

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**Université Abbès Laghrour
- Khenchela-**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie & Environnement**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master Ecologie et environnement
Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée**

Thème

***Délimitation des zones potentielles d'eaux souterraines par
l'utilisation de télédétection, SIG et processus multicritères
d'aide à la décision AHP cas du bassin versant Gareat El Tarf.***

Présenté par :

- *Lakhzoume Nesrine*
- *Sahraoui Zohra*

Soutenue le 26/08/2020

DEVANT LE JURY :

Président : Ziouch Omar Ramzi

MCB (Université Abbès Laghrour
Khenchela)

Promoteur : Boulabeiz Mahrez

MCA (Université Abbès Laghrour
Khenchela)

Examineur : Daif Allah Tarek

MCA (Université Abbès Laghrour
Khenchela)

Année universitaire : 2019/2020

Remerciement

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, qui nous a donné le courage, la force et la patience d'achever ce travail.

Nous remercions très sincèrement notre encadreur, Monsieur **Boulabeiz Mahrez**, pour sa confiance, sa patience, ses judicieux conseils, ainsi que l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer. Nous disons merci.

Nous remercions également les membres du jury Messieurs **Ziouch Omar Ramzi** et **Daif Allah Tarek** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement tous nos enseignants, sans vous nous sommes convaincues que nous n'aurons jamais pu obtenir notre diplôme.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes parents, mon frère Amir et ma sœur Nihal

*A ma tante paternelle et mes tantes maternelles et toute ma
famille Lakhzoum et Rachdi*

*A toute l'équipe de Tanwin Khenchela : Aridj, Nour El Islam,
Abderrezak, Yousra, Ferial, Imane, Hayat, Abdelmaek, Hafsa,
Meroua et Nadjat*

*A mes amis : Randa, Aicha, Tina, Maria, Niama, Sameh,
Thana, Ikhless, Ramzi et Adel*

A la promotion d'écologie fondamentale et appliquée

A mon binôme Zohra et sa petite famille

*A tous ceux et celles qui m'ont aidé et encourager de près ou de
loin dans la réalisation de ce travail et surtout : Dr.Soumia
Bahloul, Abdelhamid et Dr.Benmaarouf*

Dédicace

Je dédie ce travail à la mémoire de mon cher père ;

Sans toi rien ne sera plus comme avant

que Dieu, le miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis.

A ma très chère mère qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir,

a la source d'amour,

a la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par ces prières.

A mon très cher époux,

a mon support dans ma vie,

qui m'a appris m'a supporté et ma dirigé.

Merci d'être toujours à mes côtés

A Mes cher enfants LOUAI, MOHAMED et ZAID

A Mes frères et Mes soeurs

Pour leur affection, encouragement et soutien moral.

Qu'Allah leur protège et leur offre tout le succès et le bonheur

qu'ils méritent

A toute ma famille

A mes meilleurs amies NAWEL , NAZIHA, YAMINA et KARIMA

A mon binôme NESRINE et toute sa famille

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet

soit possible, je vous dis merci

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

RESUME

| | |
|--|----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude | |
| 1. Introduction | 3 |
| 2. Situation géographique | 3 |
| 3. Climat | 4 |
| 4. Facteurs orographiques | 5 |
| 5. Le relief du bassin | 6 |
| 6. Réseau hydrographique..... | 6 |
| 6.1 Caractéristiques du réseau hydrographique | 7 |
| 7. Cadre morphométrique..... | 9 |
| 8. Couvert végétal | 10 |
| 9. CONCLUSION..... | 10 |
| CHAPITRE II : Cadre Géologique | |
| 1. Introduction | 11 |
| 2. Cadre général | 11 |
| 2.1 La série stratigraphique | 11 |
| 2.2 Lithostratigraphie du bassin de Gareat El Tarf | 11 |
| 2.2.1 Trias | 13 |
| 2.2.2 Crétacé | 13 |
| a. Crétacé inférieur | 13 |
| ❖ Barremien supérieur | 13 |
| ❖ Aptien | 14 |
| b. Albien | 14 |
| c. Crétacé supérieur | 14 |
| ❖ Cénomaniens inférieur | 14 |
| ❖ Turonien | 14 |

| | |
|---|----|
| ❖ Turonien (moyen et supérieur)..... | 15 |
| ❖ Coniacien | 15 |
| ❖ Santonien | 15 |
| ❖ Campanien. | 15 |
| ❖ Maestrichtien inferieur | 15 |
| ❖ Maestrichtien supérieur..... | 15 |
| 2.2.3 Eocène | 16 |
| ❖ Montien | 16 |
| ❖ Ypresien et Thanetien | 16 |
| 2.2.4 Miocène | 16 |
| a. Miocène inferieur | 16 |
| ❖ Aquitano-Burdigalien | 16 |
| ❖ Langhien-Serravalien | 16 |
| b. Miocène supérieur | 16 |
| ❖ Tortonien greseux blanc | 16 |
| ❖ Tortonien supérieur continental : | 16 |
| 2.2.5 Le Mio-pliocène | 16 |
| 2.2.6 Le Quaternaire | 17 |
| 3. Conclusion | 20 |

CHAPITRE III : REVUE DE LITTERATURE

| | |
|--|----|
| 1. Introduction | 21 |
| 1.1 Concept d'hydrologie | 21 |
| 1.2 Concept d'hydrogéologie..... | 21 |
| 1.3 Concept d'eau souterraine..... | 21 |
| 2. Formation de l'eau souterraine..... | 21 |
| 2.1 Définition d'un aquifère..... | 22 |
| 2.2 Aquifères libre et captif | 22 |
| 2.3 Définition de la nappe | 23 |
| 2.4 Nappe libre et nappe captive | 23 |
| ❖ Nappes libres | 23 |
| ❖ Nappes captives | 24 |
| 3. Eau souterraine et géodynamique externe | 25 |
| 4. Concept du bassin versant..... | 25 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 4.1 | Description des fonctions d'un bassin versant | 26 |
| | ❖ Fonctions hydrologiques..... | 26 |
| | ❖ Fonctions écologiques | 28 |
| | ❖ Fonctions socio-économiques..... | 28 |
| 5. | Géomatique | 29 |
| 5.1 | Définition | 29 |
| 5.2 | Disciplines de la géomatique..... | 29 |
| 6. | Approche systématique..... | 29 |
| 6.1 | Définition d'un système | 29 |
| 6.2 | Terminologie relative aux systèmes d'information | 29 |
| 6.3 | Définition du SIG..... | 29 |
| | ❖ Objectifs des SIG..... | 29 |
| | ❖ Composantes d'un SIG..... | 30 |
| | ❖ Domaine d'application du SIG | 30 |
| | ❖ Avantages de l'utilisation des SIG..... | 31 |
| 6.4 | Présentation d'ArcGis | 31 |
| 6.5 | Définition de l'analyse multicritère hiérarchique..... | 32 |
| 6.6 | Les principes de la méthode AHP..... | 32 |
| CHAPITRE IV : Cartographie du potentiel en eau souterraine | | |
| 1. | Introduction | 34 |
| 2. | Approches méthodologique :..... | 35 |
| 3. | Résultats et discussion: | 41 |
| 3.1 | Géologie : | 41 |
| 3.2 | Géomorphologie :..... | 42 |
| 3.3 | Sol..... | 42 |
| 3.4 | Densité des linéaments : | 44 |
| 3.5 | Densité de drainage :..... | 45 |
| 3.6 | Précipitation :..... | 46 |
| 3.7 | Utilisation des terres/couverture des terres (LU/LC) :..... | 47 |
| 4. | Délimitation des zones potentielles de recharge des eaux souterraines | 48 |
| 5. | Conclusion | 49 |
| CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION..... | | 51 |
| BIBLIOGRAPHIE | | |

LISTE DES FIGURES

| N° de figure | Titre de figure | Page |
|---------------|---|-----------|
| Fig.01 | Situation géographique de Gareat El-Tarf | 04 |
| Fig.02 | Visualisation 3D du bassin versant de Garaet ElTarf | 05 |
| Fig.03 | Le relief du bassin versant Gareat El Tarf | 06 |
| Fig.04 | Le réseau hydrographique du bassin versant Gareat El Tarf | 07 |
| Fig.05 | Principaux Oueds et leurs longueurs (ANRH) | 08 |
| Fig.06 | Limite de Gareat El Taref (extrait de google earth) | 12 |
| Fig.07 | Schema structural du bassin de Gareat El Taref Assemblage des cartes structurales simplifiée tirées des cartes géologique (VILA 1977) | 12 |
| Fig.08 | Log hydrogéologique du bassin versant de Gareat El Taref (DALI, 2009) | 18 |
| Fig.09 | Types de sources | 24 |
| Fig.10 | Schéma d'un bassin versant | 26 |
| Fig.11 | Schéma du cycle d'eau | 28 |
| Fig.12 | Modules d'un SIG | 30 |
| Fig.13 | Les différents outils de l'utilisation de l'ArcGis (Source : ESRI, Inc) | 32 |
| Fig.14 | Méthodologie adoptée pour le présent travail | 39 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| Fig.15 | Relation entre les paramètres qui influent et contrôlant la zone potentiel des eaux souterraines | 40 |
| Fig.16 | Carte géologique de la zone d'étude | 41 |
| Fig.17 | Géomorphologie de la zone d'étude | 42 |
| Fig.18 | Carte de sol de la zone d'étude | 43 |
| Fig.19 | Carte de de densité de linéaments de la zone d'étude | 44 |
| Fig.20 | Carte de de densité de drainage de la zone d'étude | 45 |
| Fig.21 | Carte des précipitations de la zone d'étude | 46 |
| Fig.22 | Carte d'occupation/utilisation des sols de la zone d'étude | 47 |
| Fig.23 | Zone potentiel des eaux souterraines de la zone d'étude | 48 |

LISTE DES TABLEAUX

| N° de tableau | Titre de tableau | Page |
|----------------------|---|-------------|
| Tab.01 | Caractéristique morphométrique du BV de Garaet El Tarf (DFOB 2017) | 09 |
| Tab.02 | Classement et pondération des différents paramètres et de leurs valeurs CSI pour le zonage du potentiel des eaux souterraines | 37 |
| Tab.03 | Paramètres utilisées, mode de traitement et sources des données. | 38 |

LISTE DES ABREVIATIONS

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

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrique.

BV : Bassin Versant

CSI : L'indice de score cumulatif

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

DFOB : Direction des forêts d'Oum El Bouaghi

DHKH : Direction Hydraulique de wilaya de khanchela.

DHOB : Direction Hydraulique de wilaya d'Oum El Bouaghi.

ESRI : Institut de recherche sur les systèmes environnementaux

IDW : Idea and Design Works

MNT : Modèle numérique de terrain télécharger

n: nombre de facteurs (les cartes thématiques).

ONM: Office National de la Météorologie

RS : Remote Sensing «Télédétection»

SIG : Systèmes d'Informations Géographique.

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

X_i : est le rang de classe i

W_j : est le poids normalisé du facteur j

Résumé

Dans cette étude, une approche cartographique a été appliquée pour identifier les zones potentielles des ressources en eaux souterraines basé sur le système d'information géographique intégré (SIG) et l'analyse multicritère hiérarchique, dans la plaine alluviale de Garaet el Tarf, en Algérie. Un total de sept ensembles de critères/facteurs incluant, la pluviométrie, la géologie, le sol, la géomorphologie, land use/land cover, densité de linéament et densité de drainage, ont été sélectionnés et cartographiés. Les différents sous-critères de chaque couche thématique ont été classés en fonction de leur influence sur la recharge des eaux souterraines, et chaque couche thématique a reçu une pondération, dérivée du l'analyse multicritère hiérarchique (AHP).

La carte de la zone potentielle des eaux souterraines résultante est classée en quatre potentiels d'eau souterraine différents : très fort (26%) fort (31%), modéré (30%), et faible (13%). Sur la base des résultats obtenue la densité de drainage, la géomorphologie et la texture du sol de la zone d'étude joue un rôle majeur augmentent le potentiel des eaux souterraines.

Mots clés : Système d'information géographique (SIG), l'analyse multicritère hiérarchique (AHP), eaux souterraines, Bassin versant, Garaet El Tarf.

Abstract

In this study, a cartographic approach was applied to identify potential areas of groundwater resources based on the integrated geographic information system (GIS) and hierarchical multi-criteria analysis, in the alluvial plain of Gareat el Tarf, Algeria. A total of seven sets of criteria / factors including, rainfall, geology, soil, geomorphology, land use / land cover, lineament density and drainage density, were selected and mapped. The different sub-criteria of each thematic layer were ranked according to their influence on groundwater recharge, and each thematic layer was given a weighting, derived from the hierarchical multi-criteria analysis (AHP).

The resulting groundwater potential zone map is categorized into four different groundwater potentials: very strong (26%) strong (31%), moderate (30%), and weak (13%). Based on the results obtained the drainage density, geomorphology and soil texture of the study area play a major role in increasing the groundwater potential.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Hierarchical Multicriteria Analysis (AHP), groundwater, Watershed, Garaet El Tarf.

المخلص

في هذه الدراسة تم تطبيق طريقة رسم الخرائط لتحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية بالاعتماد على انظمة المعلومات الجغرافية و كذا التحليل الهرمي متعدد المعايير في السهل الطيني لقرعة الطرف بالجزائر

تم فيها اختيار مجموع سبع معايير هم على التوالي: تساقطات الامطار، الجيولوجيا، التربة، الجيومورفولوجيا، استخدام الأراضي/الغطاء الأرضي، كثافة الخط و كثافة الصرف بحيث تم تصنيف المعايير الفرعية المختلفة لكل طبقة موضوعية حسب تأثيرها على المياه على تغذية المياه الجوفية كما تم اعطاء ترجيح مشتق لكل طبقة موضوعية. و عليه تم التحصل على خريطة المنطقة المحتملة للمياه الجوفية والتي قسمت إلى (% أربعة احتمالات مختلفة: قوي جدا (26%)، قوي (31%)، معتدل (30%) وضعيف (13)

بناء على النتائج المتحصل عليها تم التوصل إلى أن كثافة الصرف و الجيومورفولوجيا وأيضا تركيب التربة لمنطقة الدراسة تلعب دورا أساسيا في زيادة امكانية وجود المياه الجوفية

الكلمات المفتاحية: انظمة المعلومات الجغرافية، التحليل الهرمي متعدد المعايير، المياه الجوفية، الحوض المنحدر، قرعة الطرف

**INTORODUCTION
GENERALE**

Introduction générale

L'eau est une ressource essentielle aux besoins fondamentaux de l'homme et à son environnement. Les eaux souterraines constituent une ressource vitale pour satisfaire les besoins en eau douce des collectivités, et bien que l'eau souterraine soit une ressource naturelle dynamique et réapprovisionnant, sa disponibilité est limitée dans les zones arides et semi-arides.

C'est parce que l'eau souterraine se produit dans les formations sub-superficielles, 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 et al., 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 and Singh, 2009). En outre, La demande accrue d'eau de haute qualité, combinée aux pressions attendues des changements climatiques mondiaux, crée un besoin urgent des méthodologies quantitatives permettant d'évaluer la production d'eau souterraine des aquifères (Oh et al., 2011).

Le développement des ressources en eau représente un défi pour les planificateurs et les décideurs dans les pays à forte croissance démographique et à la pénurie d'eau (Al-Bakri and Al-Jahmany, 2013), 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 (Subba Rao, 2006), Les demandes croissantes d'eau douce dans différents secteurs, en particulier à des fins d'abreuvement (fournir l'eau de boisson aux animaux domestiques) et d'agriculture, justifient l'identification des zones potentielles d'eau souterraine. Cependant, les outils d'évaluation de la productivité des aquifères n'ont pas été bien établis en Algérie, L'accès à l'eau potable, en particulier dans la zone semi-aride de la plaine de gareat el tarf, objet de notre étude, est un facteur primordial pour le développement économique, qui améliore le niveau de vie des populations et leur stabilisation. Par conséquent, une gestion et une planification efficaces des eaux souterraines dans cette zone sont de la plus haute importance.

Les approches traditionnelles de l'exploration des eaux souterraines par les forages, l'hydrogéologie, la géologie et la géophysique sont extrêmement coûteuses, et prennent beaucoup de temps et requièrent une main-d'oeuvre qualifiée (Todd DK, 1980, Company, 1990, Israil et al., 2006, Jha et al., 2010), 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 plaine de Gareat el Tarf 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 (Solomon and Quiel, 2006), À cet égard, la technique de système d'information géographique (SIG) ont récemment attiré l'attention de nombreux chercheurs (NOUAYTI et al., 2017), 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 and Quiel, 2006), 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 et al., 2015).

L'analyse multicritère hiérarchique (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 (Saaty, 1980). Les méthodes SIG et AHP ont été largement jumelées et utilisées dans l'évaluation du potentiel des eaux souterraines.

Le but de cette étude est de contribuer à des études systématiques des eaux souterraines en utilisant l'analyse spatiale, les études de terrain, les systèmes d'information géographique (SIG) et Le processus d'hierarchie analytique (AHP) dans l'évaluation de la zone potentielle des eaux souterraines, et à cet effet, la zone de Gareat el Tarf de la wilaya d'oum el bouaghi et khenchela en l'est d' Algérie a été sélectionnée, Les objectifs spécifiques de la présente étude sont:

- Préparer des cartes thématiques de la zone de Gareat el Tarf telles que la géologie, la géomorphologie , la pédologie (sol), densité de linéament , densité de drainage, précipitations, LU/LC, par différentes techniques cartographiques.
- Identifier et délimiter les zones potentielles d'eau souterraine grâce à l'intégration de diverses cartes thématiques dans diverses plateformes SIG.

Ce mémoire présente pour la première fois une méthodologie basée sur un système d'aide à la décision qui utilise des données d'enquête de terrain combinées avec SIG pour identifier les zones de ressources en eau souterraine appropriées.

CHAPITRE 1 :
Présentation de la zone
d'étude

1. Introduction

La présentation de la zone d'étude est importante et indispensable avant chaque étude pour bien formuler des hypothèses, définir la recherche et par conséquent bien analyser les résultats obtenus.

Dans ce chapitre on présente les principales caractéristiques physiques, hydrologiques et morphologiques du bassin versant Gareat El Tarf

1.1 Situation géographique

Le bassin versant Gareat El Tarf avec une superficie de 2432 Km² l'un des sous bassins des hauts plateaux constantinois se situe entre les latitudes 35°22'N et longitudes 6° 49' et 7°34'E à l'extrême Est des hauts plaines steppiques entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud.(synthétisé de Dali 2009, Dib 2018)

Ce bassin caractérise par la présence d'une Sebka qui s'appelle Gareat El Tarf (35°42'N ,7°8'E) cette zone humide était classée depuis 2004 sur le site Ramsar représente la plus grande superficie des étendues d'eau de la région avec 33'460 ha. Elle est située aux piedmonts du Djebel El-Tarf (1180 m) et limitée entre les villes d'Oum El-Bouaghi, d'Ain El-Beida et de Baghaï. A l'Est elle est limitée par la plaine de Bled El Meniri, au Sud par le douar de M'Toussa, à l'Ouest par Henchir Goraï et au Nord par Djebel El-Tarf et la plaine de Medfoune.

Cette Sebka est alimentée par Oued Boulefriess, Oued Maarouf, Oued Remila et Oued Gueiss et entourée de plusieurs Chotts dont les plus importants sont :

- Le Chott El-Melah (875 ha)
- Le Chott El-Oussera (135 ha)
- Le lac Timerganine (570 ha)
- Gareat Biar-Es-Sebaa (200 ha)

La végétation est essentiellement entourée par des champs de culture céréalière et une richesse floristique peu importante.

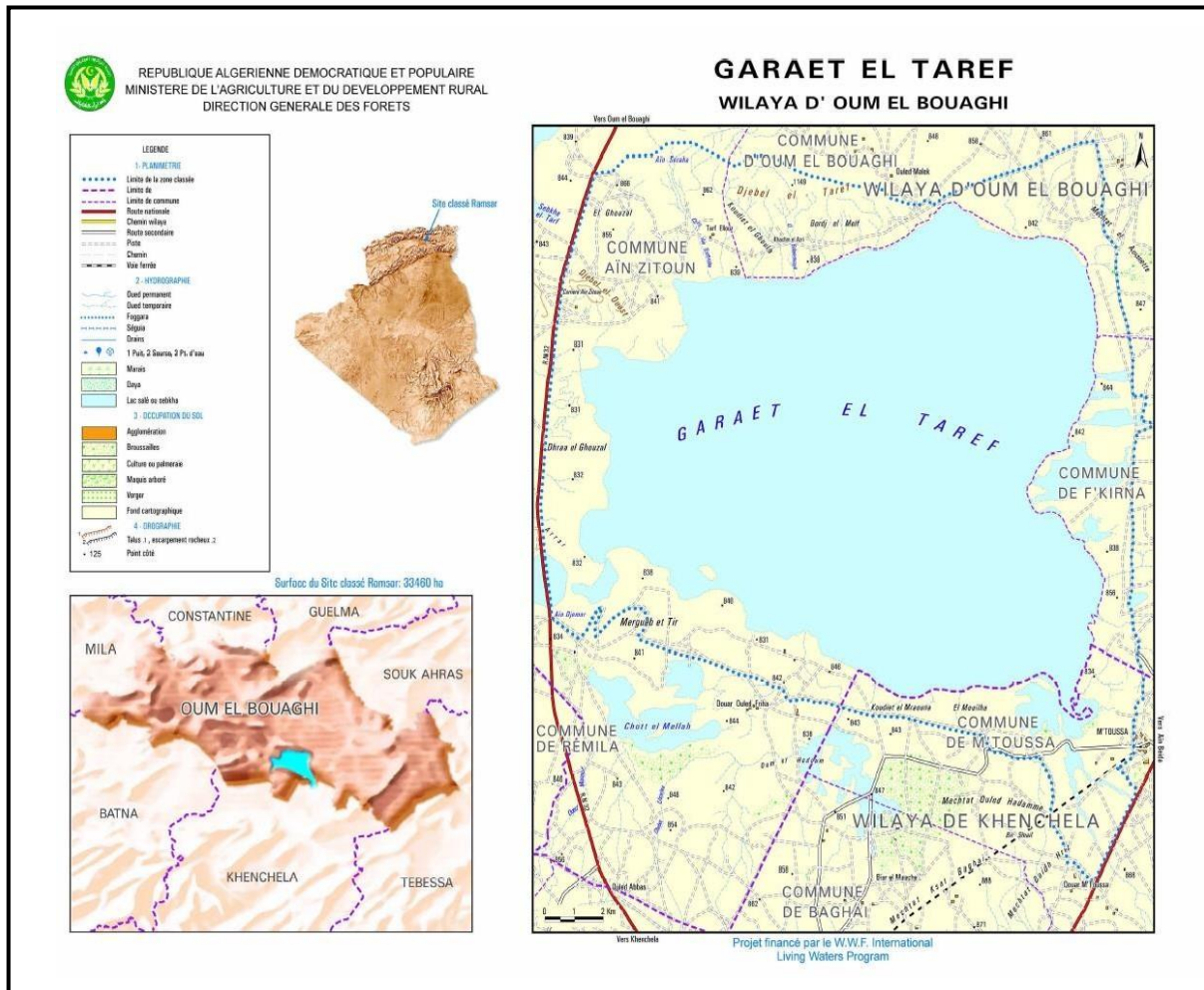


Fig. (01) : Situation géographique de Gareat El-Tarf

(Source : direction générale des forêts)

Le bassin versant Gareat El Tarf est limité par :

- Au Nord, la ligne de crête de direction NW-NE des massifs de Sidi Reghis et Ammamret El Kbir.
- Au sud, la ligne de crête de direction SE-SW des Djebels Feraoun, Aurès, El Aoud.
- A l'Est, la ligne de crête de direction NE-SW des massifs de Djebel Fedjidjet, Djebel Tafrennet et Chettaia.
- A l'Ouest le talweg d'Oued Gueiss, Djebel Fedjoudj et Djebel Tarf.

1.2 Climat

Le bassin versant Gareat El-Tarf se caractérise par deux types :

- Le Nord où l'altitude arrive jusqu'à moins de 850 m est caractérisé par un climat semi-aride

- Le Sud où l'altitude dépasse 1200 m les courants d'air froid et humide provenant des Aurès sont influencés le climat qui donne un climat tempéré

1.3 Facteurs orographiques :

Notre zone d'étude bordée par plusieurs montagnes permet ces montagnes on cite :

- Djebel Guern Ahmar (1200 m)
- Djebel Fedjijet (1291 m)
- Djebel Boutekhma (1349 m)
- Djebel Djazia (1192 m)
- Djebel Bardo (1110 m)
- Djebel El Gala (1200 m)
- Djebel El Zorge (1129 m)

Ces Djebels donnent la naissance des Oueds temporaires avec un écoulement de l'Est à l'Ouest et composent un réseau hydrographique les plus importants de ces Oueds sont les suivants :

- Oued Nini
- Oued Oulmene
- Oued Isfer

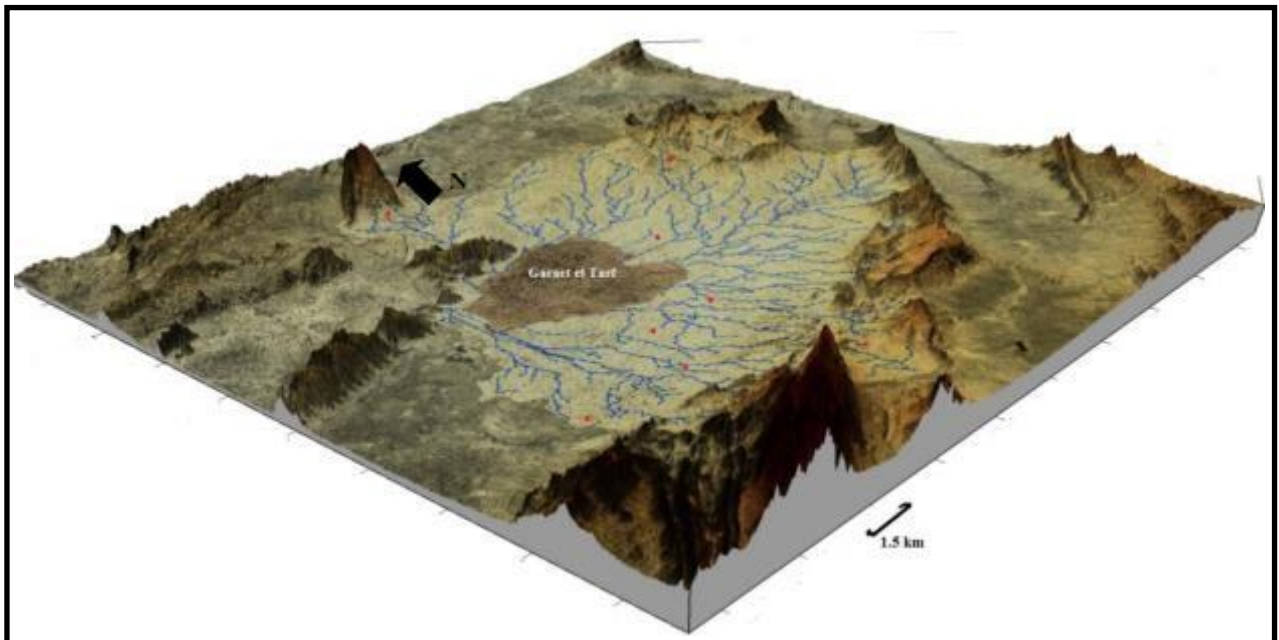


Fig. (02) : Visualisation 3D du bassin versant de Garaet ElTarf (Source : Dib, D 2018)

1.4 Le relief du bassin :

Le bassin de Gareat El Tarf constitue une dépression endoréique très étendue et relativement élevée, environ 960 m, qui a reçu tous les apports d'érosion des reliefs environnants.

La géomorphologie est dominée par des hautes plaines parsemées des dépressions constituant le chott (Gareat El Tarf), avec une altitude d'environ 830 m ce dernier s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le 1/4 est inondé, tout autour, on trouve des chotts satellites qui fusionnent avec celui d'El Tarf lors des grandes crues. Les périmètres de ce lac salé sont caractérisés par un niveau plat. Les massifs qui encadrent le bassin dépassent les 2000 m. Les bordures sud et nord du bassin sont marquées par des inclinaisons relativement importantes ; conséquence d'une activité tectonique ayant affecté ces régions, permettant un écoulement superficiel plus important (Guiraud 1973).

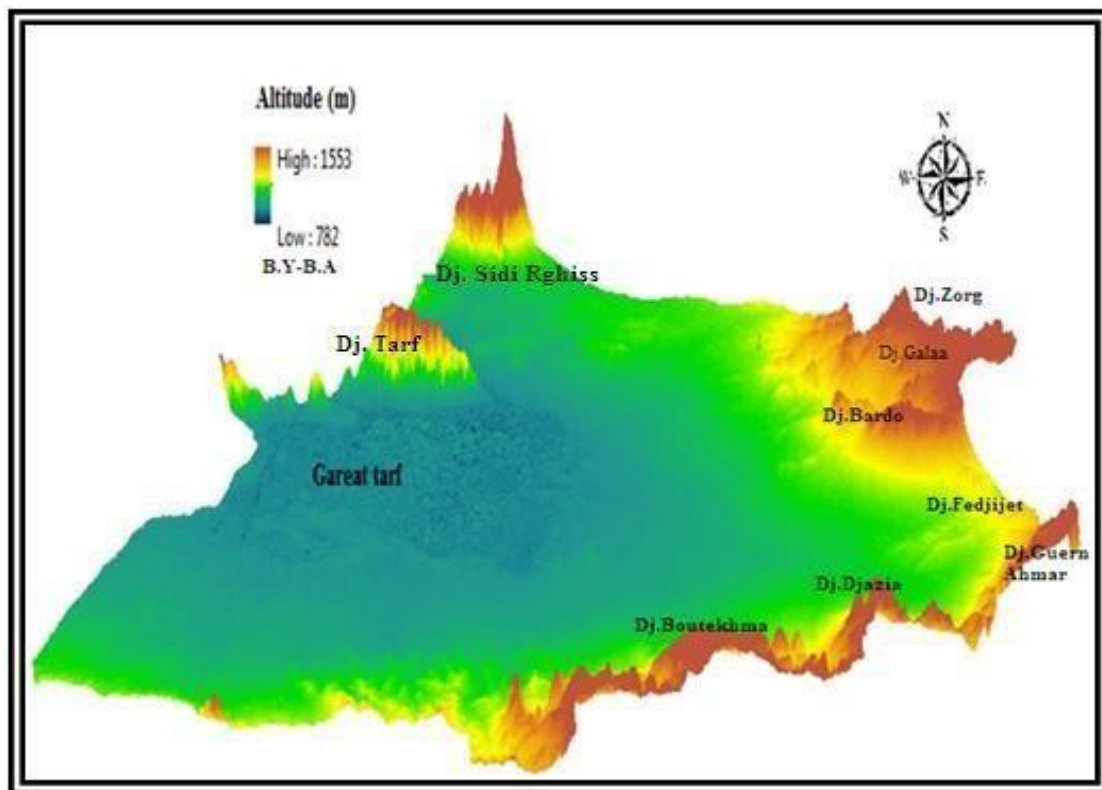


Fig. (03) : Le relief du bassin versant Gareat El Tarf

1.5 Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est peu dense avec des oueds endoréiques dont la majorité sont permanents et s'écoulent en direction de sebkha.

Généralement le réseau est représenté par :

- **Oued Baghai** : il est situé à 829 m d'altitude et prend source à djebel Chellalaia, arrose la plaine de kenchela, ksar baghai et va se jeter dans Gareat El Tarf.
- **Oued Gueiss** : il est situé à 853 m d'altitude sort du djebel Noughiss, il va se jeter dans la Garaet el Tarf sous le nom d'oued Marouf.
- **Oued El-Hammam** : il est situé à 1297 m d'altitude sort du Kef El Biod (1815 m) par une étroite vallée sous le nom d'oued El Kissane.
- **Oued Boulefreiss** : est un flux important dans le bassin versant reçoit plusieurs oueds et orienté SO-NE passe par le Chott El Melah et se jette dans Gareat El Tarf.

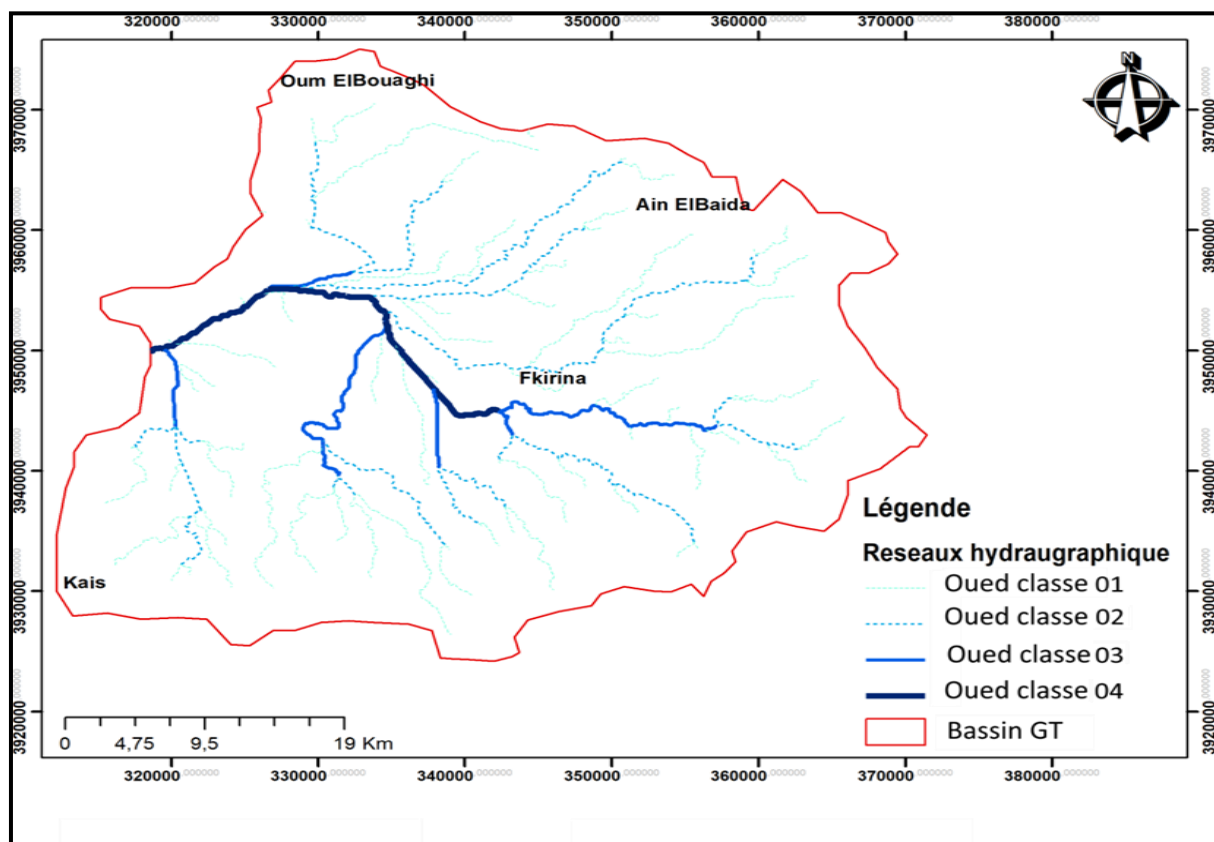


Fig. (04) : Le réseau hydrographique du bassin versant Gareat El Tarf

6.1 Caractéristiques du réseau hydrographique :

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques (Bouanani, 2004).

La forme et la densité de ce dernier représentent les deux caractéristiques importantes d'un bassin versant.

Sa différenciation est due à plusieurs facteurs dont les plus importants sont : La géologie, Le climat, La pente du terrain, La présence ou absence d'agglomérations (Dib,2018).

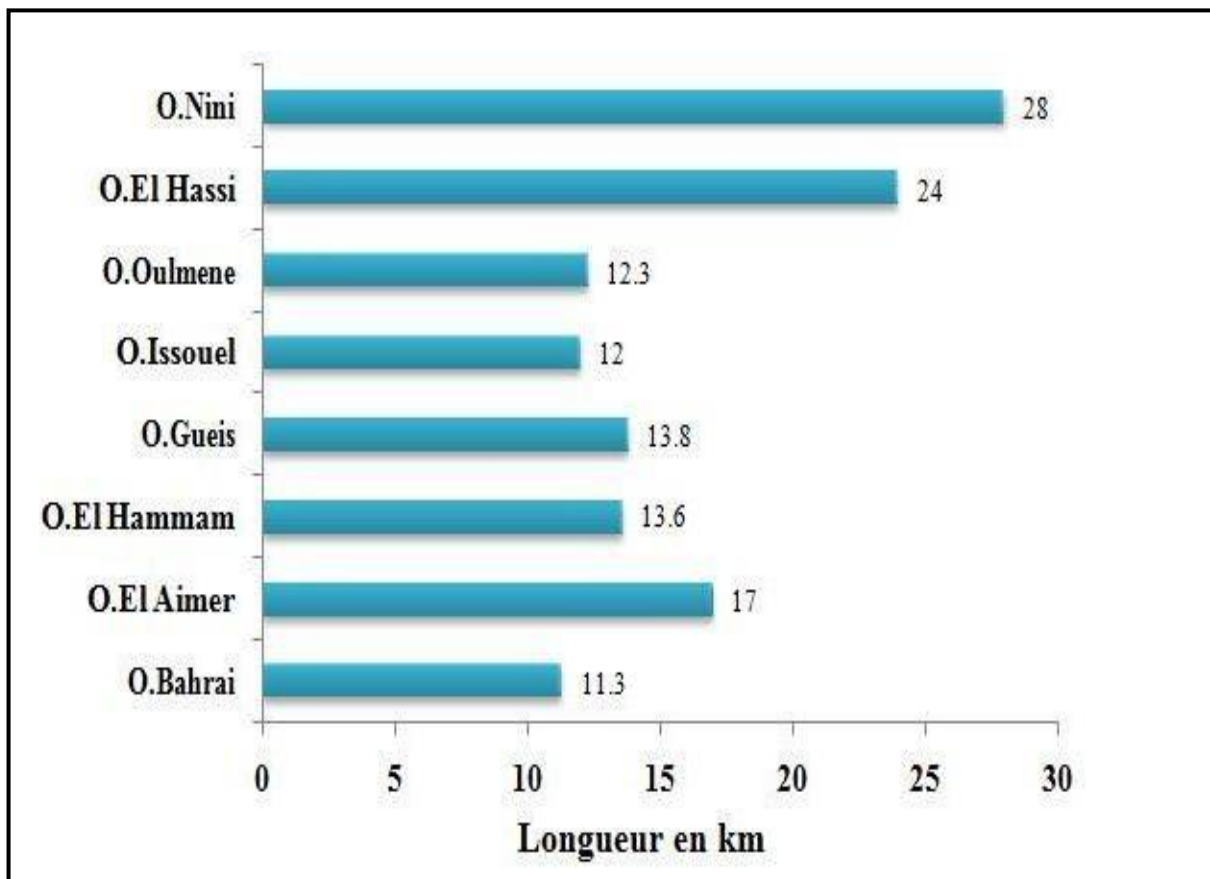


Fig. (05) : Principaux Oueds et leurs longueurs
(ANRH)

7. Cadre morphométrique :

Tableau.1 : Caractéristique morphométrique du BV de Garaet El Tarf (DFOB 2017)

| Grand bassin versant | Code | bassin versant | Sous- bassin versant | Périmètre du bassin versant(k m) | Surface du bassin versant(Ha) | Sup fortement sensible à l'érosion | Longueur du bassin versant(k m) | Largueur du bassin versant(km) |
|-------------------------------------|-------|------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Hauts Plateaux Constantinois | 07-07 | Garaet El Tarf | Oued Faïd Souar | 62,38 | | 2 138,26 | 22,83 | 8,36 |
| | | | Oued Faïd Medfoun | 47,7 | 8 270 | | 19,63 | 4,21 |
| | | | Oued Isfer | 81,74 | 24 193 | | 33,69 | 7,18 |
| | | | Oued Nini | 107,78 | 50 275 | | 41,89 | 12 |
| Totale | | 65 104,00 | 2 138,26 | | 165 104,00 | 2 138,26 | 4 942,00 | 4 060,94 |

| Altitude moyenne (M) | Nombre de cours d'eau | Nombre des cours d'eau (M) |
|----------------------|-----------------------|----------------------------|
| 999,42 | 240 | 333,38 |
| 899,22 | 167 | 88,1 |
| 975,22 | 610 | 421,22 |
| 962,04 | 1258 | 1232,79 |
| | 4 942,00 | 4 060,94 |

8. Couvert végétal :

La végétation ne trouve pas des conditions favorables pour sa croissance, la couverture végétale est xérophile (adaptée à l'aridité), l'arbre est absent, seules les plantes steppiques comme le Diss (*Ampelodesma mauritanica*). En revanche, les cultures de blé et de l'orge peuvent se faire sans irrigation sur ces vastes hautes plaines.

Le sud du bassin de Gareat El Tarf dispose en altitude de belles forêts constituées essentiellement par de pin d'Alpes, genévriers, ifs, à partir de 1500 m des forêts de cèdres. Les prairies sont bien représentées ; Et les périmètres irrigués sont développés surtout dans la plaine de F'kirina et Remila.

Tout autour de la Sebkhia subsiste une végétation herbacée composée essentiellement d'Armoise blanche et d'Atriplex. (Dali,2009)

9. Conclusion

Le sous bassin versant Gareat El Tarf avec une superficie de 2432 km² est situé à la partie nord orientale de l'Algérie entre l'atlas tellien et l'atlas saharien ce qui est donne un climat semi-aride.

Le bassin versant Gareat El Tarf est caractérisé géomorphologiquement par la dominance des hautes plaines et bordé par plusieurs montagnes avec des altitudes varies entre 1110 m (Djebel Bardo) et 1349 m (Djebel Boutekhma).

Le réseau hydrographique est peu dense où la majorité des oueds sont permanents.



CHAPITRE 2 :
Cadre géologique

1. Introduction :

La connaissance de la géologie d'un bassin versant s'avère importante pour cerner l'influence des caractéristiques physiographiques. La géologie du substratum influe non seulement sur l'écoulement de l'eau souterraine mais également sur le ruissellement de surface. Dans ce dernier cas, les caractères géologiques principaux à considérer sont la lithologie (nature de la roche mère) et la structure tectonique du substratum.

De l'étude de la géologie du bassin de Gareat El Taref, on peut connaître les risques auxquels est exposée, elle permet de définir les formations et les structures susceptibles de constituer des réservoirs, et d'estimer leurs importances et capacités.

2. Cadre général :

Gareat El Tarf est situé dans les hauts plateaux . elle est centré par la sebkha de remplissage quaternaire constitué des limons et des argiles .La gareat est bordée au sud –ouest et sud-est par deux plaines : remila et fkirina de remplissage plio-quaternaire. Et au nord par djebel el taref.A l'extrême nord par djebel sidi reghis , et au sud par l'anticlinal des aures. La sédimentation tertiaire est essentiellement marneuse, probablement du crétacé supérieur.

2.1 La série stratigraphique :

D'après les études antérieurement réalisées par plusieurs géologues dans la région (**Laffitte, (1939) ; Herkat, (1982), Marmi, (1995) et Guiraud, (1997)**), l'inventaire stratigraphique dressé a révélé que les séries les plus anciennes affleurant dans le secteur sont attribués au Trias. Les dépôts les plus récents sont d'âge Quaternaire.

2.2 Lithostratigraphie du bassin de Gareat El Tarf :

La lithostratigraphie à été tirée pour l'essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/ 50 000 ; Khenchela, Gareat El Tarf, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F'kirina, Gareat El Tarf, Delâa et des coupes géologiques et la carte geologique de constantine 1/200000 (**vila 1977**) (fig7)



Fig (6) :Limite de Gareat El Taref (extrait de google earth)

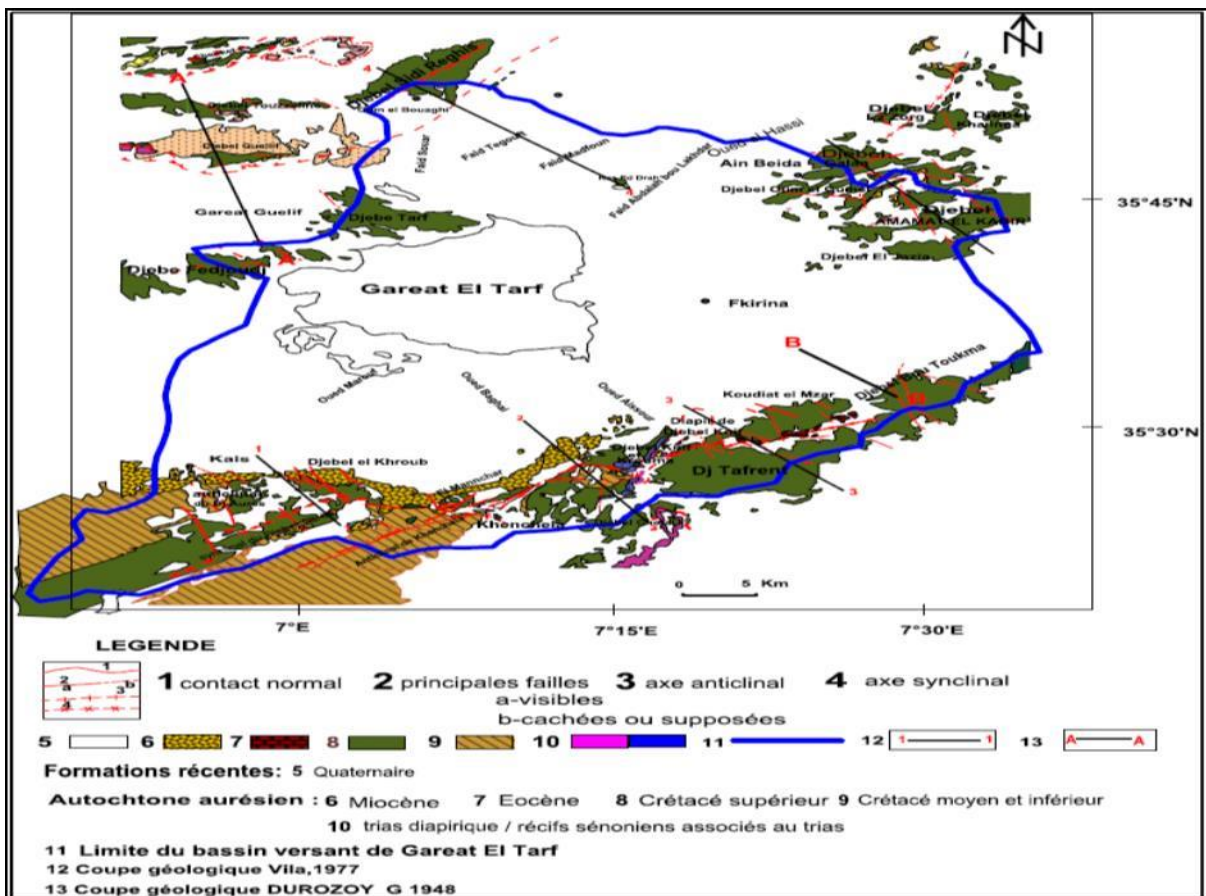


Fig (7) : Schema structural du bassin de Gareat El Taref Assemblage

des cartes structurales simplifiée tirées des cartes géologique (VILA 1977)

2.2.1 Trias :

Les séries triasiques étaient depuis longtemps l'objet de nombreuses études d'ordre stratigraphique (Cuif & Gautret, 1987; Gautret, 1991; Peybernes *et al.*, 1993).

En géologie, un **affleurement** est un ensemble de roches non séparées du sous-sol, étant mis à nu par un ensemble de facteurs (érosion hydraulique, glaciaire, marine ou activité humaine) sans être masquées par des formations superficielles (sol, éboulis, alluvions, dépôts éoliens ou glaciaires...).

Les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, où il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et de 300 à 400 m de large et, sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'albien, le Cénomaniens et le Sénonien.

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous forme d'amalgame intensément replissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du trias. L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anté-miocène, il a disparu depuis longtemps (R.Laffite 1939)

Les argiles et marnes bariolées de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée ; constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement. Des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasique.

2.2.2 Crétacé :

Les formations crétacées affleurent largement dans la région d'étude et ses environs (Fig.7 et 8). Formant l'ossature de la région. Il correspond à une bande grossièrement orientée SW-NE, formée essentiellement de calcaire et de marnes.

Laffitte a subdivisé le Crétacé en deux ensembles distincts, sur la base de critères faciologiques :

a. Crétacé inférieur :

❖ Barremien supérieur :

C'est une série essentiellement composée de grès blancs fins, à ciment argilo carbonaté, à tendance quartziteuse. Leur base n'est visible qu'au Sud du Djebel Touzzeline.

❖ **Aptien :**

Il est caractérisé par deux ensembles lithologiques distincts (**Marmi, 1995**) :

- L'Aptien marneux est représenté par environ 100 m de marnes gris noir à débris schisteux et à minces intercalations de marnocalcaire gris à cassure noire.
- L'Aptien supérieur calcaireux à Céphalopodes, à Orbitolines

Ces couches forment l'essentiel de la masse calcaire du Djebel Sidi Reghis (la série est épaisse d'environ 250 à 300 m) et du Djebel Tarf.

Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses
- Calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre.

b. Albien (Crétacé moyen) :

L'Albien entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus ou moins continue au-dessous de l'Aptien

Ces caractères impliquent des mouvements d'affaissement du fait du dépôt d'une sédimentation épaisse (300m) dans un fond ne dépassant pas 200m sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Reghis,

L'Albien de l'Aurès, et de Djebel el Krouma est caractérisé par une alternance marno gréseuse à la base et au sommet associée à des calcaires à Ammonite, des dolomies et des biosparites.

c. Crétacé supérieur :❖ **Cénomaniens inférieurs** : aussi appelé *Woodbinian*, est le premier étage stratigraphique du Crétacé supérieur

Il est essentiellement calcaire-marneux. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais, qui s'intercalent dans des marnes gris-bleu ou beiges, avec une épaisseur variable peut atteindre 500 à 600 m.

❖ **Turonien basal** : Le Turonien occupe de grandes surfaces dans les Aurès.

Il est à dominante marneuse avec des niveaux de calcaires marneux en plaquettes bitumineuses. La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaire blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtre. Au dessus 200 m de marnes grises ou noires montrant des intercalations de marno-calcaire blanchâtres.

❖ **Turonien (moyen et supérieur) :**

Ce sont des alternances de marnes grises à beiges et de calcaire en bancs métrique. La prédominance des intercalations calcaires créent une barre bien visible dans la morphologie.

❖ **Coniacien :**

Au Djebel Knif, sous la discordance des formations brèchiques Santoniennes, le coniacien est formé à la base par 90 m d'alternances de marnes beiges ou grises et de calcaire gris au-dessus au Djebel Bardo (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations composées essentiellement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges.

❖ **Santonien :**

Visible aux alentours du Djebel Knif. Il correspond à 250 m de marnes gris bleutées avec à la base et au sommet des marno-calcaires en bancs décimétriques riches en débris d'inocérames, il repose en discordance sur les argiles varicolores du trias et sur le Coniacien.

Ces formations santoniennes contiennent des algues et des débris de rudistes ainsi que des fragments d'hippuritides,

❖ **Campanien :**

Le Campanien est très bien visible aux environs des Djebels Chettaia et Knif et dans le synclinal du Djebel Aurès.

Au Djebel Aurès le Campanien Formé de marnes gypseuses à intercalations de calcaires légèrement phosphatés. L'épaisseur de cet étage est de 170m

Au djebel Knif, on retrouve à la base du Campanien une séquence calcaire de 12 m d'épaisseur.

❖ **Maestrichtien inférieur à dominante marneuse :**

Ce sont des formations atteignant une épaisseur estimable à 40 m. Représenté par des alternances de marnes de teint gris-beige à débris de mollusque et de calcaires massifs, beige en bancs décimétriques à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes.

❖ **Maestrichtien supérieur : calcaire a Inocerames**

Ce sont des formations calcareuses , massifs blanchâtres, granuleux, en bancs décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique auprès du Djebel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus sombre de teinte grise, bleue, au contraire au Djebel Bardo et Djebel Boutoukhma, les formations d'une centaine de mètres, ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à pluri métriques avec une cassure blanchâtre passées noduleuses et à rognons de silex.

Ces formations contiennent des fragments d'Inocérames L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m. (Vila, 1977).

2.2.3 Eocène :

❖ Montien :

Formation d'une épaisseur de 70 m, présentant des marnes grises verdâtres en concordance sur le maestrichtien.

❖ Ypresien et Thanetien :

Ces formations sont d'une épaisseur approximative à 85 m, présente une séquence marneuse grise beige à la base et une séquence carbonatée au sommet. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés.

2.2.4 Miocène : Du point de vue lithologique, la série miocène est composée :

a- Miocène inférieur :

❖ Aquitano-Burdigalien :

Cette série se développe surtout au Sud d'Ain Hammam. Quelques minuscules affleurements de cette formation ont été repérés sur le versant Sud du Djebel Guellif. C'est une formation continentale rouge, formée de conglomérats, d'argiles rouges, de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires, d'argiles silteuses rouges et de rares marnes. Épais de 60m à 80m environ.

❖ Langhien-Serravalien :

Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud de djebel Knif et à l'Est de Djebel Chettaâ ou il repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifkressa et du Ras Serdoun. Ce paquet est de 36m d'épaisseur en moyenne.

b- Miocène supérieur :

❖ Tortonien greseux blanc :

Cette formation est composée de grés blancs grossiers en bancs plurimétriques, à abondance de dragée de quartz (diamètre allant jusqu'à 2cm).

❖ Tortonien supérieur continental :

Argiles silteuses beiges et rouges, grés, Cette formation affleure aux alentours de Baghai.

2.2.5 Le Mio-pliocène :

Il s'agit d'un remplissage des paléo-reliefs. Au sud de djebel sidi Rhélis se rencontre l'une des rares formations moi-pliocène connues dans la région. Elle est connue au niveau de Argoub Kemellal et elle est représentée de bas en haut par :

des argiles de 10 m d'épaisseur, des sables jaunes et des calcaires lacustres en barres métriques qui se suivent jusqu'à Ain Beida.

2.2.6 Quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont la couverture blanche dans la région d'étude (**Fig.7 et 8**). Ces formations sont d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces. Ils se sont développés essentiellement dans les parties bordant les massifs montagneux.

On y rencontre des éboulis à blocs, éboulements et glacis polygéniques. Dans les zones basses telles les vallées et les sebkhas. Si l'épaisseur générale ne dépasse pas la moyennes des quelque mètres, le quaternaire est connu sous différents aspects en fonction du lieu de gisement de la formation. (**Villa J.M., 1977**)

- Formations dunaires : elles sont localisées à la périphérie des chotts. Elles correspondent à l'agrégation de poussières, de sables fins et de petits débris. Elles sont généralement ravinées ou fixées par une maigre végétation herbacée.
- Sols salés : se rencontrent aux alentours des chotts sous forme de vastes espaces plats surélevés exceptionnellement inondés. S'y développent des croûtes de sels épisodiques. Se sont d'anciens sols hydro morphes salés.
- Alluvions récentes ce sont des limons, des graviers et des galets roulés constituant les alluvions actuelles (lits majeurs des oueds) ou récentes.

• **Sebkha de Gareat El Tarf**

La lithologie est singulièrement marquée par d'importants affleurements triasiques, des formations calcaires résultant du Quaternaire et du Mæstrichtien supérieur et de conglomérat du Miocène. Le sol, constitué par des limons et des argiles, est déstabilisé par la présence de sel qui disperse ses éléments de sorte qu'il perd totalement sa structure initiale pour donner des structures à faible perméabilité.

La sebkha n'est recouverte que épisodiquement, après des périodes pluvieuses, par une faible tranche d'eau (quelques mètres au maximum dans les secteurs les plus déprimés) qui subsiste quelques semaines ou quelques mois. Dès l'assèchement de la cuvette, les sédiments fraîchement déposés sont emportés par le vent (phénomène de déflation) ou recouvert par une mince pellicule saline résultant de l'évaporation des eaux superficielles ou souterraines.

| Ere | Système et sous système | Etage et sous étage | Lithologie | Epaisseur (m) | Lithologie | Hydrogéologie | Type de réservoir | |
|-------------|-------------------------|-----------------------|--|---------------------------|-------------|---------------|------------------------------|------------------------------|
| Quaternaire | Quaternaire | Récant | Limons et graviers | 2-30 | | Perméable | Réservoir du mio-quaternaire | |
| | | Ancien | Galets, graviers et sable | 20-50 | | Perméable | | |
| Tertiaire | Miocène | Sup | Tortonien sup | Argile et grès | 150 | | Perméable | Réservoir du mio-quaternaire |
| | | | Tortonien inf | Grès grossier | 300 | | Perméable | |
| | | Inf | Langhien serravalien | Marne | 36 | | Perméable | |
| | | | Aquitano burdigalien | Argile siltueuse | 60-80 | | Imperméable | |
| | Eocène | Thanétien à yprésien | Marne à la base et carbonate au sommet | 146 | | Imperméable | Substratum | |
| | Montien | Marnes | 70 | | Imperméable | | | |
| Secondaire | Crétacé | sup | Maestrichtien sup | Calcaire à cassure | 150 | | Perméable | Substratum |
| | | | Maestrichtien inf | Marne | 40 | | Imperméable | |
| | | | Campanien | Marne et calcaire | 92 | | Semi-perméable | |
| | | | Santonien | Marne | 250 | | Imperméable | |
| | | | Coniacien | Marne et calcaire | 150 | | Semi-perméable | |
| | | | Turonien moy et sup | Marne et calcaire | 50 | | Imperméable | |
| | | | Turonien basal | Marno –calcaire à cassure | 200 | | Imperméable | |
| | | moy | Cénomanién inf | Marne | 500-600 | | Imperméable | Réservoir de l'Albien |
| | | | Albien | Marne et calcaire | 80 | | Semi-perméable | |
| | | inf | Aptien sup | Calcaire à orbitoline | 50 | | Imperméable | Substratum |
| | | | Aptien inf | Marne | 100 | | Imperméable | |
| Trias | | Dolomie, gypse, marne | 30 | | Imperméable | Substratum | | |

Fig (08) : Log hydrogéologique du bassin versant de Gareat El Taref (DALI 2009)

3. Conclusion :

Après l'étude géologique de Gareat El Tarf, on conclut que cette zone comprend essentiellement par les formations :

- Quaternaire : constitue la majorité de la surface de la plaine (agrégats, poussières, sables fins et de petits débris, limons, des graviers et des galets). Ces horizons perméables.
- Le crétacé inférieur : C'est une série essentiellement composée de grès blancs fins, à ciment argilo carbonaté, à tendance quartziteuse. Leur base n'est visible qu'au Sud du Djebel Touzzeline (Nord de la plaine) (impermeable)
- Crétacé supérieur : (Maestrichtien supérieur) le calcaire du Maestrichtien supérieur constitue l'élément essentiel de la partie sud et ouest de la région : calcaire, massifs blanchâtres, granuleux, en bancs décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique auprès du Djebel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus sombre de teinte grise, bleue, au contraire au Djebel Bardo et Djebel Boutoukhma, ce niveau assez épais (d'une centaine de mètres), ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à plurimétriques avec une cassure blanchâtre passées noduleuses et à rognons de silex. Ces formations contiennent des fragments d'Inocérames, L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m. (perméable pour les calcaires à cassure)
- Le Miocène : (Tortonien supérieur continental) argiles silteuses beiges et rouges, grès, Cette formation affleure aux alentours de Baghai. Il est perméable.

CHAPITRE 3 :
Revue de littérature

1. Introduction :

Dans ce chapitre on va citer les définitions des principaux concepts qu'on va voir au cours de cette recherche

a. Concept d'hydrologie :

L'hydrologie est la science qui étudie principalement le cycle de l'eau dans la nature, en ce qui a trait à sa distribution géographique et temporelle dans l'atmosphère, en surface (lacs et rivières) et dans le sol et le sous-sol. Les propriétés physiques et chimiques de l'eau et ses interactions avec l'environnement physique et biologique, ainsi que son influence sur les activités humaines sont aussi des sujets abordés en hydrologie. (François Anctil, et al)

b. Concept d'hydrogéologie :

L'hydrogéologie (du grec hydra : l'eau, ge : la terre et logos : le discours) peut être définie comme la science qui traite de l'eau souterraine. Cependant, l'eau est une entité : eau des précipitations, eaux de surface, glaces, eaux souterraines participent à un cycle perpétuel. L'hydrogéologie est donc indissociable de l'hydrologie de surface, de la climatologie, de la géologie, de la géographie. De plus, comme toutes les sciences modernes, elle fait appel aux innombrables domaines de la physique, de la chimie et de la biologie. L'eau devenant un enjeu de plus en plus important, l'hydrogéologue moderne est aussi confronté à des problèmes sociaux et politiques.

Plus, peut-être, que toutes autres sciences, l'hydrogéologie impose aujourd'hui une approche pluridisciplinaire. La définir précisément est donc un exercice difficile. (Eric Gilli, et al)

c. Concept d'eau souterraine :

Les eaux souterraines sont un agent géologique général ; elles jouent un rôle actif dans les processus géodynamiques, grâce à large distribution spatiale de leur écoulement et à leur forte capacité à interagir avec l'environnement (Toth, 1999). Aussi la notion d'eau souterraine réfère principalement à l'eau présente dans la zone saturée du sol. (François Anctil, et al)

2. Formation de l'eau souterraine :

Les eaux souterraines sont présentes dans les ouvertures de matériaux rocheux que sont les pores ou vides, ou les fractures qui constituent la porosité du matériau.

Presque toutes les roches, quelque soit le type, l'origine ou l'âge, possèdent un certain degré de porosité. Par conséquent, les eaux souterraines peuvent être trouvées dans tous les environnements géologiques. Si l'eau souterraine « utile » se trouve dans un matériau rocheux, cette roche est appelée un aquifère. Un aquifère est défini comme une formation géologique (ou parfois une partie d'une formation ou d'un groupe de formations) qui contient du matériau saturé, de perméabilité suffisante pour produire des quantités d'eau « satisfaisantes » vers les forages et/ou sources. Des unités aquifères peuvent être combinées dans des systèmes aquifères.

3. Définition d'un aquifère :

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches ou de sols reposant sur une couche imperméable, appelée substratum ou mur, comportant une zone saturée suffisamment perméable pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine. Nous considérons comme « significatifs » des débits d'eau offrant des possibilités de mise en service des activités humaines (captage pour l'alimentation) ou d'interactions avec les travaux. Un aquifère peut comporter une zone non saturée dans le cas d'une nappe libre, zone à travers laquelle l'infiltration des eaux de pluie contribue à la recharge de la nappe.

L'aquifère est en général considéré comme homogène et continu quand il a une porosité et une perméabilité d'interstices, dite aussi de matrice : c'est le cas des roches sédimentaires meubles qui sont souvent des matériaux granulaires (sables, graviers) de forte perméabilité, mais aussi des roches sédimentaires cohérentes comme le calcaire ou la marne, de perméabilité plus faible. Cependant, il ne faut pas en conclure qu'un aquifère sédimentaire est forcément homogène : un aquifère alluvial, par exemple, est souvent constitué de lentilles de roches meubles à la granulométrie contrastée (sable/argile). En revanche, l'aquifère est toujours considéré comme hétérogène quand il a, outre sa perméabilité de matrice, une perméabilité de fissures (granite) ou de conduits karstiques (calcaire).

4. Aquifères libre et captif :

Les aquifères peuvent être ouverts à l'atmosphère à travers une couverture de sol perméable ; dans ce cas, ils sont dits libres. Un aquifère libre peut recevoir une recharge directe à partir de la percolation et de l'infiltration de la pluie à travers la zone non saturée (ou vadose) vers la nappe phréatique. Ces aquifères sont également connus comme aquifère à nappe phréatique. L'eau, qui est en eux, est à la pression atmosphérique et quand ces nappes sont pompées, leur niveau baisse. Les roches cristallines ont tendance à s'altérer à la surface et près

de la surface pour devenir des aquifères libre, cependant elles sont imperméables en profondeur où elles ne sont pas altérées et les fractures sont fermées en raison de la pression de surcharge.

Par contre les aquifères peuvent être enfuis sous des matériaux imperméables. Cela se produit généralement dans les bassins sédimentaires où les couches sédimentaires perméables et poreuses peuvent se retrouver sous des couches imperméables et deviennent isolées de la surface de la terre. Ces aquifères sont connus comme des aquifères captifs. Les aquifères captifs ne reçoivent pas de recharge directe de la pluie parce qu'ils sont séparés de la surface par une couche imperméable. Ils peuvent être rechargés à partir d'un point éloigné où les couches aquifères affleurent à la surface, et à cet endroit l'aquifères devient localement libre. Ils peuvent être entièrement captifs sous des couches imperméables et ne reçoivent pas de recharge du tout.

Puisque les aquifères captifs ne sont pas ouverts à l'atmosphère, l'eau qui est en eux, est généralement sous pression résultant du niveau de l'eau dans la zone de recharge. Cette pression est appelée pression piézométrique. Si un forage est foré dans une nappe captive, l'eau monte généralement dans le forage à un niveau au-dessus du toit de l'aquifère en raison de la pression piézométrique. Lorsque l'eau est pompée à partir d'un aquifère captif, la pression piézométrique est réduite, mais la couche aquifère reste totalement saturée.

5. Définition de la nappe :

Une nappe d'eau souterraine est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique. Une nappe est une masse d'eau qui partage un volume avec la masse minérale solide : elle ne se conçoit bien que par abstraction.

On isole par la pensée une « couche » d'eau occupant la porosité, limitée vers le haut, vers le bas et latéralement, qui imprègne un aquifère comme une éponge. L'idée peut se comparer avec une « nappe de brouillard » où l'espace est partagé entre l'eau et l'air.

6. Nappe libre et nappe captive :

❖ Nappes libres

Sous climat tempéré, pour un sol de porosité et perméabilité uniformes, l'eau s'infiltré dans la zone non saturée jusqu'à la surface libre. On appelle nappe la masse d'eau contenue dans la porosité de la zone saturée, depuis la surface libre jusqu'à un substratum imperméable. Par opposition à une nappe captive, une nappe libre est une nappe dont la surface piézométrique coïncide avec la surface libre physique de la nappe.

- Types de sources des nappes libres

Les sources représentent les points de sortie de l'eau souterraine et elles sont très diverses.

On en distingue plusieurs types selon l'origine de l'eau :

- L'émergence, source vraie provenant de la nappe
- La résurgence, réapparition d'un cours d'eau qui s'est englouti dans le terrain à l'amont
- L'exurgence, source de la zone d'infiltration, sortie de l'eau en écoulement hypodermique

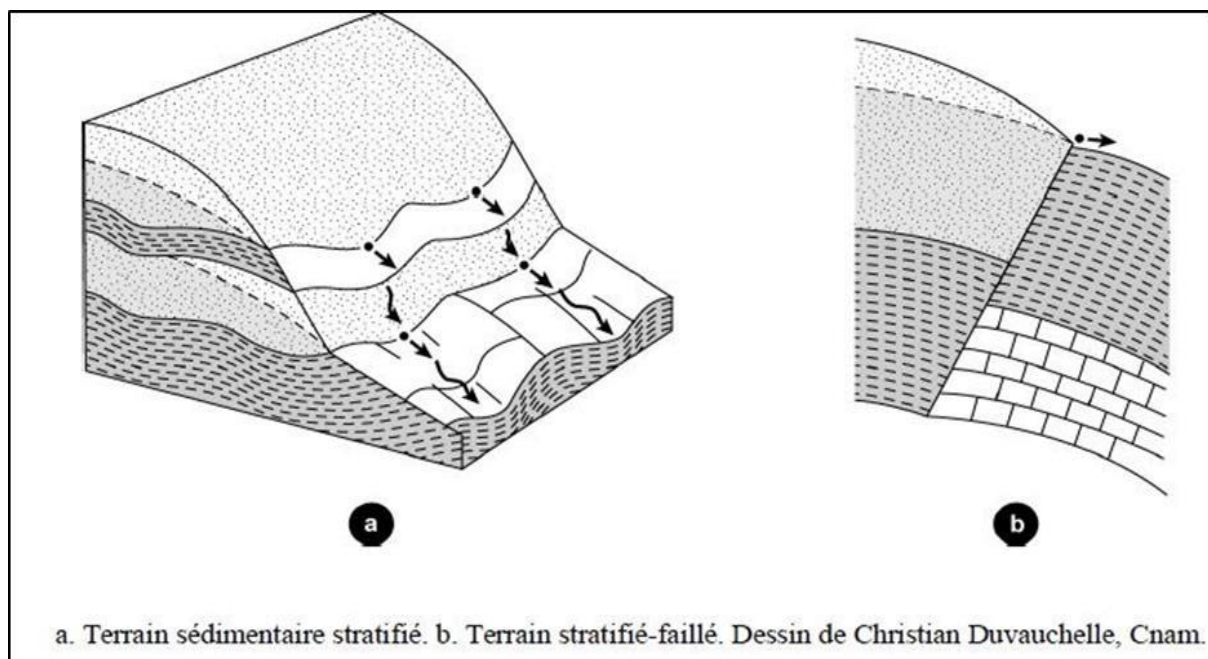


Fig. (09) : Types de sources

❖ **Nappes captives :**

Une nappe est dite captive ou « en charge » si elle est limitée au toit par une formation très peu perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote de son toit. Abaisser le niveau d'eau à périphérie de la nappe abaissera la pression dans la zone centrale, mais ne la dénoiera pas : l'épaisseur saturée y restera la même. Ainsi, l'exploitation d'une nappe captive fait diminuer la pression d'eau qui règne en son sein mais ne réduit pas sa transmissivité.

Quand on fore un puits ou un piézomètre dans une nappe captive, l'eau remonte brusquement dans l'ouvrage au moment où l'on crève le toit imperméable de la nappe. Si la pression est suffisante pour que l'eau remonte jusqu'à la surface du sol et jaillisse, autrement

dit si la charge hydraulique est supérieure à la cote du sol, la nappe captive est dite artésienne ; le forage est artésien et jaillissant. Le comportement artésien tend à s'atténuer au cours de l'exploitation et peut même disparaître à force de réduire la charge dans l'aquifère.

- **Eau souterraine et géodynamique externe :**

Dans la géodynamique externe, l'eau souterraine joue ses deux rôles fondamentaux de vecteur et de solvant. Dans son rôle de solvant, l'eau souterraine a joué au cours des temps géologiques un rôle dans la mise en solution des minéraux. Selon leur solubilité et/ou leur rapidité d'altération, la surface terrestre va évoluer à une vitesse plus ou moins perceptible à l'échelle humaine. Ainsi, un seul épisode de pluie sur un diapir salé en zone aride va produire des modifications instantanées de la morphologie, un écoulement d'eau rapide dans des gypses provoquer des effondrements sensibles à l'échelle annuelle, la karstification des calcaires et dolomies être tout juste perceptible à l'échelle humaine et l'altération des roches endogènes se faire avec des effets morphologiques visibles à l'échelle pluriséculaire.

- **Concept du bassin versant :**

En hydrologie, le terme bassin versant (ou bassin hydrographique) désigne le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du bassin versant (Banton et Bangoy, 1997). Ce territoire est délimité physiquement par la ligne suivant la crête des montagnes, des collines et des hauteurs du territoire, appelé ligne de crête ou ligne de partage des eaux. L'homologue souterrain du bassin versant est appelé bassin versant souterrain. Il désigne la zone dans laquelle toutes les eaux souterraines s'écoulent vers un même exutoire ou groupe d'exutoires.

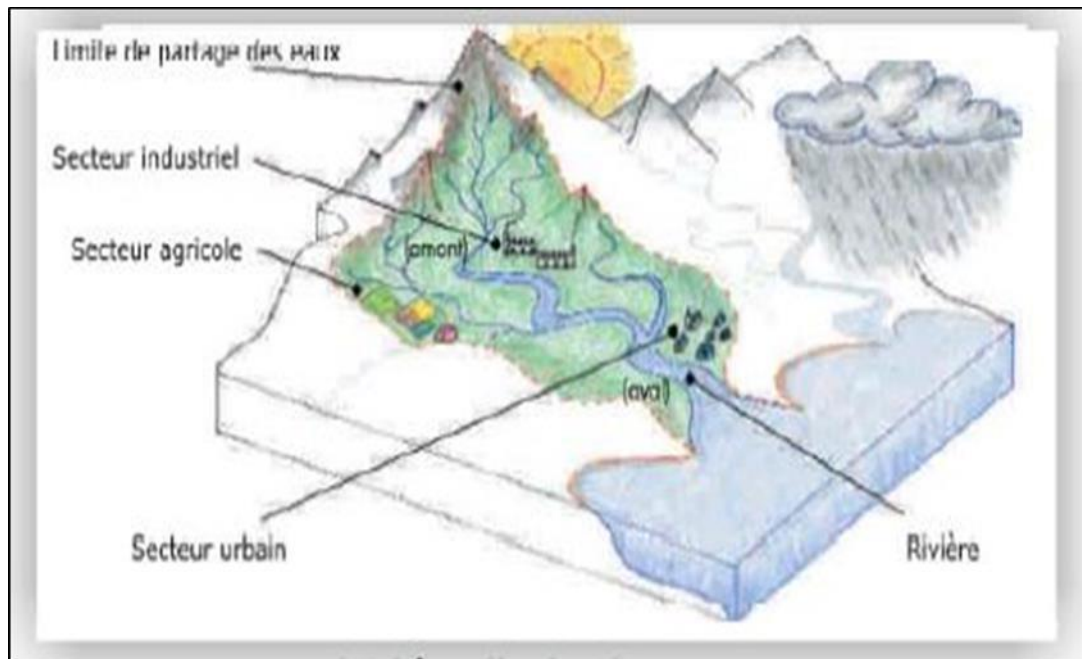


Fig. (10) : Schéma d'un bassin versant

1. Description des fonctions d'un bassin versant :

❖ Fonctions hydrologiques :

Le bassin versant remplit plusieurs fonctions hydrologiques fondamentales, dont les suivantes :

- Il recueille l'eau de pluie et de fonte de la neige
- Il accumule des quantités variables de cette eau pour des durées variables également
- Il restitue cette eau sous forme de ruissellement

Pour comprendre ces fonctions, il faut se référer au cycle de l'eau (ou cycle hydrologique), lequel explique le mouvement constant de l'eau (eau de surface et eau souterraine) de la terre à l'atmosphère, par évaporation et transpiration et de l'atmosphère à la terre, sous différentes formes de précipitations.

Le cycle de l'eau n'a ni commencement ni fin. La chaleur du soleil fait évaporer l'eau de la surface de la végétation, du sol ou des plans d'eau (fleuves, lacs, océans, etc.), et cette eau se trouve à l'état gazeux dans l'atmosphère. La vapeur d'eau se condense au contact des masses d'air froid, ce qui entraîne la formation de nuages, lesquels apportent des précipitations sous forme de pluie, de neige ou de grêle.

La précipitation qui tombe dans un bassin versant peut emprunter trois voies :

- Une partie est interceptée par la végétation et s'évapore ou transpire vers l'atmosphère

- Une partie est emmagasinée dans la glace, l'eau souterraine, les étangs ou les milieux humides pour une période de temps variable
- Une partie ruisselle à la surface du sol ou pénètre dans le sol et s'écoule vers le réseau hydrographique (ruisseaux, rivières, etc.) pour ensuite retourner à l'océan

Le taux d'évaporation de l'eau dans un bassin versant dépend surtout de la surface d'eau qui est exposée à l'air, à la température de l'air, de l'humidité et du vent. La transpiration est la perte d'eau vers l'atmosphère par les plantes vivantes. L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation et la transpiration.

Dans un bassin versant, la différence entre la quantité d'eau de pluie et la quantité d'eau de ruissellement s'explique largement par l'évapotranspiration. La quantité d'eau interceptée, évaporée et transpirée dépend du type de végétation et de l'importance relative de la superficie qu'elle occupe dans le bassin versant.

L'eau qui tombe dans un bassin versant a tendance à ruisseler dans le sens de la pente du terrain sous l'influence de la force de gravité. L'intensité de la précipitation, c'est-à-dire le taux auquel l'eau tombe à la surface du sol, est généralement inférieure au coefficient d'infiltration (taux auquel l'eau pénètre dans le sol). Par conséquent, la plus grande partie de la précipitation s'infiltré dans le sol, si bien que le ruissellement est généralement faible ou nul. Lorsque l'intensité de la précipitation est supérieure au coefficient d'infiltration, le ruissellement de l'eau se produit.

La diminution de coefficient d'infiltration accélère le ruissellement de l'eau vers les rivières. Dans ces conditions, les débits de pointe sont plus élevés et sont observés plus vite que dans les conditions normales. La diminution du coefficient d'infiltration réduit aussi l'emmagasinement de l'eau et provoque des étiages plus graves que dans les conditions normales. L'eau qui pénètre dans le sol s'infiltré verticalement jusqu'à la nappe phréatique ; de là, elle se déplace vers les rivières ou percole en profondeur pour rejoindre l'eau souterraine.

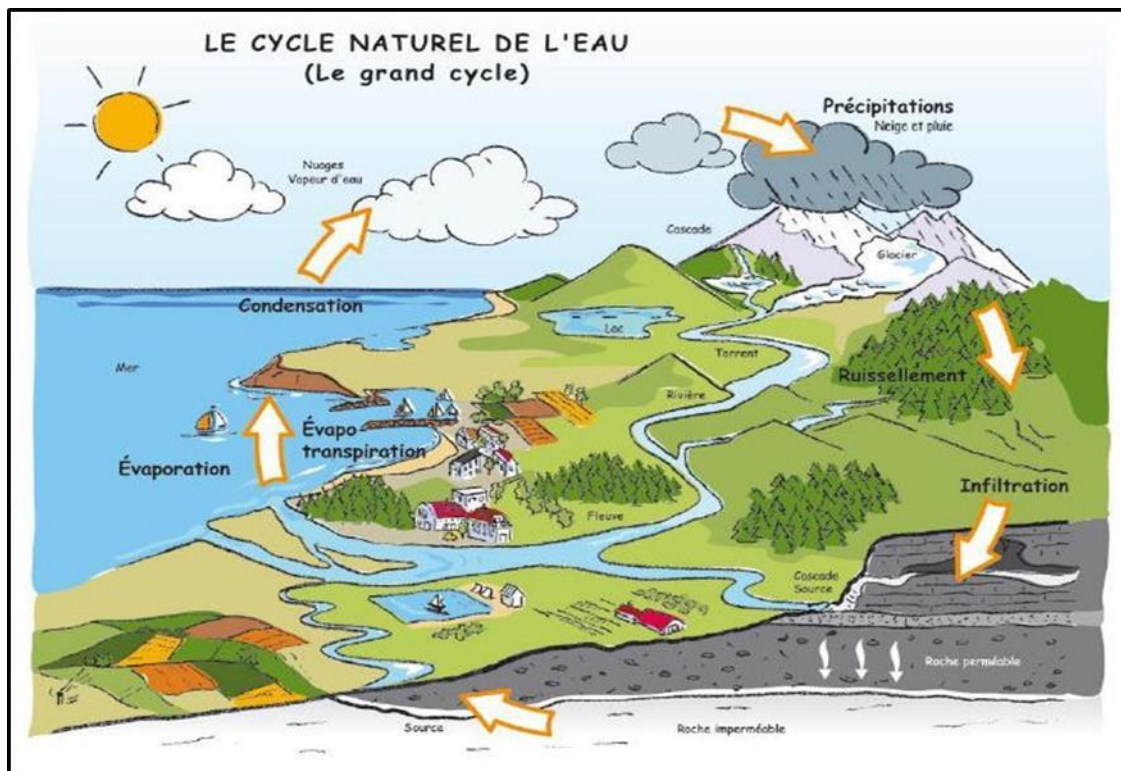


Fig. (11) : Schéma du cycle d'eau

❖ Fonctions écologiques :

Un bassin versant remplit au moins deux fonctions écologiques (Black, 1997) :

- Il procure des sites d'échanges et mécanismes essentiels pour le bon développement des réactions chimiques nécessaires aux organismes vivants
- Il procure un habitat à la faune et à la flore

L'eau est le principal milieu dans lequel la plupart des réactions chimiques ont lieu et ce sont les bassins versant qui procurent les divers sites aqueux dans lesquels ces réactions se produisent. Sans eau, il ne peut pas y avoir de vie sur la terre. Le bassin versant et ses fonctions hydrologiques déterminent les caractéristiques de l'habitat dans les milieux aquatiques. Les perturbations causées par l'homme sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau ont parfois des effets négatifs sur les écosystèmes ainsi que sur la faune et la flore, pouvant aller jusqu'à mettre en péril la chaîne alimentaire.

❖ Fonctions socio-économiques :

Les bassins versants « en bonne santé » sont nécessaires pour assurer un environnement socio-économique sain. Chacun de nous vit dans un bassin versant ; chacun de nous dépend de l'eau et des autres ressources naturelles pour sa survie. Toute personne qui vit ou qui travaille dans un bassin versant a un impact sur les conditions du bassin et sur les ressources en eau qu'il

soutient. Par conséquent, elle a avantage à collaborer à la préservation des conditions du bassin versant.

- **Géomatique :**

- 1. Définition :**

Le mot géomatique fut utilisé pour la première fois par un ingénieur géographe Bernard Dubuisson en 1975. Sa définition est comme suit :

Discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et technologies liées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion.

- 2. Disciplines de la géomatique :**

- La géographie
- La cartographie
- La télédétection
- La photogrammétrie
- La géodésie
- La statistique
- L'informatique
- Les mathématiques

- **Approche systématique :**

- 1. Définition d'un système :**

Un système est un ensemble organisé globalement et comprenant des éléments qui se coordonnent pour concourir à un résultat. Les éléments du système sont liés entre eux par des relations déterminées.

- 2. Terminologie relative aux systèmes d'information :**

Un SIRS : Système d'Information à Référence Spatiale est caractérisé par le rattachement de chaque donnée à une position dans l'espace.

Un SIG : Système d'Information Géographique est un système d'information pour lequel la terre est l'objet de référence fondamental.

- 3. Définition du SIG :**

C'est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie des données, dont la majorité est spatialement référencée, destiné à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et à l'aide à la décision (Caloz,1997).

- ❖ **Objectifs des SIG :**

- ✓ Définir les bases de la référence spatiale

- ✓ Développer et utiliser des outils pour localiser les différents éléments du territoire, existants ou à mettre en place
- ✓ Intégrer ou rendre intégrable les données obtenues en fonction des systèmes de référence choisis
- ✓ Offrir des données et information de qualité
- ✓ Améliorer leur traitement, stockage et diffusion grâce à l'informatique
- ✓ Analyser différents scénarios décisionnels à partir des informations obtenues
- ❖ **Composantes d'un SIG :**

L'aspect informatique est représenté d'une part par l'équipement qui comprend en général une unité centrale de traitement et périphériques (instruments de numérisation, unité d'affichage de haute qualité, dérouleur de ruban, unité de sorties telles que les imprimantes et les tables traçantes).

D'autre part, le logiciel SIG qui comprend en général cinq modules qui sont :

1. Module de saisie et vérification de données
2. Module de stockage et de gestion de la base de données
3. Module de sortie et de représentation des données
4. Module de transformation des données
5. Module d'interaction avec l'utilisateur

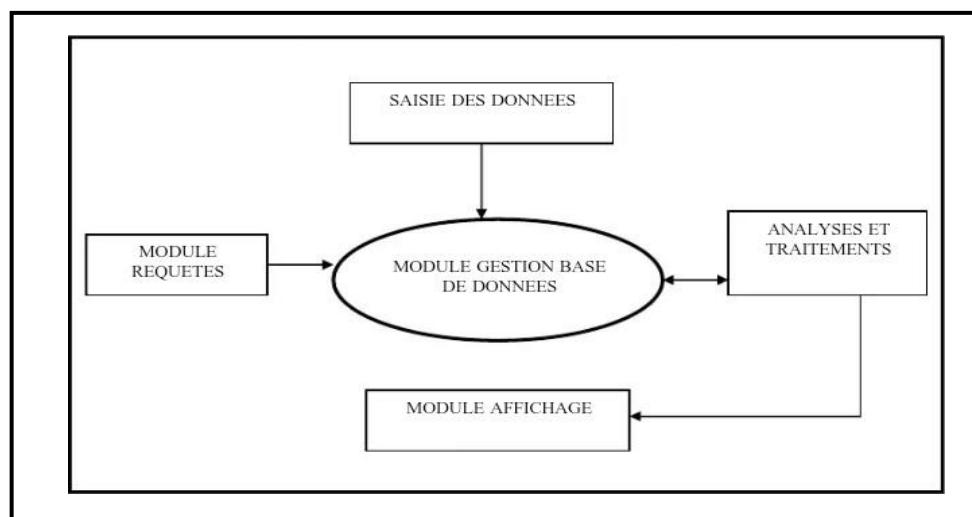


Fig. (12) : Modules d'un SIG

❖ **Domaine d'application du SIG :**

Les SIG sont utilisés pour gérer et étudier une gamme très diversifiée de phénomènes et de réseaux de phénomènes.

Les principales activités sont :

- Etablissement et mise à jour des cartes thématiques
- La reconnaissance d'un lieu, d'une région, le choix d'un chemin
- La représentation d'objet ou de classes d'objets
- La réalisation des inventaires de l'occupation, de la nature ou de tout autre attribut du sol
- La représentation des phénomènes dynamiques dans le temps
- ❖ **Avantages de l'utilisation des SIG :**
 - Les données sont gardées sous forme physiques (support magnétique)
 - Les données peuvent être stockées et extraites à un faible coût
 - L'accès aux données est facile
 - Mesure sur les cartes, les superpositions, les transformations, la conception graphique
 - Des tests analytiques de modèles à caractère graphique peuvent être réalisés et répétés facilement
 - L'étude des changements (étude diachroniques) intervenues entre plusieurs dates peuvent être facilement réalisés
 - La conception graphique interactive et les traceurs automatisés peuvent être utilisés pour la conception et la production cartographique

4. Présentation d'ArcGis :

ArcGIS est un système complet qui permet de 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, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des Smartphones et d'ordinateurs de bureau.



Fig. (13) : les différents outils de l'utilisation de l'ArcGis (Source : ESRI, Inc)

5. Définition de l'analyse multicritère hiérarchique :

Cette méthode, créée par SAATY (1991), est une méthode d'analyse multicritères qui peut être utilisée dans la quantification des caractéristiques qualitatives, par le biais de sa pondération. Elle a déjà été utilisée avec succès par exemple dans l'application à l'étude de la transformation potentielle de l'utilisation du sol (FIGUEIREDO, 2001) ou dans l'évaluation de la probabilité de l'érosion hydrique (CORREIA, 2007).

6. Les principes de la méthode AHP :

De nombreuses méthodes d'aide multicritère à la décision existent ; leur objectif est d'aider les acteurs de la décision à formaliser un problème, expliciter le contexte de décision avant de procéder à l'évaluation et la comparaison des solutions. La méthode d'agrégation totale AHP (ou analyse multicritère hiérarchique) (Saaty, 1980), compte parmi les plus simples à mettre en œuvre. Elle permet de calculer une note synthétique (valeur comprise entre 0 et 1) agrégée sur la base d'une hiérarchisation et d'une pondération de l'ensemble des critères entrant en compte dans la décision.

Cette méthode reste simple d'application, mais n'est pas exempte de biais qu'il est important de connaître avant d'en faire usage. Parmi les critiques connues, notons :

- la possibilité de compensation entre critères. Si les poids sont les mêmes, une bonne évaluation sur un critère peut en effet balancer une mauvaise sur un autre : on comprend aisément ici l'importance de la détermination des préférences ;

- le mode de calcul des poids à partir de préférences subjectives ;
- le renversement de rang.

Du fait du mode d'agrégation des poids calculés (somme pondérée), des écarts de performance sur certains critères entre les alternatives évaluées peuvent être masqués ou mal interprétés. Il faut garder en mémoire que même si les différences d'évaluation sont minimales, une meilleure note indique une meilleure solution, la valeur des scores ne doit pas perturber l'interprétation. En pratique, si la méthode supporte théoriquement un nombre infini de niveaux de critères, l'expérience montre que l'esprit humain ne peut comparer valablement que sept critères au maximum en raisonnant par paires.

Au-delà, il devient difficile de comparer deux à deux les critères d'une même matrice sans éviter des incohérences. Il faut donc limiter le nombre de critères de même niveau hiérarchique (le nombre de branches à un embranchement).

On recommande un nombre maximal de sous-critères entre trois et quatre. Enfin, il convient de veiller à construire un arbre de critères qui soit le plus équilibré possible, c'est-à-dire avec des profondeurs de niveaux de critères équivalentes entre les branches de l'arbre. Plus un critère sera situé en profondeur dans l'arbre et moins son influence sur le résultat final sera importante. D'autres méthodes existent, notamment les méthodes d'agrégation partielle qui permettent de limiter ces écueils (méthode Electre par exemple). Ces méthodes sont cependant moins simples à mettre en œuvre et les résultats plus longs et complexes à interpréter par les décideurs.

CHAPITRE 4 :
Cartographie du
potentiel en eau
souterraine

1. Introduction :

Les eaux souterraines sont l'une des plus précieuses et des plus importantes composant du cycle naturel, stocké dans la nappe phréatique dans les espaces poreux du sol / roche (Fitts, 2002). La demande croissante d'eau pour les secteurs domestique, agricole et industriel a créé une pression croissante sur ce naturel ressource qui est un sujet de préoccupation dans les régions très peuplées et les nations industrialisées du monde, telles que l'Inde, Chine, pays africain (Das et al., 2017; Manap et al., 2011) Dans les pays en développement, les eaux souterraines constituent une ressource de premier choix pour l'alimentation en eau potable des populations car elles ont une qualité relativement bonne et un coût peu élevé. L'extraction des eaux souterraines à usage domestique, agricole, et à des fins industrielles est estimé à 36%, 42% et 27%, respectivement, dans le monde (Taylor et al., 2013) .

L'occurrence, la distribution et le mouvement des eaux souterraines dépendent principalement des caractéristiques géologiques et hydro-géomorphologiques de la région. Une étude détaillée des occurrences d'eaux souterraines peut être effectuée par des méthodes d'investigation en surface et souterraines. Les zones de potentiel des eaux souterraines ont été étudiées à l'aide des méthodes géologiques et géophysiques rapportées par (Shirke et al. (2005) et Ariyo et al. (2011)). Cependant, ces méthodes sont basées sur des mesures au sol étendues et longues ne peuvent être utilisées que pour la cartographie à grande échelle.

L'utilisation de données de télédétection (RS) avec un système d'information géographique (SIG) est bien adaptée, et elle peut être facilement combinée avec les données générées par les systèmes de mesure conventionnels et au sol. De plus, l'avènement de la télédétection (RS) et le système d'information géographique (SIG) a récemment fourni un autre moyen efficace en termes de coûts et de temps pour l'évaluation et la gestion des ressources en eaux souterraines (Jha et al. 2007; Prasad et al. 2008; Pradhan 2009; Arkoprovo et al. 2012;; Nampak et al. 2014; Rahmati et al. 2014).

L'utilisation de RS et SIG pour la délimitation du potentiel des eaux souterraines zones est menée par un certain nombre de chercheurs dans le monde (Shahid et al. 2000; Sener et al. 2005; Solomon and Quiel 2006; Junge et al. 2010;; Deepika et al. 2013; Pandian and Kumanan 2013; Gitas et al. 2014; Pinto et al. 2015) avec des résultats prometteurs.

La plupart de ces études étaient basées sur une analyse factorielle fondée sur la connaissance qui intègre différentes couches thématiques, notamment la densité des linéaments, les précipitations, la lithologie, la densité de drainage, la couverture/utilisation des terres, la pente, etc.

Ces dernières années, de nombreuses études ont mis en évidence que le processus de hiérarchie analytique (AHP) présente un outil efficace pour la gestion des ressources en eau en ajoutant de la structure, de l'auditabilité, de la transparence et de la rigueur aux décisions.

La méthode AHP a également été utilisée à des fins de gestion de l'environnement (Pourghasemi et al. 2012; Chandio et al. 2013; Althuwaynee et al. 2014). Il est intéressant de noter qu'en utilisant la méthode AHP, les experts mettent l'accent sur l'importance relative des couches thématiques pour évaluer le potentiel des eaux souterraines. En fait, l'AHP utilise une méthode cohérente pour convertir les comparaisons par paires en un ensemble de chiffres qui représentent la priorité relative de chaque critère (Saaty 1980). L'AHP a été appliquée avec succès dans plusieurs études sur la gestion des ressources en eau.

L'objectif principal de cette recherche est de construire une nouvelle carte du potentiel des eaux souterraines du bassin versant de Garaet ElTarf. (Nord Est de l'Algérie). en utilisant des techniques intégrées de RS, SIG et AHP et de développer une carte guide prospective pour l'exploration/exploitation des eaux souterraines afin d'assurer un développement et une gestion optimale et durable de cette ressource vitale.

2. Approches méthodologique :

L'approche méthodologie abordée dans cette étude est basée sur une technique paramétrique multicritère dans un environnement SIG (ArcGIS 10.3, ESRI).

Sept paramètres ont été pris en compte Géologie, Géomorphologie, Occupation et utilisation des terres), Densité de linéaments, Pluviométrie (précipitation), le sol et la Densité de drainage. La méthode d'intégration de l'analyse de superposition pondérée a été adoptée pour combiner toutes les couches thématiques en attribuant un rang et une pondération à chaque couche thématique. (**Tableau N°2**). L'analyse de superposition pondérée est une méthode simple pour analyser des cartes multi classes en fonction de l'importance relative de chaque couche thématique et d'une classe de couches.

Plusieurs études ont rapporté l'importance relative de diverses couches thématiques qui contrôlent le potentiel des eaux souterraines dans une zone. Le poids des cartes thématiques sélectionnées était basé sur l'échelle de Saaty (1980) afin de délimiter les zones de potentiel des eaux souterraines.

Dans la présente étude, les pondérations ont été attribuées en fonction de cette étude. Les couches individuelles et leurs classes se voient attribuer une pondération et un rang allant de 0,10 à 0,25 et de 1 à 4 respectivement. les poids et les rangs les plus élevés sont attribués aux sites qui devraient avoir un fort potentiel en eaux souterraines. Les couches thématiques ont ensuite été intégrées par analyse de superposition dans l'environnement Arc GIS 10.3. La zone de potentiel des eaux souterraines a été préparée en délimitant la zone d'étude en quatre classes: très élevée, élevée, modérée et faible.

L'indice de score cumulatif (CSI) a été utilisé pour cette classification. Le CSI a été calculé en multipliant le rang et le poids de chaque couche thématique exprimés dans l'équation suivante. $CSI = \sum (\text{rang géologique} \times \text{poids} + \text{rang géomorphologie} \times \text{poids} + \text{rang sol} \times \text{poids}, \text{rang densité de linéarité} \times \text{poids} + \text{rang densité de drainage} \times \text{poids} + \text{rang pluie} \times \text{poids} + \text{rang Landuse} \times \text{poids})$

$$CSI = \int_{i=1}^n \int_{j=1}^m W_j X_i \dots \dots \dots (1)$$

Tableau 2: Classement et pondération des différents paramètres et de leurs valeurs CSI pour le zonage du potentiel des eaux souterraines

| Paramètre | Type de données | Mode de traitement | Sources des données |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| Géologie | polygone | Digitalisation | Carte géologique 1:50000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Garaet Tarf, F'Kirina, Khenchela et Dalaa. |
| Géomorphologie | polygone | Digitalisation | Modèle numérique de terrain télécharger MNT (28 m) (https://earthexplorer.usgs.gov/) |
| Texture du sol (S) | Polygone | Digitalisation | Carte des sols d'Algérie (Tebessa 1:500 000) |
| Densité de drainage (D) | polyline | Digitalisation | Modèle numérique de terrain télécharger MNT (28 m) (https://earthexplorer.usgs.gov/) |
| Occupation des sols (LU/LC) | Point, Polygone polyline | Digitalisation | CCI LAND COVER - S2 prototype land cover 20m map of Africa 2016 (esa) |
| Précipitation | Polyligne | Interpolation | Données pluviométriques Khenchela oum el bouaghi (ONM) |
| Densité des lineaments | Polygone | Digitalisation | Carte géologique 1:50000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Garaet Tarf, F'Kirina, Khenchela et Dalaa. |

Les données cartographiques utilisées dans cette étude sont issues de plusieurs sources différentes (**tableau 3**) avec un mode de traitement adéquat.

Tableau 3 : Paramètres utilisées, mode de traitement et sources des données.

| Thèmes | Poids de la carte (wj) | Classe individuel/fonctionnalités | Rangs thématiques Unités (Si) | rangs×pond é-ration de classes individuelles | Statistiques CSI et potentiel des eaux souterraines | |
|---|------------------------|--|-------------------------------|--|--|---------------------------------|
| Géologie | 0.20 | argile sableuse | 4 | 0.8 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> CSI statistique Minimum :1 Maximum :3.9 Moyen :2.82 Standart Déviation :0.52 </div> | |
| | | Grés | 4 | 0.8 | | |
| | | Conglomerat violets | 3 | 0.6 | | |
| | | Gravier de quartz | 4 | 0.8 | | |
| | | latérite | 3 | 0.6 | | |
| | | Argile, marais salant Et lin de marées | 1 | 0.2 | | |
| Géomorphologie | 0.25 | Plaine alluviale,plaine deltaïque | 4 | 0.8 | | Potentiel des eaux souterraines |
| | | Canal paléo | 4 | 0.8 | | |
| | | Pediplain & remblais de vallée | 3 | 0.6 | | |
| | | Plaine cotière & fronton | 1 | 0.2 | | |
| | | Colline dénudative | 1 | 0.2 | | |
| Sol | 0.15 | Inceptisols | 4 | 0.4 | <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Très élevé CSI>=3.34 élevé CSI>=2.82AND CSI <=3.34 Moderé CSI>=2.3AND CSI<=2.82 faible CSI<=2.3 </div> | |
| | | Entisol | 3 | 0.3 | | |
| | | Alfisols | 2 | 0.2 | | |
| | | vertisols | 1 | 0.1 | | |
| Densité des linéament (Km/Km ²) | 0.10 | Faible(< 0.15) | 1 | 0.25 | | |
| | | Moyen(0.15-0.47) | 3 | 0.75 | | |
| | | élevé(>0.47) | 4 | 1 | | |
| Densité de drainage (Km/Km ²) | 0.10 | Faible(< 0.50) | 3 | 0.3 | | |
| | | Moyen(0.50-1.3) | 2 | 0.2 | | |
| | | Haut(>1.3) | 1 | 0.1 | | |
| Précipitation (mm) | 0.10 | Faible-780 | 1 | 0.1 | | |
| | | Faible – 813 | 1 | 0.1 | | |
| | | Moyen- 1019 | 2 | 0.2 | | |
| | | Moyen – 1090 | 2 | 0.2 | | |
| | | Moyen – 1240 | 2 | 0.2 | | |
| | | Moyen – 1264 | 3 | 0.3 | | |
| | | Elevé – 1293 | 4 | 0.4 | | |
| | | Elevé - 1300 | 4 | 0.4 | | |
| LU/LC | 0.10 | Plans d'eau | 4 | 0.2 | | |
| | | Agriculture | 3 | 0.15 | | |
| | | Terrain vague & marécages | 2 | 0.1 | | |
| | | Construire, foret & desert de sel | 1 | 0.05 | | |

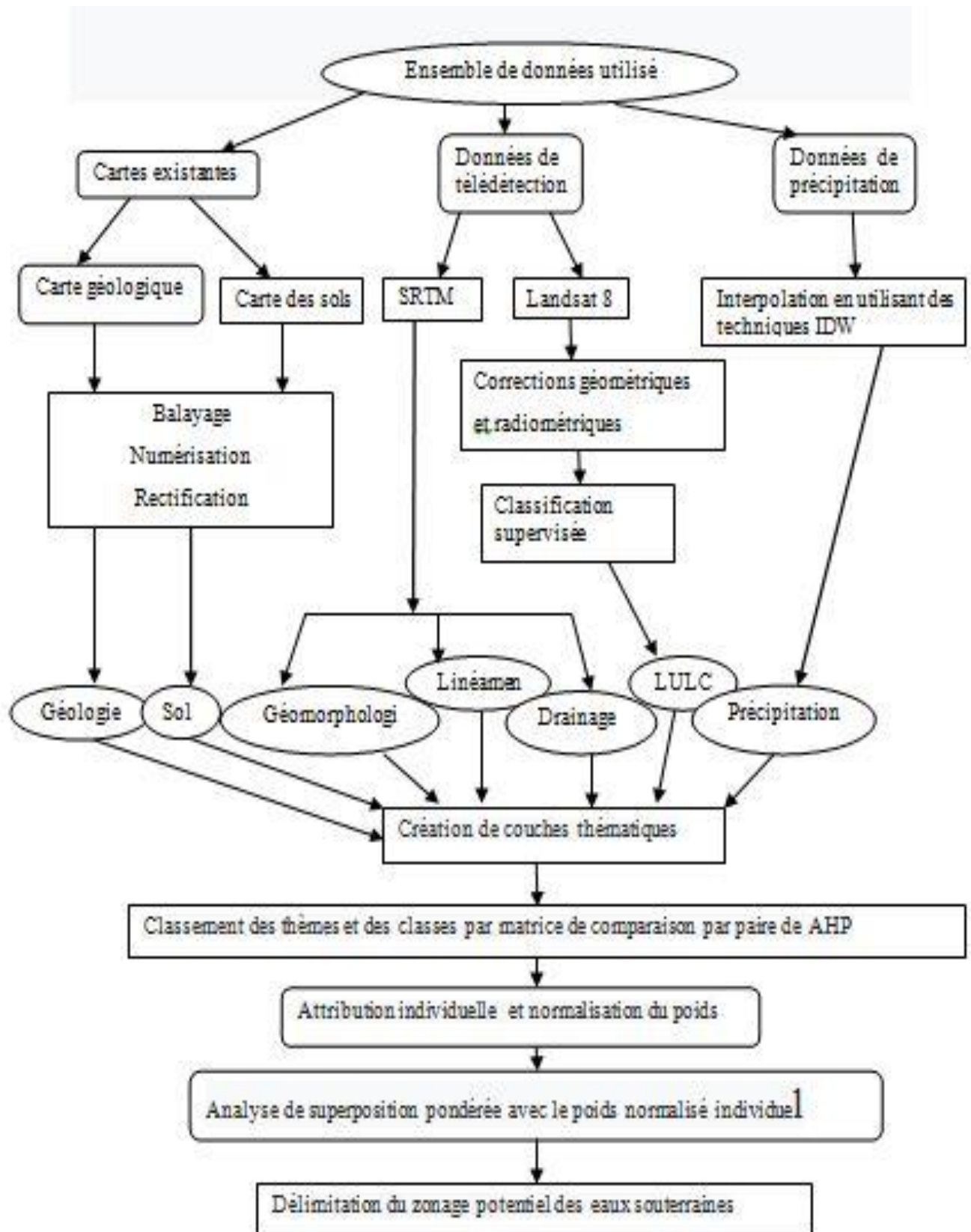


Figure (14) : Méthodologie adoptée pour le présent travail.

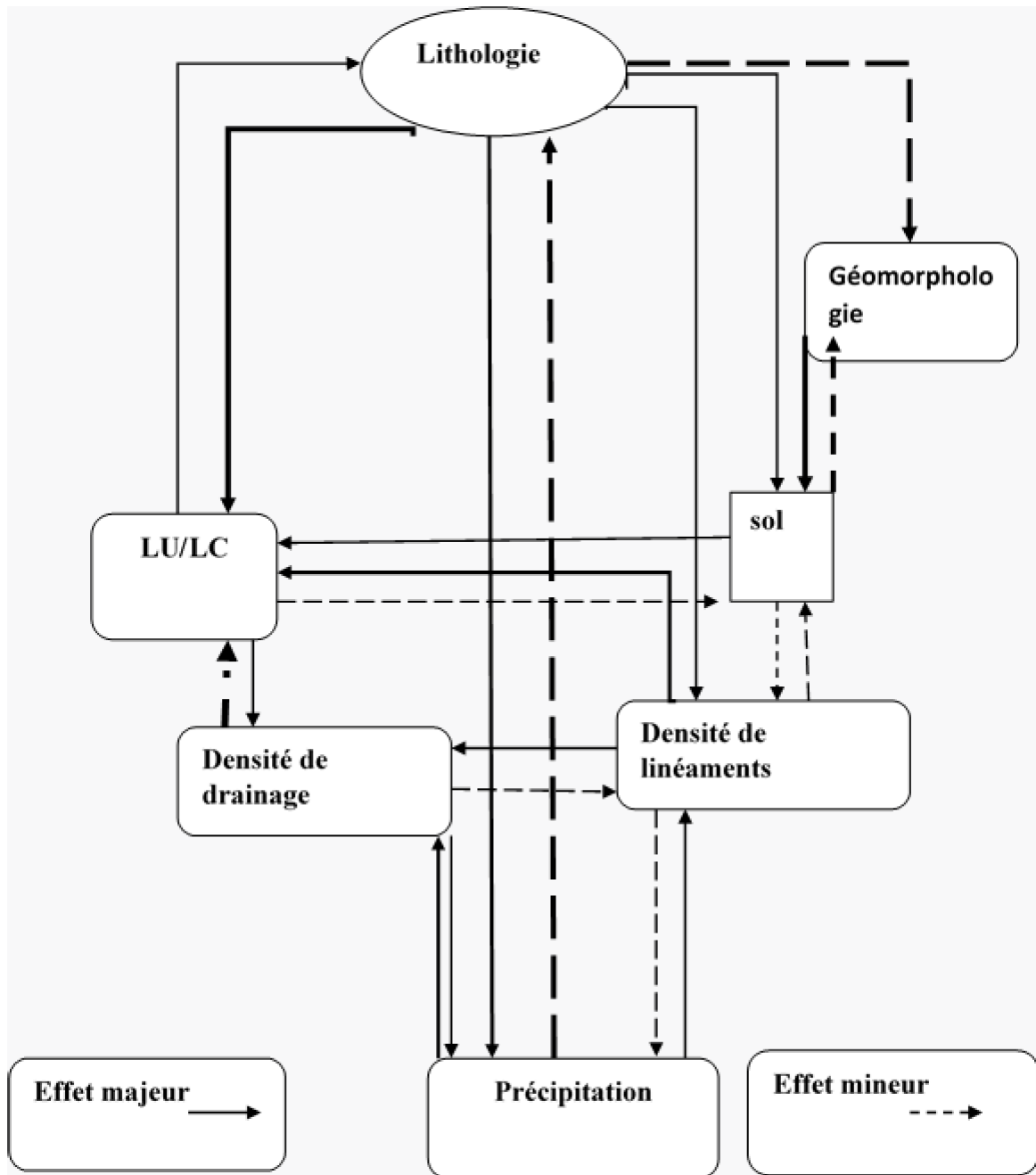


Figure. (15) : Relation entre les paramètres qui influent et contrôlant la zone potentiel des eaux souterraines

3. Résultats et discussion:

1.1 Géologie :

La géologie joue un rôle majeur dans la disponibilité et la présence des eaux souterraines. Le type de lithologie présente affecte la recharge des eaux souterraines (Shaban et al., 2006) car elle contrôle la percolation (El-Baz & Himida, 1995). Le stockage de l'eau dépend de type et la porosité de la formation rocheuse. La zone d'étude est connue par une série stratigraphique des roches allant du quaternaire jusqu'au Trias. Le quaternaire (Gravier et alluvions) qui couvre la majeure partie de la zone d'étude aurait un rang élevé en termes de capacité de stockage des eaux souterraines suivie par les grès et les calcaires de crétacé. (une note de 0,8, 0,7 et 0,5 est attribuées respectivement) (Fig 16)

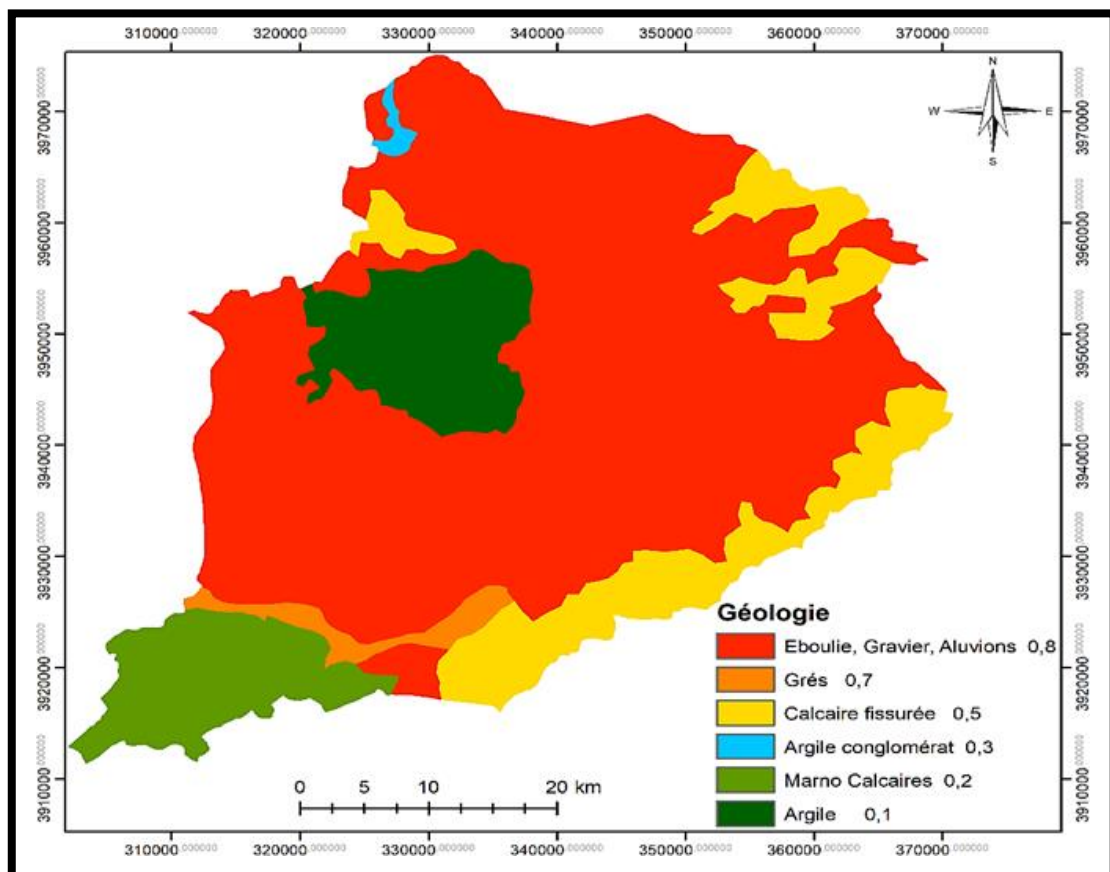


Fig. (16) : Carte géologique de la zone d'étude

12 Géomorphologie :

La géomorphologie décrit la forme et les topographie du relief et joue un rôle principal dans disponibilité et distribution des eaux souterraines, (Karanth, 1987). C'est un facteur caractéristique principal utilisé pour identifier les zones d'eaux souterraines (Arulbalaji et al., 2019). la zone d'étude est divisée en cinq groupes géomorphologiques Figure(17). Les montagnes et les sommets qui se trouvent au sud de la région. Les collines peut inclinés, suivi d'une grande plaine alluviale et pédiplaine. Les plaines alluviales et les pédiplaines sont plus prometteuses pour le potentiel des eaux souterraines dû à une forte infiltration , porosité élevée et perméabilité (une note de 0,8, et 0,7 est attribuées respectivement)

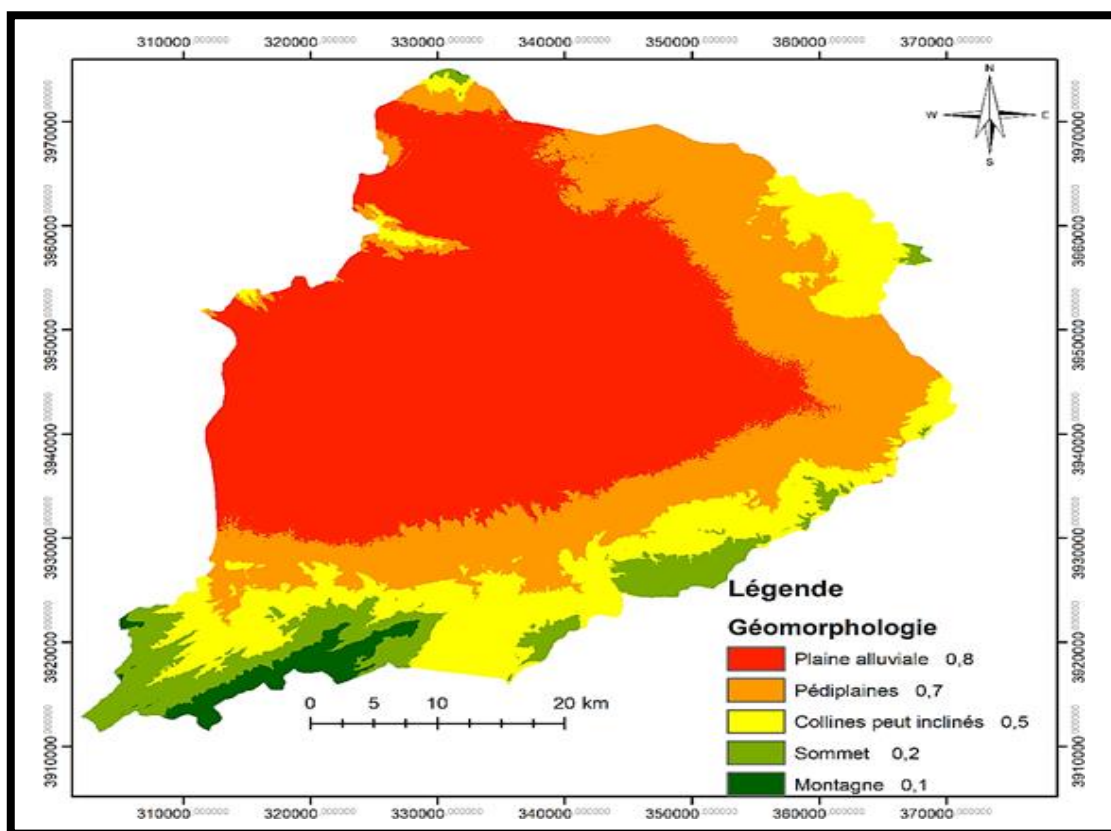


Fig. (17) : Géomorphologie de la zone d'étude

13 Sol :

Le sol est également un paramètre important qui affecte l' occurrence et la distribution des eaux souterraines et joue un rôle important dans l'infiltration de l'eau, donc elle affecte la recharge des eaux souterraines (Das, 2017a; Ibrahim-Bathis et Ahmed, 2016).. La texture du sol est un critère clé pour évaluation des caractéristiques physiques du sol et est directement liés à la structure, la porosité, l'adhérence et cohérence des propriétés du sol (McGarry, 2006).

En raison de la grande capacité d'infiltration et le faible ruissellement potentiel les sols sableux ont un poids et un rang plus élevés qu'autres sols. De même, des poids inférieurs sont attribués aux sols à texture fine car la texture fine limite l'infiltration et la percolation de l'eau en raison de moins de perméabilité, tout en étant à gros grains les sols ont une infiltration et une percolation plus élevées en raison de la forte perméabilité donc attribués des poids plus élevés.

La carte des sols de la zone d'étude est divisée en cinq grandes catégories: sol calcique réparties sur une large bande bordant le bassin versant (Ces sols sont caractéristiques des zones semi-arides et s'étendent sur une importante superficie estimée à environ 51,3 %), sol alluviaux basiques, sol calcaires, sols salins (solontchak) se localisent au centre du bassin et la roche mère.

La porosité et la perméabilité sont modérées à élevée dans les sols calciques, alluviaux basiques, calcaire et les sol salin (les colloïdes dans certains sols salins sont très flocculés et ainsi donnent une structure favorable et une bonne perméabilité). Mais il est beaucoup plus bas dans le cas de la roche mère. Figure (18)

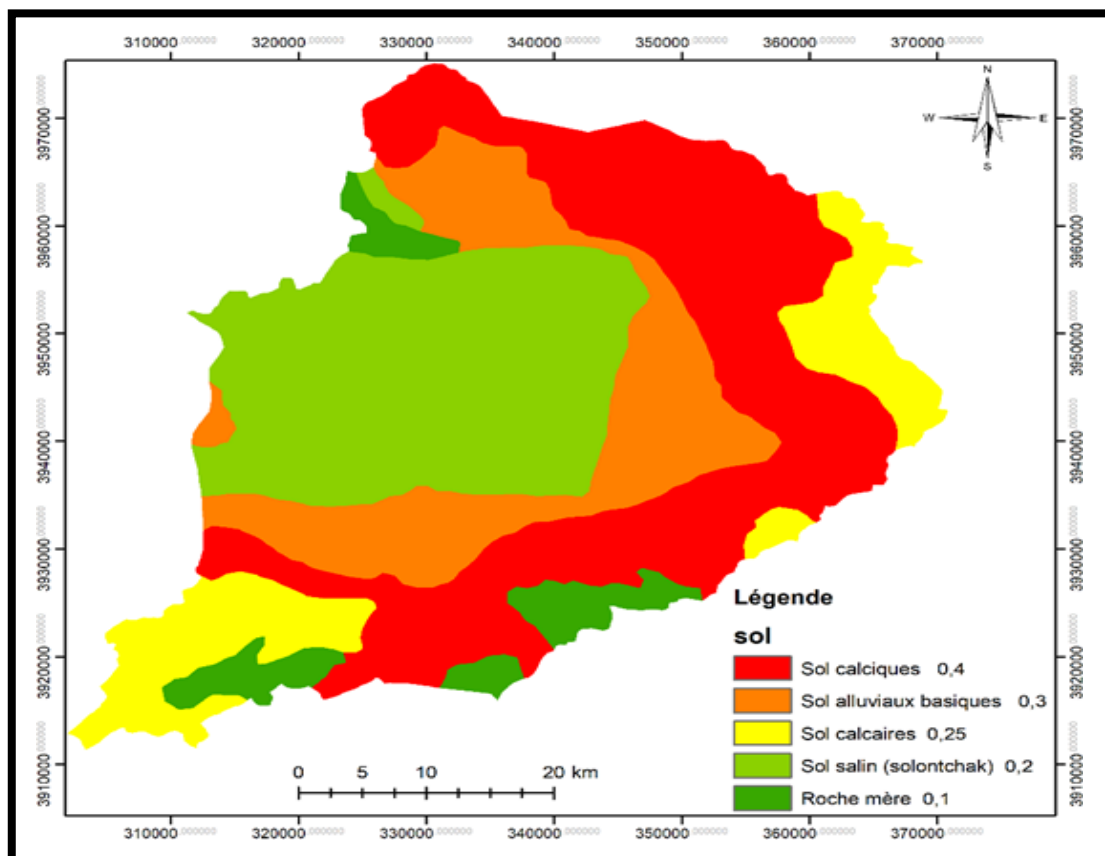


Fig. (18) : carte de sol de la zone d'étude

14 Densité des linéaments :

Un linéament est défini comme une ligne significative de paysage qui révèle l'architecture cachée du sous-sol rocheux (Hobbs1904). Les linéaments sont des caractéristiques linéaires ou curvilignes du surface de la terre, comme les failles, les joints, les plis, les digues, la croûte fractures, etc. Les linéaments jouent un rôle très critique dans la recharge des eaux souterraines en roche dure et les terrains. Le potentiel des eaux souterraines restent très élevés plus proche des linéaments (Srivastava & Bhattacharya, 2006). Les failles et les fractures s responsables d'augmenter la porosité et la perméabilité sont les majeurs indicateurs des eaux souterraines (Das, Gupta, & Ghosh, 2017c). Les études géospaciales sont menées en tenant compte de l'objectif ultime d'évaluation de la longueur, de l'épaisseur et de l'orientation des linéaments. La densité du linéament a été déterminée à partir l'outil d'analyse de la densité dans l'environnement ArcGis 10.3. La zone d'étude a été classée en trois catégories de linéaments zones : Faible, Modéré et fort Fig. (19) .

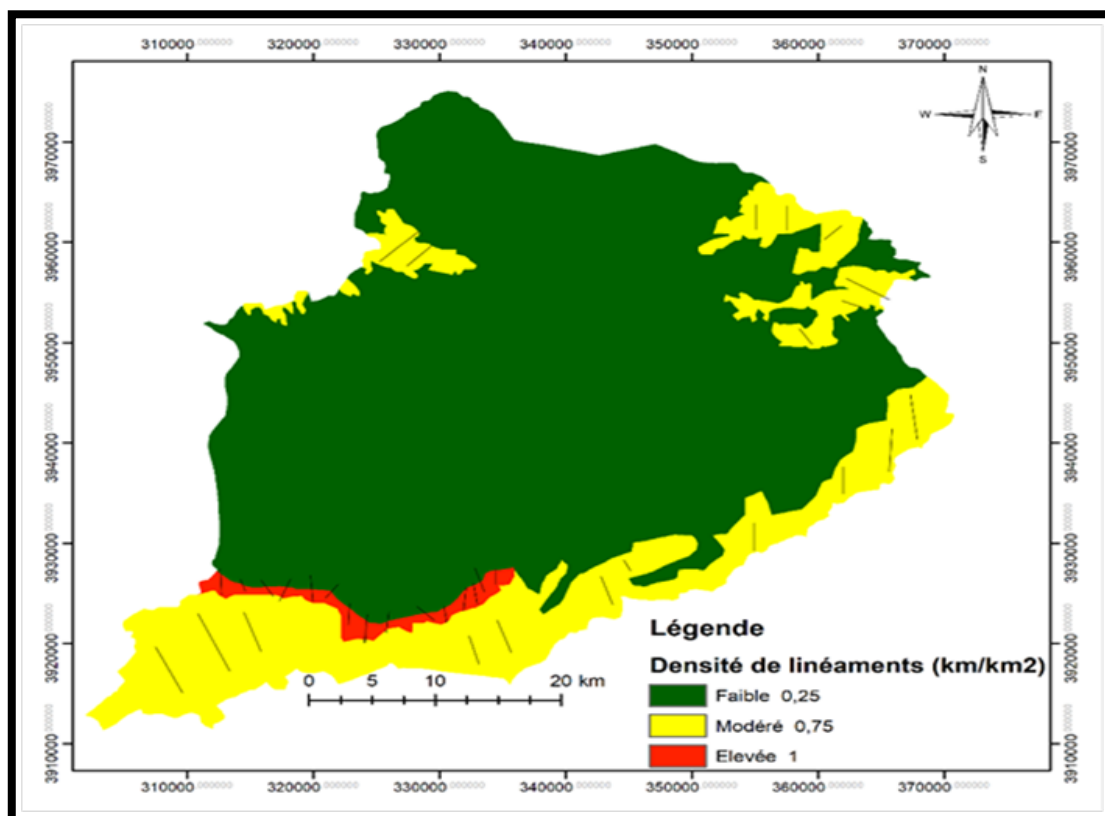


Fig. (19) : carte de densité de linéaments de la zone d'étude

15 Densité de drainage :

Le système de drainage développer dans notre zone d'étude est strictement dépendant de la pente. La densité de drainage (DD) est un concept fondamental dans l'analyse hydrologique qui est définie comme le rapport de la longueur du réseau hydrographique par la superficie du bassin versant. La densité de drainage est contrôler par la perméabilité des sols, érodabilité des surfaces des matériaux, la végétation, la pente et le temps. La mesure de la densité de drainage est une donnée numérique utile.(Chorley, 1969).

La densité de drainage aide à évaluer et à comprendre les caractéristiques de ruissellement et d'infiltration des eaux souterraines dans cette région. Les valeurs ont été calculées en utilisant la méthode de la rupture naturelle (Jenks, 1967). La densité de drainage a été classée en trois classes : faible (0–0.5 km / km²), moyen (0.51–1.3 km / km²), élevé (1.4–3.5 km / km²). (Figure (20))

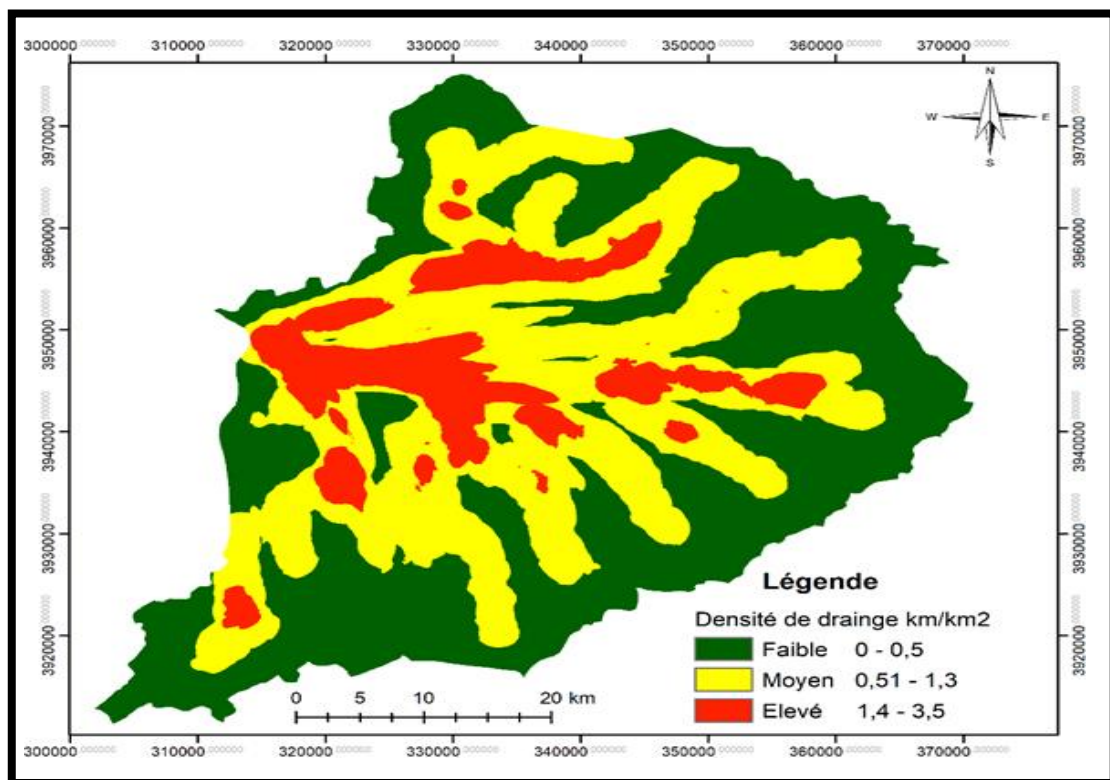


Fig. (20) : carte de densité de drainage de la zone d'étude

1.6 Précipitation :

Les précipitations sont la principale source d'eau dans le cycle hydrologique et le facteur d'influence le plus dominant dans les eaux souterraines. Il détermine la quantité d'eau qui serait disponible pour percoler dans le système aquifère ; par conséquent, les précipitations sont un élément hydrologique important considéré dans cette étude. La zone d'étude reçoit des précipitations provenant principalement de perturbations du nord (mer Méditerranée). Les données de précipitations des deux stations (Khenchela et Oum El Bouaghi) ont été collectées.

La carte qui en résulte **Figure 21** a été classée en trois grandes catégories : < 400 mm/ans ; 400-500mm/ans ; >600 mm/ans. Sur la base de cette carte, les précipitations les plus élevées sont observées dans la partie sud ouest de la zone d'étude ; et les faibles précipitations dans le nord qui couvrent la major partie.

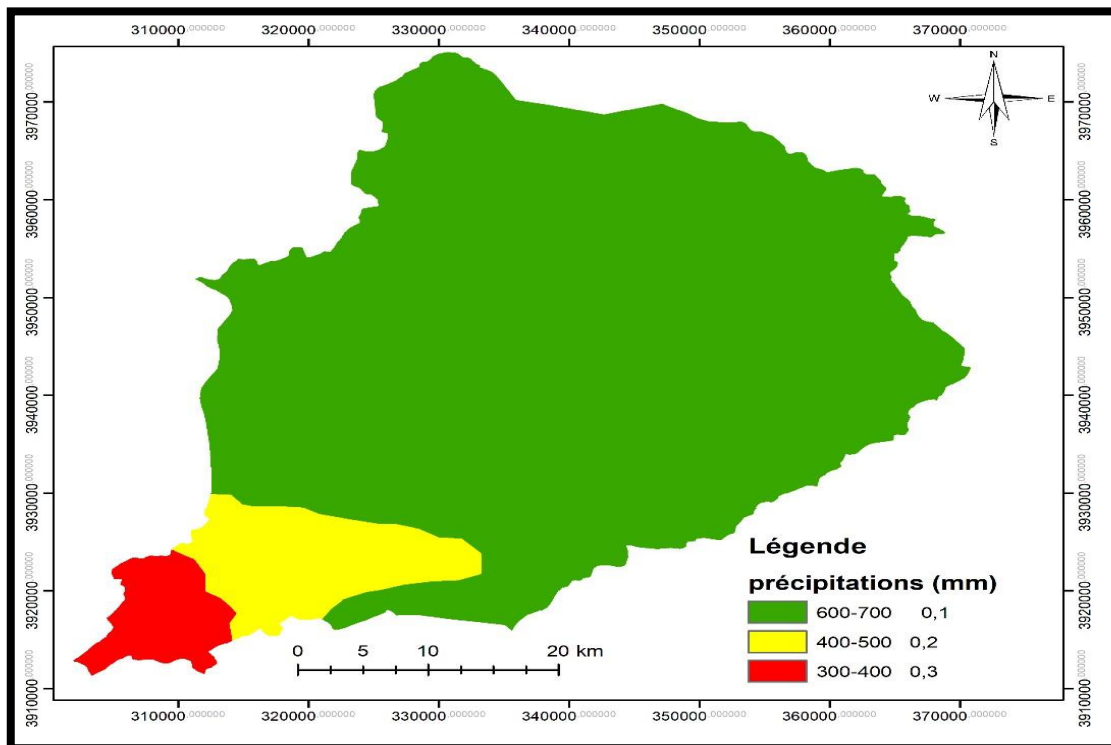


Fig. (21) : carte des précipitations de la zone d'étude

1.7 Utilisation des terres/couverture des terres (LU/LC) :

La carte d'occupation/utilisations des sols sont fournie par les données du satellite Sentinel2A (ESA, 2016). La carte d'occupation/utilisation des sols fournissent des informations sur l'infiltration et le ruissellement, qui sont contrôlés par la nature du matériau de surface. L'utilisation des terres décrit les activités humaines telles que l'agriculture, l'urbanisation et l'industrie liées à la terre, tandis que la couverture terrestre se rapporte à des éléments tels que les lacs, les montagnes, la végétation et les roches à la surface de la terre. Différents types de modes d'utilisation des sols sont identifiés dans la zone d'étude qui comprend, les zones urbaine qui sont les moins adapté à l'infiltration et à la recharge des eaux souterraines. les zones agricole et pâturage qui couvrent la major partie de la zone d'étude et qui sont d'excellents sites pour l'exploration des eaux souterraines,, les zones nue et les arbres au sud est du bassin .Figure (22)

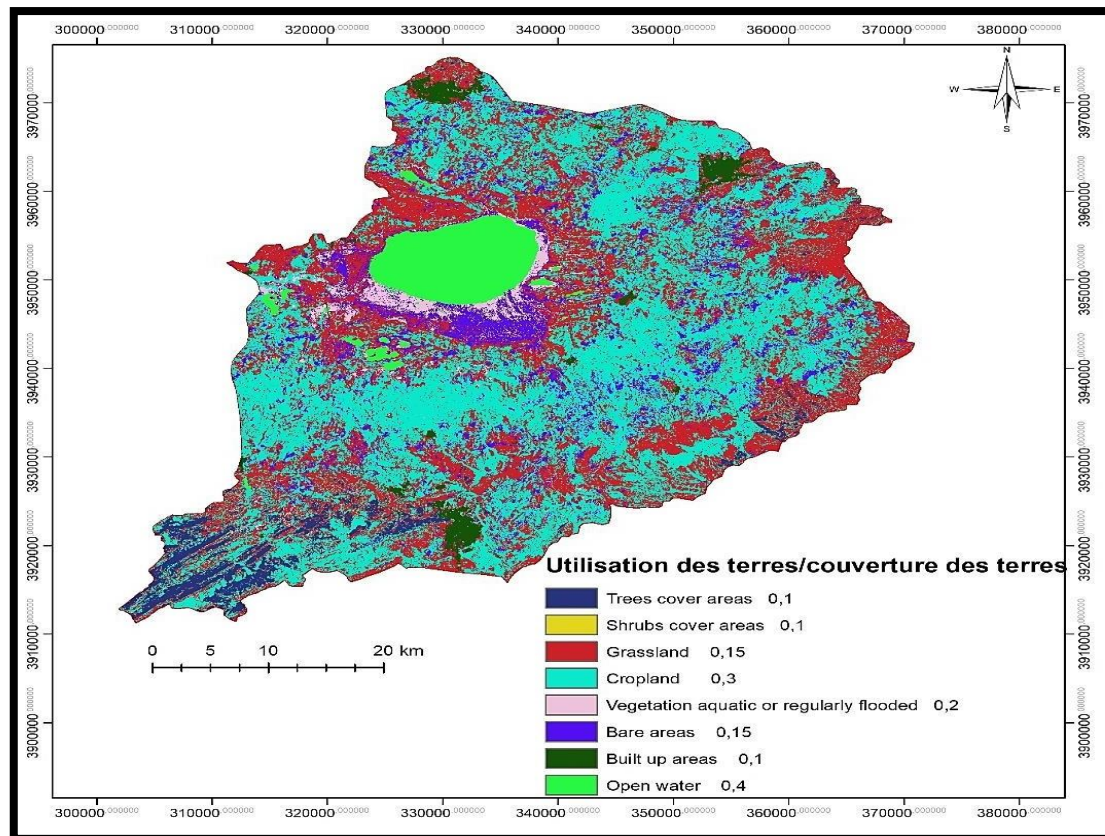


Fig. (22) : carte d'occupation/utilisation des sols de la zone d'étude

2. Délimitation des zones potentielles de recharge des eaux souterraines Fig. (23)

Après avoir obtenu les poids normalisés de chaque couche et leurs classes individuelles respectives, toutes celles-ci ont été intégrées dans l'environnement SIG (ArcGis 10.3) en utilisant la technique de superposition pondérée selon l'équation (1) pour la délimitation des zones potentielles d'eaux souterraines. Les rangs et les poids attribués à chaque paramètre ont été déterminés à l'aide de la technique AHP.

Basé sur la valeur de l'indice la carte de zonage du potentiel des eaux souterraines préparée par cette méthode est présentée à la **figure18** La zone d'étude a été classée en quatre zones à potentiel d'eau souterraine très fort, fort, modéré et faible.

La partie centrale de la zone d'étude qui couvre 57 % de la surface totale montre une très bonne zone potentielle pour les eaux souterraines en raison de la forte densité de drainage, sols perméables et terrains plats. Peu de parties du centre et très peu de parties de la région sud, représentant 30 % de la superficie, tombent dans la zone modérée.

Environ 13% de la zone a été considérée comme ayant faible potentiel résultant du géomorphologie (Montagne et colline) ainsi que l'occupation du sol (urbanisation) ce qui n'est pas propice à la recharge, situé aux alentours du bassin versant de Garaet ElTarf.

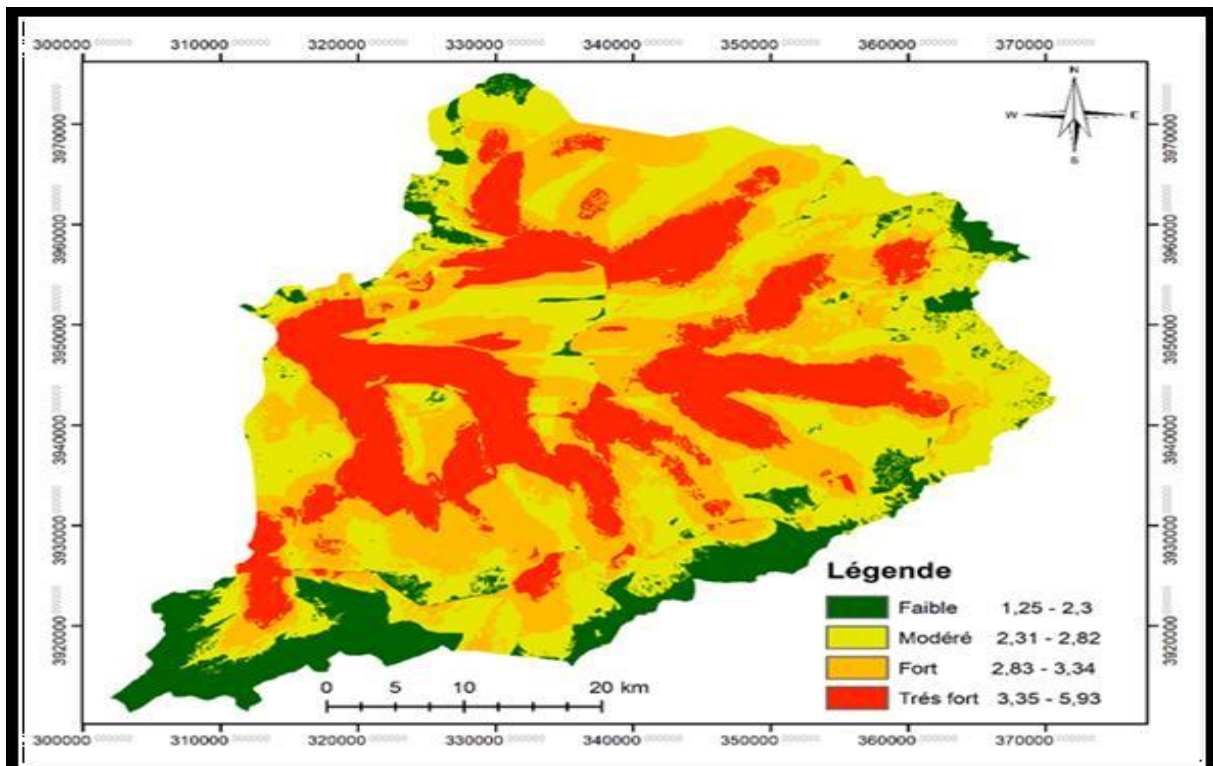
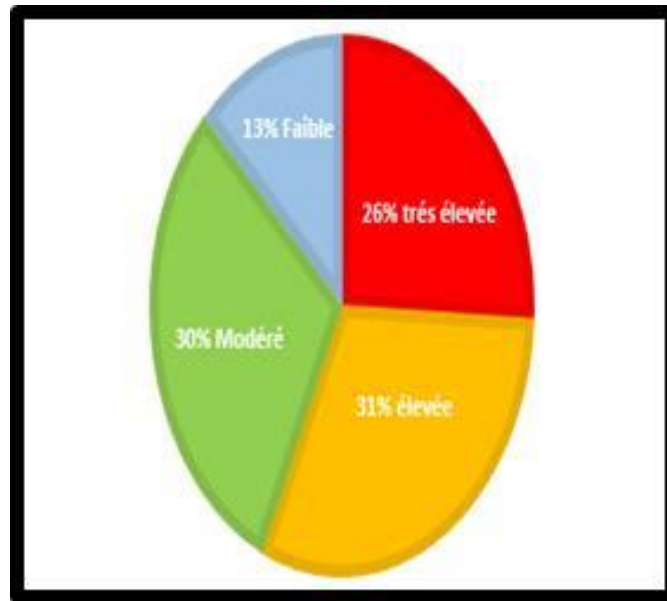


Fig. (23) : zone potentiel des eaux souterraines de la zone d'étude



3. Conclusion :

Dans cette étude, une approche méthodologique cartographique a été proposée pour la délimitation des zones potentielles des eaux souterraines en utilisant le SIG et l'analyse multicritère hiérarchique (AHP). L'objectif de cette approche est d'évaluer le potentiel des eaux souterraines d'un système aquifère alluvionnaire dans la plaine semi-aride de Gareat El TARF, dans l'est de l'Algérie.

Des données hydrologiques, hydrogéologiques, géomorphologiques et géospatiales ont été utilisées pour préparer les couches thématiques de sept paramètres à savoir : géologie, géomorphologie, densité de drainage, occupation des sols, densité de linéament, Land use/Land cover et précipitations annuelles. Les sept couches thématiques sélectionnées et leurs caractéristiques sont affectées à des poids appropriés sur l'échelle de Saaty en fonction de leur importance relative dans l'occurrence des eaux souterraines.

Les pondérations assignées des couches thématiques sont normalisées en utilisant la technique AHP (Analyse multicritère hiérarchique) . Ces couches ont été intégrées dans l'environnement SIG, par l'application de la combinaison linéaire pondérée à l'aide du logiciel ArcGis 10.3 afin de délimiter les zones potentielles d'eau souterraine.

L'analyse finale de la carte des potentialités montre que la zone d'étude est délimitée en quatre zones potentielles en eau souterraine, à savoir des zones d'une potentialité : « faible », « modéré », « élevée », et « très élevée », couvrant 316.16 km² (13%), 729.6 km² (30%), 753.92 km² (31%), et 632.32 km² (26%) de la zone d'étude, respectivement. Plus de 57% de la zone d'étude présente un degré de potentialité en eau souterraine 'élevé' à 'très élevé', en relation

avec une forte densité de drainage, terrains plats et sols perméable ce qui nous permis de déduire que les ressources en eau souterraine sont excellentes dans la plaine alluviale de Gareat el tarf.

Dans l'ensemble, on peut conclure que la technique AHP et le SIG sont des outils puissants pour évaluer le potentiel des eaux souterraines, ce qui peut aider à préparer un plan d'exploration des eaux souterraines adapté et rentable pour un bassin ou un sous-bassin.

La méthodologie proposée, qui est de nature générique et fondée sur des conditions logiques et un raisonnement, peut également être utile pour les autres régions en Algérie ou du monde. Plus intéressant, la méthodologie est moins coûteuse et convient mieux aux pays en voie de développement et aux pays à faible revenu où les données hydrogéologiques adéquates et de bonne qualité manquent souvent pour l'évaluation des eaux souterraines par des techniques de haute technologie.

**CONCLUSION
GENERALE ET
RECOMMANDATION**

Conclusion générale et recommandation

Le bassin versant de Gareat El Tarf est une entité hydrographique des bassins versants des hauts plateaux constantinois (9578 km² de superficie), Situé à l'extrême Nord- est algérien entre l'Atlas Talien et l'Atlas saharien).

Le sou bassin de Gareat el Tarf, se caractérise par un climat de type semi-aride. Le sud, trop influencé par les courants d'airs froids et humides en provenance des Aurès où l'altitude dépasse les 1200 m,

L'étude des caractéristiques géologiques montre que la zone étudiée constituée essentiellement par des formations sédimentaires successives. Le quaternaire constitue la majorité de la surface de la plaine (Agrégats, sables fins, limons, des graviers et des Alluvions...). Des calcaires fissurés de crétacé moyen et supérieur et des grés de miocène.

Afin d'évaluer le potentiel des eaux souterraines de la région La télédétection et le SIG intégrés ainsi que la technique AHP s'est avérée être un puissant outil, Les données satellitaires, cartes topographiques, géologique et pédologique ont servi à préparer diverses cartes thématiques.

L'analyse multicritère hiérarchique (AHP) a été utilisée pour attribuer un poids approprié aux couches thématiques individuelles et les classes respectives pour le zonage potentiel des eaux souterraines. La carte finale obtenue du potentiel des eaux souterraines de l'étude de la zone est classée en quatre catégorie ; Très fort (26%) fort (31%), modéré (30%), et faible (13%).

Les zones très fortes et forte potentielles des eaux souterraines couvrent 57 % de la surface totale du bassin versant de Garaet El Tarf en raison de la forte densité de drainage, sols perméables et terrains plats.

La méthodologie présentée peut être applicable partout là où les données utilisées sont disponibles. Les résultats des travaux actuels peuvent aider les ingénieurs, les planificateurs et les gestionnaires de l'eau pour la planification de divers emplacements de projets des structures de recharge artificielle et de la mise en place de puits pour garantir l'utilisation. et augmenter ainsi le volume d'eau disponible à la population locale de manière significative.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION

Cette étude nous amener de proposer les recommandations suivantes afin de participer à la protection quantitative et qualitative de la ressource en eau :

- ✓ Détermination des périmètres de protection pour les zones de captage pour préserver les ressources en eau souterraine
- ✓ Etude de probabilité et intensité des risques et de danger en pollution de la zone
- ✓ Elaboration du plan de gestion des eaux souterraines dans le cadre du développement durable

Bibliographies

- Aberkane meriem (2013-2014)** : Ecologie de la Sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris* dans les zones humides de l'Est algérien.
- ABH (Novembre 2000)** : les cahiers de l'agence, cahier n°5
- Agence de Bassin Hydrographique** : Présentation de la région CONSTANTINOIS–SEYBOUSSE-MELLEGUE en général, et le bassin de Seybousse en particulier
- Al-Bakri, J. T. & Al-Jahmany, Y. Y. (2013)**. Application of GIS and remote sensing to groundwater exploration in Al-Wala Basin in Jordan. *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 962.
- Althuwaynee OF, Pradhan B, Park HJ, Lee JH (2014)** A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *CATENA* 114:21–36
- Anabela RAMOS, Lúcio CUNHA & Pedro P. CUNHA (2014)** : Application de la Méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région littorale du centre du Portugal : Figueira da Foz – Nazaré
- Ariyo, S.O., Folorunso, A.F. and Ajibade, O.M. (2011)**. Geological and geophysical evaluation of the Ajana area's groundwater potential, South Western Nigeria. *Earth Sciences Research Journal* 15, no.1, 35-40
- Arkoprovo B, Adarsa J, Shashi Prakash S (2012)** Delineation of groundwater potential zones using satellite remote sensing and geographic information techniques: a case study from Ganjam district, Orissa, India. *Res J Recent Sci* 9:59–66
- Arulbalaji, P., Padmalal, D., & Sreelash, K. (2019)**. GIS and AHP techniques based delineation of groundwater potential zones: A case study from Southern Western Ghats India. *Scientific Reports*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38567-x>
- Banton, O. et L.M. Bangoy (1997)**. *Hydrogéologie*, Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada. 460 p.
- BLACK, P.E. (1997)**. « Watershed Functions », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 33, n° 1, p. 1-11.
- Chakroun. H (2013-2014)** : Introduction aux SIG et à la télédétection en génie civil .

BIBLIOGRAPHIES

- Chandio IA, Matori ANB, WanYusof KB, Talpur MAH, Balogun AL, Lawal DU (2013)**
GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: a review. Arab J Geosci 6(8):3059–3066
- Chorley, R. J. (1969).** Introduction to physical hydrology (pp. 211). Suffolk: Methuen and Co. Ltd.
- Company, R. M. (1990).** Handbook of ground water development, John Wiley & Sons.
- Dali Naouel (2009) :** RESSOURCES ET GESTION INTEGREE DES EAUX DU BASSIN DE GAREAT EL TARF (W. KHENCHELA)
- Das S., Gupta A., Ghosh S. (2017).** Exploring groundwater potential zones using MIF technique in semi-arid region: a case study of Hingoli district, Maharashtra. Spat Inf Res,25(6), 749–756. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0144-0>
- Deepika B, Avinash K, Jayappa KS (2013)** Integration of hydrological factors and demarcation of groundwater prospect zones: insights from remote sensing and GIS techniques. Environ Earth Sci 70(3):1319–1338
- Dib Dounia (2018) :** « Origine et caractérisation de la pollution des eaux dans le bassin de TARF (NE-ALGERIEN) »
- El-Baz F et al. (1992–1995)** Research project. Groundwater potential of the Sinai Peninsula, Egypt. <http://www.bu.edu/remotesensing/research/completed/egyptgroundwater>
- Eric Gili, Christian Mangan, Jacques Mudry :** Hydrogéologie : objets, méthodes, applications (3^{ème} édition)
- Fitts, C. R. (2002).** Groundwater science. Academic Press.
- Ganapuram, S., Kumar, G. T. V., Krishna, I. M., Kahya, E., & Demirel, M. C. (2009).** Mapping of groundwater potential
- Guillaume Piton, Félix Philippe, Jean-Marc Tacnet, Antoine Gourhand (2018/2 Numéro 26 | pages 54 à 57) :** Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) à l'analyse multicritère des stratégies d'aménagement du grand BÜECH à la FAURIE : <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2018-2-page-54.htm>
- François Antil, Jean Rousselle, Nicolas Lauzon :** Hydrologie cheminement de l'eau (2^{ème} édition)
- Georges Gangbazo,(2004) :** gestion intégrer de l'eau par bassin versant : concepts et application

BIBLIOGRAPHIES

- Gitas IZ, Ayanz JSM, Chuvieco BDE, Camia A (2014)** Advances in remote sensing and GIS applications in support of forest fire management. *Int J Wildland Fire* 23:603–605
- Hobbs, W.H., (1904).** Lineaments of the Atlantic border region. *Geological Society of American Bulletin*, 15, 483–506.
- Ibrahim-Bathis, K., & Ahmed, S. A. (2016).** Geospatial technology for delineating groundwater potential zones in Doddahalla watershed of Chitradurga district, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19(2), 223–234.
- Israil, M., Al-hadithi, M. & Singhal, D. C.(2006).** Application of a resistivity survey and geographical information system (GIS) analysis for hydrogeological zoning of a piedmont area, Himalayan foothill region, India. *Hydrogeology Journal*, 14, 753-759.
- Jenks, G.F. (1967).** The data model concept in statistical mapping, *International Year Book of Cartography*. 7, 186-190.
- Jha, M. K., Chowdary, V. M. & 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, 1713-1728.
- Junge B, Alabi T, Sonder K, Marcus S, Abaidoo R, Chikoye D, Stahr K (2010)** Use of remote sensing and GIS for improved natural resources management: case study from different agroecological zone of West Africa. *Int J Remote Sens* 31:5116–6141
- Karant, K. R. (1987).** Ground water assessment, development and management. New Delhi: Tata McGraw-Hill publishing company Limited.
- 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, 91-105.
- Manap, M. A., 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, 1621-1637.
- Manap, M. A., Sulaiman, W. N. A., Ramli, M. F., Pradhan, B., & Surip, N. (2011).** A knowledge-driven GIS modeling technique for groundwater potential mapping at the Upper Langat basin, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*. doi:[10.1007/s12517-011-0469-2](https://doi.org/10.1007/s12517-011-0469-2)

BIBLIOGRAPHIES

- McGarry, D. (2006).** A methodology of visual-soil field assessment tool to support, enhance, and contribute to the LADA program. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Nagarajan, M. & Singh, S. (2009).** Assessment of groundwater potential zones using GIS technique. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 69-77.
- Oh, H.-J., Kim, Y.-S., Choi, J.-K., Park, E. & Lee, S. (2011).** GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399, 158-172.
- Nampak H, Pradhan B, Manap MA (2014)** Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *J Hydrol* 513:283–300
- 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*, 45-57.
- Olivier Fouché (2013)** : aquifères, nappes et essais d'eau
<https://www.researchgate.net/publication/278801957>
- Pandian M, Kumanan CJ (2013)** Geomatics approach to demarcate groundwater potential zones using remote sensing and GIS techniques in part of Trichy and Karur district, Tamilnadu, India. *Appl Water Sci* 5(2):234–240
- Pinto D, Shrestha S, Babel MS, Ninsawat S (2015)** Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique. *Appl Water Sci*. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0270-6>
- Pourghasemi HR, Moradi HR, Fatemi Aghda SM, Gokceoglu C, Pradhan B (2012)** GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Arab J Geosci* 7(5):1857–1878
- Pradhan B (2009)** Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques. *Cent Eur J Geosci* 1(1):120–129
- Prasad RK, Mondal NC, Banerjee P, Nanda Kumar MV, Singh VS(2008)** Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environ Geol* 55:467–475

BIBLIOGRAPHIES

- Rahmati O, Nazari Samani A, Mahdavi M, Pourghasemi HR, Zeinivand H (2014)** Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. Arab J Geosci. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1668-4>
- Rahmati, O., Nazari Samani, A., 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, 7059-7071
- Saaty TL (1980)** The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York
- Sener E, Davraz A, Ozcelik M (2005)** An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeol J* 13(5–6):826–834
- Shaban, A., Khawlie, M., & Abdallah, C. (2006).** Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: The case of occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal*, 14, 433–443.
- Shahid S, Nath SK, Roy J (2000)** Groundwater potential modeling in a softrock area using a GIS. *Int J Remote Sens* 21(9):1919–1924
- Shirke, J.M., Krishnaiah, C., and Panvalkar, G.A. (2005).** Mapping of a paleochannel course of the Wainganaga River, Maharashtra, India, *Bulletin of Engineering Geology Environment*. 64, 311-318
- Solomon S, Quiel F (2006)** Groundwater study using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the central highlands of Eritrea. *Hydrogeol J* 14:729–741
- Srivastava, P. K., & Bhattacharya, A. K. (2006).** Groundwater assessment through an integrated approach using remote sensing, GIS and resistivity techniques: A case study from a hard rock terrain. *International Journal of Remote Sensing*, 27(20), 4599–4620.
- Subba Rao, N.(2006).** Groundwater potential index in a crystalline terrain using remote sensing data. *Environmental Geology*, 50, 1067-1076.
- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., van Beek, R., Wada, Y., . . . Treidel, H. (2013).** Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322–329.
- Todd DK, M. L. (1980).** Groundwater hydrology, Wiley Canada, New York
- Vanessa Vaessen, Ramon Brentführer – BGR (2015) :** Intégration de la gestion des eaux souterraines dans les organismes de bassin transfrontaliers en Afrique

BIBLIOGRAPHIES

Les sites web

- **Get a mep.net** : http://fr.getamap.net/cartes/algeria/khenchela/_gueiss_oued/
- [http://fr.getamap.net/cartes/algeria/algeria_\(general\)/_baghai_oued/](http://fr.getamap.net/cartes/algeria/algeria_(general)/_baghai_oued/) (consulté Mai 2020)
- **Mapcarta** : <https://mapcarta.com/fr/17328926> (Consulté Mai 2020)
- **Service d'information sur les sites Ramsar** : <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/1421?language=fr> (Consulté Mai 2020)

Résumé

Dans cette étude, une approche cartographique a été appliquée pour identifier les zones potentielles des ressources en eaux souterraines basé sur le système d'information géographique intégré (SIG) et l'analyse multicritère hiérarchique, dans la plaine alluviale de Gareat el Tarf, en Algérie. Un total de sept ensembles de critères/facteurs incluant, la pluviométrie, la géologie, le sol, la géomorphologie, land use/land cover, densité de linéament et densité de drainage, ont été sélectionnés et cartographiés. Les différents sous-critères de chaque couche thématique ont été classés en fonction de leur influence sur la recharge des eaux souterraines, et chaque couche thématique a reçu une pondération, dérivée du l'analyse multicritère hiérarchique (AHP).

La carte de la zone potentielle des eaux souterraines résultante est classée en quatre potentiels d'eau souterraine différents : très fort (26%) fort (31%), modéré (30%), et faible (13%). Sur la base des résultats obtenue la densité de drainage, la géomorphologie et la texture du sol de la zone d'étude joue un rôle majeur augmentent le potentiel des eaux souterraines.

Mots clés : Système d'information géographique (SIG), l'analyse multicritère hiérarchique (AHP), eaux souterraines, Bassin versant, Garaet El Tarf.

Abstract

In this study, a cartographic approach was applied to identify potential areas of groundwater resources based on the integrated geographic information system (GIS) and hierarchical multi-criteria analysis, in the alluvial plain of Gareat el Tarf, Algeria. A total of seven sets of criteria / factors including, rainfall, geology, soil, geomorphology, land use / land cover, lineament density and drainage density, were selected and mapped. The different sub-criteria of each thematic layer were ranked according to their influence on groundwater recharge, and each thematic layer was given a weighting, derived from the hierarchical multi-criteria analysis (AHP).

The resulting groundwater potential zone map is categorized into four different groundwater potentials: very strong (26%) strong (31%), moderate (30%), and weak (13%). Based on the results obtained the drainage density, geomorphology and soil texture of the study area play a major role in increasing the groundwater potential.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Hierarchical Multicriteria Analysis (AHP), groundwater, Watershed, Garaet El Tarf.

المخلص

في هذه الدراسة تم تطبيق طريقة رسم الخرائط لتحديد المناطق المحتملة للمياه الجوفية بالاعتماد على انظمة المعلومات الجغرافية و كذا التحليل الهرمي متعدد المعايير في السهل الطيني لقرعة الطرف بالجزائر.

تم فيها اختيار مجموع سبع معايير هم على التوالي: تساقطات الامطار، الجيولوجيا، التربة، الجيومورفولوجيا، استخدام الأراضي/الغطاء الأرضي، كثافة الخط و كثافة الصرف بحيث تم تصنيف المعايير الفرعية المختلفة لكل طبقة موضوعية حسب تأثيرها على المياه على تغذية المياه الجوفية كما تم اعطاء ترجيح مشتق لكل طبقة موضوعية. وعليه تم التحصل على خريطة المنطقة المحتملة للمياه الجوفية والتي قسمت إلى أربعة احتمالات مختلفة: قوي جدا (26%)، قوي (31%)، معتدل (30%) وضعيف (13%).

بناء على النتائج المتحصل عليها تم التوصل إلى أن كثافة الصرف والجيومورفولوجيا وأيضاً تركيب التربة لمنطقة الدراسة تلعب دوراً أساسياً في زيادة امكانية وجود المياه الجوفية

الكلمات المفتاحية: انظمة المعلومات الجغرافية، التحليل الهرمي متعدد المعايير، المياه الجوفية، الحوض المنحدر، قرعة الطرف