



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité/Option : Hydrogéologie

Thème

Utilisation des techniques géospatiales pour la cartographie du potentiel en eaux souterraines (Cas de la plaine de Tamlouka)

Wilaya de Guelma, Algérie.

Présenté par

✓ CHAOUI Imane et ROUABHIA Rima

Devant le jury

DJERREB Muriel	Présidente	MCB	Université de Guelma
BENACER Leila	Examinatrice	MCB	Université de Guelma
MAOUI Ammar	Encadreur	Pr	Université de Guelma

Juillet 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements



Tout d'abord, je remercie *Allah* qui m'a donné la puissance, le courage et la *détermination* nécessaire pour *finaliser* ce travail de *mémoire*.

Je voudrais remercier, mon directeur de mémoire professeur *Maoui Ammar* ; pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Mes sincères remerciements s'adressent aux membres du jury qui ont bien voulu accepter de lire et juger ce travail.

Je remercie mes très chers *parents*, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs et mes frères, pour leurs encouragements.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon mémoire.

Dédicace



*Je dédie ce travail à mes chers **parents**, pour tous leurs sacrifices, leur **amour**, leur tendresse, leur soutien et leurs **prières** tout au long de mes études.*

*Et aussi à mes chères sœurs ; **Dr Rawia** et **Dr Amna** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*

Et un grand merci à mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement.

Imane

Dédicace



*Je dédie ce travail à mes **parents** pour leur prière
continue pour terminer cette mémoire.*

*Et à mes sœurs, **Amina** et **Donia**, qui m'ont
accompagnée sur chaque point de ce travail.*

*Et à mon frère **Seif**, pour ses efforts avec moi.*

Rima

Table des matières

Liste des figures
 Liste des tableaux
 Liste des symboles et abréviations
 Résumé
 Introduction 1

Chapitre I Cadre Général

1. Localisation géographique..... 4
 2. Aperçus socio-économiques 5
 3. Géologie 5
 3.1. Unité allochtone du djebel Djaffa..... 6
 3.2. Unité des Sellaoua 6
 3.3. La nappe Néritique constantinoise..... 8
 3.4. La nappe tellienne..... 8
 3.5. La nappe Numidienne de djebel Ansel 8
 3.6. Le remplissage Mio-Plio-Quaternaire 7
 4. Hydrogéologie 9
 4.1. La nappe aquifère du remplissage Mio-Plio-Quaternaire 10
 4.2. La nappe profonde des calcaires 10
 5. climatologie 11
 5.1. Précipitation 11
 5.2. Temperature..... 12
 5.3. L'évaporation..... 12
 5.4. Indice d'aridité..... 13
 6. Conclusion..... 14

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Matériels.....	16
1.1. Les données satellitaires	16
1.1.1. Les images (MNT).....	16
1.1.2. Les images satellitaires (LANDSAT)	16
1.1.3. Les images Google Earth.....	16
1.2. Logiciel ArcGis 10.3	16
1.3. Google Earth Pro	17
2. Méthodes	17
2.1. La modélisation hydrologique	17
2.1.1. Processus d'extraction du réseau hydrologique.....	18
2.1.2. Extraction de la carte des pentes	19
2.1.3. Densités de drainage	19
2.1.4. Pluviométrie.....	19
2.1.5. Cartographie géologique	20
2.1.6. Occupation du sol.....	20
2.1.7. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)	21
2.1.8. Génération de la carte du potentiel des eaux souterraines	25

Chapitre III : Résultats et Discussions

1.Hydrologie.....	27
1.1. Etude de sous bassin versant de Tamlouka	27
1.1.1. Caractéristique de la forme du bassin versant.....	27
1.2. Carte des pentes	28
1.3. Carte des précipitations	29
1.4. Carte géologique	31
1.5. Densité de drainage	33
1.6. Occupation du sol	33

2. Carte du potentiel d'eau souterraine.....	34
3. Conclusion.....	37
Références Bibliographiques.....	39
Annexes	42

Liste des figures

Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude	4
Fig. 2. Carte géologique de la plaine de Tamlouka	6
Fig. 3. Les logs de quelques forages réalisés sur la plaine	9
Fig. 4. Coupe hydrogéologique schématique des forages.....	10
Fig. 5. variation des précipitations moyennes annuelles source(https://chrsdata.eng.uci.edu/).	11
Fig. 6. Précipitations annuelles médianes « normales» (1965/66 -1994/95)	12
Fig. 7. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique et délimitation du bassin.....	18
Fig. 8. Matrice de corrélation cas de l'étude de la plaine de Tamlouka.	23
Fig. 9. Cadre conceptuel adopté pour la génération de la carte du potentiel des eaux souterraines.....	25
Fig. 10. Carte des pentes.	29
Fig. 11. Carte hypsométrique.....	30
Fig. 12. Carte des précipitations moyennes annuelles.....	31
Fig. 13. Carte géologique modifiée.....	32
Fig. 14. Carte de densité de drainage.....	33
Fig. 15. Carte d'occupation du sol.....	34
Fig. 16. Carte du potentiel d'eau souterraine.....	35
Fig. 17. Carte du potentiel d'eau souterraine avec superposition de puits et forage.....	36

Liste des tableaux

Tableau. 1. Zonage bioclimatique selon l'indice d'aridité dans le bassin méditerranéen..... 13

Tableau. 2. Echelle de valeurs (d'après Saaty ,1984). 22

Tableau. 3. L'indice randomisé..... 24

Tableau. 4. Pourcentage et surface des classes d'altitude dans le bassin..... 28

Tableau. 5. Pourcentage des classes des pentes dans le bassin. 28

Tableau. 6. Postes pluviométriques et précipitations moyennes annuelles..... 30

Tableau. 7. Corrélacion entre la géologie et les résultats géophysiques..... 32

Liste des symboles et abréviations

AHP : Analytic Hierarchy Process.

Cam : Campanien.

CHRS : Center for Hydrometeorology and Remote Sensing.

CI : l'indice de consistance.

Dd : le score de densité drainage.

DHW : Direction de l'hydraulique de la willaya.

e^m : Eocène marneux.

e^c : Eocène calcaire.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

GPx : l'indice de potentiel des eaux souterraines.

J : Jurassique.

Kc : coefficient de Gravelius /Indice de capacité.

L : la partition de lithologie.

LC : le score de l'occupation des sols.

Ld : le score du gradient de pente.

LULC :Land Use Land Cover.

M^e : Miocène.

MNT : Un Modèle Numérique de Terrain.

Mp : Meo-pléocène.

NASA : National Aeronautics and Space Administration.

ONS : l'office national des statistiques.

P : Périmètre (km).

A : Surface du bassin versant (Km²).

P : précipitation.

PERSIANN: Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks.

Q : Quatenaire.

r : caractéristique individuelle d'un thème.

R : le score des précipitations.

RI : un indice randomisé.

SIG : Système d'information géographique.

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission.

UCI : l'Université de Californie à Irvine.

USGS : Site Web de la Geological Society.

w : poids d'un thème.

Résumé

Les eaux souterraines sont très importantes dans un contexte semi-aride et aride ; le potentiel en eaux souterraines diffère d'une région à une autre. Ce travail a pour but de la délimitation de la zone de potentiel des eaux souterraines dans la plaine de Tamlouka, qu'elle située au Nord Est Algérien, À l'aide de la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG) et Le processus de la hiérarchie analytique (AHP), cette technique est utilisée pour déterminer les poids des différents thèmes. C'est Ainsi que les couches thématiques de la densité de drainage, géologie, l'occupation des sols, la pente, et de la pluviométrie. Les poids sont appliqués aux couches thématiques et après combinaison linéaire de toutes les couches. Les zones de potentiel hydrique dans la zone d'étude sont délimitées. Et donc, les zones prospectives sont classées dans les quatre classes avec une potentialité des eaux souterraines du très faible au très fort potentiel. Avec les proportions suivantes : 116 Km² (très bon), 167km²(bon), 85 km² (faible), 11km² (très faible). La carte des forages et puits en exploitation est bien corrélée avec les zones à fort potentiel en eau souterraine.

Mots clés : Les eaux souterraines , Tamlouka , Le processus de la hiérarchie analytique,télédétection , les systèmes d'informations géographiques (SIG).

Abstract

Groundwater is very important in a semi-arid and arid context; the groundwater potential differs from region to region. The purpose of this work is to delimit the area of groundwater potential in the Tamlouka plain, located in the North East of Algeria, using remote sensing and geographic information systems (GIS) and The process of Analytical hierarchy (AHP), this technique is used to determine the weights of different themes. Thus, thematic layers of drainage density, geology, land use, slope, geology and rainfall are produced. Weights are applied to thematic layers and after linear combination of all layers. The areas of water potential in the study area are demarcated. Thus, the prospective zones are classified in the four classes with a groundwater potential from very low to very high potential. With the following proportions: 116 km² (very good), 167 km² (good), 85 km² (weak), and 11 km² (very weak). The map of boreholes and wells is well correlated with areas with high groundwater potential.

keywords : Groundwater, Tamlouka, Analytic Hierarchy Process ,remote sensing ,geographic information systems (GIS).

ملخص

المياه الجوفية مهمة جدا في البيئات شبه القاحلة والجافة؛ وتختلف إمكانات المياه الجوفية من منطقة إلى أخرى. يهدف هذا العمل إلى تحديد مساحة المياه الجوفية المحتملة في سهل تاملوكة الواقع في شمال شرق الجزائر، باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (SIG)، وعملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP)، هذه التقنية تستخدم لتحديد أوزان الموضوعات المختلفة. وهكذا يتم إنتاج طبقات موضوعية لكثافة الصرف، والجيولوجيا، واستخدام الأراضي، والمنحدر، والجيولوجيا، وهطول الأمطار. يتم تطبيق الأوزان على الطبقات الموضوعية وبعد الجمع الخطي لجميع الطبقات. تم تحديد مساحات الإمكانات المائية في منطقة الدراسة. وبالتالي يتم تصنيف المناطق المحتملة في أربع فئات ذات إمكانات للمياه الجوفية من إمكانات منخفضة جدًا إلى إمكانات عالية جدًا. بالنسبة التالية: 116 كم² (جيد جدًا)، 167 كم² (جيد)، 85 كم² (ضعيف)، 11 كم² (ضعيف جدًا). وترتبط خريطة الآبار والآبار ارتباطًا وثيقًا بالمناطق ذات الإمكانية العالية للمياه الجوفية.

كلمات مفتاحية: المياه الجوفية، تاملوكة، عملية التسلسل الهرمي التحليلي، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية (SIG).

Introduction

Introduction

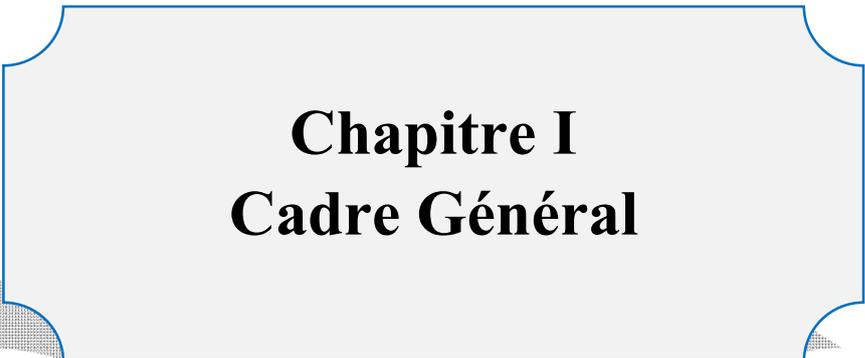
Les eaux souterraines sont la principale source d'utilisation domestique, agricole et industrielle dans de nombreuses régions du monde. Les eaux souterraines sont des ressources plus privilégiées en raison de leurs moindres contaminations comparativement à l'eau de surface. Ils peuvent être considérés comme la plus grande source d'eau douce dans de nombreuses régions du monde, en particulier pendant les périodes sèches prolongées. L'utilité de l'eau ne cesse de croître et provoque un stress sur les ressources en eaux souterraines de manière prévisible.

Dans les pays en développement comme l'Algérie, la croissance incontrôlée de la population et les ressources de gestion affectent directement et / ou indirectement à la fois la qualité et la quantité des eaux souterraines, l'exploitation non scientifique et l'utilisation abusive de l'eau sont également des facteurs possibles. L'évaluation des ressources en eaux souterraines est essentielle pour gestion durable. La plupart des techniques d'enquête sur le potentiel des eaux souterraines (c.-à-d. méthodes géophysiques, levés au sol, et forage exploratoire) ne sont pas rentables et prennent du temps et nécessitent de grands nombres de données.

Cependant, une étude intégrée de SIG et de télédétection peut fournir une plate-forme appropriée où converge un gros volume de données et techniques assez décisionnelles pour l'exploration des eaux souterraines. La télédétection et le SIG sont de plus en plus utilisés pour l'identification du potentiel des eaux souterraines (Anduallem, 2019), le SIG a également été utilisé pour le traitement et l'interprétation de données sur la qualité des eaux souterraines (Srinivasa Rao, 2003).

Des techniques géospatiales ont été appliquées dans ce mémoire pour délimiter les zones potentielles d'eau souterraine dans la plaine de Tamlouka, utilisant une analyse factorielle basée sur les connaissances d'un total de 5 couches d'informations de la zone tels que la géologie, l'occupation du sol, la densité du drainage, les précipitations, la pente, L'analyse et prétraitement des données de télédétection du bassin de Tamlouka a été réalisée à l'aide du logiciel ArcGIS 10.4. Une image SRTM-30 m été utilisée pour délimiter la limite du bassin à l'aide de l'outil d'hydrologie du logiciel ArcGIS. Une l'image satellitaire a été obtenue du Site Web de la Geological Society (USGS) et utilisé pour générer la carte d'occupation du sol, Ensuite, la carte du potentiel des eaux souterraines a été développée en utilisant une

superposition avec un indice pondéré. L'indice de potentiel des eaux souterraines a été calculé à l'aide d'une méthode de combinaison linéaire pondérée.



Chapitre I
Cadre Général

1. Localisation géographique

La plaine de Tamlouka est située au Sud-Ouest de la wilaya de Guelma à une altitude moyenne supérieure à 742 m. Elle se trouve à une distance de 60 Km du chef-lieu de la wilaya vers le Sud et 30 Km au Nord de la ville d'Oum El-Bouaghi avec une superficie estimée de 303 Km² soit 8,21 % de la superficie totale de la wilaya. Elle appartient à la région Est des hauts plateaux constantinois et se localise entre 7° - 7°15'E de longitude et entre 36°- 36°12'N de latitude (Figure 1).

La commune de Tamlouka est limitée par :

- Les communes d'Oued Zenati et Ain Regada au Nord ;
- La wilaya d'Oum El-Bouaghi au Sud ;
- La commune d'Ain Makhlouf à l'Est ;
- Par la wilaya de Constantine à l'Ouest.

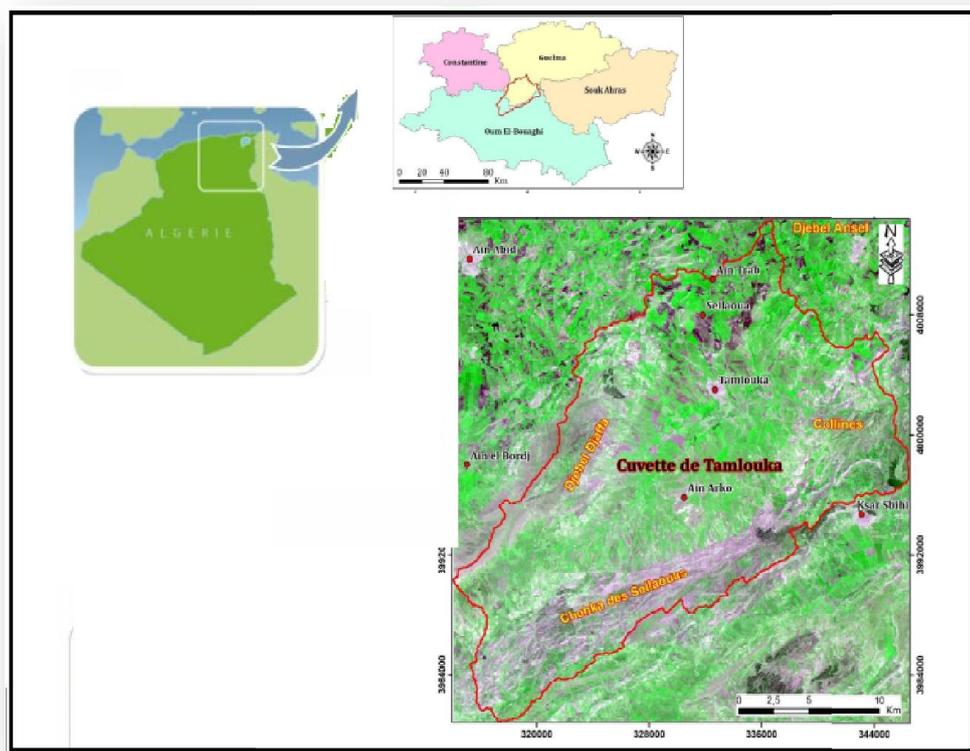


Fig. 1. Situation géographique de la zone d'étude ((Djorfi, 2018)modifiée).

2. Aperçus socio-économiques

La ville de Tamlouka présente un point de transition très actif car elle constitue le carrefour de trois grandes villes : Constantine, Guelma, Oum El Bouaghi (Figure 1). La plaine de Tamlouka est considérée comme une région à vocation agro-pastorale dont l'activité économique principale est la culture des céréales et l'élevage de bétail et volailles. La région possède une superficie agricole estimée de 25620 ha (12,74 % de la superficie de la wilaya de Guelma) dont 22927 ha est cultivé.

L'industrie est presque inexistante sauf certaines installations à caractère locale notamment les carrières localisées à Ain Arko. Selon les données de l'office national des statistiques (O.N.S, 2008), la commune de Tamlouka compte 18 894 habitants. La population est concentrée dans les principales agglomérations : Tamlouka, Ain Arko, Sellaoua, Belhafaf, Berahab et Bir El Setal.

La répartition par secteurs d'activités économiques révèle que 18,5 % de la population active avec une dominance du secteur de commerce (80,9 %) et le reste pour le secteur de l'agriculture avec 19,1% (Gueroui, 2015).

3. Géologie

Le relief de la région de Tamlouka se caractérise par des plaines avec 80 % de la superficie totale, suivi par les montagnes 10 %, les collines 8 % et d'autres types avec 2 %. La géologie de la zone d'étude a été décrite par plusieurs auteurs : Voute 1957 ; 1967 et Vila 1977a, 1977b, 1980. Elle comprend, le Plio-quadernaire qui présente une formation continentale composée essentiellement d'une croûte de calcaire, d'argile, sable et des graviers de temps en temps.

Dans cette région, trois domaines structuraux constituent les hauts plateaux : le sillon Sellaoua apparaît dans la partie orientale de la plaine et formé de la marne et légèrement du calcaire, le second domaine est le néritique qui apparaît dans la partie occidentale de la plaine par les monts de Djaffa, caractérisé par une alternance de calcaire, marne avec de l'argile et parfois le sable. Le troisième domaine occupe la partie Nord de la plaine et se compose de marnes et de calcaires-marneux avec le silex de l'âge crétacé (Figure 2).

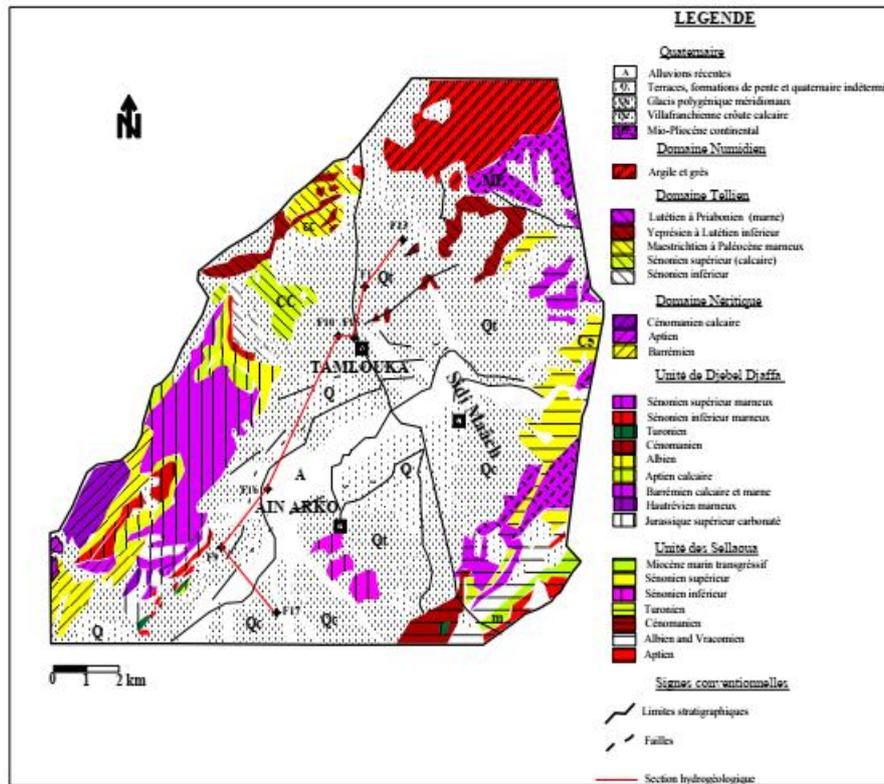


Fig. 2. Carte géologique de la plaine de Tamoulouka (d'après J.M. Vila, 1977 : extrait

La plaine de Tamoulouka révèle des unités lithologiques différents ; les principales sont les suivantes (Djidel, 1992).

3.1. Unité allochtone du djebel Djaffa

L'unité de Djaffa est située au bord du bassin de Tamoulouka. Elle a été décrite par trois auteurs : Gramont, Lombard (1966) et Vila (1980). Elle est caractérisée principalement par une alternance marno-calcaire d'épaisseur de 1000 m avec des passages argileux.

3.2. Unité des Sellaoua

Cette unité possède les mêmes affinités lithologiques que celles du djebel Djaffa en remarquant un abaissement relatif du calcaire.

- Crétacé inférieur

- ✓ **Néocomien** : Il se caractérise par une épaisseur de 250 m présenté par des alternances de marnes et schistes argileux avec les cadences des grès contenant des microfossiles du Valanginien.

- ✓ **Barrémien** : Avec une épaisseur de 180 m, la série est composée par des marnes et d'argiles gréseuses avec un niveau constant des calcaires lités joignant une agglutination calcaire.
- ✓ **Aptien** : Il se présente par une couche de 50 à 100 m de marnes de temps à autre gréseuses à ammonites ferrugineuses avec des niveaux de calcaires lités.
- ✓ **Albien** : Il se définit par une série marno-pélicite-gréseuse épaisse d'environ 150 à 400m.

-Crétacé supérieur

- ✓ **Cénomaniens** : L'épaisseur de la série est de 420 m, caractérisée par des faciès de marnes et marno-calcaires à ammonites. Au niveau du fossé central, le Cénomaniens terminal à faciès Chebka (calcaires en plaquettes) passe à des faciès calcaires grumeleux et marno-sableux avec ammonite ferrugineuse et éponge.
- ✓ **Turonien** : Il se présente sous deux formes : le Turonien inférieur et supérieur. Le premier est constitué par des calcaires lités avec des marnes. Il se caractérise par une épaisseur variable de 8 m au centre, de 30 m vers le Nord et de 60 m sur la bordure méridionale.
- ✓ Le **Turonien supérieur** se définit par une série d'épaisseur variant entre 20 à 150 m, formée par des marnes noduleuses à marnes granuleuses en remarquant des petits niveaux discontinus de calcaires glauconieux.
- ✓ **Sénonien inférieur** : Nous le rencontrons sous deux formes : le Coniacien qui est une série composée de marnes et du calcaire glauconieux généralement grumeleux où ils montrent des traces d'algues et des pistes de vers avec une épaisseur dépassant les 300 m. Le Santonien se caractérise par une épaisseur variable de 25 m au centre de la zone et entre 5 et 10 m au niveau de la bordure Sud-Est. Il est constitué de deux masses de calcaires gris et jaunes, séparées par des marnes. Au-dessus de la zone on découvre une série épaisse de 50 à 100 m composée de marnes grises verdâtres avec certaines insertions de calcaires.
- ✓ **Sénonien supérieur** : Il est caractérisé par deux structures : le Campanien qui s'entrevue au niveau de la partie Sud-Ouest avec une succession régulière composée de marne épaisse de 70 m. Cette série de marne devient plus bleue chargée de pyrite, limonite et de gypse.
- ✓ Le **Maastrichtien** qui présente une série épaisse de 70 à 100 m formée par des marnes riches en incérâmes.

3.3. La nappe Néritique constantinoise

Au niveau du djebel Djaffa la nappe Néritique est figurée sous les étages suivants :

- ✓ Le Barrémien supérieur épais d'environ 200 m, formé par un calcaire massif.
- ✓ L'Aptien, constitué d'une alternance de calcaire à orbitoline avec une épaisseur de 160 m.
- ✓ L'Albien glauconieux présente une épaisseur d'environ 20 m.
- ✓ Le Cénomaniens alternant de calcaire massif à caprines, épais de 200 m.

3.4. La nappe tellienne

Cette série est chevauchante sur la nappe Néritique de djebel Djaffa, elle comprend :

- ✓ **Sénonien inférieur** : Avec une épaisseur de 100 m, il est représenté par des faciès marneux et marno-calcaires à ostréidés.
- ✓ **Sénonien supérieur** : Cette série est arrangée en deux masses marno-calcaires successives séparés par des marnes grises. Elle possède une épaisseur d'environ 550 m.
- ✓ **Paléocène** : Il existe deux théories concernant leur composition. Selon Vila (1980) il est constitué par des marnes noires contenant des boules jaunes et par des Silex et nodules de phosphate selon Voute (1957). Il est épais de 170 m.
- ✓ **Eocène** : Il comprend trois limites : à la base une barre marno-calcaire noires à silex avec un niveau de 20 m riche en nummulites. Au sommet, il est composé de Lutétien supérieur plus ou moins épais riche en lumachelles à huîtres. L'ensemble de la série possède une épaisseur de 560 m.

3.5. La nappe Numidienne de djebel Ansel

Cette série est composée du bas en haut de trois structures :

- ✓ Des argiles sous-numidiennes à Tubotomaculum.
- ✓ Des grès numidiens.
- ✓ Des argiles et des marnes à silexites supra-numidiennes. L'ensemble de ces structures constitue une épaisse série datée à l'oligocène.

3.6. Le remplissage Mio-Plio-Quaternaire

- ✓ **Mio-Pliocène** : D'après (Voute, 1957), les dépôts Mio-Pliocène peut atteindre une épaisseur de 500 m. Cette série présente un stade de sédimentation continentale

effectuée après la réalisation de la construction allochtone fortement affecté par l'érosion.

- ✓ **Quaternaire** : Il peut aller jusqu'à 100 m d'épaisseur, le quaternaire constitue une couverture naissante du bassin de Tamlouka. Il est composé d'une croûte de calcaire, d'argile rouge et brune sableuse et graveleuses.

4. Hydrogéologie

Le système hydrogéologique de la plaine de Tamlouka débute par les formations aquifères constituées par les dépôts du Quaternaire et du Mio-Plio-Quaternaire et se prolonge en profondeur, jusqu'aux aquifères dans les calcaires crétacés et jurassiques (Figure 3 et 4). L'ensemble est compliqué par l'existence d'une multitude de passages argileux-marneux imperméables formant par endroit, le toit des nappes profondes en leur conférant le caractère de nappes captives.

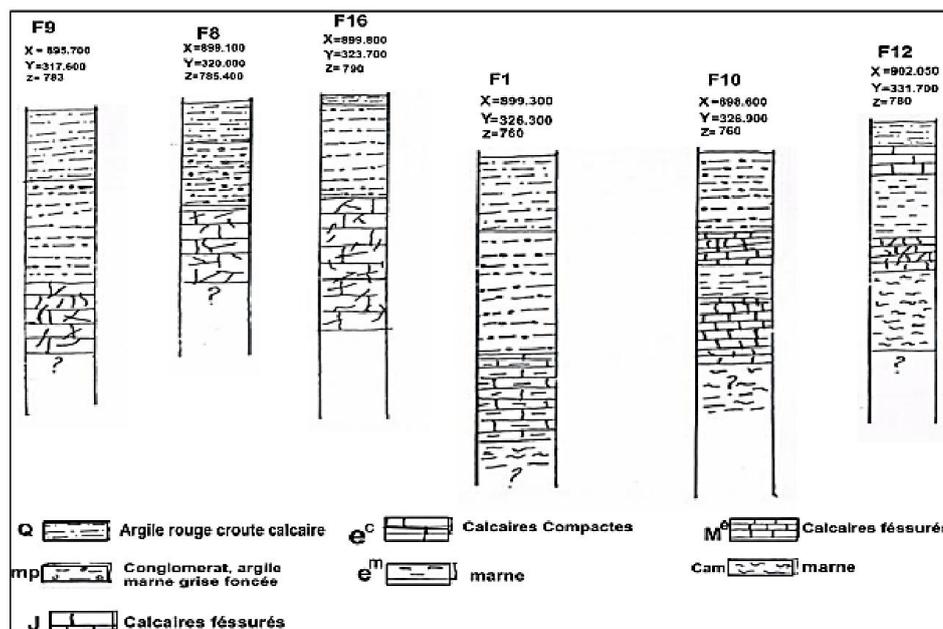


Fig. 3. Les logs de quelques forages réalisés sur la plaine (DHW GUELMA).

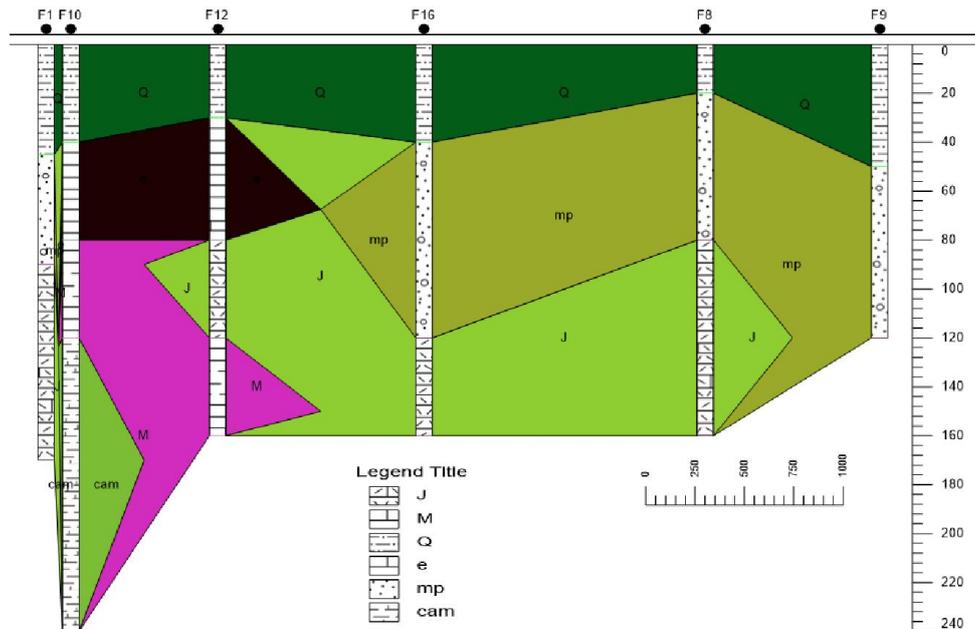


Fig. 4. Coupe hydrogéologique schématique des forages.

Selon la géophysique et les forages d'exploitation réalisés sur le terrain, il apparaît deux formations aquifères, il s'agit de :

4.1. La nappe aquifère du remplissage Mio-Plio-Quaternaire

Elle occupe la partie superficielle du terrain, avec une épaisseur qui varie de 3 à 95 m. Elle se trouve dans toute la plaine sauf au niveau des affleurements calcaires. Elle est caractérisée par une variation latérale des formations aquifères. Au Nord de la plaine les formations aquifères sont formées par des poudingues rougeâtres mal cimentés et parfois grossiers, des marno-calcaires contenant des niveaux de calcaire conglomératique avec des graviers et d'argiles sableuses et des marnes lacustres. Il existe aussi des lambeaux du quaternaire ancien et surtout un alluvionnement limoneux ou argileux localement sableux ou caillouteux. Au Sud, le remplissage est devenu argileux avec des alternances de conglomérats calcaires, de graviers et de sable. La puissance de la série à ce niveau est d'environ 90 m, correspond à une zone d'effondrement. Cette nappe est exploitée par des puits domestiques à débits variables.

4.2. La nappe profonde des calcaires

Elle se trouve au Sud de la plaine dans les formations carbonatées Jurassique Crétacé du Djebel Ain Arko et les bordures Ouest de la cuvette (Djebel DJAFFA). Il s'agit essentiellement de formations calcaires fissurées et karstifiées dominés par des argiles

bariolées compactes et des marnes qui constituent le toit imperméable de cette nappe. Au Nord, la formation aquifère présente une dominance marno-calcaire de la nappe tellienne.

5. climatologie

5.1. Précipitation

La région de Tamlouka n'est pas dotée d'une station hydrométéorologique, on a utilisé les données du système opérationnel actuel PERSIANN (Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks), développé par le Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS) de l'Université de Californie à Irvine (UCI), et qui utilise des procédures de classification / approximation des fonctions de réseau neuronal ; pour calculer une estimation du taux de précipitations à chaque pixel de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de l'image de température de luminosité infrarouge fournie par les satellites géostationnaires. Une fonction de formation adaptative facilite la mise à jour des paramètres du réseau chaque fois que des estimations indépendantes des précipitations sont disponibles. Le système PERSIANN était basé sur l'imagerie infrarouge géostationnaire et a été étendu par la suite pour inclure l'utilisation d'imagerie visible infrarouge et diurne. L'algorithme PERSIANN utilisé ici est basé sur l'imagerie infrarouge géostationnaire à ondes longues pour générer des précipitations mondiales. Le produit de pluie couvre 60° S à 60° N dans le monde. La figure 4 montre que la moyenne des précipitations moyennes annuelles sur une période de 36ans est de l'ordre de 536mm.

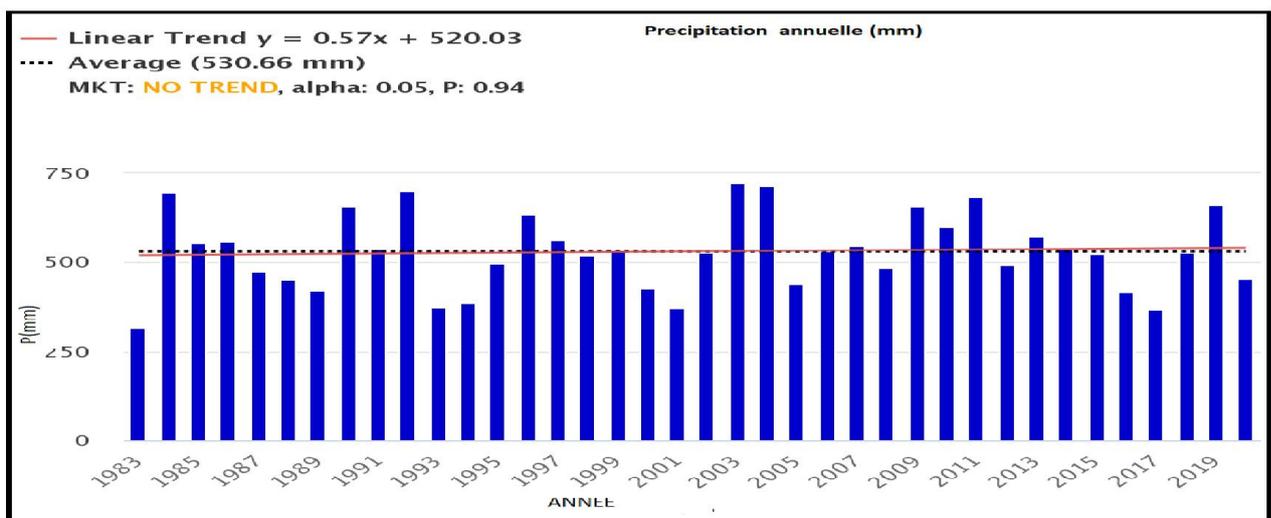


Fig. 5. variation des précipitations moyennes annuelles (1986-2019)

source(<https://chrdata.eng.uci.edu/>).

La carte des précipitations moyennes annuelles (figure 6) indique que la région de Tamlouka reçoit une précipitation qui varie entre 400 et 600mm.

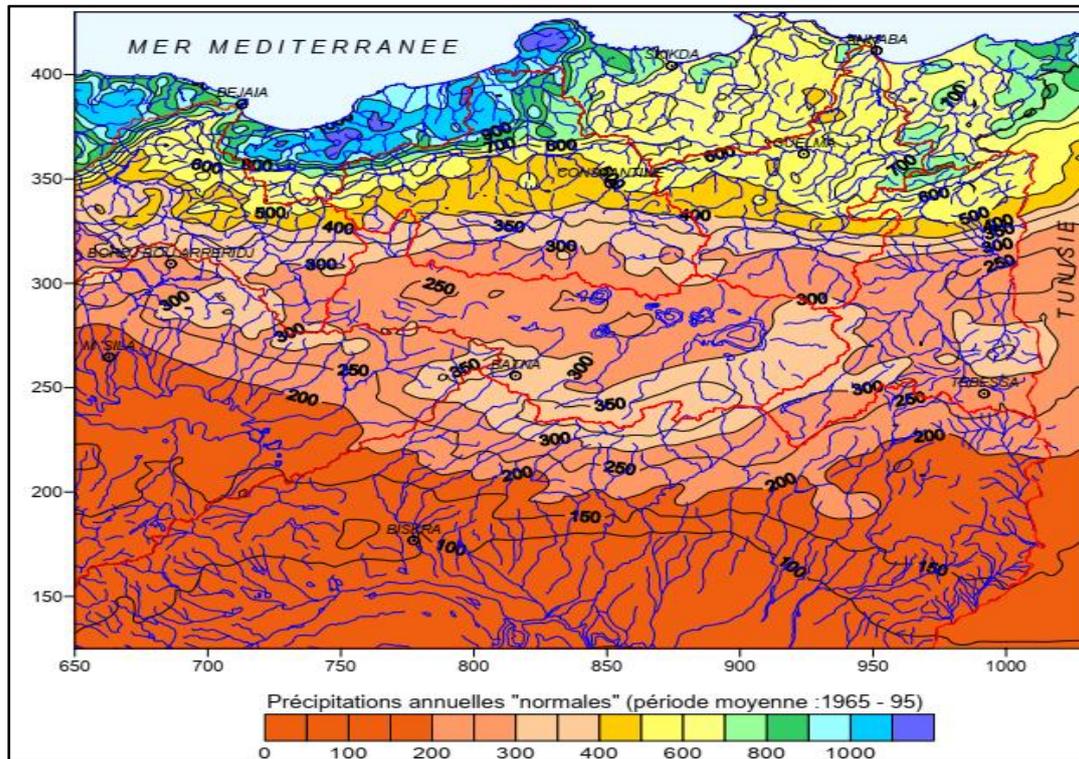


Fig. 6. Précipitations annuelles médianes « normales » (1965/66 -1994/95) source : (Mebarki, 2009).

5.2. Temperature

Pour une période d'observation de (1990-2013), (Gueroui, 2015) a constaté qu'à l'échelle mensuelle, la température moyenne est élevée pendant la période sèche allant du mois de Juin à Septembre avec un maximum de l'ordre 26,23°C (station d'Oum El Bouaghi) et 29,63°C (station de Guelma) enregistré au mois de Juillet. Par contre, la période hivernale (Décembre à Février) est caractérisée par des valeurs plus basses varient de 6 à 10 °C avec un minimum pouvant atteindre 6,47 et 8,88 °C pour les stations d'Oum El Bouaghi et Guelma, observé au mois de Janvier.

5.3. L'évaporation

Les données de l'évaporation mensuelle interannuelle sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station d'Oum El Bouaghi et la station de Guelma montrent une évaporation moyenne annuelle est de l'ordre de 149,86 mm (station d'Oum El Bouaghi) et 116,65 mm (station de Guelma) (Gueroui, 2015).

5.4. Indice d'aridité

Le calcul de l'indice d'aridité, défini par le rapport de la pluie à l'évapotranspiration potentielle, calculée pour la période de 1990-2013 pour la station d'Oum EL Bouaghi ; il est de l'ordre 0.46 confirmant la semi aridité du climat pour une précipitation moyenne annuelle de 386mm et une évapotranspiration potentielle de 845mm (Tableau1).

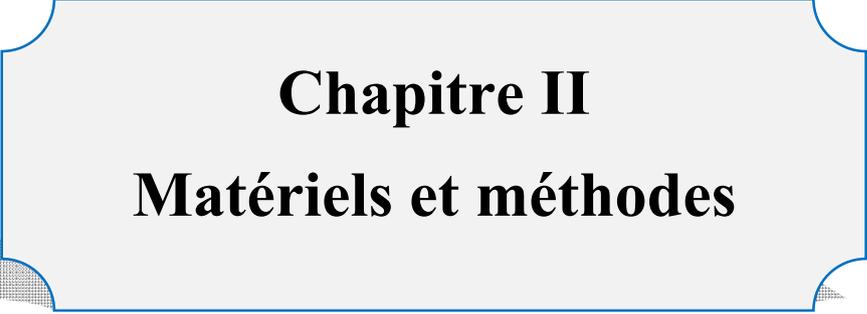
Tableau. 1. Zonage bioclimatique selon l'indice d'aridité dans le bassin méditerranéen

Zone	Précipitation moyenne (mm/an)	Indice d'aridité : P/ETP	
		Penman	Thorntwaite(PNUE)
Hyper-aride	< 100	< 0.05	< 0.05
Aride	100-400	0.05-0.28	0.05-0.20
Semi-aride	400-600	0.028-0.43	0.21-0.50
Subhumide sèche	600-800	0.43-0.60	0.51-0.56
Subhumide et humide	800-1200	0.60-0.90	<0.65
Hyper-humide	< 1200	<0.90	-

6. Conclusion

Le climat continental semi-aride de la région de Tamlouka est confirmé par le non homogénéité pluviométrique entre la saison sèche et la saison humide. Les formations hydrogéologiques sont constituées par des calcaires fissurés du Jurassique avec des conglomérats qui les couvrent, les calcaires du Crétacé-Eocènes au Nord de la plaine et les bordures de la cuvette. Le Plio-quadernaire qui est une formation continentale composée essentiellement d'une croûte de calcaire, d'argile et parfois de sables et graviers.

Trois domaines structuraux constituent la plaine : Le sillon Sellaoua apparaît dans la partie orientale formé de marne et peu de calcaire, le second domaine est la néritique qui apparaît dans la partie occidentale de la plaine au niveau des montagnes de Djaffa, caractérisé par une alternance de calcaire, de marne avec de l'argile et parfois de sable. Le troisième domaine occupe la partie Nord de la plaine et se compose de marnes et de calcaires marneux avec les silex de l'âge Crétacé.



Chapitre II
Matériels et méthodes

Dans ce chapitre on va décrire les méthodes utilisées pour la réalisation des différentes cartes thématiques, la méthode utilisée pour l'établissement de la carte du potentiel d'eau souterraine dans la plaine de Tamlouka ainsi que les logiciels et images satellitaires utilisées.

1. Matériels

1.1. Les données satellitaires

1.1.1. Les images (MNT)

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude du terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents à la surface du terrain tels les plantes et les bâtiments. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) fait référence à des fichiers matriciels et vectoriels topographiques fournis par deux agences américaines : la NASA et la NGA (ex-NIMA). Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar.

1.1.2. Les images satellitaires (LANDSAT)

Afin d'étudier l'évolution des états de surface de la plaine de Tamlouka, nous avons analysé une seule scène d'images Landsat 7 « p193 r35 » du 11/07/2002 avec 8 bandes spectrales.

1.1.3. Les images Google Earth

Un deuxième jeu de données a été utilisé pour la mise en place de la cartographie diachronique de l'occupation du sol pour les dates les plus récentes. En effet, les images satellitaires de Google Earth de haute résolution (Images Spot, filiale d'Astrium) ont permis de bien identifier les différentes classes et de faire la correspondance avec leur réponse spectrale sur l'image satellitaire « Landsat ». Elles ont aussi servi pour la vérification et la validation de la classification.

1.2. Logiciel ArcGis 10.8

ArcMap ou ArcGIS desktop est un logiciel SIG pour visualiser, gérer, créer et analyser des données géographiques. En utilisant ArcGIS, vous pouvez comprendre le contexte géographique de vos données, ce qui vous permet de voir les relations et d'identifier les modèles de nouvelles façons.

A l'aide de ces trois applications ; ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géo traitement. ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches « Nord » et autres éléments.

1.3. Google Earth Pro

Est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies satellitaires. Ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Ainsi un habitant d'une métropole peut localiser son restaurant préféré, obtenir une vue en 3D des immeubles de la métropole, alors que la résolution des photos d'une bonne partie de la Terre est très faible. La couverture, d'après Google, devrait s'améliorer rapidement.

2. Méthodes

2.1. La modélisation hydrologique

Les délimitations manuelles des bassins versants sur les cartes topographiques et les analyses morphométriques classiques ont été les toutes premières mesures quantitatives utilisées pour cerner la géomorphologie des bassins versants. Ces analyses sont le préambule à de nombreuses études hydrologiques. Aujourd'hui l'outil informatique permet d'entreprendre aisément ces différentes manipulations permettant la délimitation des bassins versants, la mesure de la géométrie, de l'hypsométrie, des pentes ou de l'organisation du réseau hydrographique. A cet effet, des logiciels des Systèmes d'Information Géographique, notamment ArcGis, fournissent des outils intéressants de calculs et de mesures hydromorphologiques à partir des cartes MNT (Saidi, 2013). La délimitation du bassin versant topographique n'a théoriquement besoin que d'un exutoire, à partir duquel les géo traitements permettent de remonter les lignes de plus grande pente et de dessiner les lignes de crêtes.

Sous ArcGis le MNT a subi le traitement de remplissage pour donner un modèle hydrologique correct outil « Fill », puis les directions de flux ont été calculées « Flow direction » et « Flow accumulation ». Le sous bassin versant est ensuite calculé pour chaque point de contour en utilisant l'outil Watershed de « ToolBox ArcGis / Spatial Analyst / Hydrology ».

Ces sous bassins versants sont transformés en polygones (couche vectorielle) puis les réunis avec la surface du plan d'eau pour former un bassin versant global.

2.1.1. Processus d'extraction du réseau hydrologique

Les méthodes d'extraction retiennent d'un réseau hydrographique à partir d'un MNT repose sur le principe d'un cheminement naturel des eaux entraînées par la gravité et guidées par la topographie. Elles s'appuient sur la détermination des directions d'écoulement de l'eau en chaque cellule de résolution ou pixel à partir des valeurs altimétriques du MNT, sachant que l'eau emprunte le chemin défini par la ligne de plus grande pente. Ainsi les cellules se déversent les unes dans les autres en fonction de la pente locale et de ceci un ensemble cohérent de talwegs principaux pourra être déduit (Telali, 2016). Les étapes de traitement sont schématisées par l'organigramme fonctionnel donné par la figure 7.

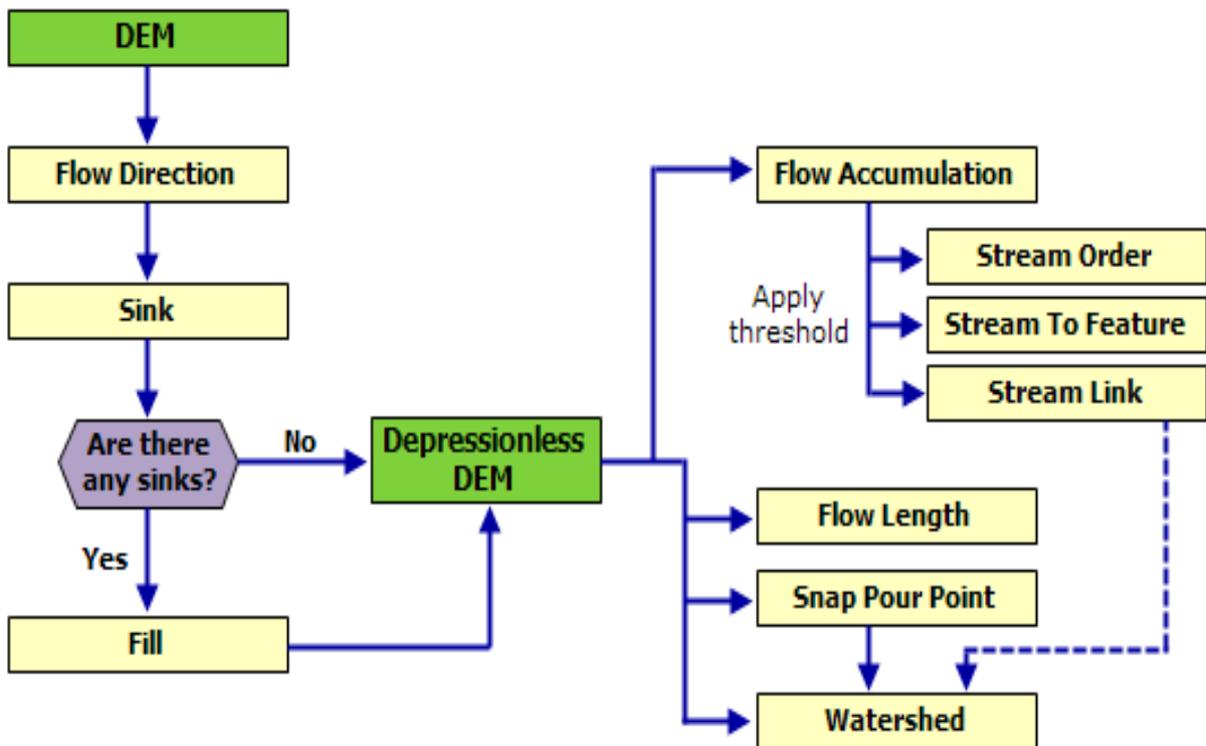


Fig. 7. Organigramme général du processus d'extraction du réseau hydrographique et délimitation du bassin.

2.1.2. Extraction de la carte des pentes

La topographie et / ou le gradient de pente influencent directement l'infiltration de pluie et pourrait être considéré comme l'un des les indicateurs d'accessibilité potentielle des eaux souterraines(Gnanach and rasamy, 2018).Il peut également donner une indication pour le général direction d'écoulement des eaux souterraines (Gupta, 2010).La carte du pourcentage de pente de la zone d'étude a été préparée à partir du MNT sous ArcGIS à partir de Modules → Spatial Analyst tools → surface → Slope : Nous obtenons donc une carte des pentes avec des pourcentages variant entre 1 et 100 %.

2.1.3. Densités de drainage

La densité de drainage est l'un des indicateurs importants de la recharge des eaux souterraines(Magesh, 2012)et occurrence des eaux souterraines.En fait, il est lié aux propriétés de percolation de l'eau de la lithologie sous-jacente, ayant par conséquent une relation étroite avec cartographie des eaux souterraines.La densité de drainage est une fonction inverse de la perméabilité.Une zone à faible surface perméable sujette à une densité de drainage élevée et l'eau provenant des précipitations va vers un ruissellement élevé ainsi et vice versa.En conséquence, un drainage élevé la densité implique un faible potentiel des eaux souterraines. L'algorithme a mis en avant pour extraire le drainage réseaux à partir de DEM avec une résolution de 30 m en utilisant un outil d'analyse spatiale dans ArcGIS 10.4.Après, une carte de densité de drainage est produite à l'aide d'un outil d'analyse de densité de ligne (figure 7).Selon la définition de études précédentes (Greenbaum, 1985); (Magesh, 2012)la densité de drainage (Dd) est la longueur totale des segments de flux divisés par la surface unitaire (Eq.1).

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{A} \quad (\text{Eq.1})$$

Où

Li la longueur totale du drainage [L], **A** est la surface totale de la zone d'étude du site, et **n** représente le nombre de réseaux de drainage dans le sous-bassin.

2.1.4. Pluviométrie

Les précipitations sont l'un des facteurs importants à délimiter zones de potentiel des eaux souterraines. En fait, c'est la principale source de recharge naturelle qui développe les eaux souterraines. La carte des précipitations a été élaborée à partir des données de précipitations moyennes enregistrées dans les postes pluviométriques implantés dans le bassin versant et dans les alentours, le krigeage est utilisé pour l'interpolation des points et la réalisation de la carte des précipitations.

2.1.5. Cartographie géologique

La carte géologique numériquement vectorisés de la zone d'étude a été utilisée. Cette carte a été dérivée à partir d'une digitalisation manuelle de la carte géologique (Delleau et Laffitte, 1951 in(Djorfi, 2018)) d'une échelle de 1/500000. Elle affiche des informations géologiques sous la forme de vecteurs et des polygones. Cette méthode de stockage de données et l'affichage a permis une catégorisation simple des unités géologiques dans ArcMap (ArcGIS version 10.8).

2.1.6. Occupation du sol

L'occupation du sol comprend le type de dépôts de sol, la distribution des zones d'habitation, les plans d'eau et le couvert végétal dans une certaine zone. C'est un facteur important affectant la recharge des eaux souterraines, la présence des eaux souterraines et leurs disponibilités(Rogan, J., & Chen, D. (2004). Une classification des images supervisée a été effectuée pour classer et identifier l'occupation du sol, avec une Image satellite Landsat 7 du 11/7/ 2002 avec 30-m comme résolution spatiale utilisée. La classification dirigée : Dans cette méthode, l'interprète thématique choisit ou initie les limites de classes d'après le modèle interprétatif qu'il a élaboré. Au cours de la mise au point de ce modèle divers essais de classification peuvent être tentés, les résultats en sont testés pour valider le modèle. Cette méthode est dite interactive ou co-assistée (Escadafal, 1989).

Les traitements statistiques sont les plus utilisés afin de retrouver des similitudes des pixels dans l'image. Plusieurs types de classifications sont utilisés dans le traitement d'images satellitaires, parmi elles, la plus utilisée donnant la meilleure information est celle du maximum de vraisemblance.(Escadafal R. , 1994)Elle est basée sur les propriétés statistiques des composantes spectrales de l'image. C'est la plus grande probabilité qu'a un vecteur de luminance pour appartenir à une classe. La classification est effectuée à partir des covariances calculées pour chaque classe d'apprentissage, entre les canaux radiométriques de la scène.

2.1.7. La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process)

a. Méthode de Saaty

L'analyse hiérarchique multicritère, inventée par le mathématicien Thomas (Saaty, 1980), permet la comparaison et le choix entre des options préétablies. Elle repose sur la comparaison de paires d'options et de critères.

- Principes fondamentaux de la méthode AHP :
- Structuration hiérarchique (classes - critères - poids)
- Structuration des priorités (sous critères - rangs)
- Cohérence logique
- Méthode semi-quantitative

Le logiciel *Expert Choice* développé aux US par F. Saaty (1985) est la version informatique de la méthode.

La Méthode multicritère d'aide à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié de technologie, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise.

b. Avantage de la méthode AHP

- sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- et la facilité de son support informatique, le logiciel *Expert Choice*.

c. trois principes de la méthode AHP

- la structuration hiérarchique
- la structuration des priorités, comparaison binaire
- la cohérence logique

La méthode AHP passe par une conversion ordinale \Rightarrow attribution d'un facteur de pondération aux critères \Rightarrow **poids**

- Utilisation d'une échelle de valeurs.

Tableau. 2. Echelle de valeurs (d'après Saaty ,1984).

Degrés d'importance	Définition	Explications
1.0	Importance égale des deux éléments	Deux éléments contribuent autant à la propriété
3.0	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent légèrement in élément par rapport à un autre
5.0	Un élément est plus important que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelles favorisent fortement in élément par rapport à un autre
7.0	Un élément est beaucoup plus important que l'autre	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est attestée dans la pratique
9.0	Un élément est absolument plus important que l'autre	Les preuves favorisant un élément par rapport à un autre sont aussi convaincantes que possible

Exemple: Cas de critères à poids variables

1^{er} Économique > 2^{ème} Technique > 3^{ème} Social

Critères	économique	technique	social	Éco.	Tech.	Soc.	Σ =	Σ / 3
économique	1	2	3	0.55	0.57	0.50	1.62	0.54
technique	1/2	1	2	0.27	0.29	0.33	0.89	0.30
social	1/3	1/2	1	0.18	0.14	0.17	0.49	0.16
Σ =	1.83	3.5	6	1.00	1.00	1.00		

Matrice de comparaison

- La valeur propre (poids) des différents éléments s'obtient par la normalisation de la matrice réciproque.
- Le poids total des alternatives est obtenu par l'addition des différents poids de chacun des critères et sous-critères.

$$\begin{bmatrix}
 w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\
 w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\
 w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 & \dots & w_3/w_n \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & w_n/w_n
 \end{bmatrix}$$

Matrice réciproque : La matrice sert à une comparaison binaire

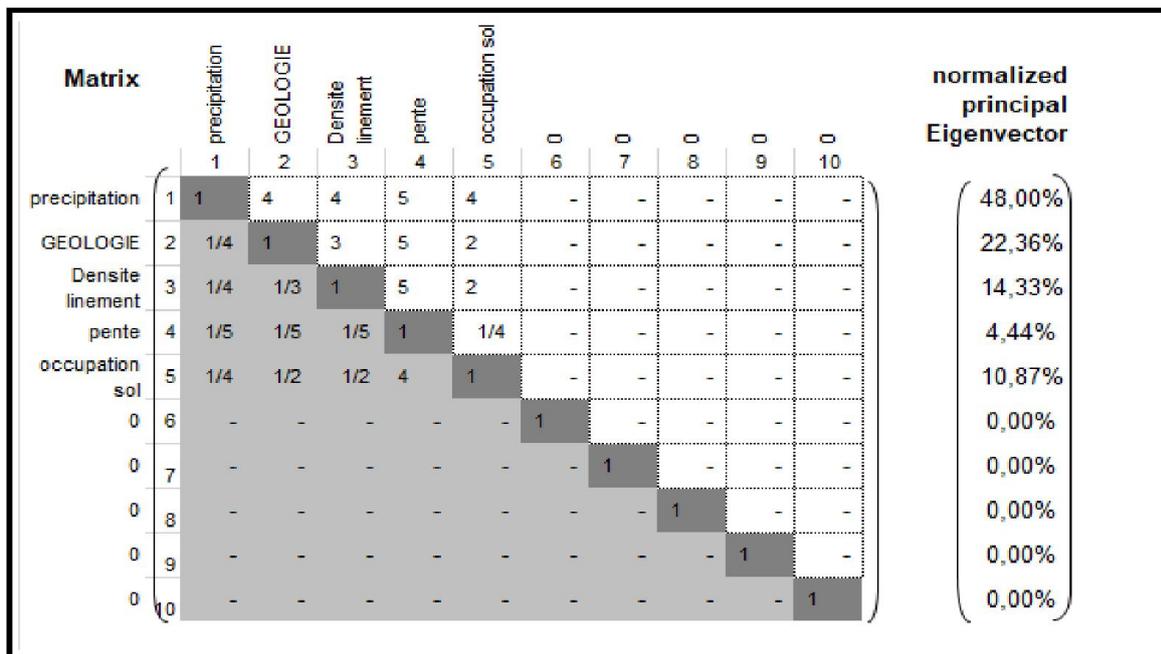


Fig. 8. Matrice de corrélation cas de l'étude de la plaine de Tamlouka.

Trois calculs sont nécessaires pour arriver aux valeurs des priorités

Chapitre II Matériels et Méthodes

- Additionner les colonnes de la matrice : tous les éléments d'une même colonne sont additionnés.
- Normaliser la matrice : chaque entrée de la matrice est divisée par le total de sa colonne. La normalisation de la matrice permet alors des comparaisons significatives entre les éléments ;
- et calculer la moyenne des lignes : tous les éléments d'une même ligne de la matrice normalisée sont additionnés et ensuite divisés par le nombre d'entrées qu'elle comporte. Le résultat des étapes précédentes fournit les pourcentages des priorités globales relatives. Ces calculs sont effectués par une application sous Excel développée par K. D(Goepel, 2018).

Dans cette approche hiérarchique de classification, il est également possible de vérifier la cohérence de notre approche en calculant le ratio de cohérence ou de consistance (**CR**). Ce dernier constitue un test d'acceptation des poids des différents critères. Cette étape vise à détecter les incohérences éventuelles dans la comparaison de l'importance de chaque paire de critères. Le ratio de cohérence **CR** est calculé comme suit :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{Eq.2})$$

Avec **CI**, l'indice de consistance et **RI** un indice randomisé. L'indice de consistance est calculé comme suit :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} ; \lambda_{max} : \text{valeur propre maximale ; } n : \text{nombre de critères}$$

(Eq.3)

L'indice randomisé est une valeur qui dépend de la taille de la matrice, c'est-à-dire le nombre de critères envisagés

Tableau. 3.L'indice randomisé

<i>Taille matrice</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
<i>RI</i>	<i>0.58</i>	<i>0.90</i>	<i>1.012</i>	<i>1.24</i>	<i>1.32</i>	<i>1.41</i>	<i>1.45</i>	<i>1.49</i>

D'après les travaux de(Yurdakul, 2004), La valeur de **CR** doit être inférieure à 0,1 pour conclure que les jugements de comparaison par paires sont cohérents. En revanche,

si la valeur de **CR** est supérieure à 0,1 les coefficients de la matrice sont incohérents et on ne peut pas s'y référer pour la poursuite de l'analyse.

2.1.8. Génération de la carte du potentiel des eaux souterraines

Une fois les cartes thématiques élaborées, le poids a été attribué aux paramètres influençant la présence et le mouvement des eaux souterraines. Ensuite, la carte du potentiel des eaux souterraines a été développée en utilisant un indice pondéré analyse de superposition. L'indice de potentiel des eaux souterraines a été calculé à l'aide d'une combinaison linéaire pondérée méthode (Malczewski, 1999) En général, la procédure d'étude adoptée a été montrée dans l'organigramme. (Eq.4) et (figure 9).

$$GP_x = L_w L_r + Lc_w Lc_r + Ld_w Ld_r + Dd_w Dd_r + R_w R_r.$$

(Eq.4)

Où :

GP_x est l'indice de potentiel des eaux souterraines ; **L** est la partition de lithologie ; **Dd** est le score de densité drainage ; **Ld** est le score du gradient de pente ; **LC** est le score de l'occupation des sols ; **R** est le score des précipitations ; et où les indices **w** et **r** font référence au poids d'un thème et au taux de caractéristiques individuelles d'un thème, respectivement.

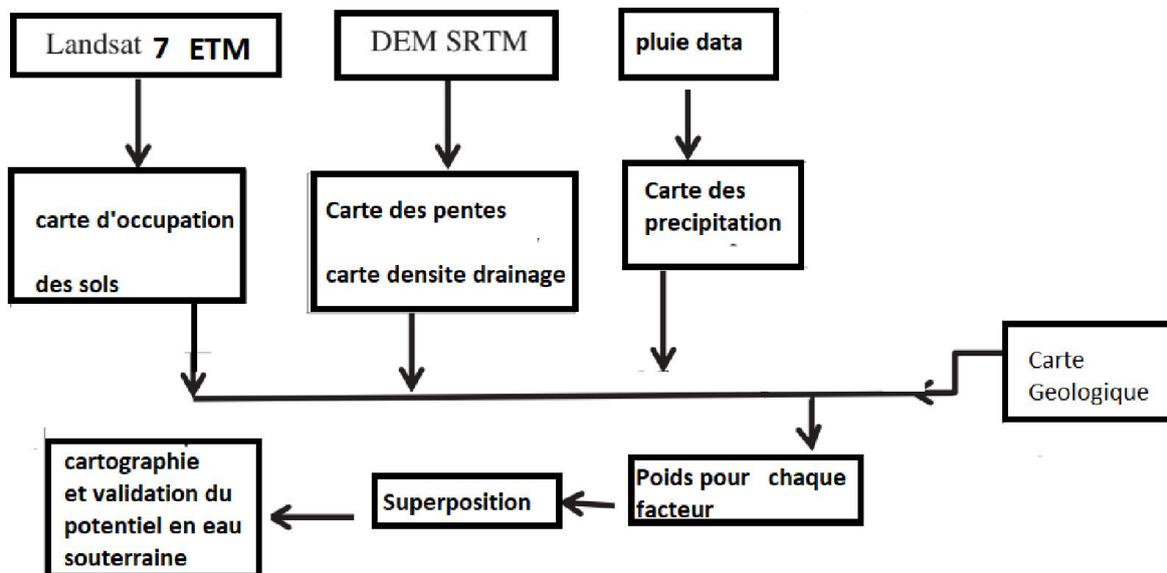


Fig. 9. Cadre conceptuel adopté pour la génération de la carte du potentiel des eaux souterraines.

Chapitre III

Résultats et Discussions

Dans cette partie nous allons faire une interprétation des cartes thématiques obtenues par l'utilisation de l'outil SIG et par la télédétection chacune des 5 cartes (précipitation, occupation du sol, carte des pentes, densité de drainage et la carte géologique) sont le résultat d'un traitement par le logiciel arc gis, les cartes obtenues sont en format raster avec un même géo-référencement pouvant être superposées afin d'avoir la carte des zones ayant potentiel aquifère.

1. Hydrologie

Le traitement de l'image satellitaire MNT Par ArcMap a permis de délimiter le bassin versant de la plaine de Tamlouka ainsi que la détermination du réseau hydrographique et la réalisation de la carte des pentes.

1.1. Etude de sous bassin versant de Tamlouka de bassin de Sybousse

La région d'étude est une partie intégrante du grand bassin versant « la Seybousse ». Les principales caractéristiques de ce sous bassin constituent une base indispensable à la compréhension des mécanismes hydrologique de la zone.

1.1.1. Caractéristique de la forme du bassin versant

Les caractéristiques morphométriques du bassin versant de Tamlouka ont été déterminés à partir du logiciel ArcGis le bassin versant à une superficie de **395**km² pour un périmètre de **102**km la forme du bassin versant conditionne le temps de réponse aux précipitations.

Indice de capacité ou coefficient de Gravelius :

$$Kc = 0.28P / \sqrt{A} = 1.43$$

(Eq.4)

Ce coefficient « **Kc** » caractérise la compacité et compare la forme du bassin versant

Où :

P : Périmètre (km) ;

A : Surface du bassin versant (Km²) ;

Si :

Kc ≤ 1	Bassin versant de forme circulaire.
Kc = 1.12	Bassin versant de forme carrée.

$Kc \geq 1.12$	Bassin versant allongé.
----------------	-------------------------

Dans notre cas $Kc = 1.43$ donc le bassin versant de la plaine du Tamlouka à une forme allongée.

1.2. Carte des pentes

D'après la figure 10 ainsi que le tableau 4, la distribution des altitudes du bassin versant de la plaine de Tamlouka montre que la majeure partie de ce bassin (83%) est située entre les cotes (600 m et 900 m) au centre de la plaine, au niveau d'Ain Arko se trouve les collines (850 m). Alors que plus de 17 % de la surface du bassin à une altitude de plus de 900 m cas de djebel Djaffa à l'Ouest qui culmine à plus de 1200m. Pour ce qui est des pentes on remarque que les pentes entre 0 et 3% représentent 80% de la surface du bassin alors que celles dépassant les 8% ne représentent que 8%. (Tableau 4 et 5).

Tableau. 4. Pourcentage et surface des classes d'altitude dans le bassin de Tamlouka

Classe	Classe d'altitude (m)	Surface (Km ²)	Pourcentage
1	696-786	137,85	34,88
2	786-846	117,37	29,70
3	846-917	73,76	18,67
4	917-1003	48,48	12,27
5	1003-1252	17,71	4,48

Tableau. 5. Pourcentage des classes des pentes dans le bassin Tamlouka.

classe	Pente (%)	Pourcentage
1	0-2,57	38,74
2	2,57-5,29	38,74
3	5,29-8,87	13,65
4	8,87-13,74	6,67
5	13,74-36,50	2,20

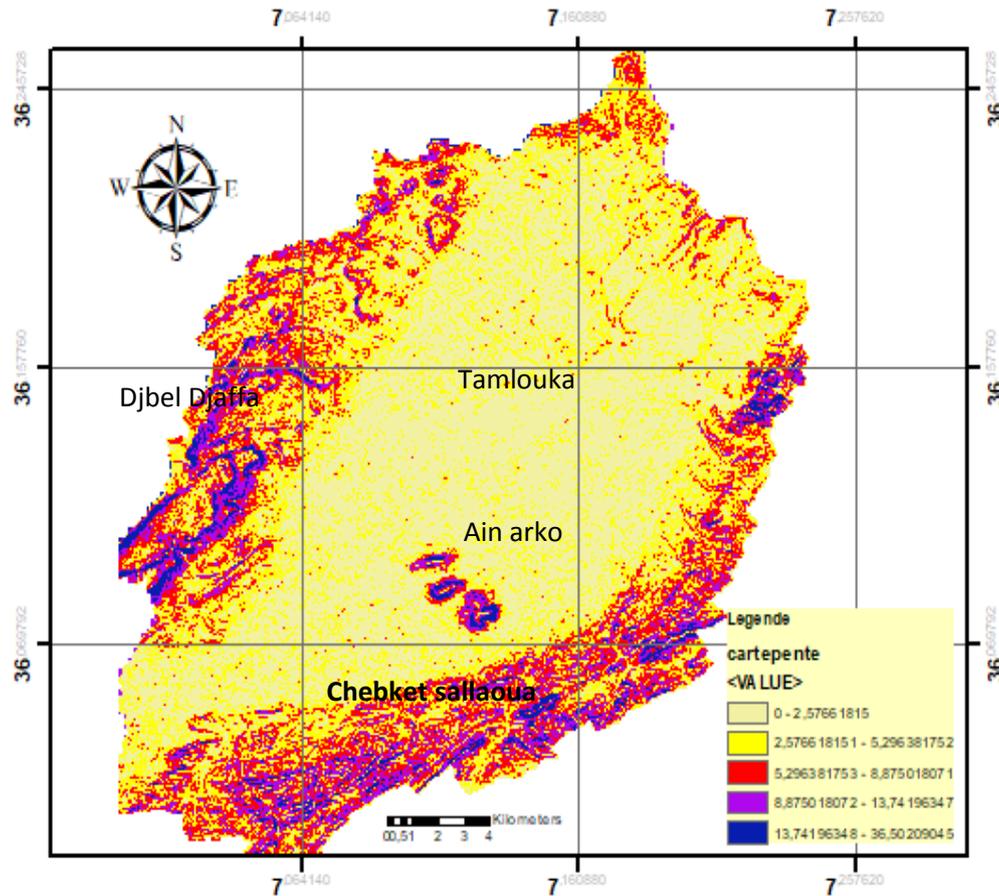


Fig. 10. Carte des pentes.

1.3. Carte des précipitations

La région d'étude n'est pas dotée de plusieurs postes pluviométriques, des enregistrements sont réalisées au niveau d'une ferme agricole pilote, on a tracé la carte (figure 11) à partir des données de 7 postes pluviométriques en utilisant une interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW) détermine les valeurs de cellule via la combinaison pondérée de manière linéaire d'un ensemble de points d'échantillonnage. La carte obtenue (Figure 12) montre une tendance d'une diminution de la précipitation dans la direction Nord-Ouest vers Sud-Est. La partie sud de la plaine est de plus en plus menacée par l'aridité et affecte l'activité agricole en particulier la céréaliculture.

Tableau. 6. Postes pluviométriques et précipitations moyennes annuelles.

Code	Station	Y	X	Z	Pluie moyenne Annuelle
204	Tamlouka	36,16	7,14	740	560,8
302	Bordj Sabat	36,42	7,03	525	534,4
103	Berriche	35,91	7,37	800	272,7
109	Ain Babouche	35,94	7,19	860	262,8
309	Ras El Akba	36,37	7,22	740	542,6
104	Ksar Sbahi	36,08	7,26	850	346,8
105	Ain Settara	36,07	7,39	741	296,6
205	Ain Makhoulf	36,25	7,25	834	502,3
200	Oumelbouaghi	35,88	7,12	889	386,72

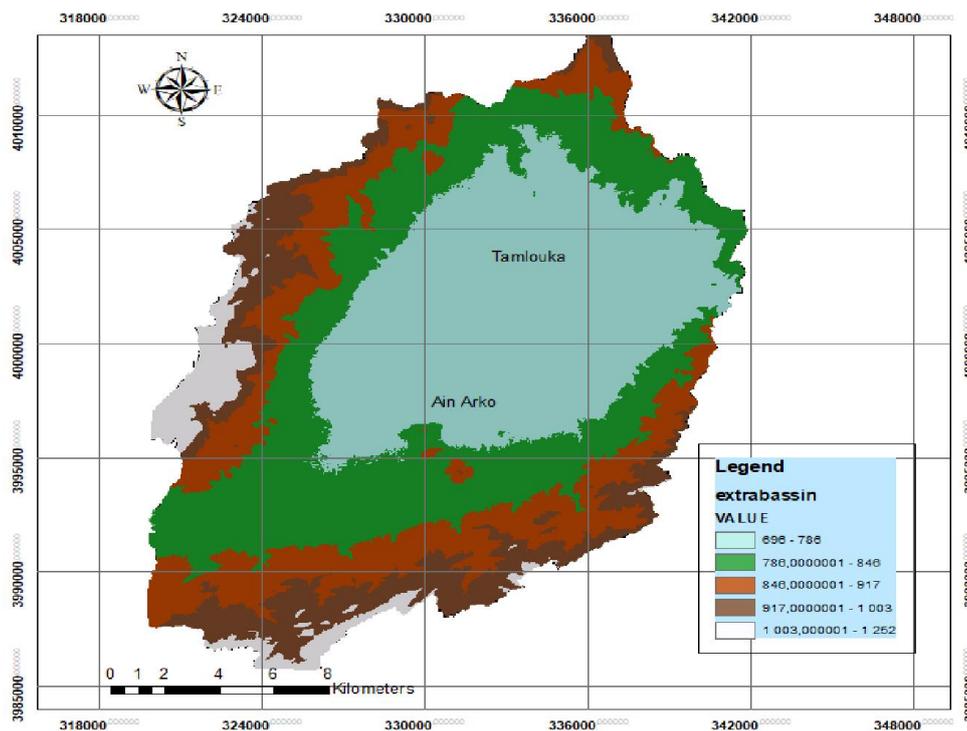


Fig. 11. Carte hypsométrique.

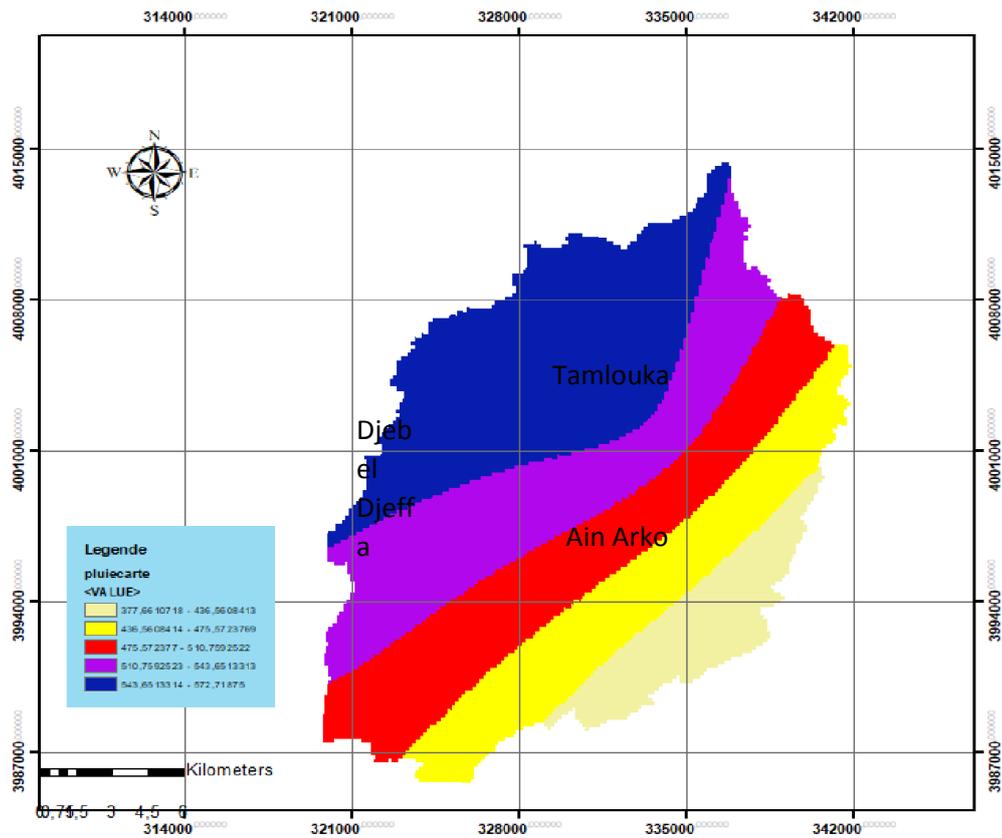


Fig. 12. Carte des précipitations moyennes annuelles.

1.4. Carte géologique

La cartographie géologique (Figure 13) montre que les affleurements Quaternaires alluvionnaires dominent dans la zone d'étude occupant 21973 ha soit un taux de 44% de la surface totale de la cuvette. Les deux classes Crétacé et Eocène occupent respectivement 11476 ha (23%) et 4642 ha (11%). Le reste (22%) se répartisse entre les autres classes. Notre objectif c'est de réaliser une carte avec les principales formations géologiques sans les détails stratigraphiques et structuraux.

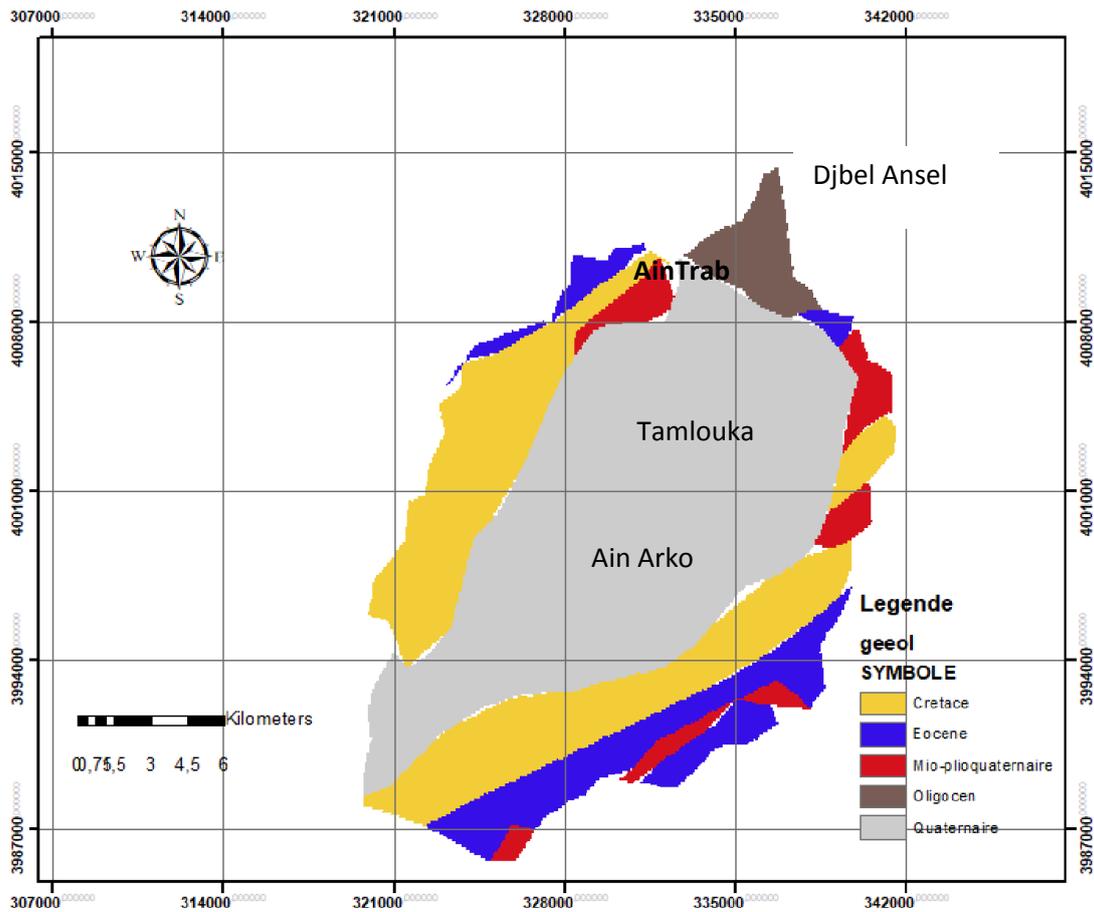


Fig. 13. Carte géologique modifiée.

a- Corrélation entre la géologie et les résultats géophysiques

La corrélation entre les données de la géologie et celles de la géophysique a permis l'établissement d'une échelle de résistivité des principaux types de roches dans la région. (Djorfi, 2018) Le tableau 7.

Tableau. 7. Corrélation entre la géologie et les résultats géophysiques.

Echelle des résistivités (ohm.m)	Caractéristique lithologique	Étage
06-10	Argile sableuse+marnes+débris calcaires	Mio-Plip-Quaternaire
15-20	Argile sableuse+graviers et gravillons	
20-30	Calcaire marneux	Crétacé
80-100	Calcaire	Crétacé Eocène
100-300	Calcaire massife type jurassique d'Ain Arko	Jurassique

1.5. Densité de drainage

La figure 14 illustre la classe de densité de drainage dans la zone d'étude. La classe a été attribuée en fonction de son importance en termes de potentiel de stockage des eaux souterraines, à savoir « très faible » (1), « médiocre » (2), « bon » (3), « très bon » (4) et excellent (05). Dans la zone d'étude, 28%, 23% et 11% du paysage ont été trouvés dans les classes de densité de drainage 3,4 et 5 respectivement. Cela implique la disponibilité de bonnes zones de potentiel en eau souterraine. Plus 60% de la surface est couverte par les classes de drainages avec une bonne potentialité pour le stockage des eaux souterraines.

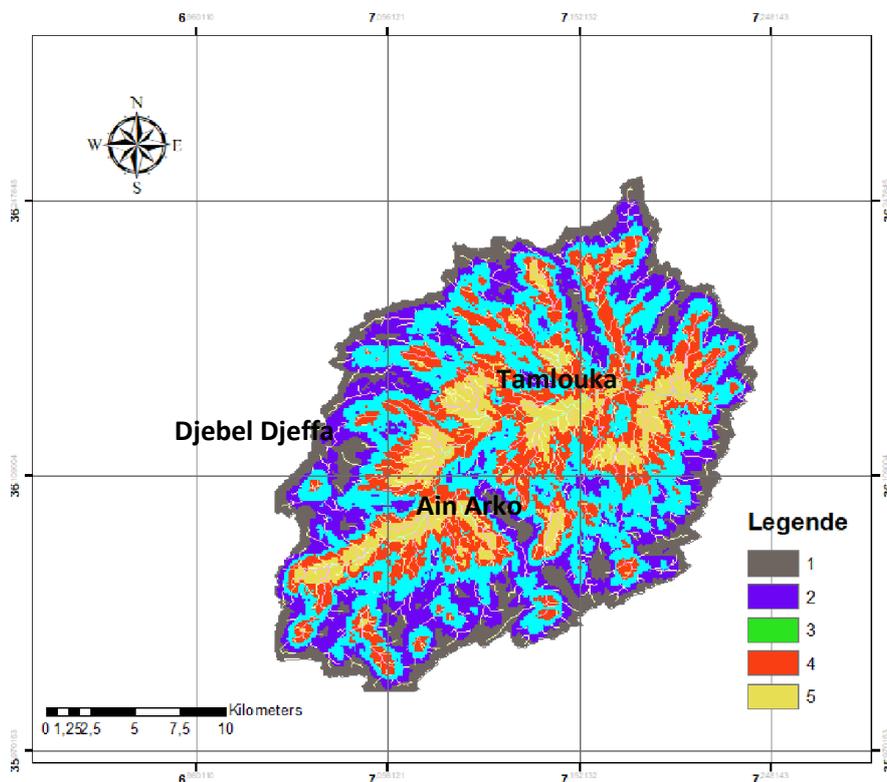


Fig. 14. Carte de densité de drainage.

1.6. Occupation du sol

La cartographie d'occupation du sol (Figure 15) montre que la superficie de la classe « Sol nu » est la plus grande avec un taux de 52% de la surface totale de la cuvette. La classe « sol cultivé » (Céréales) occupe elle-même une surface importante de (28%). Le reste de surface (20%) se répartit entre les végétaux pérennes (Roseaux et arbres et forêt), sol bâti et lit d'oued et alluvion.

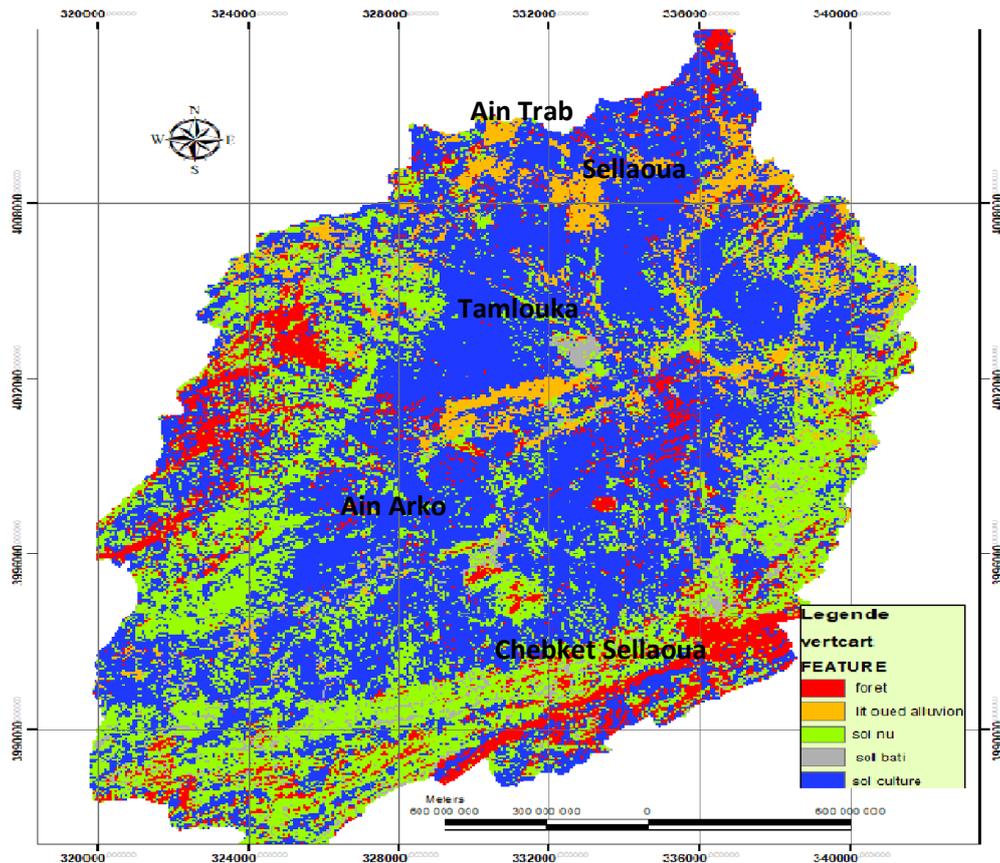


Fig. 15. Carte d’occupation du sol.

2. Carte du potentiel d’eau souterraine

Les résultats de l’approche hiérarchique de classification, (annexe 1et 2) montrent que le ratio de cohérence ou de consistance (**CR**) qui constitue un test d’acceptation des poids des différents critères il est de l’ordre de 0.095 une valeur inférieure a 0.1 donc les jugements de comparaison par paires sont cohérents, avec un **CI**, l’indice de consistance et un **RI**, un indice randomisé respectivement de l’ordre de 0.106 et 1.12 et un $\lambda = 5.425$ (voir tableau 3 partie méthodologie).

La carte du potentiel des eaux souterraines a été élaborée en utilisant une analyse de superposition d’index pondéré en résumant lesvaleurs pondérales de chaque couche thématique. Le score de zone avecune valeur pondérée élevée était considéré comme une eau souterraine. Par conséquent, la carte du potentiel des eaux souterraines est classée en quatre classes avec une potentialité des eaux souterraines du très faible au très bonpotentiel. Ceci est attribuécomme suit : 116 Km² (très bon), 167km²(bon), 85km² (faible), 11km² (très faible).Comme le montre la figure 16, les zones de fort potentiel des eaux souterraines sont

concentrées dans la zone centrale de la plaine où prédomine les formations du quaternaire. Ces formations se caractérisent par la présence de porosité primaire et secondaire élevée, respectivement, et, par conséquent, ont un potentiel élevé de rétention des eaux souterraines car ils permettent une percolation maximale.

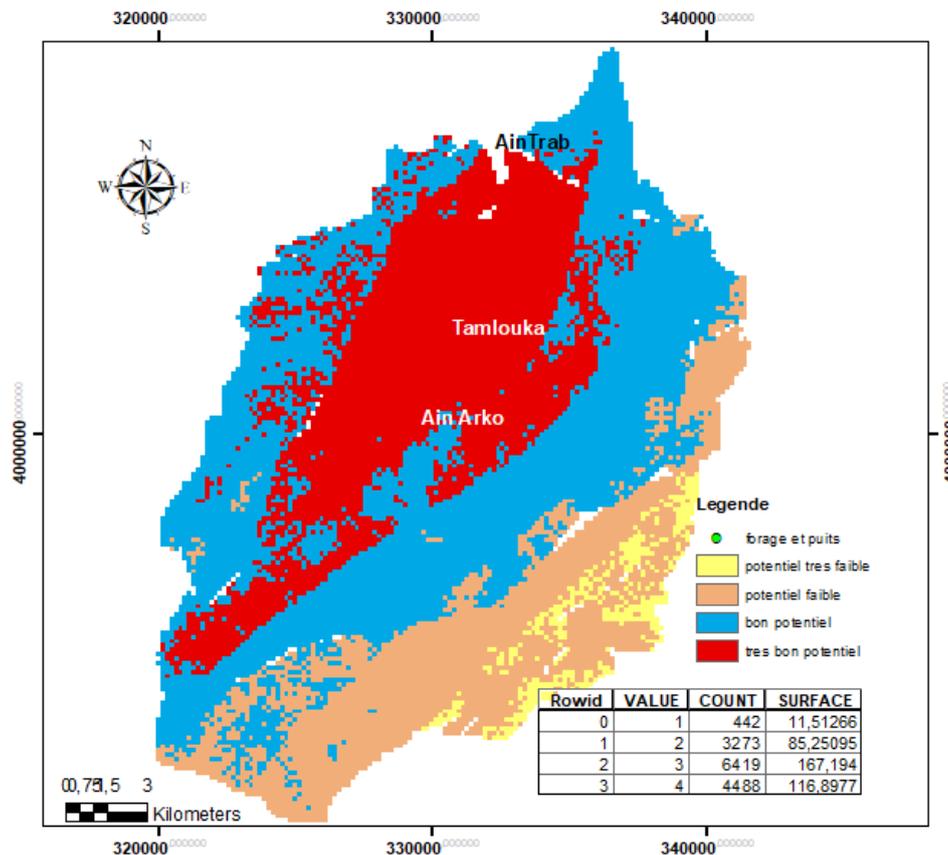


Fig. 16. Carte du potentiel d'eau souterraine.

L'étude hydrogéologique de la plaine de Tamoulouka a permis de définir deux systèmes aquifères superposés et distincts par leur caractère lithologique et géométrique. (Djorfi, 2018) Le premier, se trouvant dans le remplissage argilo-sableux du Mio-plio-quaternaire, constitue la nappe superficielle, dont l'épaisseur augmente de la périphérie vers le centre de la plaine. Le deuxième, contenu dans les formations carbonatées crétacé-jurassiques, constitue la nappe profonde dont les paramètres hydrodynamiques sont tributaires des conditions litho structurales. Ainsi, la prédominance, au Nord du faciès marno-calcaire est dû à l'unité tellienne, alors qu'au Sud ce sont les calcaires fissurés du néritique et de l'unité intermédiaire de Djebel Djaffa, qui constituent le principal réservoir. L'interaction entre les deux nappes s'effectue soit à travers les couches semi-perméables localisées à la base de la

nappe superficielle ; soit à la faveur de failles affectant les massifs calcaires. On superposant la carte des puits et des forages sur la carte du potentiel d'eau souterraine, on observe une disposition des points sur les zones ayant un bon potentiel (Figure 17) ce qui concorde avec la bibliographie qui indique que l'écoulement général des eaux souterraines suit la pente (Djorfi, 2018) et (Gueroui, 2015) qui est généralement d'Ouest vers l'Est.

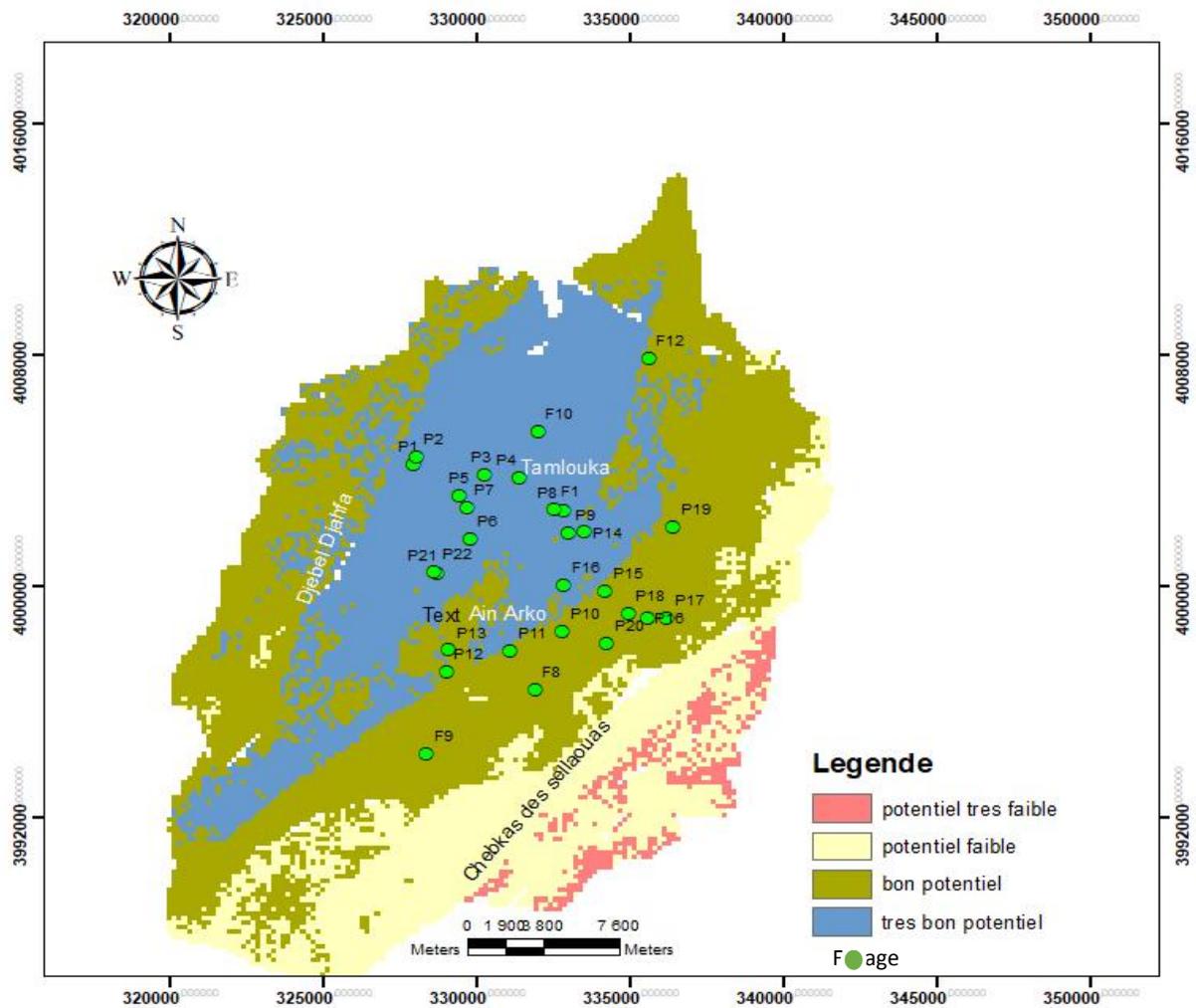


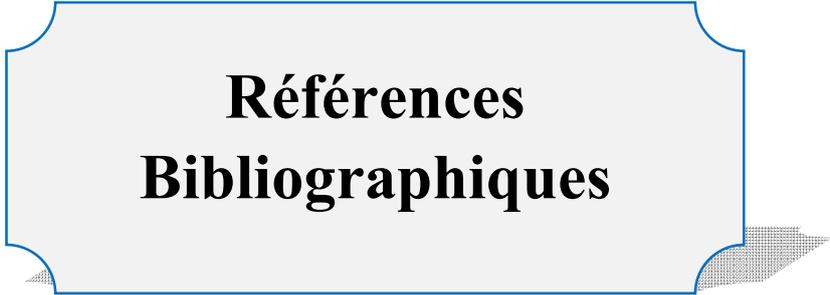
Fig. 17. Carte du potentiel d'eau souterraine avec superposition de puits et forage.

3. Conclusion

Les eaux souterraines sont une ressource reconstituable, mais en raison de divers types d'activités anthropiques et développements biaisés, la recharge de cette précieuse ressource vitale a été considérablement réduite au cours des 4 à 5 dernières décennies. Une meilleure compréhension du potentiel des eaux souterraines est d'une importance capitale pour la planification et le développement durable d'une zone. Ces informations sont essentielles pour la conception et la mise en œuvre de structures de mesures correctives pour améliorer les processus de recharge des eaux souterraines. Les paramètres hydrogéologiques de la plaine de Tamlouka révèlent que les eaux souterraines se trouvent dans la partie centrale. La présente étude est une tentative de délimiter les zones potentielles des eaux souterraines en utilisant une combinaison d'AHP et des techniques SIG dans un bassin des hautes plaines.

Un total de 5 couches thématiques telles que la géologie, LULC, pluviométrie, densité de drainage, gradient de pente ont été utilisés dans cette étude pour délimiter les zones de potentiel des eaux souterraines. Selon la carte finale, la zone d'étude pourrait être classée en quatre zones de potentiel d'eau souterraine distinctes telles que très élevé, élevé, faible et très faible. Les zones à potentiel d'eau souterraine très élevé et élevé sont majoritairement situées dans la partie basse du bassin. Des zones à faible potentiel d'eau souterraine faible et très faible sont situées dans les formations du crétacé, éocène et oligocène dans la partie Sud, Sud Est.

La carte des zones de potentiel des eaux souterraines de la présente étude fournit des informations aux décideurs pour une planification et une gestion appropriée des eaux souterraines à des fins urbaines et agricoles. Étant donné que la majeure partie de la zone d'étude est couverte par des terres agricoles, cette étude contribuera à améliorer l'installation d'une irrigation bien organisée et à développer la productivité agricole de cette région semi-aride.



**Références
Bibliographiques**

Références Bibliographiques

Andualem, T. G., & Demeke, G. G. (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper Blue Nile Basin, Ethiopia.

Journal of Hydrology : Regional Studies, 24, 100610.

Djorfi, S (2018) Cartographie et étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Tamoulouka, Nord-est algérien. Influences lithologiques, climatiques et anthropiques, thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, P152.

Djidel et Djorfi, (1992), Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine de Tamoulouka. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba, Algérie. 149p.

Escadafal, R., et al (1989). Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of Landsat MSS and TM data. *Remote Sensing of Environment*, 27(1), 37-46.

Escadafal, R. (1994). Soil spectral properties and their relationships with environmental parameters-examples from arid regions. In *Imaging spectrometry—A tool for environmental observations* (pp. 71-87). Springer, Dordrecht.

Guechi S., (2017), Cartographie des pluies extrêmes du Nord-Est Algérien, Thèse de doctorat Université Badji Mokhtar Annaba ,245 p.

Gueroui Y., (2015), Caractérisation Hydrochimique et Bactériologique des Eaux Souterraines de l'aquifère Superficiel de la Plaine de Tamoulouka (Nord-Est Algérien), Thèse de Doctorat. Université 8 Mai 1945- Guelma .154p.

Gnanachandrasamy, G., et al. (2018). Remote sensing and GIS based groundwater potential zone mapping in Ariyalur District, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 92(4), 484-490.

Gupta, M., & Srivastava, P. K. (2010). Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India. *Water International*, 35(2), 233-245.

Greenbaum, D. (1985). Review of remote sensing applications to groundwater exploration in basement and regolith.

- Gramont M. et Lombard J.P. (1966)** Observations stratigraphiques et tectoniques dans la région du Djebel Djaffa ». Publication du service de cartes géologiques, N.S., Alger, Algérie. Bull. No 35:27–49
- Goepel, K. D. (2018)**. Implementation of an online software tool for the analytic hierarchy process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3).
- Magesh, N. S., et al (2012)**. Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience frontiers*, 3(2), 189-196.
- Mebarki A., (2009)**, Ressources en eau et aménagement en Algérie –Les bassins hydrographiques de l’Est , O.P.U., Alger, p389
- Malczewski, J. (1999)** GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, 1999.
- Rogan, J., & Chen, D. (2004)**. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in planning*, 61(4), 301-325.
- Srinivasa Rao, Y., & Jugran, D. K. (2003)**. Delineation of groundwater potential zones and zones of groundwater quality suitable for domestic purposes using remote sensing and GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 48(5), 821-833.
- Saaty, T. (1980)**. The analytic hierarchy process (AHP) for decision-making. In Kobe, Japan.
- Telali, Y. (2016)**. Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien) .memoire de Master Université Kasdi Merbah Ouargla, 82p.
- Vila J.M., (1977a.)**, Carte géologique de l’Algérie au 1/50 000 : feuille no 99, Sédrata (1ère éd.), avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal et J.M. Vila). Service de cartes Géologiques et Sonatrach, Division d’hydrocarbure, Direction des explorations, Alger, Algérie.
- Vila J.M., (1977b.)**, Carte géologique de l’Algérie au 1/50 000 : feuille no 123, Berriche (JeanRigal) (1ère éd.), avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal et J.M. Vila). Service de cartes Géologiques et Sonatrach, Division d’hydrocarbure, Direction des explorations, Alger, Algérie.
- Vila J.M., (1980)**, La chaîne alpine d’Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. PhD of Science, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 665 p.

Vôte C., (1957), Notice explicative de la carte géologique au 1/50 000 d'Ain Babouche. No 122. Service de cartes Géologiques, Alger, Algérie.

Vôte C., (1967), Essai de synthèse de l'histoire géologique des environs d'Ain Fakroun, Ain Babouche et les régions limitrophes. Publication du service de cartes géologiques, N.S., Bull. no 36(3), Alger, Algérie.

Yurdakul, M. (2004). AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. Journal of Materials Processing Technology, 146(3), 365-376.

Sites internet:

Source <https://chrsdata.eng.uci.edu/>

http: www.google Earth.com / http: www.landsat.usgs.gov.com

Annexes

Annexes 01

AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)

K. D. Goepel Version 15.09.2018 Free web based AHP software on: <http://bpmsg.com>

Only input data in the light green fields and worksheets!

n= 5 Number of criteria (2 to 10) Scale: 1 **AHP 1.9**
 N= 1 Number of Participants (1 to 20) α: 0,1 Consensus: n/a
 p= 0 selected Participant (0=consol.) 2 7 **Consolidated**

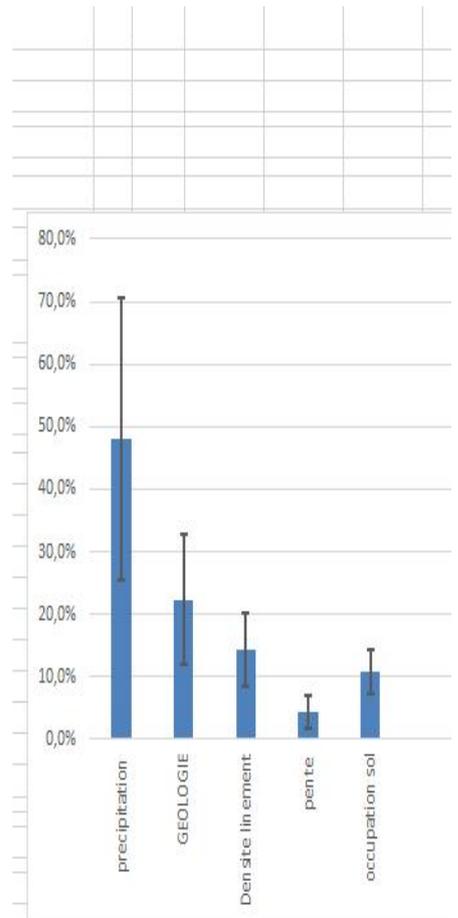
Objective

Author

Date Thresh: 1E-08 Iterations: 6 EVM check: 5,6E-09

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	precipitation		48,0%	22,6%
2	GEOLOGIE		22,4%	10,5%
3	Densite linement		14,3%	5,9%
4	pente		4,4%	2,6%
5	occupation sol		10,9%	3,5%
6			0,0%	0,0%
7			0,0%	0,0%
8			0,0%	0,0%
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0,0%	0,0%
10		question section ("+" in row 66)	0,0%	0,0%

Result	Eigenvalue	Lambda:	5,425	MRE:	45,8%
	Consistency Ratio	0,37	GCI: 0,34	Psi: 3,3%	CR: 9,5%



Matrix	precipitation	GEOLOGIE	Densite linement	pente	occupation sol	0	0	0	0	0	normalized principal Eigenvector
precipitation	1	4	4	5	4	-	-	-	-	-	48,00%
GEOLOGIE	1/4	1	3	5	2	-	-	-	-	-	22,36%
Densite linement	1/4	1/3	1	5	2	-	-	-	-	-	14,33%
pente	1/5	1/5	1/5	1	1/4	-	-	-	-	-	4,44%
occupation sol	1/4	1/2	1/2	4	1	-	-	-	-	-	10,87%
0	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0,00%
0	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	0,00%
0	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	0,00%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0,00%
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,00%

Annexe 02

AHP Analytic Hierarchy Process

n= 5

Input 1

Objective: 0

Only input data in the light green fields!

Please compare the importance of the elements in relation to the objective and fill in the table: Which element of each pair is more important, **A** or **B**, and **how much** more on a scale 1-9 as given below.

Once completed, you might adjust highlighted comparisons 1 to 3 to improve consistency.

n	Criteria	Comment	RGMM	+/-
1	precipitation		48,4%	23,0%
2	GEOLOGIE		22,3%	9,5%
3	Densite linement		14,3%	6,1%
4	pente		4,4%	2,0%
5	occupation sol		10,7%	3,2%
6				
7				
8				
9				
10		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the question section ("+" in row 66)		

Participant 1 1 α: 0,1 CR: 10%

Name Weight Date Consistency Ratio

i	j	A	Criteria	B	more important ?	Scale (1-9)
1	2	precipitation	}	GEOLOGIE	A	4
1	3			Densite linement	A	4
1	4			pente	A	5
1	5			occupation sol	A	4
1	6					
1	7					
1	8					
2	3	GEOLOGIE	}	Densite linement	A	3
2	4			pente	A	5
2	5			occupation sol	A	2
2	6					
2	7					
2	8					
3	4	Densite linement	}	pente	A	5
3	5			occupation sol	A	2
3	6					
3	7					
3	8					
4	5	pente	}	occupation sol	B	4
4	6					
4	7					
4	8					
5	6					
5	7					
5	8					
6	7					
6	8					
7	8					

Intensity	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	Experience and judgment slightly favor one element over another
5	Strong Importance	Experience and judgment strongly favor one element over another
7	Very strong importance	One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation

2,4,6,8 can be used to express intermediate values