir comme un outil complémentaire qui améliore l'efficacité des méthodes conventionnelles éprouvées. D'une manière générale un projet de prospection hydrogéologique a pour objectifs de mettre en évidence les caractéristiques suivantes du milieu (Caponera, 1989; El Hadani, 1997):

- Identifier les éventuels réservoirs aquifères en définissant la nature des formations géologiques,
- Définir le contexte structural et comprendre son rôle dans le fonctionnement du système hydrogéologique,
- Identifier et délimiter les zones de recharge et de drainage,
- Comprendre l'interaction entre les eaux souterraines et les autres éléments du milieu (eau de surface, végétation, source de pollution, etc.).

Les méthodes utilisées font appel à une approche indirecte. En effet, l'étude du milieu est abordée à travers la géologie, la géologie structurale, la morphologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie ... pour bâtir un raisonnement de synthèse dans lequel l'image satellite sert de trame.

3.1. Données de la télédétection: La télédétection regroupe les techniques permettant de détecter et d'interpréter les caractères morphologiques, physiques, chimiques et / ou physico-chimiques des matériaux, en étudiant leurs propriétés de réflexion, absorption ou émission des radiations électromagnétiques. Une campagne de télédétection se fait en trois grandes étapes : Acquisition, Traitements et interprétation. Les Capteurs des satellites Landsat et Spot captent des informations dans les gammes du visible et l'infrarouge. Les radiomètres permettent d'acquérir des scènes de grandes dimensions en les stockant sous forme numérique pour les restituer par la suite vers des stations de réception. (Maizi, 2007)

3.2. Données satellitaires: Elles sont acquises par des radiomètres à balayage embarqués à bord de satellites géostationnaires ou à défilement. Les premiers couvrant toujours la même zone de la surface terrestre en prenant des images à intervalle régulier. C'est le cas par exemple des satellites Météosat et GOES. Les satellites Landsat et Spot sont des satellites à défilement qui acquièrent des images de manière comparable, c'est-à-dire que gravitant autour de la terre avec une orbite sub-polaire et une altitude variant entre 700 et 900 Km, ils font une couverture globale de la terre entre 16 et 26 jours. Landsat et Spot diffèrent par les données qui dépendent des radiomètres embarqués ; le radiomètre MSS (MultiSpectral Scanner) et TM (Thematic Mapper) du satellite Landsat sont caractérisés par une variété des gammes spectrales (sept pour TM), alors que le radiomètre HRV (Haute Résolution Visible) de Spot qui opère dans trois gammes du visible et un canal panchromatique favorise plutôt une résolution spatiale qui peut aller jusqu'à 10 m en mode panchromatique.

3.2.1. Traitement des images: Les critères d'interprétation sont ceux de la photo-interprétation, transposée à l'imagerie satellitaire. Trois critères principaux sont en général retenus : tonalité, morphologie et texture. Les traitements sont souvent guidés par la finalité thématique recherchée ; ceci revient à retenir deux types de traitement :

- Les traitements d'améliorations effectués presque systématiquement dans toute étude par télédétection.

•Les traitements spécifiques qui sont des traitements plus appropriés à certains thèmes. les traitements spécifiques à la géologie et sciences de la terre seront plus développés.

3.2.1.1. Traitements standard: Les analyses effectuées par les photos interprètes sur les images de télédétection, sont tout d'abord visuelles nécessitant une amélioration de cette perception. Nous décrivons quelques traitements d'amélioration effectués généralement par tous les utilisateurs.

3.2.1.2. Etalement de la dynamique ou « STRECHING » : Une image digitale est codée sur un octet et devrait théoriquement contenir 256 nuances de gris, allant de 0 (noir) à 255 (blanc), réparties dans toute l'image. Toutefois, dans les images satellitaires l'histogramme des niveaux de gris est le plus souvent étroit et les images sont alors peu contrastées. Le stretching consiste à étaler cette répartition entre 0 et 255, ce qui revient à changer la dynamique de l'image. Cet étalement peut être effectué, automatiquement ou par paliers ce dernier mode consistant à étaler la dynamique de zones choisies, afin d'avoir un bon contraste dans ces zones d'intérêt.

3.2.2. Ratios: Ce sont des opérations entre les différents canaux, consistant à diviser une image dans un canal par la même image dans un canal, par exemple TM7/TM5. Certaines détails subtils dans les canaux vont alors apparaître dans l'image résultat. Ces opérations nécessitent cependant de bien connaître l'histogramme de l'image, la région d'étude et le problème à mettre en évidence.

3.2.3. Traitement en composantes principales: Les données de télédétection Land MSS, Land TM ou Spot sont riches en informations qui sont réparties dans les différents canaux avec des redondances. Le traitement permet la décorrélation et la compression de cette information dans des néo canaux (élimination des redondances).

La première composante principale contiendra 95 % de l'information. Elle nous permet de distinguer ou d'appréhender certains traits géomorphologiques et autres phénomènes géologiques (Failles). Les autres néocanaux sont moins importants.

3.2.3.1. Compositions colorées: Elle consiste à superposer des images des différents canaux. L'attribution d'une couleur à chaque image permet d'obtenir un document coloré. Les couleurs attribuées sont les couleurs de base, additives (RGB) (Bleu-vert rouge) ou soustractives (Cyan -jaune -magenta). La figure N° est une composition colorée des canaux 4.5.2 .ce qui permet d'avoir le maximum d'information et des teintes tranchantes concernant la végétation et la géomorphologie

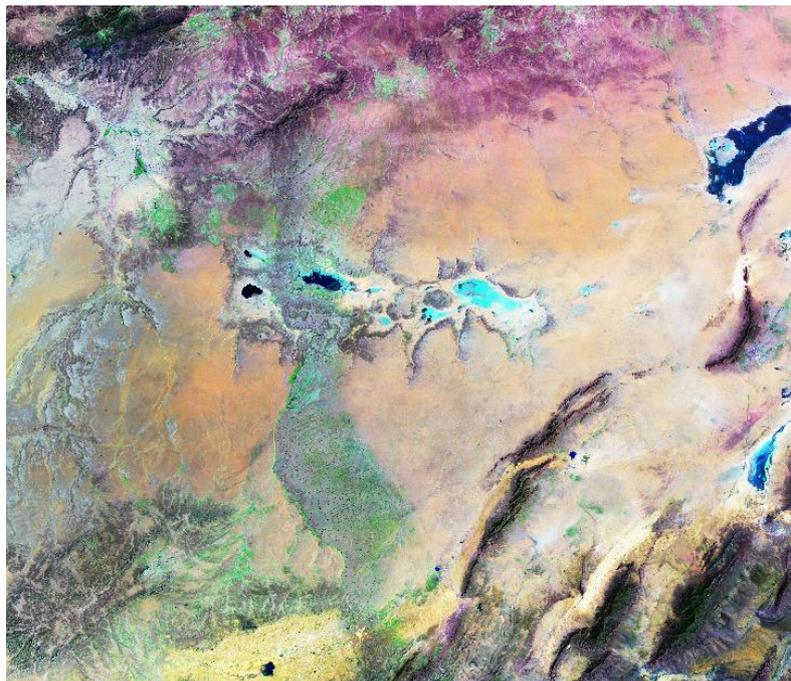


Fig.6 : Composition colorée des canaux 4.5.2

3.3.2. Traitement spécifique:

3.3.2.1. Filtrages : Les filtrages sont très utiles en géologie structurale, ils mettent en évidence une information donnée, par exemple les directions des couches et certaines structures. Les masques de SOBEL par exemple, sont des filtres unidirectionnels. Le principe consiste à balayer et multiplier les pixels de l'image par une matrice d'une certaine taille (3X3 par exemple). Les différences dans la direction considérée sont alors rehaussées. Ces masques n'opèrent toutefois que dans une seule direction, les limites non linéaires ne sont alors prises en compte que dans la direction du filtre.

3.2.3.3. Les classifications multi spectrales: L'image satellitaire TM de Landsat (185Km X 170Km), offre la possibilité de traitement automatique mais apporte également une grande richesse d'information. Il convient alors d'en classifier les éléments. Les méthodes de classification consistent de manière générale à attribuer un pixel ou un groupe de pixels à une classe donnée et de généraliser à l'ensemble de l'image en utilisant des méthodes automatiques de classification. Il existe deux modes de classification :

- Un mode supervisé c'est à dire connaissant ou supposant connaître les éléments du terrain ;
- Un mode non supervisé sans connaissance préalable du terrain. Il existe plusieurs méthodes de classification multi spectrale, comme la méthode des nués dynamiques, qui est une méthode de classification non supervisé ou encore les classifications barycentriques ou par le maximum de vraisemblance.

3.2.4. Les analyse de textures: Les classifications texturales considèrent seulement l'organisation spatiale des pixels dans l'image. Ce critère spatial peut constituer un apport supplémentaire lors des interprétations, ces méthodes se basent par exemple sur le calcul de matrices de cooccurrence pour des groupes de pixels. Il existe aussi une méthode qui tient compte aussi bien du caractère géométrique que radiométrique calculant la matrice de cooccurrence sur le pixel même et donc sans réduction du nombre de niveau de gris, gagnant également sur le temps de calcul. Ils sont utilisés surtout dans les études du milieu physique et géologique.

3.2.5. La transformation en intensite-teinte-saturation: Un autre système de visualisation des couleurs est utilisé en géologie et géomorphologie, il permet de générer des couleurs qui se rapprochent des couleurs naturelles donc mieux perçues par l'œil humain. De plus, c'est un traitement qui permet d'atténuer les effets de la végétation, et donc des interprétations plus faciles en géologie. Le principe de base de ce traitement consiste, à générer à partir des canaux bruts du système B-V-R, de nouveaux canaux représentant des images en intensité teinte saturation (IHS) obtenues par conversion de système de représentation des couleurs. L'image de maximum de brillance (I), reflétant théoriquement la réponse des sols et des affleurements géologiques, ce traitement permet par la même d'atténuer l'effet de la végétation.

3.2.6. Images satellitaire utilisée :

L'image de printemps 2007 couvre la wilaya de Naâma jusqu'à au Maroc. Elle a été choisie pour notre travail.

3.2.7. Prétraitements :

Les images ETM + ont été choisies comme moyen de travail. Elles ont l'avantage d'être récentes et relativement peu onéreuses (par unité de surface). La résolution spatiale d'une image est plus faible que celle d'une photographie aérienne mais elle reste largement acceptable eu regard à la précision actuelle de l'E.T.M + qui atteint une résolution spatiale de 15 m en panchromatique et 30 m en multispectral. Les images ETM + sont particulièrement bien adaptées aux zones arides et l'information perdue par rapport aux photographies aériennes est minimisée. En outre, les images satellites sont panchromatiques et multispectrales ce qui permet d'avoir une meilleure résolution spectrale que les photographies aériennes.

3.2.8. Corrections géométriques :

Le prétraitement des images satellites comprendra dans notre cas essentiellement la correction géométrique. Les prétraitements géométriques visent à corriger les distorsions géométriques de l'image ayant des origines diverses. Nous détaillerons les différents points suivants :

- Rectifications géométriques.
- Etablissement de spatio- cartes.
- Réalisation de mosaïques des scènes et cartes topographiques rectifiées Les corrections géométriques visent à intégrer l'image dans un référentiel donné.

Une image peut être généralement positionnée dans une référentielle image (lignes/colonnes), dans un référentiel cartographique (coordonnées cartographiques). Cette étape est importante car la précision planimétrique et l'emplacement des différents objets est un préalable nécessaire pour la suite des travaux. Nous aborderons : La projection retenue, les cartes topographiques ou images de base utilisées ou éventuellement le fichier des points GPS. Le nombre d'amers L'erreur en pixels (qui doit être inférieure au pixel) Les méthodes de transformations géométriques (choix du polynôme) et les méthodes de rééchantillonnage (méthode d'interpolation) doivent être mentionnées. Une image satellite peut être géo-référencée par deux méthodes principales :

- ♣ Méthode empirique
- ♣ Méthode par modèle de navigation du satellite

4. SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUES :

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatisé d'acquisition, de gestion, d'analyse et de représentation de données à référence spatiale. Les SIG ont un impact important dans tous les domaines concernés par la gestion et l'analyse d'informations à caractère spatial.

Un système d'information géographique est mise en place à partir de la compilation de diverses données (topographiques, géologiques, hydrogéologiques...). Le croisement entre les différentes couches d'information permettra l'édition des cartes thématiques, diagramme, corrélations lithostratigraphiques...

L'analyse de ces produits permettra une meilleure connaissance hydrodynamique du système aquifère profond ainsi qu'un suivi qualitatif et quantitatif des eaux souterraines (Trabelsi, Triki, Hentati, & Zairi, 2016)

4.1. Les fonctions d'un SIG:

- une fonction de stockages des informations après homogénéisation des données géo-codées et classées,
- une fonction de traitement et de vérification, de gestion et de mise à jour,
- une fonction de distribution et de communication rapide des données numériques,
- une fonction d'orientation des schémas directeurs pour l'aménagement, l'exploitation et la gestion des ressources en eau.

L'emploi de cet outil (SIG) se justifie par la complexité du processus de gestion des ressources en eau qui implique plusieurs intervenants et opérateurs et dépend de divers facteurs (physiques, naturels, socio-économiques, climatiques, ...) qui doivent être intégrés pour atteindre les objectifs de gestion et d'aménagement.

Les techniques des SIG sont exploitées pour établir des relations spatiales entre les différentes couches d'information: lithologie, structure, géomorphologie, occupation des sols

De cette manière, les interactions entre ces composantes sont analysées et interprétées pour faciliter la prise de décision (sélection des zones ou sites favorables, choix d'un plan d'aménagement, confrontation de solutions, ...)(El Hadani, 1997).

4.2. Les avantages d'un logiciel SIG :

- Une cartographie intuitive et en constante évolution.
- Une organisation des données selon vos besoins et en fonction de vos recherches Des fiches complètes contenant toutes les informations relatives aux données géographiques (nom, adresse, histoire, actualité...).
- L'identification des relations entre les données géographiques et les couches.
- Vous obtenez une vision claire des conséquences d'une décision prise pour un aménagement.
- La possibilité de réaliser des requêtes spécifiques et des analyses précises.
- La gestion d'informations multiples comme des images satellites, des photos aériennes, des données chiffrées ou encore de cartes.
- L'étude de phénomènes géographiques même s'ils sont ponctuels et la simulation des risques.
- L'organisation des connaissances selon des thèmes définis.
- Le partage facile des informations.
- La réalisation rapide de cartographies.
- La réaction rapide après un événement impactant votre territoire.
- Le calcul des coûts d'un investissement en fonction des données géographiques.

4.3. Le choix de Logiciel ArcGis :

Parmi les logiciels SIG (Mapinfo, QGIS, Landserf, SavGis, Google Earth pro...) Nous avons choisi le logiciel ArcGIS un choix convenable et justifié par le fait que ce dernier est l'un des logiciels SIG les plus complet et le plus utilisé à l'échelle international ainsi qu'un système complet qui permet de :

- Créer et Analyser des cartes et des informations géographiques. afficher les résultats de manière claire, simple et facile à manipuler.
- collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde.
- permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.
- Une infrastructure rendant les cartes et les informations géographiques disponibles dans une division, dans toute l'entreprise, entre les plusieurs organisations et communautés d'utilisateurs et sur le web pour que tout le monde y accède.
- permet également de créer facilement des données géographiques par le biais d'une numérisation intelligente permettant de tirer des fonctionnalités directement sur une carte et de les stocker dans la base de données géographique du système.
- La collecte des données et les outils d'édition comprennent des palettes d'entités basées sur des modèles permettant le regroupement cohérent des données.

ArcGIS est une plate-forme logicielle liée aux systèmes d'information géographique et aux sciences, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un ensemble de programmes fournis par ESRI qui fonctionne sur la création, la gestion, le partage et la compilation de données géographiques, ainsi que l'analyse d'informations géographiques, et l'afficher sous forme de cartes précises.

ESRI est la société leader dans le domaine de la technologie de la géo-information, offrant de nombreuses applications différentes, desservant ce domaine et développant constamment la plate-

forme ArcGIS, en ajoutant plus d'outils, de nouvelles capacités qui répondent aux besoins des clients et le marché de l'analyse géospatiale.

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

Elles peuvent correspondre à des documents cartographiques représentant des objets thématiques géographiquement identifiés (carte de type IGN, photographies aériennes, images satellitaires, etc.) Ou issus des analyses et des procédures de spatialisation (carte de la teneur en eau du sol, carte topographique, carte de la hauteur des arbres dans un peuplement forestier, etc.).(Esri, 2021)

4.3.1. Le logiciel ArcGIS 10.3 comprend quatre applications principales :

4.3.1.1. ArcCatalog : Est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement. ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent.

4.3.1.2. ArcMap : Est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.

ArcMap est l'équivalent de l'ancienne version d'ArcView.

4.3.1.3. ArcToolbox : Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

4.3.1.4. ArcReader : Est une application gratuite permettant d'échanger des cartes publiées entre différents utilisateurs.

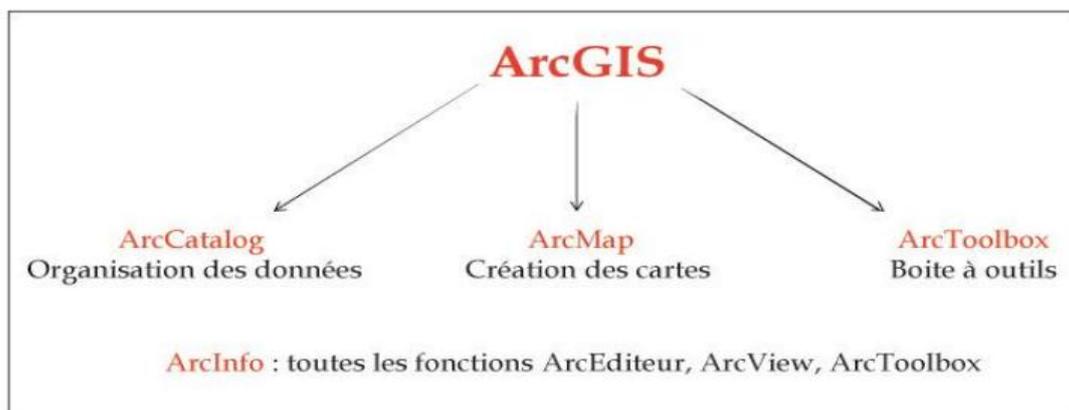


Fig.7 : Architecture générale de logiciel Arc Gis (MENAD, 2012).

5. Matériels et méthodes :

Le présent travail traite de l'explication de la méthodologie impliquée dans l'utilisation de la télédétection et du SIG basé sur la technique Processus hiérarchie analytique (AHP) pour l'identification des ressources en eaux souterraines. l'étude impliquait l'intégration de huit couches thématiques ; géologie, occupation du sol, densité de drainage, densité de linéament, les précipitations, et les niveaux statiques des forages ainsi que des données détectées à distance sur l'utilisation un modèle numérique du terrain (MNT résolution 12.5 m) pour délimiter le bassin et aussi d'extraire les Altitudes et les pentes à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3. Le logiciel PCI Geomatica 2018 à la capacité d'extraire automatiquement les linéaments à partir de l'image satellitaire Landsat. La méthodologie globale adoptée pour la présente étude est illustrée à la (Fig.8).

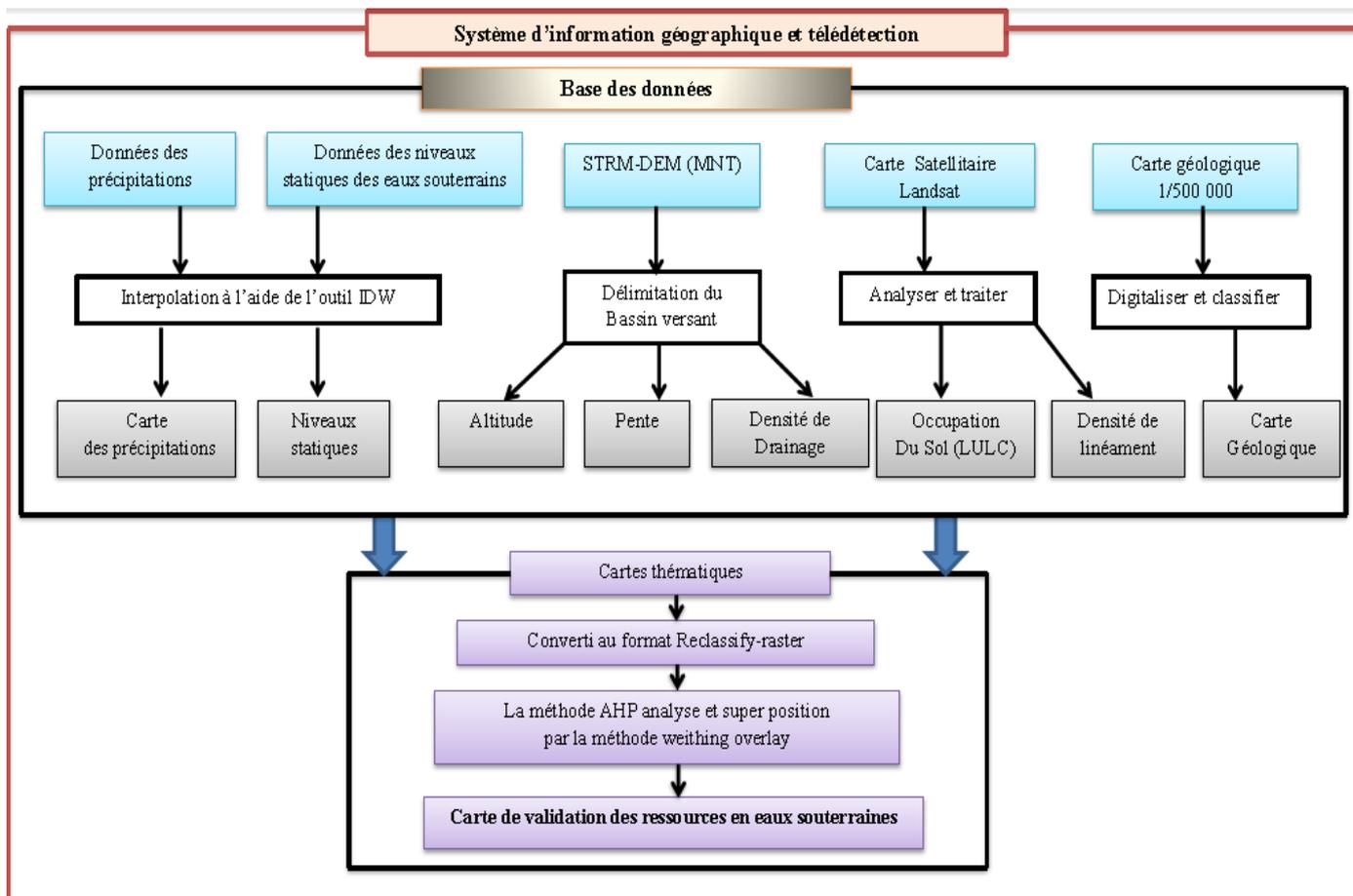


Fig.8: Organigramme de la méthodologie adoptée dans cette étude.

5.1. Extraction des données climatiques :

Le site **WorldClim version 1.4** a été développé par l'université de Californie (U.S.A) est une base de données météorologiques et climatiques mondiales à haute résolution spatiale.

Données et analogues climatiques Concernant l'analyse de données climatiques, nous avons besoin de données historiques pour voir l'évolution des variables bioclimatiques comme la température moyenne annuelle, les précipitations etc. et de données climatiques futures pour faire des calculs d'analogies.

Les données climatiques historiques Il s'agit des données climatiques de WorldClim version 1.4 pour la période des années 2000- 2018. Les données que nous avons utilisés ont une résolution spatiale de 10 minutes d'arc (~340 km²). Chaque téléchargement est un fichier "zip" contenant des fichiers GeoTiff (.tif), un pour chaque variable bioclimatique.

Les données sont disponibles à 4 résolutions spatiales différentes ; de 30 secondes ($0,93 \times 0,93 = 0,86 \text{ km}^2$ à l'équateur) à 2,5, 5 et 10 minutes ($18,6 \times 18,6 = 344 \text{ km}^2$ à l'équateur). Les données d'origine étaient à une résolution de 30 secondes.

Format de fichier

1) Format de grille ESRI (raster).

À utiliser avec les produits ESRI (ArcSomething). Les fichiers ZIP doivent être décompressés dans un nouveau dossier. Chaque grille est stockée dans un sous-dossier. Il existe également un dossier INFO qui doit rester avec ces grilles (pour plus d'informations, consultez vos manuels ESRI).

2) Format GéoTIFF.

Les tuiles de 30 secondes sont également disponibles au format GeoTIFF.

3) Format de grille générique (raster).

Chaque couche se compose de deux fichiers. Un fichier avec les données réelles (.BIL) ; et un fichier de texte (en-tête) d'accompagnement (.HDR). Parfois, il existe deux autres fichiers d'en-tête (.GRD et .RDC) à utiliser dans DIVA-GIS ou IDRISI (voir ci-dessous). Les fichiers de données (.BIL) sont des fichiers binaires séquentiels dans lesquels les valeurs sont stockées ligne par ligne du coin supérieur gauche au coin inférieur droit. Chaque cellule (pixel) est une valeur entière signée de 2 octets. Si vous constatez que votre application rapporte de très grands nombres et aucun nombre négatif, les fichiers ont probablement été interprétés comme des entiers non signés. (worldclim.org, 2020)

- Dans notre étude nous avons projeté 9 stations bien distribuées dans le bassin du Chott Gharbi pour avoir une interpolation climatique des précipitations.

5.2. Le modèle numérique du terrain MNT : (Fig.9)

Un MNT est une représentation numérique du terrain en termes d'altitude. Il faut choisir une méthode d'interpolation qui déterminera l'altitude de points quelconques en fonction des altitudes des échantillons initiaux. Les méthodes d'élaboration d'un MNT peuvent se décrire comme un processus à trois étapes (Polidori, 1995) :

- L'acquisition du semis de points (numérisation de courbes de niveaux à partir de cartes topographiques connues en coordonnées X, Y, Z dans un référentiel donné).
- Le ré-échantillonnage : Pour disposer d'un MNT, il faut être capable d'estimer l'altitude en tout point de notre zone d'étude à l'aide d'une méthode d'interpolation qui dépend du type d'échantillonnage. Il existe trois structures principales d'échantillonnages des altitudes : l'échantillonnage régulier consiste à superposer une grille matrice régulière à la zone de travail dont la maille est un carré, la valeur d'altitude d'une maille donnée (pixel) sera égale à la valeur du nœud qu'elle contient ; l'échantillonnage semi-régulier permet de s'adapter aux variations locales du relief, la résultante d'un tel échantillonnage est une grille dont les mailles seront lâches si le relief est régulier et fines si le relief varie ; enfin, l'échantillonnage irrégulier utilise une grille dont les mailles ont une forme triangulaire et une taille variable. L'exemple le plus connu d'échantillonnage irrégulier est le format TIN (les réseaux irréguliers de triangles) dans lequel les coordonnées tridimensionnelles de trois points forment des triangles irréguliers.
- L'interpolation est utilisée lors de la construction du MNT pour déterminer, par le calcul, l'altitude de points qui n'ont pas été mesurés sur le terrain. Les points mesurés sur le terrain sont des échantillons à partir desquels vont être estimés les nœuds des grilles raster et les points contenus dans les facettes triangulaires des modèles TIN. Afin de présenter la réalité du terrain, il faut choisir une méthode d'interpolation exacte qui permette de conserver les valeurs des

données initiales dans l'information finale. Il existe deux formats d'interpolation ; le format raster (exemple : Méthode IDW et Spline) et le format vecteur (TIN).

5.3. Extraction et délimitation du Bassin :

La délimitation de bassins versants par approche cartographique nécessite l'usage d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et d'un réseau hydrographique (Cirou, 2017) :

- A. Prétraitement du réseau hydrographique
- b. Prétraitement du modèle numérique de terrain
- c. Détermination de bassins versants unitaires
- d. Délimitation des têtes de bassin versant depuis leur exutoire

5.4. Extraction du réseau hydrographique : (fig.10)

L'extraction du réseau hydrographique pratiqué dans cette étude se fonde sur le suivi du ruissellement de l'eau. C'est une méthode hydrologique qui s'appuie sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chacun des pixels à partir des valeurs altimétriques du MNT, par simulation de l'écoulement de l'eau en surface, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente (Demargne, 2001). Les étapes à suivre pour l'extraction du réseau hydrographique à partir du MNT sont :

- Élimination des dépressions du MNT ;
- Calcul du sens d'écoulement à partir des altitudes du MNT sans dépressions ;
- Traitement des zones plates ;
- Calcul de l'accumulation d'eau pour chaque cellule en fonction du sens d'écoulement ;
- Extraction du réseau hydrographique.

Au début de chaque analyse hydrologique, la correction et la précision du modèle numérique du terrain doivent être garantis. Ceci est nécessaire car le calcul de MNT induit souvent la création d'artéfacts altimétriques au cours de l'interpolation dont certains donneront lieu à des dépressions et d'autres à des zones plates. Les dépressions et les zones plates peuvent être de nature accidentelle ou représenter une réalité topographique, elles perturbent la continuité des écoulements et nécessitent d'être traitées. En ce qui concerne les zones plates, elles peuvent être créées à la suite d'un traitement des dépressions (c'est ce qui se passe dans l'algorithme D8) et de la formation de triangles plans dans une modélisation TIN. Pour les dépressions, elles peuvent aussi être engendrées à partir des MNT spline et IDW. Dans ce contexte, les éléments les plus critiques sont les dépressions qui coupent l'écoulement de l'eau et aboutissent par conséquent à des résultats erronés des calculs hydrologiques (Schäuble, 2003). En effet, le principal problème que posent les dépressions est de piéger l'eau et d'empêcher la continuité des chemins hydrographiques, tandis que les zones plates favorisent la dispersion des eaux sur de larges surfaces, ce qui fausse l'accumulation d'eau sur l'ensemble du MNT.

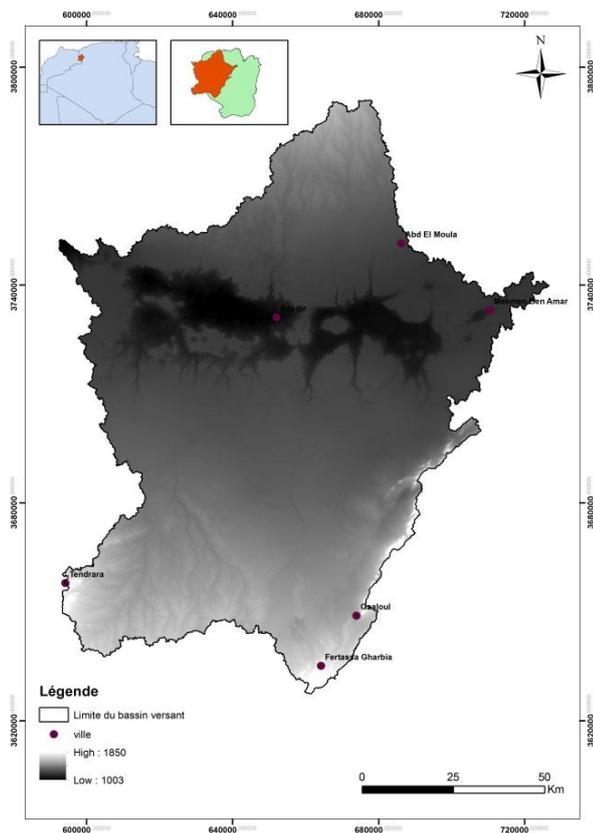


Fig.9 : modèle numériques du terrain MNT de la zone d'étude

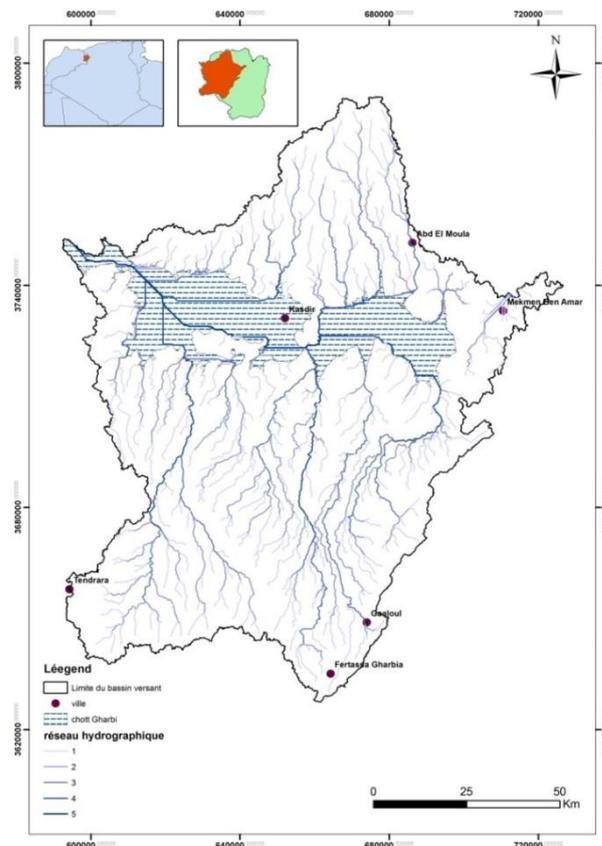


Fig.10: Carte Réseaux hydrographique

5.5. Altitudes :

Elles sont obtenues directement à partir le modèle numérique du terrain (MNT). Le MNT a été la première donnée nécessaire pour la cartographie des bassins versants. Il est devenu l'une des couches d'information les plus utilisées dans un SIG pour les sciences de la terre. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement c'est l'exutoire.

5.6. Géologie :

Une carte géologique est la représentation des roches et structures géologiques, présentes à l'affleurement ou en subsurface, d'une région. Son objectif est de présenter la répartition spatiale des faciès lithologiques, leur succession, ainsi que les diverses structures d'ordre tectonique. La géologie fournit des indications précieuses sur la nature du remplissage et du substrat et les affleurements de surface.

5.7. Pente :

La pente topographique affecte profondément le ruissellement, la recharge et le mouvement des eaux de surface d'une zone. Les zones à topographie plane ont une recharge d'eau souterraine assez importante avec un taux d'infiltration relativement élevé, tandis que les zones à pentes modérées ont un 'bon' stockage d'eau souterraine dû au terrain vallonné. Les zones avec une pente plus abrupte sont classées comme 'pauvres' en raison de l'accumulation moindre d'eau souterraine (Kumar & Krishna, 2018) en raison du ruissellement relativement élevé et de faible taux d'infiltration. La carte de pente de la zone d'étude a été préparée à l'aide d'un Modèle numérique d'élévation- ASTER

DEM, L'extension d'analyse de terrain sous ArcGis basée sur les rasters est utilisée pour calculer la pente, l'aspect, l'ombrage, le relief d'un modèle numérique d'élévation (DEM). Sa facilité d'utilisation et son interface graphique intuitive nous a permis de créer de nouvelles couches raster de Pente, le Calcul de l'angle de la pente pour chaque pixel de Raster d'altitudes en degrés est basé sur une estimation dérivée de 1er ordre.

5.8. Densité de linéament :

La densité de linéarisation d'une zone peut exposer indirectement le potentiel des eaux souterraines, car la présence de linéaments dénote généralement une zone perméable (Rahmani, Bouanani, Kacemi, & Hamed, 2017). Les zones à haute densité de linéaments sont considérées comme excellentes pour les zones de potentiel des eaux souterraines (Haridas, Aravindan, & Girish, 1998). Les linéaments sont des entités linéaires ou curvilignes structurellement contrôlées, qui sont extraites de l'imagerie satellite par leur alignement linéaire relatif.

5.9. Densité de drainage :

Le système de drainage d'une zone est déterminé par le gradient de pente, la nature et l'attitude du substrat rocheux, le type de végétation, la capacité d'absorption des précipitations, l'infiltration et le gradient de pente (Abd Manap, Sulaiman, Ramli, Pradhan, & Surip, 2013). La densité de drainage est une fonction inverse de la perméabilité et; par conséquent, c'est un paramètre important dans l'évaluation de la zone d'eau souterraine (Kumar & Krishna, 2018). La carte de densité de drainage est générée par le traitement du Modèle numérique de terrain de la région, ce MNT de 12.5 m de résolution, le réseau hydrographique a été ordonné en exécutant l'algorithme de Strahler, module intégré dans la plateforme ArcGis. La carte densité de drainage a été préparée et dérivée après plusieurs processus successifs à l'aide d'outils Arc Hydro qui fonctionne avec l'algorithme de densité de lignes dans l'environnement ArcGis.

5.10. Occupation des sols :

Les études sur l'utilisation des terres (Land Use) et la couverture terrestre (Land Cover) fournissent des indicateurs importants de l'étendue des besoins en eaux souterraines et de l'utilisation des eaux souterraines, ainsi, la carte d'occupation /Utilisation du sol représente un indicateur important du choix des sites de recharge artificielle des eaux souterraines (Singh, Bhardwaj, & Kumar, 2011). L'utilisation des terres et la couverture des sols jouent un rôle essentiel dans la prospection des eaux souterraines. Elles affectent le taux de recharge, le ruissellement et l'évapotranspiration. La carte d'occupation des sols préparée à partir de données de télédétection (images satellitaires Landsat) à l'aide d'une classification supervisée dans le logiciel ArcGis avec vérification sur le terrain.

5.11. Précipitations :

La disponibilité des précipitations est parmi les principales sources de recharge des eaux souterraines. Elle régule la quantité d'eau qui serait disponible pour percoler dans l'aquifère. Les précipitations ont un effet significatif sur le potentiel des eaux souterraines (Kumar & Krishna, 2018). Sur la base des enregistrements mensuels des neuf stations météorologiques pour 20 ans (2000-2018). La couche thématique des précipitations développée à l'aide de la méthode d'interpolation spatiale IDW (Inverse Distance Weighting). La distribution spatiale des précipitations dans la zone d'études est générée sous un Raster.

5.12. Niveaux statiques des eaux souterraines :

Le niveau Statique des eaux souterraines de la zone d'étude est surveillé pour un réseau de points d'eau (forages) réparti dans le bassin. La carte de la profondeur moyenne des eaux souterraines a été préparée à l'aide des données recueillies auprès le Centre ADE Chott Gharbi et DRE Naâma, La méthode d'interpolation spatiale par l'algorithme IDW a été utilisée pour créer et cartographier la carte des profondeurs de niveaux statiques des eaux souterraines.

5.13. Le processus hiérarchique analytique (AHP) :

Le processus d'hiérarchie analytique (AHP) de Saaty est une technique largement utilisée dans le domaine de l'ingénierie des ressources en eau, La méthode a été développée par le professeur Thomas L. Saaty dans les années 1977. Depuis lors, la méthode a reçu de nombreuses applications dans les ressources naturelles, et la planification et la gestion de l'environnement (Machiwal et al., 2011), l'AHP a été acceptée par la communauté scientifique internationale comme un outil très utile pour traiter des problèmes de décision complexes. Son innovation majeure a été l'introduction de comparaisons par paires. Il a été constaté que lorsque les évaluations quantitatives ne sont pas disponibles, les humains sont encore capables de reconnaître si un critère est plus important qu'un autre. L'AHP utilise une méthode cohérente pour convertir ces comparaisons par paire en un ensemble de nombres représentant la priorité relative de chaque critère (T. Saaty, 1980), La technique de comparaison par paire représente une approche théoriquement fondée pour calculer des poids représentant l'importance relative des critères. Les pondérations ne sont pas attribuées directement, mais représentent un ensemble de poids « meilleur ajustement » dérivé du vecteur propre de la matrice réciproque carrée utilisée pour comparer toutes les paires possibles de critères (Eastman, 2003), (Chenini et al., 2010) ont montré que l'analyse multicritère basée sur le SIG a une bonne fonctionnalité pour cartographier la zone de recharge des eaux souterraines, Comme on peut le voir dans la littérature susmentionnée, les méthodes SIG et AHP ont été largement jumelées et utilisées dans l'évaluation du potentiel des eaux souterraines. Dans notre cas nous avons constaté le facteur dominant est la géologie.

5.14. Analyse de superposition (weithed-overlay) :

Les poids relatifs obtenus à partir de l'AHP ont été attribués à chaque carte thématique pour générer un poids cumulé des cartes thématiques respectives et la valeur de poids de chaque carte ayant le poids le plus élevé ou le plus faible a été attribuée en fonction de la situation réelle sur le terrain. Le résumé des poids attribués et normalisés des caractéristiques des différentes couches thématiques et le rapport de cohérence de sa carte thématique a également été calculé et attribués pour la carte thématique respective. Ensuite, les huit cartes thématiques différentes ont été intégrées à l'aide du SIG Arcmap 10.3 comme somme du facteur d'influence global des eaux souterraines pour générer la carte du potentiel des eaux souterraines pour la zone d'étude. La formule suivante a été utilisée pour estimer la carte du potentiel des eaux souterraines (B. V. Rao & Briz-Kishore, 1991),(Prasad, Mondal, Banerjee, Nandakumar, & Singh, 2008).

6. Résultats et Discussions des cartes thématiques:

6.1. Analyse des linéaments :

Les traitements des données satellitaires sont effectués avec; Geomatica de PCI 2018 et ArcGIS.10.3. On s'est basé sur les images satellites extraites d'une scène Landsat 7 ETM+.La méthode automatique du module LINE de PCI a été utilisée dans cette étude pour l'extraction objective des linéaments au niveau du bassin chott Gharbi (**fig.11**)

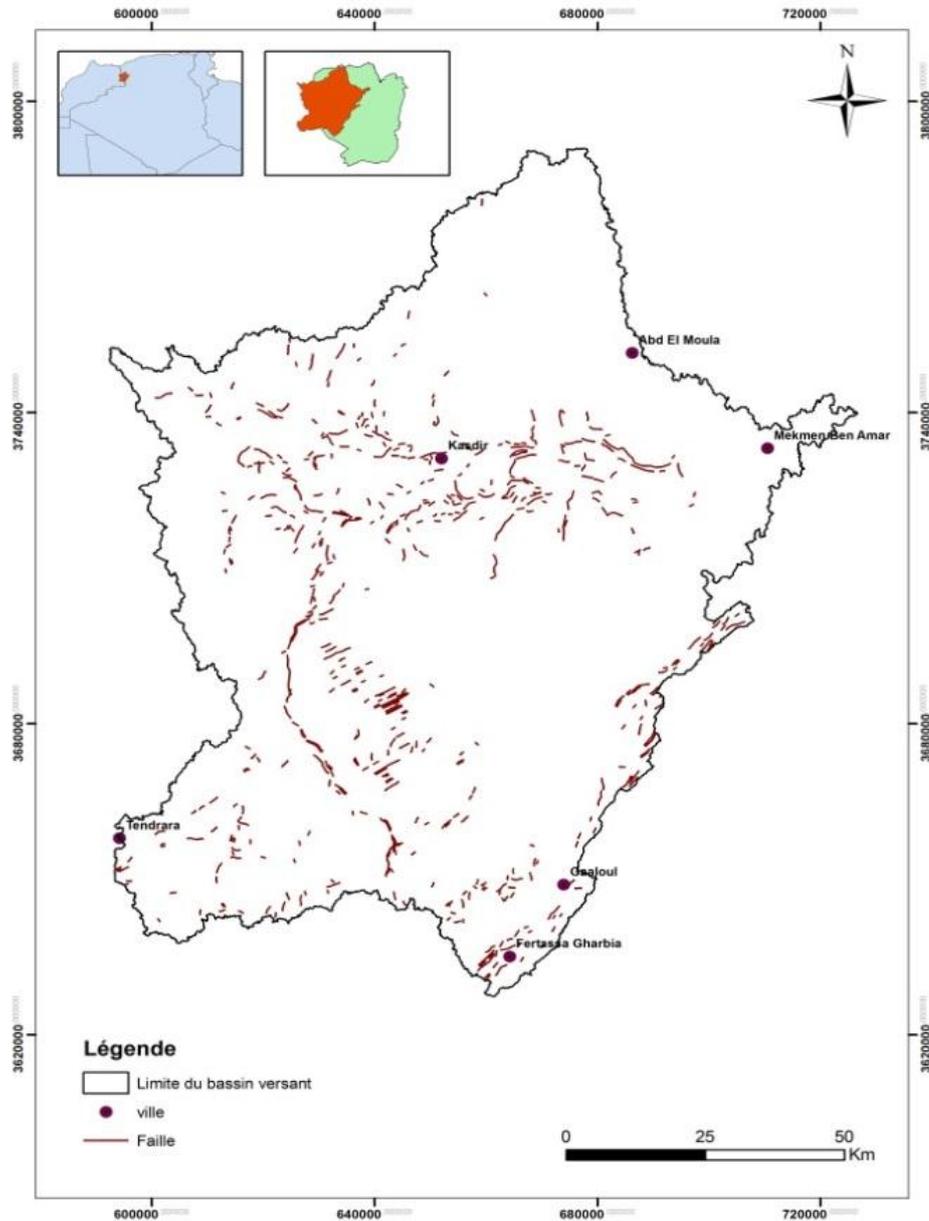


Fig.11 : Carte des Linéaments

6.2. La piézométrie :

La carte piézométrique est une représentation cartographique de la surface de la nappe captive à partir l'importation des données format Excel de fin sondages de **65** forages réalisés dans notre secteur d'étude a été réalisé par arc gis ; après l'habillage de la carte l'allure générale de la carte montre que les sens d'écoulements des lignes de courant convergent et formant des axes de drainage du Nord et Sud vers le centre ou bien le chott avec une morphologie cylindrique dans le Nord et Sud et radiale au centre qui signifie une zone d'exploitation ,les conditions aux limites sont étanches imperméables aux Nord-Sud encadrer par des lignes des failles et des limites ouvertes perméables dans l'Est au Maroc et à l'Ouest vers l'unité hydrogéologique du Chott Chergui par principe de continuité latérale.(Fig 12-13).

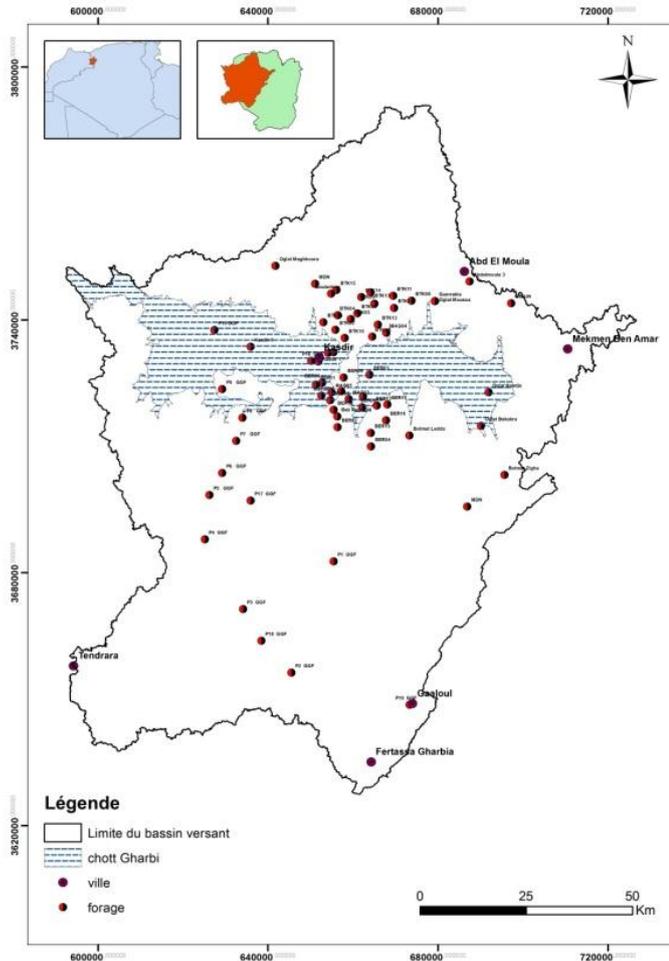


Fig.12 : Localisation des forages d'eau

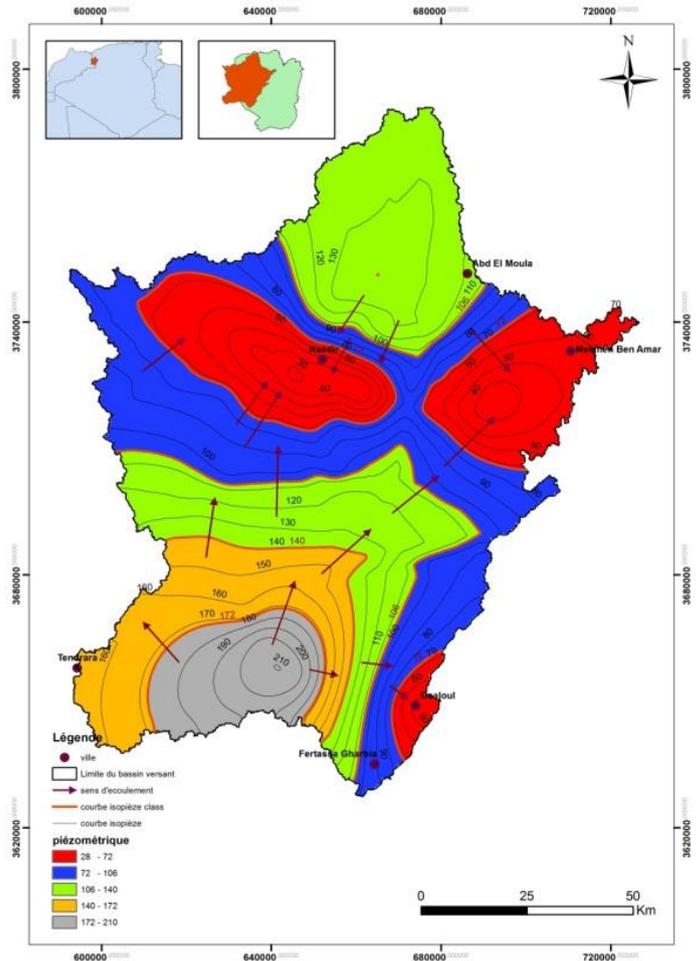


Fig.13 : Carte piézométrique

6.3. Altitudes :

La carte est obtenue à partir le modèle numérique du terrain (MNT résolution 12.5m) (**Fig.14**). montre cinq classes d'altitudes de 1003-1850m. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement c'est l'exutoire. L'altitude maximale : 1850 m, et l'altitude minimale : 1003 m (le chott) et L'altitude moyenne : 1426 m, on constate que le dénivelé est important dans la zone d'étude, et par conséquent on a des variations considérables dans les facteurs climatiques, l'influence des altitudes est de l'ordre 11.7%.

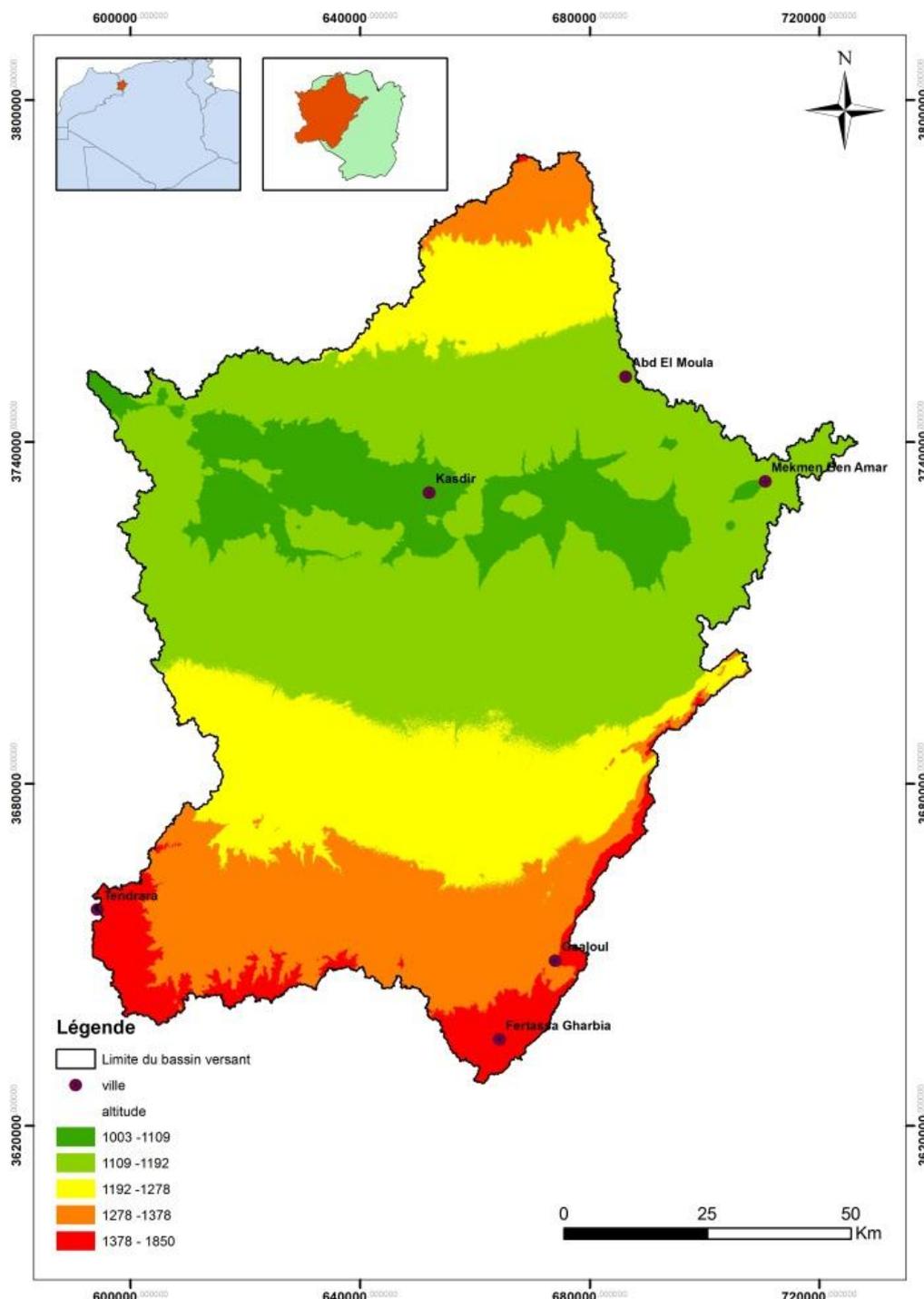


Fig.14 : Carte d'Altitudes

6.4. Géologie :

La carte géologique montrant les formations lithologiques est obtenue par digitalisation et numérisation de la carte géologique des hauts plateaux Ouest Algérien (1/500 000) (**Fig.15**). La zone d'étude s'organise autour de deux grandes unités structurales qui se succèdent du nord au sud : les hautes plaines sud oranaises (la mézéta Oranaise) et l'Atlas Saharien occidental.

La carte présente une géologie simple : sables et alluvions quaternaires dans la dépression du chott et le tertiaire occupe le plat par contre on observe le crétacé pointé dans le sud-Est au Maroc (Monts de Tendirra) et le Jurassique se présente dans le sud-Ouest du bassin (les Monts des Ksour), la géologie est le facteur dominant avec 30% .

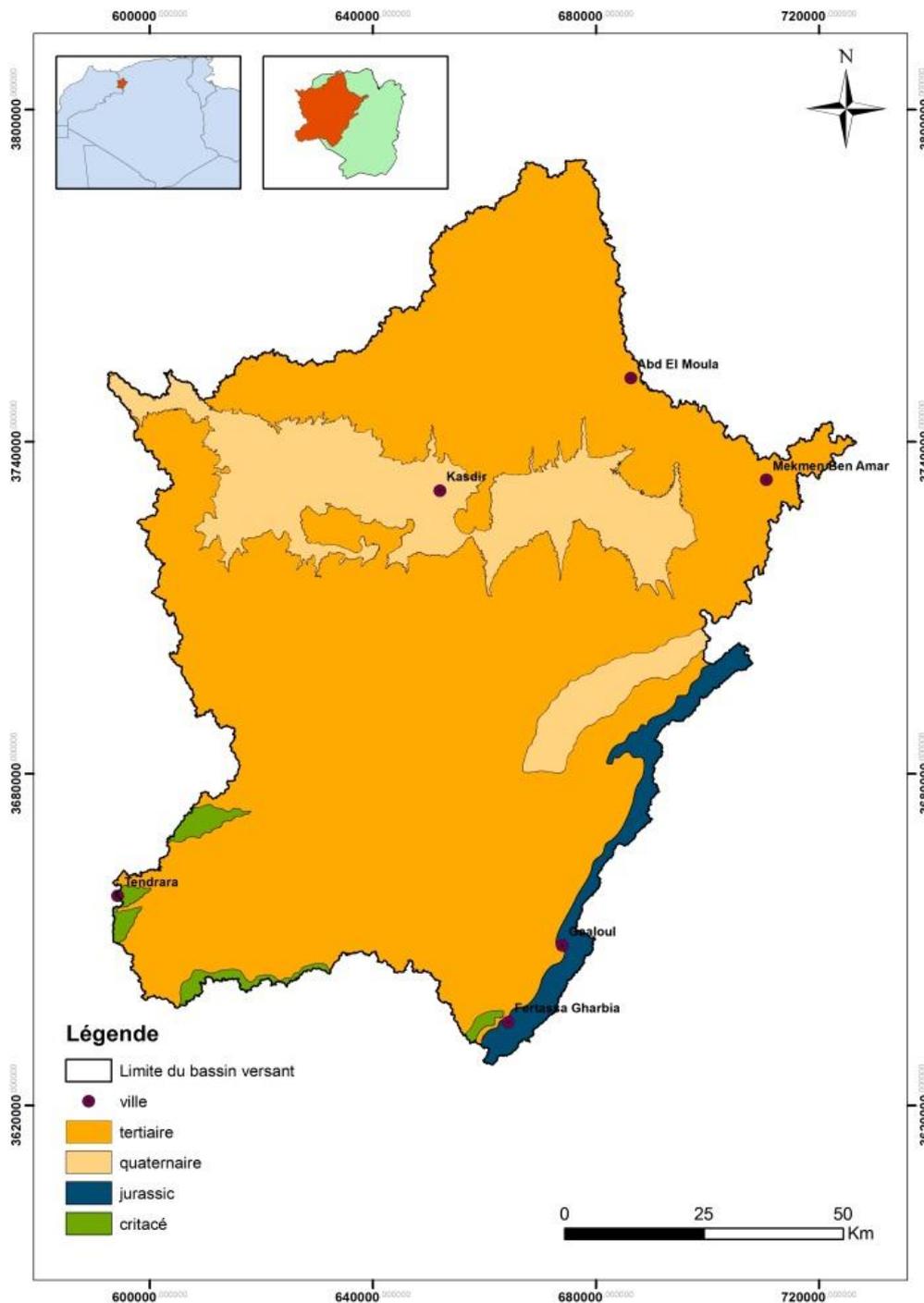


Fig.15 : Carte Géologique

6.5. Pente :

Cette carte a été classée en cinq catégories de pente: 0-1% (très bon), 1-3% (bien), 3-7% (modérer), 7-16% (pauvre) et 16-58% (très pauvre). Presque la totalité de la zone d'étude soit 92 % comprend une topographie plate avec les pentes les plus basses (0-7%) permettraient une plus grande rétention d'eau souterraine et un moindre ruissellement, tandis que les régions situant dans le sud portent des zones avec des pentes supérieures à 16-58 % ce sont des reliefs montagneux. Tandis que le rang inférieur est assigné aux pentes plus raides en raison de plus d'écoulement et de faible d'infiltration (**Fig.16**). L'influence de la pente est de 8.7%.

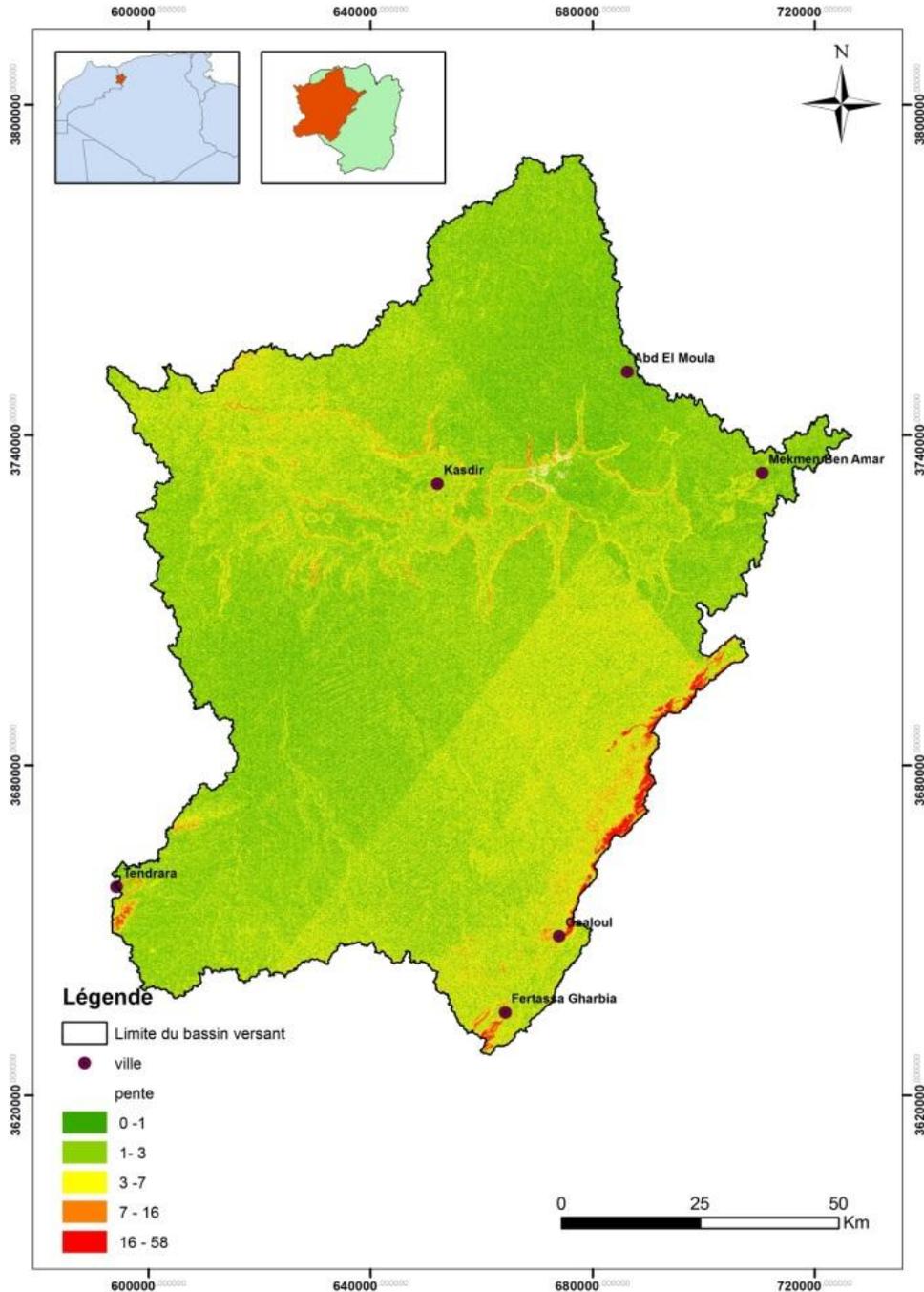


Fig.16 : Carte des Pentes

6.6. Densité de linéament :

La densité de linéarisation d'une zone peut exposer indirectement le potentiel des eaux souterraines, car la présence de linéaments dénote généralement une zone perméable. Les zones à haute densité de linéaments sont considérées comme excellentes pour les zones de potentiel des eaux souterraines (Haridas et al. 1998). Les linéaments sont des entités linéaires ou curvilignes structurellement contrôlées, qui sont extraites de l'imagerie satellite par leur alignement linéaire relatif ; la zone du chott et le centre jusqu'au sud du bassin sont accidenté et fracturé (Fig. 17) l'influence de la Densité de linéament est de 5.9%.

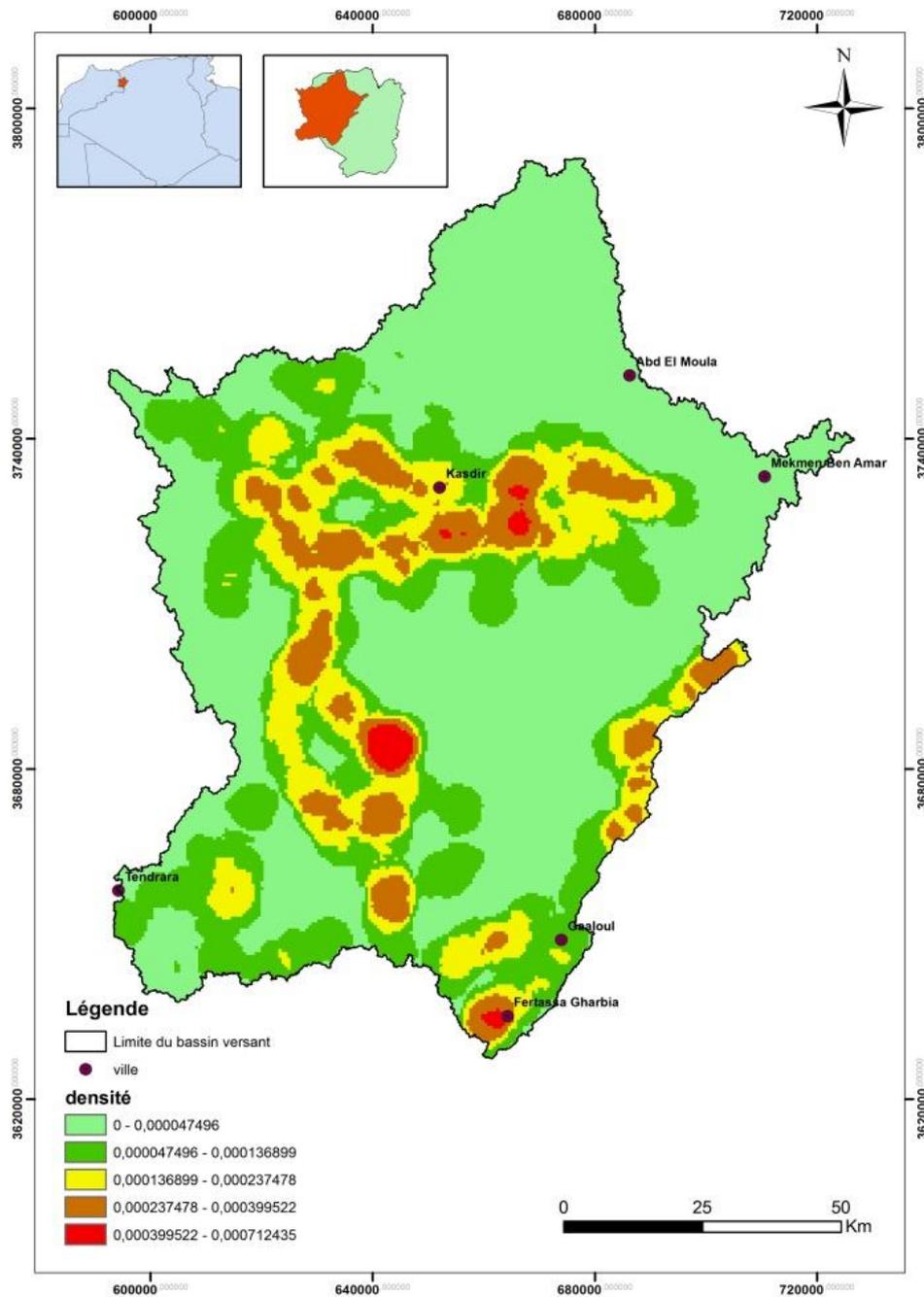


Fig.17 : Carte Densité de Linéaments

6.7. Densité de drainage :

Plus de poids sont attribués à des zones de faible densité de drainage, alors que les faibles pondérations sont affectées à des zones de densité de drainage très élevée. À partir du point de vue recharge, une faible densité de drainage indique une perméabilité élevée, fréquence de surface de la zone perméable, alors qu'une densité de drainage élevée indique une surface du sol imperméable (développement du réseau par écoulement de surface). En ce qui concerne les occurrences d'eau souterraine, donc une densité de drainage plus élevée est liée à une faible infiltration d'eau au sol, ce qui à son tour conduit à un écoulement de surface plus élevé et vice versa (Jhariya, Kumar, Gobinath, Diwan, & Kishore, 2016). La densité maximale de drainage était plus que 0.0039 km/km². Sur la base de la densité de drainage, la zone a été classée en cinq groupes: > 0.0028 (très élevé), 0.0028-0.0039 (élevé), 0.0017-0.0024 (modéré), 0.0012-0.0006 (faible) et 0-0.0006 (très faible) km/km²,(Fig.18). L'influence de la Densité de drainage est de 12.2%.

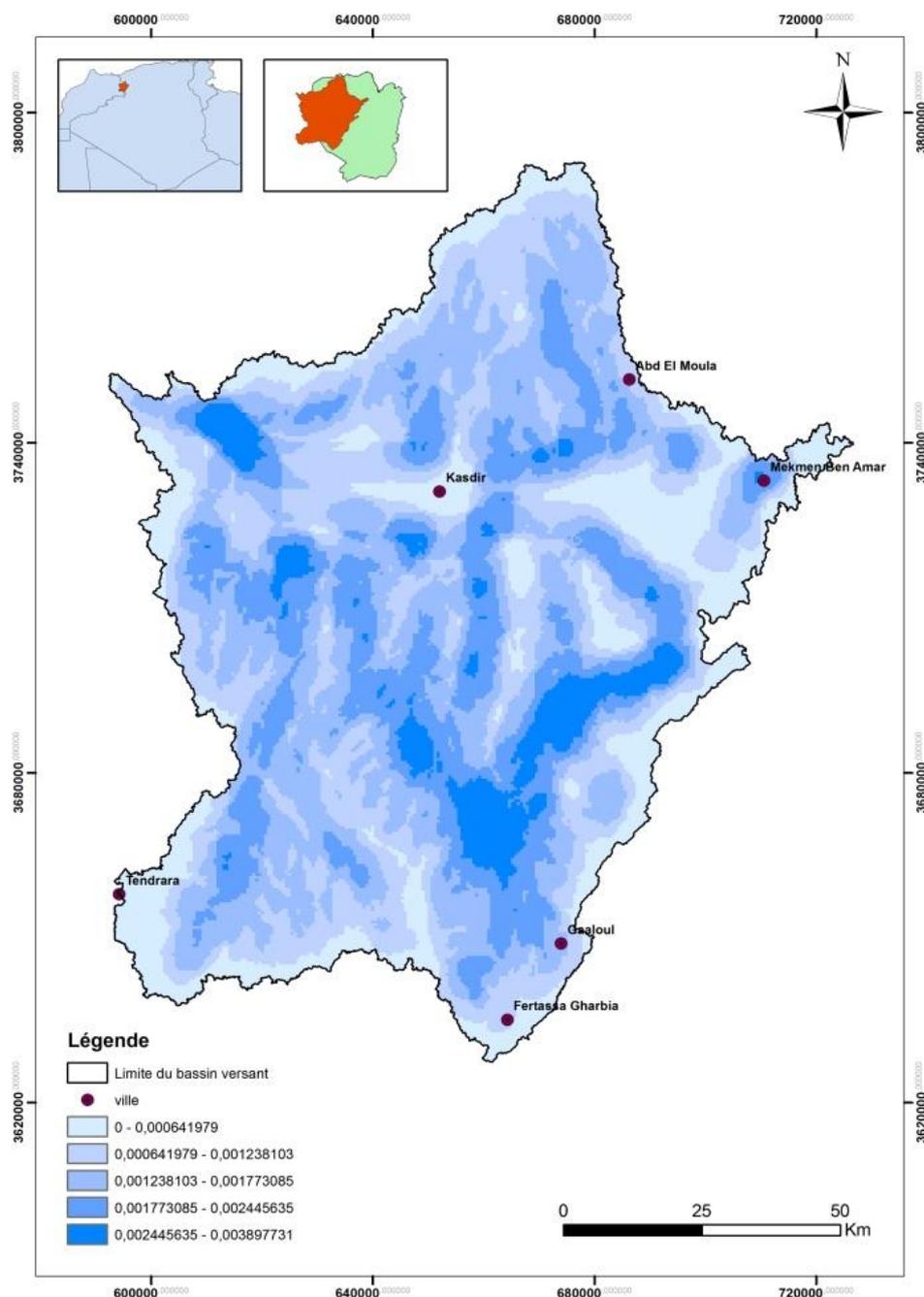


Fig.18 : Carte Densité de Drainage

6.8. Occupation des sols :

La carte a été classée en cinq grandes catégories telles que le sable, les affleurements, la végétation, Chott, Sol dénudés (**Fig.19**). Le Chott et les dépôts de sable et constituent une excellente source de recharge des eaux souterraines; par conséquent, Elles sont assignées par un rang le plus élevé pour le potentiel des eaux souterraines. La couverture végétale favorisent le taux d'infiltration et empêchent les excès de ruissellement et, par conséquent, se voient attribuer un rang élevé pour la prospection des eaux souterraines. Les Sols dénudés matérialisé par la croute carapace de calcaire se voient attribuer un rang très faible car le taux d'infiltration est très faible L'influence de l'Occupation des sols est de 11%.

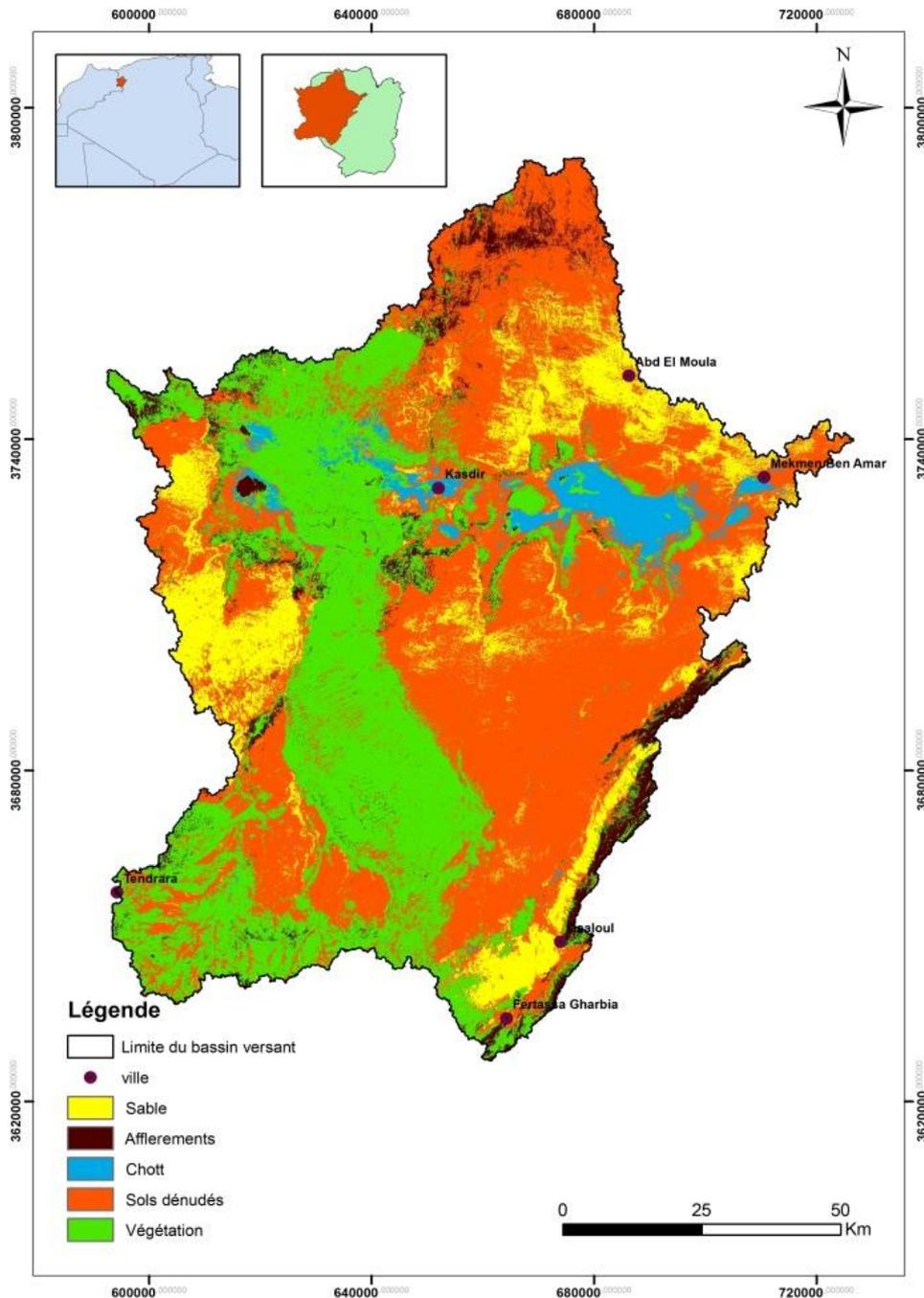


Fig.19 : Carte Occupation de Sol

6.9. Précipitations :

Notre bassin a été divisé en cinq zones de précipitations: (1) : 220-263 mm/an, (2) : 263-290 mm/an, (3) : 290-314 mm/an, (4) : 314-349 mm/an, et (5) : 349-390 mm/an. La carte obtenue montre des faibles précipitations dans la partie sud et centre de la plaine, des fortes précipitations dans les parties nord et nord-ouest du bassin. La majeure partie de la zone d'étude a une pluviométrie annuelle moyenne de 270-304.4 mm/an (**Fig.20**). L'influence des Précipitations est de 12.9 %.

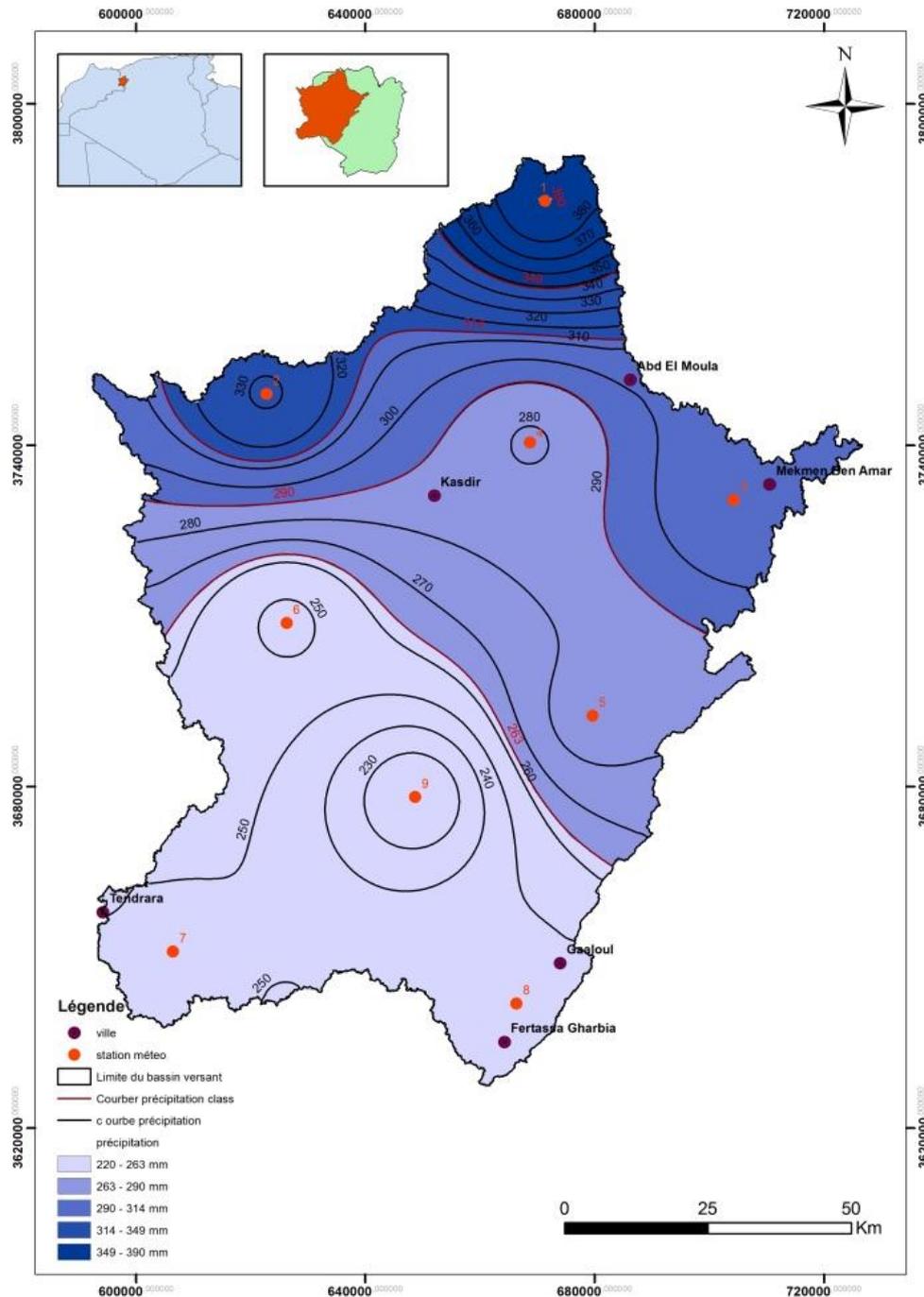


Fig.20 : Carte de Précipitation

6.10. Niveaux statiques des eaux souterraines :

La carte des profondeurs de niveaux statiques des eaux souterraines a été élaboré par La méthode d'interpolation spatiale par l'algorithme IDW on a basé sur les données de fins de sondages de 65 forages réalisé dans notre secteur d'étude, la carte a été devisé en cinq zones de : 28-72m (proche), 72-105m (modéré), 105-140m (moy profond), 140-172m (profonds), 172-210m (plus profonds). Le niveau statique le plus proche c'est au niveau du chott. (Fig. 21). L'influence des Niveaux statiques des eaux souterraines 8.1 %.

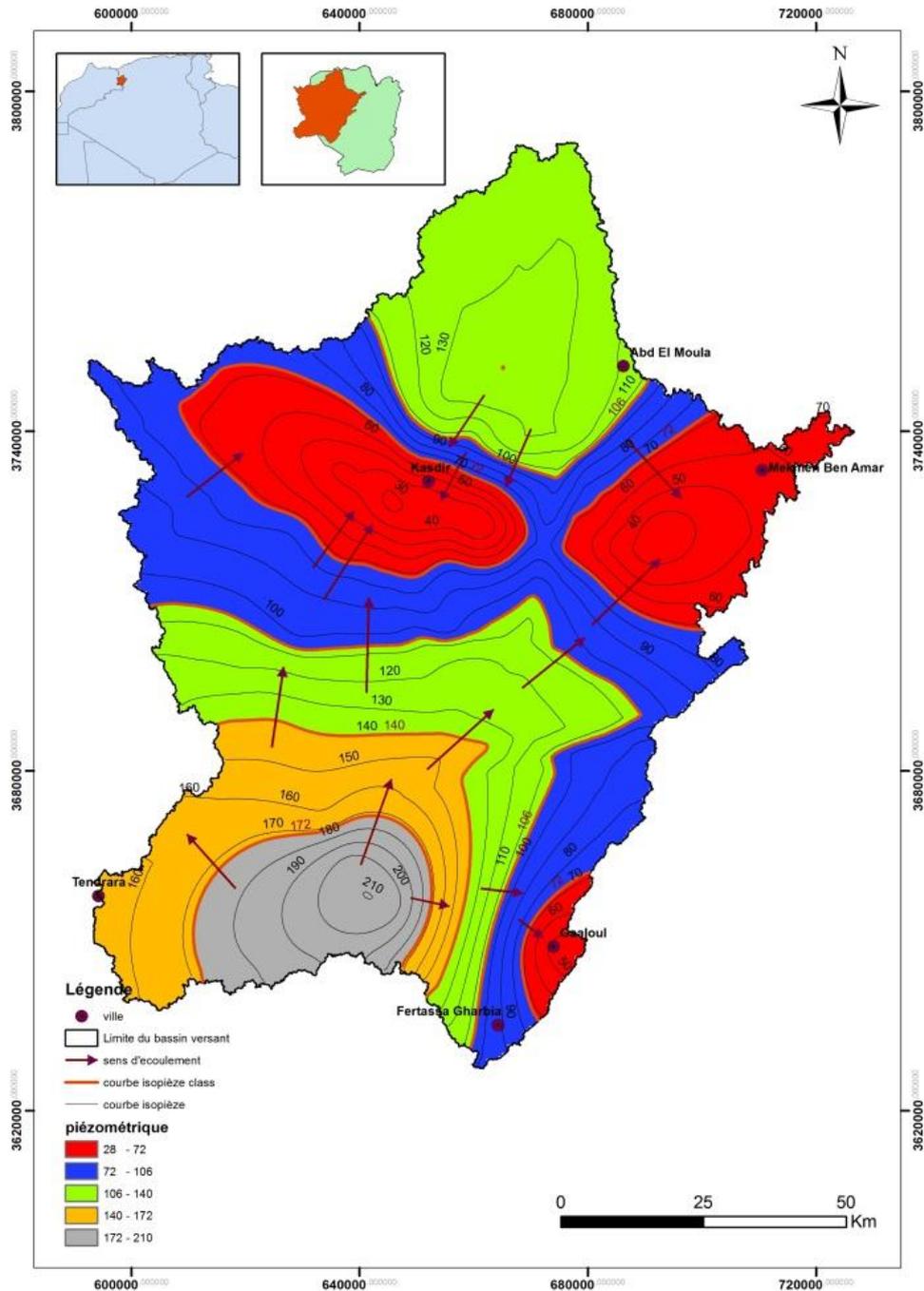


Fig.21 : Carte des Niveaux Statiques

6.11. Déterminer les poids et l'influence en utilisant l'AHP :

Processus de hiérarchie analytique (AHP) utilisé pour la prise de décision dans lequel un problème est divisé en différents paramètres, en les classant dans une structure hiérarchique en jugeant l'importance relative des paires d'éléments et en synthétisant les résultats,(T. L. Saaty, 1999), (Agarwal, Agarwal, Garg, & Garg, 2013) La relation entre ces sept couches thématiques a été dérivée à l'aide du processus de hiérarchie analytique (AHP). La méthodologie pour dériver les poids aux couches thématiques et leurs classes correspondantes en utilisant AHP implique de suivre les étapes.(Tab.4)

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	GEOLOGY		29.5%	16.9%
2	DRAINAGE DENSITY		12.2%	7.8%
3	RAINFALL		12.9%	5.8%
4	ALTITUDE		11.7%	4.7%
5	SLOPE		8.6%	6.3%
6	LULC		11.0%	4.5%
7	LINEAMENT DENS		5.9%	4.2%
8	STATIC LEVEL		8.1%	6.2%
9				
10		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the question section ("+" in row 66)		

Participant 1		1	α: 0,1		CR: 17%
Name	Weight	Date	Consistency Ratio		
i	j	Criteria	more important ?	Scale	
		A	B	A or B	(1-9)
1	2	GEOLOGY	DRAINAGE DENSITY	A	3
1	3	GEOLOGY	RAINFALL	A	5
1	4	GEOLOGY	ALTITUDE	A	3
1	5	GEOLOGY	SLOPE	A	1
1	6	GEOLOGY	LULC	A	3
1	7	GEOLOGY	LINEAMENT DENS	A	5
1	8	GEOLOGY	STATIC LEVEL	A	5
2	3	DRAINAGE DENSITY	RAINFALL	A	1
2	4	DRAINAGE DENSITY	ALTITUDE	A	1
2	5	DRAINAGE DENSITY	SLOPE	A	3
2	6	DRAINAGE DENSITY	LULC	A	1
2	7	DRAINAGE DENSITY	LINEAMENT DENS	A	5
2	8	DRAINAGE DENSITY	STATIC LEVEL	B	3
3	4	RAINFALL	ALTITUDE	A	1
3	5	RAINFALL	SLOPE	A	3
3	6	RAINFALL	LULC	A	1
3	7	RAINFALL	LINEAMENT DENS	A	3
3	8	RAINFALL	STATIC LEVEL	A	5
4	5	ALTITUDE	SLOPE	A	1
4	6	ALTITUDE	LULC	A	1
4	7	ALTITUDE	LINEAMENT DENS	A	3
4	8	ALTITUDE	STATIC LEVEL	A	5
5	6	SLOPE	LULC	B	3
5	7	SLOPE	LINEAMENT DENS	B	3
5	8	SLOPE	STATIC LEVEL	A	3
6	7	LULC	LINEAMENT DENS	A	1
6	8	LULC	STATIC LEVEL	A	3
7	8	LINEAMENT DENS	STATIC LEVEL	B	5

Tab.03 : Processus de hiérarchie analytique (AHP)

6.12. Notes des couches thématiques classées :

Des taux (Rates or scores) sont attribués à chaque catégorie selon l'ordre d'influence de la classe de chaque paramètre par rapport aux autres. Le taux (Rate) donne les gammes de p. Des classements (Ratings) de 1 à 5 ont été adoptés où les taux (Rates) 1, 2, 3, 4 et 5 représentent l'influence ; très faibles, faibles, moyens, élevés et très élevés respectivement. Représente chaque couche thématique et poids de leurs classes correspondantes en utilisant l'AHP est évalué par la combinaison linéaire pondérée (Weighted Over lay), (Bouabdellah & Abdelfettah, 2018).

Classement des zones potentielles d'eaux souterraines	Superficie (Km ²)	Superficie en %
Faible	585	05
Moyenne	8302	70
Bonne	2603	22
Exilente	294	03
Totale	11784	100

Tab.4: Zones potentielles d'eaux souterraines.

6.13. Carte de Validation :

La carte des zones de potentialité en eau souterraines a été produite sur la base de la pondération des différentes couches thématiques et de leurs caractéristiques individuelles. La carte des potentielles d'eaux souterraines du bassin Chott Gharbi a révélé trois zones distinctes, à savoir : (**Fig. 22**).

La région de Chott Gharbi Contient un potentiel très important à bonne dans la partie centrale, tandis que la partie nord et sud présente des potentiels d'eaux souterraines moyens à faible. Le modèle est validé en testant le débit disponible de **65** forages avec un pourcentage de validation est **63%**, soit (100 %) pour la zone a potentiel moyen ,(71 %) pour la zone à potentiel Bon et (50 %) pour la zone à potentiel exillent.et il a montré que la plupart des forages à haut rendement sont situés à l'intérieur de du chott à fort potentiel en eau souterraine .Les résultats de la validation sont vérifiés que les zones de productivité des eaux souterraines reconnues par la méthode SIG (AHP) sont fiables et pratiques, voir le Tableau (5).

Les classes	Les débits (L /s)	Nombre de forages	Forages après analyse	Pourcentage de validation (%)
Moyen	2-5	05	05	100
Bon	5-20	28	20	71
Exilent	>20	32	16	50
Totale		65	41	63

Tab.5 : Données de validations des résultats.

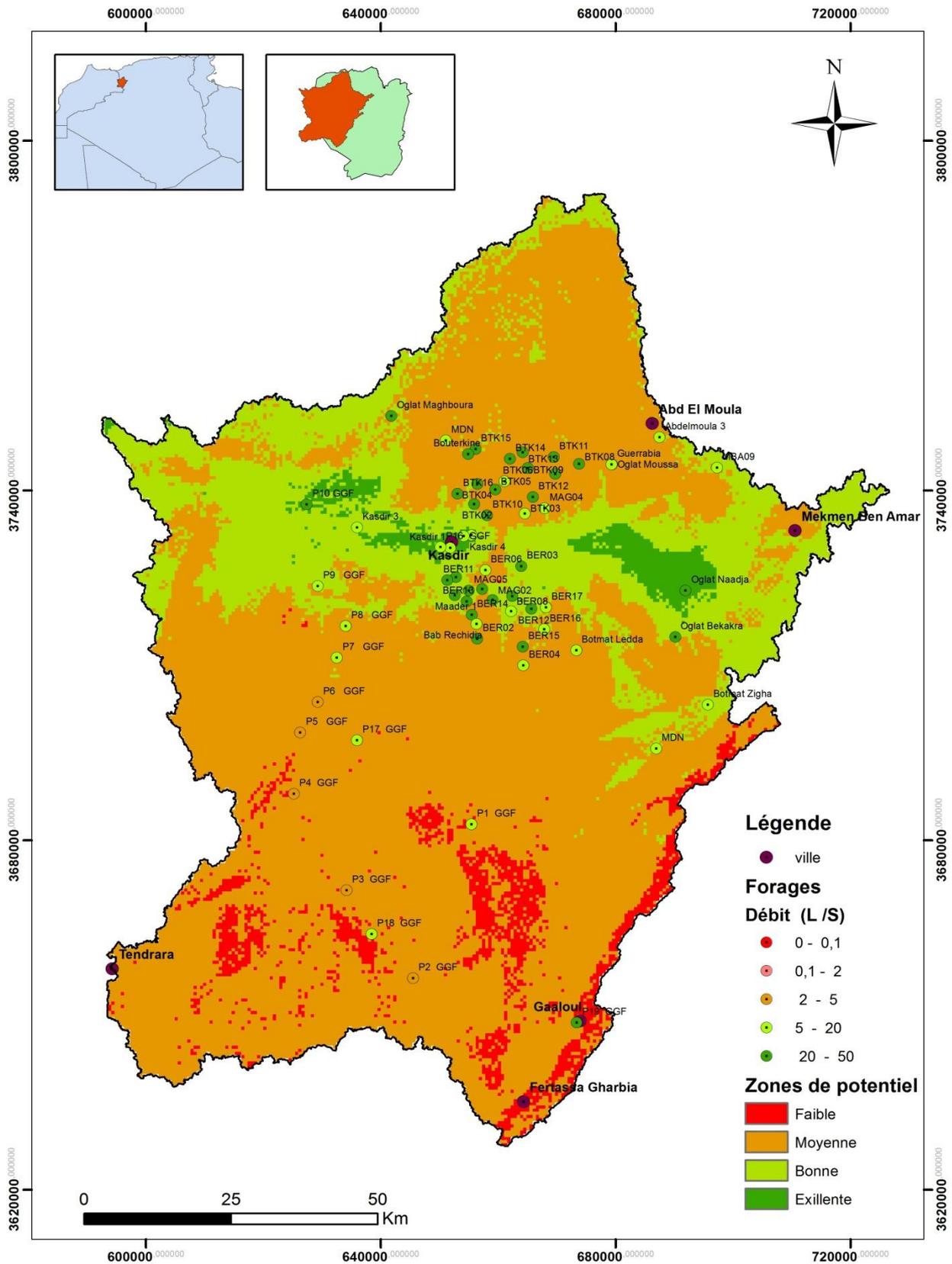


Fig.22 : Carte de validation des zones de potentialités des eaux souterraines dans le bassin Chott Gharbi.

7. Conclusion :

L'application de la technologie géospatiale, de la détection à distance et le système d'information géographique (SIG) par la technique AHP est une méthode analytique matricielle par paire qui a été utilisée pour calculer la moyenne géométrique et le poids normalisé des paramètres individuels est démontrée comme les meilleurs outils a été jugée très utile pour l'identification des zones de potentiel des eaux souterraines dans la région du Chott Gharbi. La présente étude met en évidence les zones potentielles des eaux souterraines en analysant plusieurs cartes de couches thématiques comme facteurs d'influence ; géologie, densité de drainage, précipitation, occupation du sol, pente, altitudes, piézométrie des niveaux statiques et la densité de linéaments.

La carte de la zone de potentiel des eaux souterraines a été superposé sur les données de rendement des 65 forages pour vérifier sa validité et on a constaté que les résultats sont en accord avec les points d'eau produire des données avec **63%**. L'analyse révèle trois zones de potentiel en eau souterraines : une zone à potentiel exilient occupe le centre du bassin au niveau du chott (50%), une zone à potentiel bon (71%) et une zone à potentiel moyen (100%).

La carte de validation; servira une base de données aux hydrogéologues et aux planificateurs sur la zone appropriée pour l'exploration prospective des forages d'eau souterraine et protégera la zone d'exploitation (captage) et la zone d'alimentation (recharge), ainsi que pour gérer les eaux souterraines de manière durable et améliorant le processus de protection de l'aquifère contre les schémas de pompage aléatoire indésirables.

8. Références Bibliographiques:

- Abd Manap, M., Sulaiman, W. N. A., Ramli, M. F., Pradhan, B., & Surip, N. (2013). A knowledge-driven GIS modeling technique for groundwater potential mapping at the Upper Langat Basin, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(5), 1621-1637.
- Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, R., & Garg, P. (2013). Delineation of groundwater potential zone: an AHP/ANP approach. *Journal of earth system science*, 122(3), 887-898.
- Azzaz, A. (1986). *Étude hydrogéologique du Chott el Gharbi. (Hydrogeological study of Chott el Gharbi). Report on the execution of two drillings. National Agency for Hydric Resources ANRH.* National Agency for Hydric Resources ANRH.
- Azzaz, A. (1996). *Étude hydrogéologique du Chott el Gharbi. (Hydrogeological study of Chott el Gharbi). Study report, National Agency for Hydric Resources ANRH.*
- Azzoun, C., Et, & Reffes, W. (2018). *Essai d'Identification de la Géométrie des Aquifères du Chott El Gharbi.* mémoire. Université Tlemcen. Retrieved from http://bibfac.univ-tlemcen.dz/snvstu/opac_css/doc_num.php?explnum_id=3006
- Bonn, F., & Rochon, G. (1992). Précis de télédétection, volume 1: principes et méthodes. *PUQ/AUPELF, Sainte-Foy.*
- Bouabdellah, L., & Abdelfettah, B. (2018). Evaluation des zones potentielles d'eaux souterraines, en utilisant l'analyse spatiale, SIG et les Techniques MCDA, plaine de khemis Miliana.
- Boudjema, A., Guettaia, S., & Brinis, N. (2019). STATISTICAL AND HYDROCHEMICAL CLASSIFICATION OF UNDERGROUND WATERS IN A MULTI-LAYER AQUIFER SYSTEM IN AN ARID ZONE: APPLICATION TO CHOTT EL GHARBI BASIN (EXTREME WEST OF ALGERIA). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 11(2), 786-803.
- Caponera, F. (1989). Remote sensing image interpretation for ground-water surveying. *RSC Series (FAO).*
- Chenini, I., Mammou, A. B., & El May, M. (2010). Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water resources management*, 24(5), 921-939.
- Cirou, J. (2017). *Elaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique.* Institution d'aménagement de la Vilaine, boulevard de Bretagne, 56130 ... ,
- Demargne, J. C. (2001). *Qualité des modèles numériques de terrain pour l'hydrologie. Application à la caractérisation du régime de crues des bassins versants.* Doctorat Sciences de l'Information Géographique, Université de Marne la Vallée,
- Eastman, J. R. (2003). IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing.
- El Hadani, D. (1997). Télédétection et système d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau. *IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences*, 242, 197-204.
- Esri. (2021, 2021). Arcgis resource center. Retrieved from <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Haridas, V., Aravindan, S., & Girish, G. (1998). Remote sensing and its applications for groundwater favourable area identification. *Quarterly Journal of GARC*, 6(6), 18-22.
- Jha, M. K., Chowdary, V., & Chowdhury, A. (2010). Groundwater assessment in Salboni Block, West Bengal (India) using remote sensing, geographical information system and multi-criteria decision analysis techniques. *Hydrogeology journal*, 18(7), 1713-1728.
- Jhariya, D., Kumar, T., Gobinath, M., Diwan, P., & Kishore, N. (2016). Assessment of groundwater potential zone using remote sensing, GIS and multi criteria decision analysis techniques. *Journal of the Geological Society of India*, 88(4), 481-492.
- Kumar, A., & Krishna, A. P. (2018). Assessment of groundwater potential zones in coal mining impacted hard-rock terrain of India by integrating geospatial and analytic hierarchy process (AHP) approach. *Geocarto International*, 33(2), 105-129.

- Lee, S., Kim, Y.-S., & Oh, H.-J. (2012). Application of a weights-of-evidence method and GIS to regional groundwater productivity potential mapping. *Journal of Environmental Management*, 96(1), 91-105.
- Machiwal, D., Jha, M. K., & Mal, B. C. (2011). Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing, GIS and MCDM techniques. *Water resources management*, 25(5), 1359-1386.
- MAHAMMED, D. M. (2012). *UTILISATION DES DISPOSITIFS DE GEOPHYSIQUE ELECTRIQUE NON CLASSIQUES POUR L'ETUDE DES COUCHES GEOLOGIQUES PROFONDES: CAS DES CHOTTS EL GHARBI ET CHERGUI*. (Docteur), Université d'Oran2 Mohamed ben Ahmed,
- Maizi, D. (2007). *Etude hydrogéologique du bassin versant du Chott Ech Chergui*. Alger,
- Marok, A. (1996). Stratigraphie, sédimentologie et interprétations géodynamiques du Lias-début du Dogger: exemple de sédimentation carbonatée de plate-forme en Oranie (Monts de Sidi el Abed, Hautes-Plaines, Algérie occidentale). *Travaux et Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 141(1), 3-199.
- MENAD, W. (2012). *Système d'Information Géographique (cours et travaux pratiques)*. Université Hassiba Benbouali de Chlef. Retrieved from <https://www.univ-chlef.dz/FGCA/wp-content/uploads/2020/11/Syst%C3%A8me-d'Information-G%C3%A9ographique-M2-Hyd-Menad-Wahiba.pdf>
- Nagarajan, M., & Singh, S. (2009). Assessment of groundwater potential zones using GIS technique. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(1), 69-77.
- Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2017). Cartographie des zones potentielles pour le stockage des eaux souterraines dans le haut bassin du Ziz (Maroc): Apport de la télédétection et du système d'information géographique. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre*, 39(45-57), 13.
- Polidori, L. (1995). Réflexions sur la qualité des modèles numériques de terrain. *Bulletin-Société française de photogrammétrie et de télédétection*(139), 10-19.
- Prasad, R., Mondal, N., Banerjee, P., Nandakumar, M., & Singh, V. (2008). Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environmental Geology*, 55(3), 467-475.
- Rahmani, A., Bouanani, A., Kacemi, A., & Hamed, K. B. (2017). Contribution of GIS for the survey and the management of water resources in the basin "Benhandjir-Tirkount"(Ain Sefra)-mounts of Ksour-Saharian Atlas-Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2), 829-846.
- Rahmati, O., Samani, A. N., Mahdavi, M., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2015). Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(9), 7059-7071.
- Rao, B. V., & Briz-Kishore, B. (1991). A methodology for locating potential aquifers in a typical semi-arid region in India using resistivity and hydrogeologic parameters. *Geoexploration*, 27(1-2), 55-64.
- Rao, N. S. (2006). Groundwater potential index in a crystalline terrain using remote sensing data. *Environmental Geology*, 50(7), 1067-1076.
- Roche, M. (1963). *Hydrologie de surface*. Retrieved from
- Russo, P. (1947). *La morphologie des Hauts-Plateaux de l'Est marocain*. Paper presented at the Annales de Géographie.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting Resource Allocation*, New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1999). *Fundamentals of the analytic network process*. Paper presented at the Proceedings of the 5th international symposium on the analytic hierarchy process.
- Schäuble, H. (2003). Hydrotools 1.1 for ArcView 3. x-user guide. *Institute of Applied Geosciences, Technical University of Darmstadt*.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.
- Singh, P., Bhardwaj, O., & Kumar, A. (2011). Site selection for ground water recharge using treated municipal wastewaters-a case study of Varanasi (India). *Recent Adv. Civil Engg*, 122-130.

- Solomon, S., & Quiel, F. (2006). Groundwater study using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the central highlands of Eritrea. *Hydrogeology journal*, 14(6), 1029-1041.
- Takorabt, M., Toubal, A. C., Haddoum, H., & Zerrouk, S. (2018). Determining the role of lineaments in underground hydrodynamics using Landsat 7 ETM+ data, case of the Chott El Gharbi Basin (western Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(4), 1-19.
- Trabelsi, N., Triki, I., Hentati, I., & Zairi, M. (2016). Aquifer vulnerability and seawater intrusion risk using GALDIT, GQI SWI and GIS: case of a coastal aquifer in Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, 75(8), 669.
- worldclim.org. (2020). worldclim climate data. Retrieved from <http://www.worldclim.com/>

9. Annexe :

Canevas des forages réalisés dans le bassin de Chott Gharbi.

ID	Nom_du_forage	débit l/s	Nd	ID	Nom_du_forage	débit l/s	Nd
1	MBA09	18	144	34	MAG05	31	49
2	BTK02	31	173	35	Oglat Naadja	22	9,9
3	BTK03	20	163	36	Oglat Bekakra	36	30
4	BTK04	38	134	37	Botmat Zigha	13	90,6
5	BTK05	31	142	38	Oglat Moussa	10	129
6	BTK06	20	194	39	Kasdir 2	10	72
7	BTK07	25	136	40	Abdelmoula 3	7	134,5
8	BTK08	38	130	41	Kasdir 4	15	51
9	BTK09	31	139	42	Botmat Ledda	11	132
10	BTK10	31	129	43	Kasdir 1	5	59
11	BTK11	31	135	44	Bab Rechidia	11	100
12	BTK13	38	151	45	Guerrabia	10	129
13	BTK14	31	169	46	Oglat Maghboura	40	125,3
14	BTK15	31	156	47	Kasdir 3	5	180
15	BTK16	38	130	48	Maader 1	35	34,42
16	MAG04	16	180	49	Bouterkine	29	141,88
17	BTK12	31	130	50	P1 GGF	5	190
18	BER02	38	102	51	P2 GGF	3	264
19	BER03	38	51	52	P3 GGF	4	181
20	BER04	20	117	53	P4 GGF	4	175
21	BER05	38	52	54	P5 GGF	3	133
22	BER06	16	89	55	P6 GGF	3	137
23	BER07	38	71	56	P7 GGF	12	109
24	BER08	20	50	57	P8 GGF	6	92
25	BER10	38	71	58	P9 GGF	5	116
26	BER11	38	67	59	P10 GGF	22	51
27	BER12	31	55	60	P16 GGF	6	58
28	BER13	31	50	61	P17 GGF	10	134
29	BER14	38	99	62	P18 GGF	11	248
30	BER15	38	104	63	P19 GGF	33	56
31	BER16	13	155	64	MDN	10	112
32	BER17	20	99	65	MDN	10	109
33	MAG02	38	20				

Source des données :

ADE Chott Gharbi et DRE Naâma.