

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABBES LAGHROUR-KHENCHELA-

Faculté des Sciences de la Nature et de La vie

Département : Ecologie et Environnement.

Spécialité : Protection des Ecosystèmes



Thème

Risque de pollution agricole sur les eaux souterraines : cas du bassin versant de Garaet El Tarf

Mémoire présenté au Département d'Ecologie et Environnement.
Pour l'obtention du diplôme de Master 2

Présenté et soutenu par :

RAHMOUNE Nor El Houda

CHERMATE Manel

Membres de jury :

Président : Mr. DAIFALLAH Tarek

MCB Université de Khenchela

Examinatrice : Mme. DIB Dounia

MCB Université de Khenchela

Promoteur : Mr. BOULABEIZ Mahrez

MCB Université de Khenchela

Année Universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENT

Avant tout, nous remercions grâce à ALLAH -Sublime soit Le Glorifié- le très Miséricordieux de nous avoir donné la patience, le courage et la force pour accomplir ce travail, et qui nous a guidés dans tout ce que j'ai entrepris.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement mon encadreur Mr. Boulabeiz Fouad pour ses Précieux conseils et orientations, son encouragement et le soutien qu'il nous a prodigués tout au long de ce travail nous remercions tout particulièrement messieurs les membres de Jury Mr.Daifallah et Mme.Dib d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail. Un autre grand merci va à l'université de AbessLaghroukhanchela, en particulier à tous les enseignants du département de l'Ecologie et Environnement .

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents Seddik et Khadra. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure Bonne santé et longue vie.

À mon frère Chawki et sa petite famille, Souzy et Anis

A Alla et sa fiancée.

A toute ma famille, et mes amis,

A tous les collègues de la spécialité PE

A mon binôme Manel et toute sa famille Chermat.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à:

*Celle qui a souffert pour moi et qui s'est sacrifiée corps et âme pour m'offrir un milieu favorable pour ma croissance morale : ma mère Leila
Mon père Djamel qui m'a soutenu et veillé à mon éducation.*

A mes frères Samir, AbdElhak

A mes belles soeurs :Hadjer, Wided

Qui m'ont toujours conseillé

A toute ma grande famille.

*A mes très chères et fidèles amies : Ibtissem, awatef, Rayen ,Houda,
Yamina.*

A mon binôme : Noor Elhouda et toutes la famille Rahmoune

A tous mes enseignants de tous les cycles d'étude

*A toutes mes collègues de ma promotion de protection des
écosystèmes sans exceptions.*

A ceux qui m'ont connu de près ou de loin.

Table de matière

Remerciement.....	A
Dédicace.....	B
Introduction générale.....	01

CHAPITRE I : Cadre physique

I.1 Introduction.....	03
I.2 Présentation de la zone d'étude.....	03
I.2.1 Situation géographique.....	03
I.2.3 Couvert végétal.....	04
I.2.4 Facteurs orographiques.....	04
I.2.5 Réseau hydrographique.....	05
I.2.6 Le relief.....	07
I.3 Cadre morphométrique.....	08
I.3.1. Les sous bassins.....	08

CHAPITRE II : Cadre Géologique

II.1 Introduction	10
II.2 Cadre général	10
II.3 La série stratigraphique	10
II.3.1 Lithostratigraphie du bassin de Gareat El Tarf	10
II.3.1.1 Trias	11
II.3.1.2 Crétacé	12
II.3.1.2.1 Crétacé inférieur	12
II.3.1.2.1.1 Barremien supérieur	12
II.3.1.2.1.2 Aptien	12
II.3.1.2.1.3 Albien	13
II.3.1.2.2 Crétacé supérieur	13
II.3.1.2.2.1 Cénomaniens inférieurs	13
II.3.1.2.2.2 Turonien.....	13

II.3.1.2.2.3 Turonien (moyen et supérieur)	13
II.3.1.2.2.4 Coniacien	13
II.3.1.2.2.5 Santonien	14
II.3.1.2.2.6 Campanien	14
II.3.1.2.2.7 Maestrichtien inferieur	14
II.3.1.2.2.8 Maestrichtien supérieur.	14
II.3.1.3 Eocène.....	14
II.3.1.3.1 Montien	14
II.3.1.3.2 Ypresien et Thanetien.....	15
II.3.1.4 Miocène	15
II.3.1.4.1 Miocène inferieur.....	15
II.3.1.4.1.1 Aquitano-Burdigalien :	15
II.3.1.4.1.2 Langhien-Serravalien :	15
II.3.1.4.2 Miocène supérieur	15
II.3.1.4.2.1 Tortonien greseux blanc	15
II.3.1.4.2.2 Tortonien supérieur continental :	15
II.3.2.1 Le Mio-pliocène	15
II.3.2.2 Le Quaternaire	16
II.4 Conclusion :	20

CHAPITRE III :Etude hydroclimatique.

III.1 Introduction.....	22
III.2 Etude climatologique.....	22
III.2.1 Les facteurs climatiques.....	23
III.2.1.1 Les précipitations.....	23
III.2.1.2 Les températures.....	25
III.2.1.3 L'humidité.....	26
III.2.1.4 Le vent.....	27
III.2.1.5 La neige.....	27
III.2.1.6 L'insolation.....	28
III.2.2 Les indices.....	29
III.2.2.1 Indice de De Martonne.....	29

III.2.2.2Climagramme de Louis Emberger.....	31
III.2.3- Calcule des paramètres de bilan hydrique.....	32
III.2.3.1-Evapotranspiration potentielle.....	32
III.2.3.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	33

CHAPITR IV : REVUE DE LITTERATURE

IV.1.Introduction	38
IV.2. Définitions	38
IV.2.1. Concept de pollution	38
IV.2.3. Pollution des eaux souterraines	38
IV.2.3. Les principales sources de pollution des eaux souterraines	38
IV.2.3.1. Pollution naturelle	39
IV.2.3.2. Pollution anthropique	39
IV.2.3.2.1. Pollution agricole	39
IV.2.4. La contamination de l'eau souterraine par nitrates	39
IV.2.5. Pollution de l'eau et modes de transfert des polluants.....	40
IV.2.5.1 Pollution diffuse.....	40
IV.2.5.2. Pollution Ponctuelle.....	40
IV.3. Méthodes d'estimation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines	41
IV.3.1. Notion de vulnérabilité.....	41
IV.3.2. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines.....	41
IV.3.3. Types de vulnérabilité	41
IV.3.3.1. Vulnérabilité intrinsèque	42
IV.3.3.2. La vulnérabilité spécifique	42
IV.3.4. Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines	42
IV.4. Description des deux méthodes.....	42
IV.4.1. DRASTIC LU	42
IV.4.. La méthode SI « Susceptibility Index »	43
IV.5. Système d'information géographique (SIG)	43
IV.5.1. Présentation de la méthode.....	43
IV.5.2. Composants d'un SIG.....	43
IV.6. Conclusion.....	44

CHAPITRE IV : REVUE DE LITTÉRATURE

V.1.Introduction.....	46
V.2. Méthodologie utilisée dans l'élaboration des cartes de vulnérabilités.....	46
V.2.1. Logiciels utilisés	46
V.3.Résultats et discussion	48
V.3.1. Méthodes DRASTIC LU.....	48
V.3.1.1. Profondeur de la nappe « D ».....	48
V.3.1.2. Recharge nette « R »	51
V.3.1.3. Lithologie de l'aquifère « A »	53
V.3.1.4. Sol (Texture) « S »	55
V.3.1.5. La pente (T)	57
V.3.1.6. Nature de la zone non saturée « I »	59
V.3.1.7. Conductivité hydraulique « C »	61
V.3.1.8. Occupation du sol « OS »	63
V.3.1.9. Calcul de l'indice « DRASTIC LU ».....	64
V.3.2. Détermination des paramètres du modèle « SI ».....	67
V.3.2.1. Occupation du sol « OS »	67
V.3.2.2. Calcul de l'indice « SI »	68
V.4. Analyse comparative des résultats des deux méthodes utilisées.....	71
V.5. Validation des cartes de vulnérabilité	72
V.6. Conclusion	73
Conclusion générale et recommandation.....	74
Bibliographie.....	76
Resumé	

Liste des figures

01- Situation géographique de bassin versant Great El Tarf.....	04
02- Réseau hydrographique de Bassin versant Gareat El Tarf.....	07
03- Le relief du bassin de Gareat el Tarf.....	08
04- Carte géologique du sous-bassin versant Gareat El Tarf.....	11
05- Carte géologique de la zone Oum El Bouaghi (D'après J. MVILA).....	18
06- Carte géologique de la zone Khenchela (D'après J. MVILA).....	18
07- Carte géologique de la zone Gareat El Tarf (D'après J. M.VILA).....	19
08- Précipitation moyenne mensuelle pour une période de 20 ans (1998-2018).....	24
09- Précipitation moyenne annuelle pour une période de 20 ans (1998-2018).....	24
10- Température moyenne mensuelle pour une période de 20 ans (1998-2018).....	25
11- Humidité moyenne mensuelle en %.....	26
12- La vitesse moyenne des vents (m/s) durant la période de 20 ans (1998-2018)	27
13- Nombre des jours de chute de neige (2018).....	28
14- Moyenne mensuelle de l'insolation(h) durant la période de 20 ans (1998-2018).....	29
15- Courbe ombrothermique de la station d'El Hamma.....	29
16- Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne de station d'El Hamma.....	31
17- Climagramme d'Emberger de la station d'ElHamma.....	32
18- Bilan hydrologique à la station d'El Hamma, par la méthode de Thornthwaite.....	36
19- Schéma simplifiée de la pollution des eaux	41
20- Organigramme présentant les étapes de la réalisation de la carte de vulnérabilité d'après les deux méthodes.....	47
21- La carte de la profondeur de la nappe de la zone d'étude.....	50
22- Représentation de la profondeur de la nappe en %.....	50
23- La carte de recharge nette de la nappe de la zone d'étude.....	52
24- Représentation de la recharge nette de la nappe en %.....	53
25- La carte de lithologie de la zone d'étude.....	54
26- Représentation de la lithologie de la nappe en %.....	55
27- La carte de la texture du sol de la zone d'étude. 55.....	56
28- Représentation de texture du sol en %.....	57
29- La carte de la topographie(pente) de la zone d'étude.....	58
30- Représentation de la pente en %	59
31- La carte de la nature de la zone non saturée de la zone d'étude.....	60
32- Représentation de la nature des zones saturées en %.....	61
33- Carte de perméabilité de la nappe.....	62
34- Représentation de perméabilité en %.....	63

35- Carte d'occupation du sol (Drastic).....	64
36- Représentation d'occupation du sol en %.....	64
37- Répartition de vulnérabilité (DRASTIC LU) en %.....	66
38- Carte de vulnérabilité (DRASTIC LU).....	66
39- Carte d'occupation du sol (SI).....	67
40- Représentation d'occupation du sol en % (SI).....	68
41- Carte de vulnérabilité (SI).....	70
42- Représentation de vulnérabilité en %(SI).....	70
43- Comparaison des cartes de vulnérabilité à la pollution obtenues.....	71
44- Carte de distribution spatiale des nitrates (en mg/l) (Dib et al, 2017).....	72

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Le titre de tableau	page
1.	les caractéristiques morphométriques de Bassin versant Gareat El Tarf (DFOB)	09
2.	Résumé de la colonne lithostratigraphique du sous-bassin versant de Gareat El Tarf	17
3.	Les coordonnées de station météorologique	22
4.	Répartition des précipitations mensuelles et saisonnières (en mm) dans la station d'El Hamma (1998/2018).	23
5.	Températures moyennes mensuelles à la station d'El Hamma (1998/2018)	25
6.	Températures moyennes, maxima, minimas mensuels à la station d'El Hamma (1998/2018)	26
7.	Humidité moyenne mensuelle de la station d'ElHamma.	26
8.	La vitesse moyenne des vents (m/s) durant la période de 20 ans (1998/2018).	27
9.	Nombre des jours de chute de neige (2018).	27
10.	Moyenne mensuelle de l'insolation(h) durant la période de 20 ans (1998/2018).	28
11.	Coefficient de correction K dépend du site considéré (climat semi-aride).	33
12.	Bilan hydrologique moyen (1998-2018) de la station de Khenchela, par la méthode de Thornthwaite	34
13.	Poids des paramètres DRASTIC LU (after Aller et al. 1987)	43
14.	Poids et cote du paramètre profondeur à la nappe.	49
15.	Poids et Notes du paramètre de Recharge de la nappe de Gareat El Tarf.	52
16.	Poids, note et indice du paramètre Lithologie de l'aquifère de Gareat el Tarf.	54
17.	Poids et notes des types de sols de Gareat El Tarf.	56

18.	Poids et cote du paramètre de Pente de Gareat El Tarf.	58
19.	Poids et cote du paramètre Impacte de la zone de Gareat El Tarf.	60
20.	Poids et cote pour le paramètre conductivité hydrique de l'aquifère Gareat El Tarf.	62
21.	Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité DRASTIC.	65
22.	Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité SI	69
23.	Poids attribués aux paramètres SI.	69

Listedes abréviations

DHKH	la direction Hydraulique de wilaya de khanchela.
DHOB	la direction Hydraulique de wilaya d'Oum El Bouaghi.
ETR	L'évapotranspiration réelle
ETP	Evapotranspiration potentielle.
SI	Susceptibility Index
SIG	Systèmes d'Informations Géographique.

Introduction générale

En raison des dangers de la pollution des eaux souterraines à l'égard de la santé humaine, la protection de cette ressource grâce à la prévention est devenue une nécessité. C'est dans ce contexte que de nombreux outils de planification et de gestion ont été utilisés pour aider à reconnaître les endroits où certaines activités peuvent poser un risque plus élevé. Afin de comprendre la fragilité intrinsèque qu'une certaine région s'oppose à une menace donnée il est important d'utiliser le processus d'évaluation de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Ce dernier, est souvent effectué dans des zones où les ressources en eau sont en situation de stress qui proviennent d'activités industrielles et agricoles.

En Algérie la pollution de l'eau souterraine est causée par le secteur des industries lourdes (Annaba, Skikda et ...) et par le secteur agricole aussi (les engrais, les pesticides) et domestique (par exemple les eaux usées...).

Le bassin versant de Gareat El Tarf situé dans une zone semi-aride où le contexte hydrologique est marqué par une variabilité spatio-temporelle, la problématique de l'eau devient de plus en plus inquiétante. Par ailleurs, les nappes souterraines sont des réservoirs qui se renouvellent très lentement et leur exploitation pour l'approvisionnement en eau potable et pour des fins d'irrigation risque d'entraîner leur épuisement. En effet, la dégradation de la qualité des ressources en eau par diverses sources de pollution constitue, dans certaines zones, une menace aussi importante que celle liée au déficit hydrique causé par les changements climatiques que connaît notre planète.

Dès lors, la présente mémoire constitue une contribution, pour répondre à la problématique décrite avant, par l'élaboration des cartes de vulnérabilité à la pollution d'origine agricole par deux méthodes différentes.

Objectif de l'étude

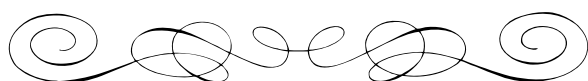
L'objectif principal de cette étude est la réalisation d'une carte de vulnérabilité à la pollution d'origine agricole de bassin versant de Gareat El par deux méthodes paramétriques : la méthode DRASTIC LU (Secunda et al, 1998), et la méthode SI (Ribeiro. 2000). Les deux méthodes sont appliquées dans un environnement SIG, afin de connaître la méthode adéquate dans ce contexte.

La présente mémoire est structurée de la manière suivante :

- **Introduction générale**
- **Chapitre 1** : cette première partie de mémoire pose le contexte physique et géographique dans lequel s'inscrit notre étude.

- **Chapitre 2** : description géologique de la zone concernant les différentes formations géologiques.
- **Chapitre 3** : consacré à l'analyse des paramètres hydroclimatiques de la zone d'étude pour aboutir à l'établissement du bilan hydrique.
- **Chapitre 4** : Expose un examen complet de la littérature avec les antécédents théoriques des concepts principaux qui apparaissent dans cette mémoire
- **Chapitre 5** : consacré à la cartographie de la vulnérabilité spécifique des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole par les méthodes DRASTIC modifié et la méthode SI (suceptibility index).

Le mémoire se termine par conclusions générales et perspectives.



Chapitre I : Cadre physique



I.1.Introduction

Préalable et indispensable à toute étude efficace, la connaissance du milieu naturel du bassin doit s'acquérir dans de multiples domaines (topographie, géologie, climatologie, hydrologie et la biogéographie, etc...).

L'étude de cette partie comportera la description synthétique des grands ensembles physiques (Relief, couvert végétale, réseau hydrographique, réseau orographique etc...).

I.2.Présentation de la zone d'étude

I.2.1. Situation géographique

Le bassin versant de Garaet el Tarf présente à l'instar des bassins à écoulement endoréique du nord orientale algerien, il est situé à l'extrême Est des hauts plaines steppiques entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud (Massif des Aures) .

Il est considéré comme l'un des sous bassins versants des hauts plateaux constantinois (N°07 07) qui occupe une superficie de 2432 m², il se situe entre les latitudes 35° 22' N et les longitudes 6° 49' et 7° 34' E.

Le centre du bassin marqué par une dépression endoreique (Gareat) plus connue sous le nom de Sebkhha (lac salé) qui occupe une superficie de 200km²

Les limites du bassin de ladite « Sebkhha » correspondent à :

- ✚ Au Nord, la ligne de crête, de direction NW-NE des massifs de Sidi Reghis et Aamamet El Kebir.
- ✚ A l'Est, la ligne de crête, de direction NE-SW des massifs de Dj.Fedjidjet, Dj.Boutokhma, Tafrennt et Chettaia.
- ✚ Au Sud, la ligne de crête de direction SE-SW, des djebels Feraoun, Aurès, el Aoud.
- ✚ A l'Ouest le talweg d'Oued Gueiss, Dj. Fedjoudj et Dj. Tarf.

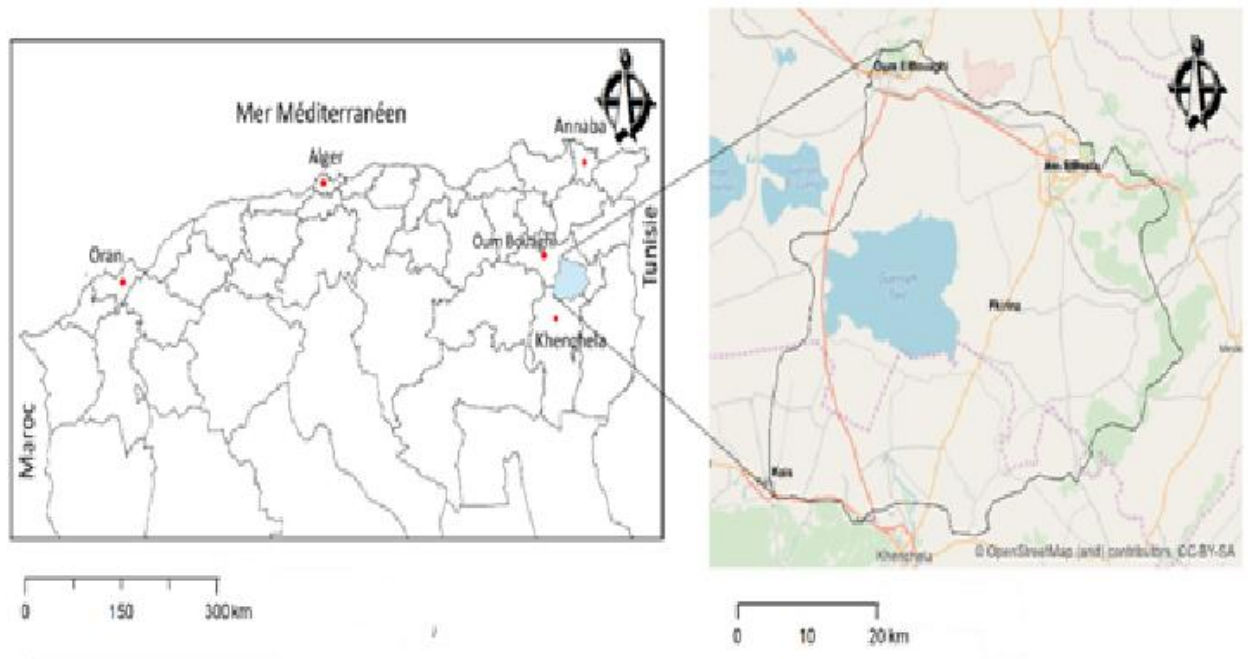


Fig. 01 Situation géographique de bassins versants Great El Tarf

I.2.4. Le couvert végétal

Cette zone est marquée généralement par le manque de diversité végétale à cause de conditions défavorables qui influencent la croissance des différents herbes, la couverture végétale est adaptée à l'aridité (Xérophile).

En retour sur ces vastes plaines les cultures de blé et l'orge peuvent se faire sans irrigation.

Le sud du bassin de Garaet el Taref dispose en altitude de belles forêts constituées essentiellement par de pin d'Alpes, genévriers, ifs, à partir de 1500m 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 Sebka subsiste une végétation herbacée composée essentiellement d'Armoise blanche et d'Atriplex.

I.2.5. Facteurs orographiques

Dans la région, il existe une multitude de montagne qui bordent la plaine à l'Est, au Nord et au Sud, leurs altitudes sont supérieures à 1000m. Dali, N. 2009.

Parmi ces montagnes, les plus importantes sont :

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

A partir de ces massifs de nombreux cours d'eaux temporaires donnent naissance, et forment le réseau hydrographique.

D'une façon générale l'écoulement se fait de l'Est vers l'Ouest, en direction de la sebkha de Garaet Et Tarf.

Les trois oueds temporaires les plus importants sont :

- Oued Nini.
- Oued oulmene.
- Oued Isfer.

I.2.6. Réseau hydrographique

La majorité des oueds sont endoréiques ; ils coulent en direction du lacs salés.

- Oued Gueiss

C'est un oued permanent qui ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du djebel Noughiss, il va jeter dans la Gareat El Tarf sous le nom d'oued Marouf. Les rivières qu'il reçoit dans l'Aurès sont nombreuses.

- Oued El Hammam

Oued El Hammam sort du Kef El Biod (1815 m) par une étroite vallée sous le nom de Oued El Kissane, reçoit à quelques kilomètres de Khenchela la source chaude d'Aîn El Hammam, prend le nom d'oued El Hamma et débouche dans la plaine par 1 m défilé de FoumTfist près de la route de Khenchela et termine son parcours dans les chotts.

Oued Baghai prend source à djebel Chellalaia, montagne isolée au sud-est de Khenchela après avoir servi travers la route Khenchela-Zoui-Tébessa, arrose la plaine de Khenchela, Ksar Baghailtva se jeter dans la Guerat El Tarf ; il reçoit à gauche de petits affluents alimentés par des sources et qui sourdent du djebel Chabor (1216 m).

- Oued Aimer, Oued Aissaoui, Oued Nini et Oued El Hassi

Ces oueds prennent sources successivement des massifs de Djebel Chettaia (1455m), Djebel Knif(1224 m) Djebel Fedjidjet 1291 m et Dj.Galaa (1135 m) et se déversent à Gareat El Tarf.

La partie Nord du bassin versant est arrosée par des Faids (plaine inondée) :

- FaidAbdalahbou Lakhdar.
- Faid el Madfoun.
- FaidTegouft.
- FaidSomar

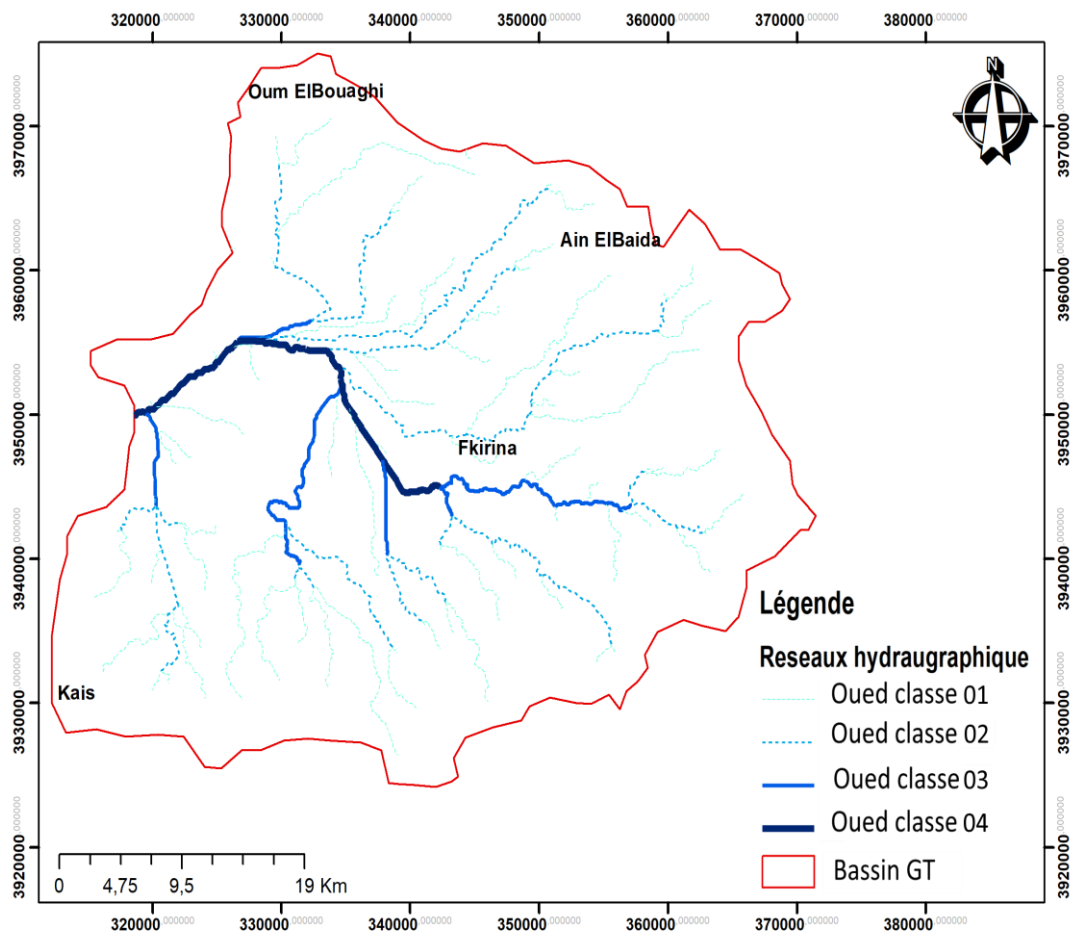


Fig. 02 Réseau hydrographique de Bassin versant Gareat El Tarf.

1.2.7. Le relief

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 affectée ces régions, permettant un écoulement superficiel plus important. Guiraud 1973

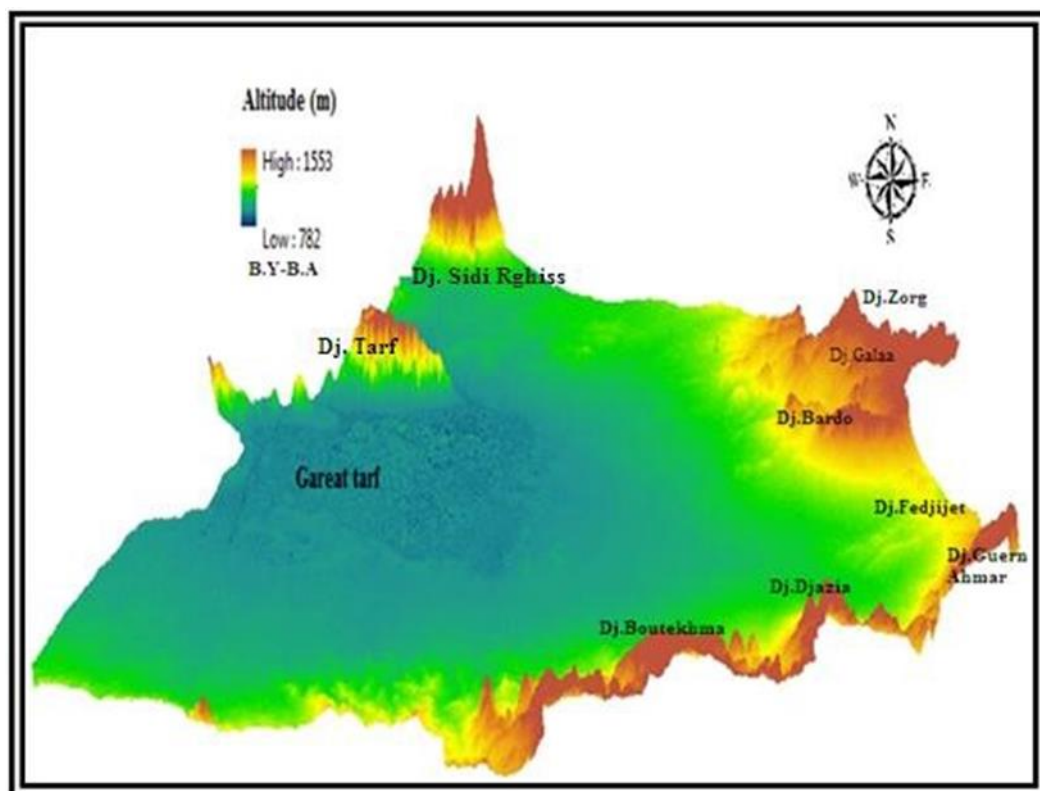


Fig. 03 Le relief du bassin de Gareat El Tarf (D'après Baali., Belhadad.,2018).

I.3. Cadre Morphométrique

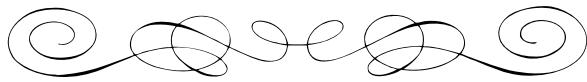
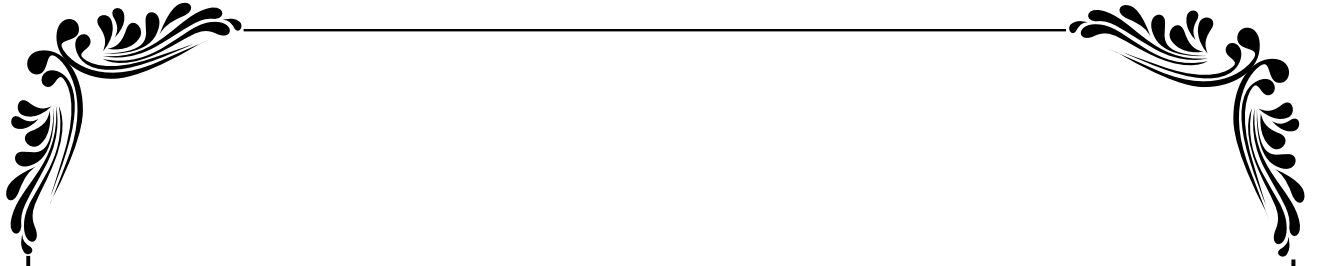
I.3.1. Les sous bassins

Notre région elle appartient au quatre sous bassin, comportant leurs caractéristiques, tel que le périmètre, la superficie, la largeur, la longueur...

Comme le montre le tableau.1 ci-dessous :

Tableau.01 les caractéristiques morphométriques de Bassin versant Gareat El Tarf (DFOB 2017).

Grand bassin versant	Code bassin versant	Sousbassin versant	Périmètre du bassin versant(km)	Surface du bassin versant(Ha)	Sup fortement sensible à l'érosion (Ha)	Longueur du bassin versant(km)	Largeur du bassin versant(km)
Hauts Plateaux Constantinois	0707	OuedFaid Souar	62,38		2 138,26	22,83	8,36
		Oued Faid Medfoun	47,7	8 270			
		Oued Isfer	81,74	24 193			
		Oued Nini	107,78	50 275			
Totale	65 104,00	2 138,26		165 104,00	2 138,26	4 942,00	4 060,94



Chapitre II :Cadregéologique



II .1. Introduction

La lithologie joue un rôle très important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide.

Dans ce chapitre. Nous allons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, et présenter brièvement quelques caractères généraux de la géologie du bassin de Gareat El Taref

II.2. Cadre général

Le bassin de Gareat El Tarf appartient au domaine des hauts plateaux, et se dispose à la jonction entre celui-ci et la terminaison septentrionale du massif des Aurès.

La structure actuelle de l'Algérie du Nord résulte de l'évolution tertiaire et quaternaire du bassin Maghrébin. Les mouvements alpins ont permis l'individualisation de nombreux domaines, qui se différencient par l'ampleur de la déformation caractérisant chacun d'eux.

Ces domaines dans l'Est algériens sont du nord vers le sud :

- Le domaine kabyle
- Le domaine des flyschs
- Le domaine tellien
- Le domaine atlasique
- La plate forme saharienne

Entre ces différents domaines existent des bassins de transition dont le mieux représenté est le bassin des sellaouas qui, par la nature de ses formations géologiques fait la transition entre les bassins paléogéographiques du tell et de l'atlas saharien.

II.3. 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.

II .3.1. Lithostratigraphie du bassin de Garaet El Tarf

La lithostratigraphie a été tirée pour l'essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/ 40 000 ; Khenchela, Gareat El Tarf, Oum El Bouaghi, (fig.05,06,07)

II .3.1.1. Trias

Une masse chaotique qui affleure toujours en position anormale, on le trouve sous forme de pointements ou de dômes très localisés dans les flancs des grands plis (Ghandriche, 1991). Les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, ou 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. Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux (Laffitte,1939 et Vila ,1977).

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.Laffite1939).

Des argilites bariolées de teintes vives(violettes et rouges, rarement jaunâtres à verdâtres;associées à du gypse fibreux et du sel.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.(Marmi, 1995)

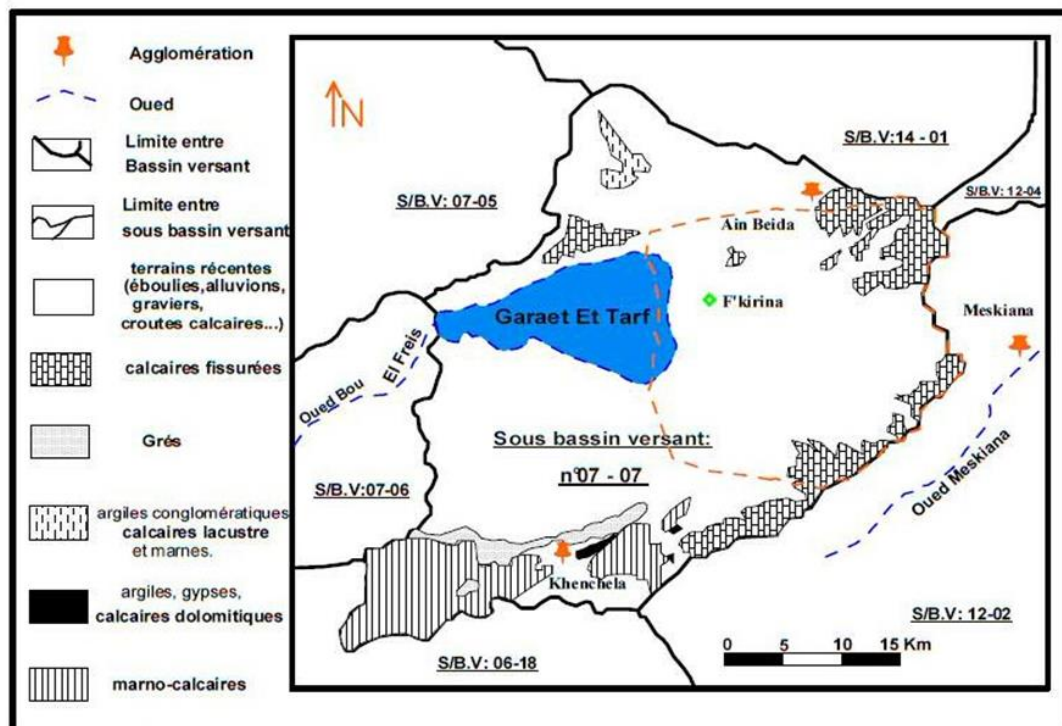


Fig.04 Carte géologique du sous bassin versant Garaet El Tarf

II .3.1.2. Crétacé

Les formations crétacées affleurent largement dans la région d'étude et ses environs (Fig.05)

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 :

- **Crétacé inférieur** : (Barrémien, Aptien et Albien), correspond à une unité lithologique d'importance régionale. Il affleure au nord du sous bassin à l'anticlinal de Khenchela, On le rencontre sur l'axe de Dj .Bouarif, Fedjoudj et Tarf au nord.
- **Le Crétacé supérieur** : (Cénomaniens, Turonien, Coniacien, Santonien, Campanien et Maestrichtien).

II .3.1.2.1. Crétacé inférieur

II .3.1.2.1.1. Barremiensupérieur : à dominante gréseuse

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

II.3.1.2.1.2. Aptien

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

- Ensemble inférieur marneux, Il est à noter que les affleurementsmarneux de l'Aptien inférieur Au Sidi Reghiss sont caractérisés par la présence des Ammonites. 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.
- Ensemble supérieur calcaireux à Céphalopodes, à Orbitolines

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

Sur le versant Nord-Ouest du Djebel Sidi Reghis, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

II.3.1.2.1.3. Albien

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

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, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

II .3.1.2.2. Crétacé supérieur

Au point de vue répartition géographique le Crétacé supérieur affleure sur une grande aire dans le massif Aurésien (Marmi, 1995).

II .3.1.2.2.1. Cénomanién inférieur

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.

II .3.1.2.2.2. Turonien

Le Turonien occupe de grandes surfaces dans les Aurès. Il est à noter que les faciès du Cénomanién et du Turonien sont très comparables (Marmi, 1995). 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.

II .3.1.2.2.3. Turonien (moyen et supérieur)

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

II .3.1.2.2.4. 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 (Fig.7) (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations composées essentiellement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges.

II .3.1.2.2.5. 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, À la base des formations récifales contiennent une microfaune pélagique.

II .3.1.2.2.6. Campanien

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

Au Djebel Aourès 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. Ce sont des calcaires crayeux en bancs décimétriques à élément triasique remaniés (argiles varicolores). Au dessus, des marnes noires ne dépassent pas 80 m d'épaisseur.

II .3.1.2.2.7. 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, inocérames régularis.

II .3.1.2.2.8. Maestrichtien supérieur : calcaire à 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.

II .3.1.3. Eocène

II .3.1.3.1. Montien

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

II .3.1.3.2. 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.

II .3.1.4. Miocène

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

II.3.1.4.1. Miocène inférieur

II.3.1.4.1.1. Aquitano-Burdigalien

C'est le terme basal correspond à 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. 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.

II.3.1.4.1.2. Langhien-Serravalien

C'est le terme moyen, correspond à une formation marine à niveaux biomicritiques et gréseux. 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.

II.3.1.4.2. Miocène supérieur

II.3.1.4.2.1. Tortoniengreux blanc

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

II.3.1.4.2.2. Tortonien supérieur continental :

Argiles silteuses beiges et rouges, grés, Cette formation affleure aux alentours de Baghai (August compte) 150 m sont ici visible.

II .3.2. Les formations récentes

II.3.2.1. Le Moi-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 ArgoubKemellal et elle est représentée de bas en haut par :

- des argiles vari colorées de plus de 10 m d'épaisseur
- des sables jaunes avec des passées argileuses
- des calcaires lacustres en barres métriques qui se suivent jusqu'à Ain Beida.

II.3.2.2. Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont la couverture blanche dans la région d'étude (Fig.04). 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 moyenne de quelques 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. Ce 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 recouverts par une mince pellicule saline résultant de l'évaporation des eaux superficielles ou souterraines.

Tableau.02 Résumé de la colonne lithostratigraphique du sous-bassin versant de Gareat El
Tarf

Systeme	Serie	Description
Trias		Le gypse, sel, Les argiles et marnes, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, calcaire-dolomitiques de couleur gris bleuté à noirâtre
Crétacé	Crétacé inférieur	Marnes grés blancs fins, à ciment argilo carbonaté.
		Marnes gris noir à débris schisteux, intercalations de marno-calcaire, Ammonites
		Alternance marno-gréseuse associée à des calcaires à Ammonite, des dolomies et des biosparites.
	Crétacé supérieur	Calcaire-marneux
		Marne avec des niveaux de calcaires marneux en plaquettes bitumineuses, marno-calcaire.
		Alternances de marnes grises à beiges, de calcaire en bancs métrique.
		Marnes grises alternant avec des calcaires beiges.
		Marno-calcaires riches en débris d'inocérames, des algues et des débris de rudistes ainsi que des fragments d'hippuritides
		De marnes gypseuses à intercalations de calcaires légèrement phosphatés, calcaires crayeux, marnes noires.
		Alternances de marnes de teint gris-beige à débris de mollusque, calcaires massifs beiges à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes, inocérames régularis.
Calcaire, blanchâtres, calcaires marneux métriques à plurimétriques.		
Eocène	Montien	Marnes grises verdâtres.
	Ypresien et Thanetien	Marne grise beige. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés.
Miocène	Miocène inférieur	Conglomérats d'argiles rouges, de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires, d'argiles silteuses rouges et de rares marnes
		Une formation marine à niveaux bio-micritiques et gréseux.
	Miocène supérieur	Grés blancs grossiers
		Argiles silteuses beiges et rouges, grés.
Moi-pliocène		Argiles, sables jaunes avec des passées argileuses, calcaires
Le Quaternaire		Agrégats, poussières, sables fins et de petits débris, limons, des graviers et des galets, argiles, sels

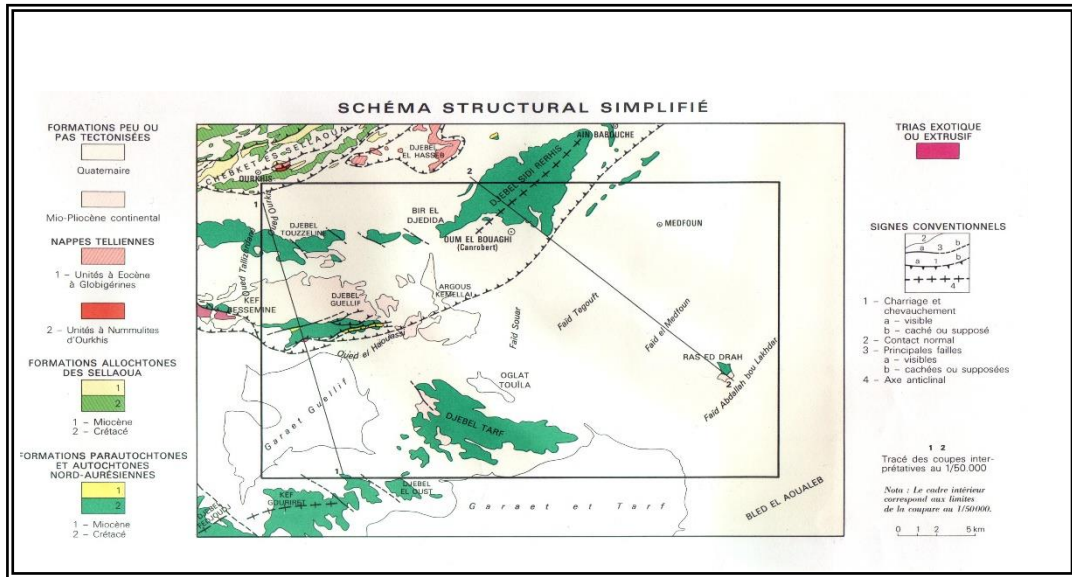


Fig.05 Carte géologique de la zone Oum El Bouaghi (D'après J. MVILA, 1977).

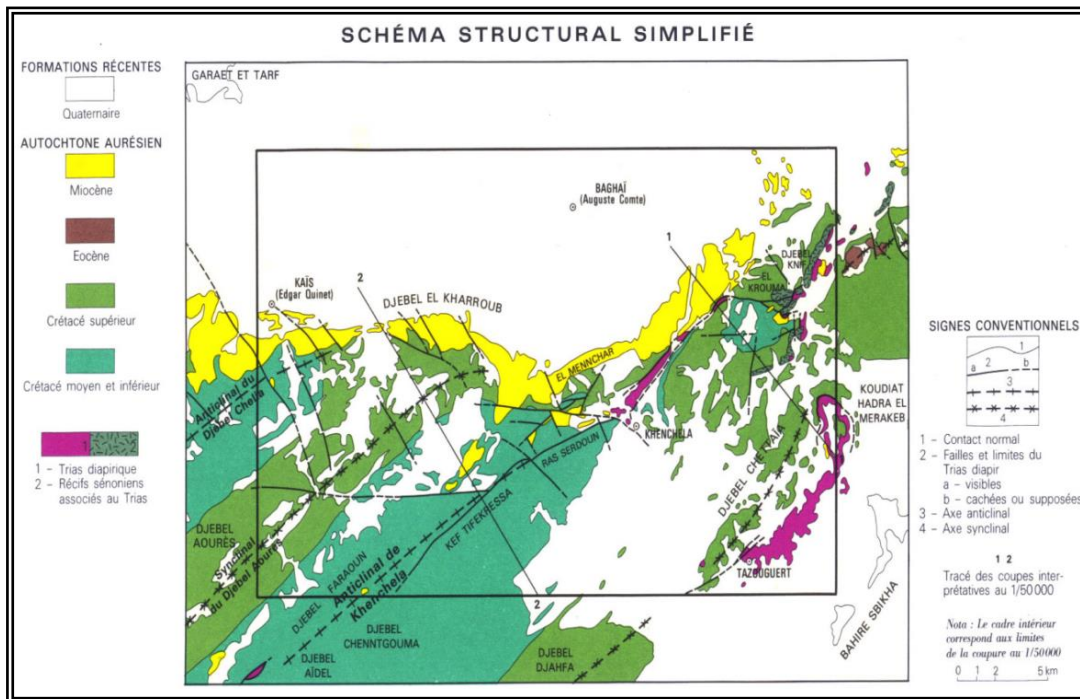


Fig.06 Carte géologique de la zone Khenchela (D'après J. MVILA, 1977).

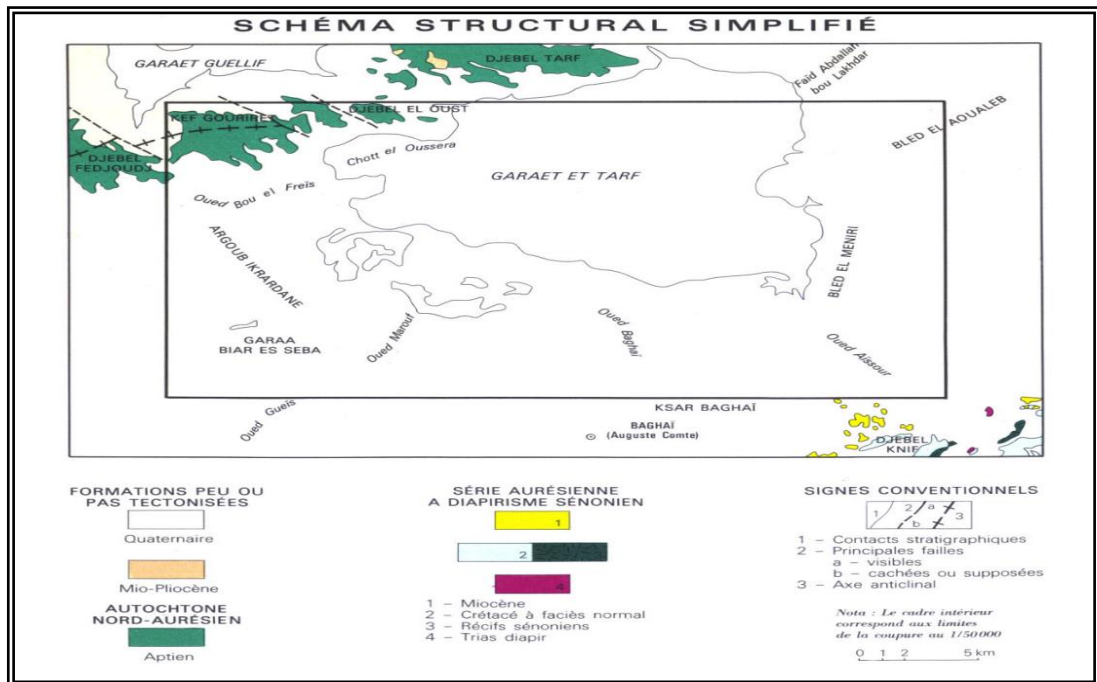
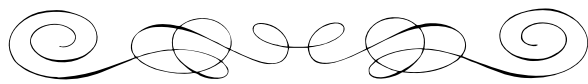


Fig.07 Carte géologique de la zone Garaet El Tarf(D'après J. M.VILA,1977).

II.4. Conclusion

En conclut ce chapitre par des résultats sur la diverse formation géologique du bassin versant de Gareat El Tarf. Donc La zone d'étude comprend essentiellement par les formations :

- Quaternaire : Agrégats, poussières, sables fins et de petits débris, limons, des graviers et des galets, constitue l'essentiel de ces formation. Ces horizons perméables. Le quaternaire constitue la majorité de la surface du la plaine.
- Le crétacé inférieur : à dominante gréseuse. 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)
- Le Miocène : (Tortonien supérieur continental) argiles silteuses beiges et rouges, grés, Cette formation affleure aux alentours de Baghai 150 m sont ici visible.
- 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.



Chapitre III :Etudehydroclimatique



III.1.Introduction

Le climat algérien est un climat de transition. Il varie du type méditerranéen dans le Nord au type désertique dans le Sahara. Du fait de son appartenance géographique et bioclimatologique à la zone aride et semi-aride (Djabaili, 1984) et (ANAT, 1992), l'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydro-climatiques défavorables, caractérisées par des précipitations irrégulières avec des variations interannuelles importantes et une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements (ANAT, 1992).

Dans ce chapitre, on va analyser les facteurs climatiques et ressortir les régimes pluviométriques à savoir la période humide et la période sèche et le type de climat caractérisant la région d'étude.

III.2. Etude climatologique

Le climat est un facteur déterminant de premier ordre pour une approche du milieu c'est un ensemble de phénomènes météorologiques qui sont principalement les précipitations ,la température et le vent .Ce climat se place en amont de toutes études relatives au fonctionnement des écosystèmes écologiques. (Thinthoin 1948)

- **Choix de la station référence**

L'étude des paramètres climatiques nécessite un traitement détaillé des observations hydroclimatologiques. A cet effet, il s'avère nécessaire, dans ce chapitre, de quantifier et d'analyser les principaux apports d'eau du bassin. Pour ce faire, nous disposons la station météorologique d'El Hamma gérée par l'office national de la météorologie, et dont la période d'observation va de 1998 à 2018 pour la station d'El Hamma, a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées suivantes :

Tableau.03 Les coordonnées de station météorologique:

Coordonnées Stations	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'observation
D'ElHamma	7°05'E	35°28'N	928.5 m	1998-2018

III.2.1. Les facteurs climatiques

III.2.1.1. Les précipitations

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle d'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

Tableau.04 Répartition des précipitations mensuelles et saisonnières (en mm) dans la station d'El Hamma (1998/2018).

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moyenne mensuelle
	Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jult	
P	50,47	49,96	27,75	27,84	38,96	36,48	48,44	48,45	66,9	22,58	16,63	35,55	466,84

- La pluviométrie moyenne annuelle dans ce tableau est de l'ordre de 466.84 mm.
- On observe deux périodes, une pluvieuse s'étendant de septembre jusque mai, une autre sèche de juin à août.
- Mois correspondant aux plus fortes précipitations : Mai 66,9 mm.
- Mois correspondant aux plus basses précipitations : Juillet 16,63 mm.

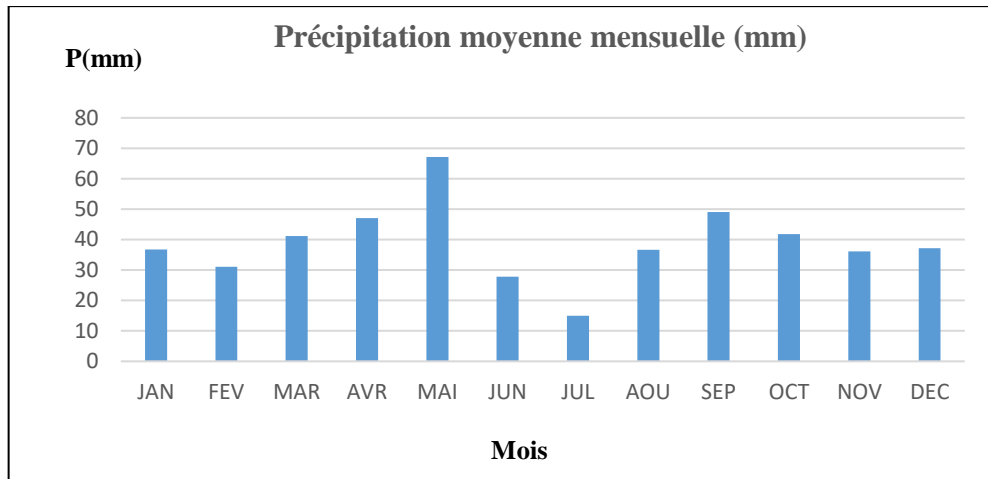


Fig 08 Précipitation moyenne mensuelle pour une période de 20 ans (1998-2018).

Le mois de Mai est le plus arrosé avec une moyenne de 66.90mm. Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne de 16.63mm.

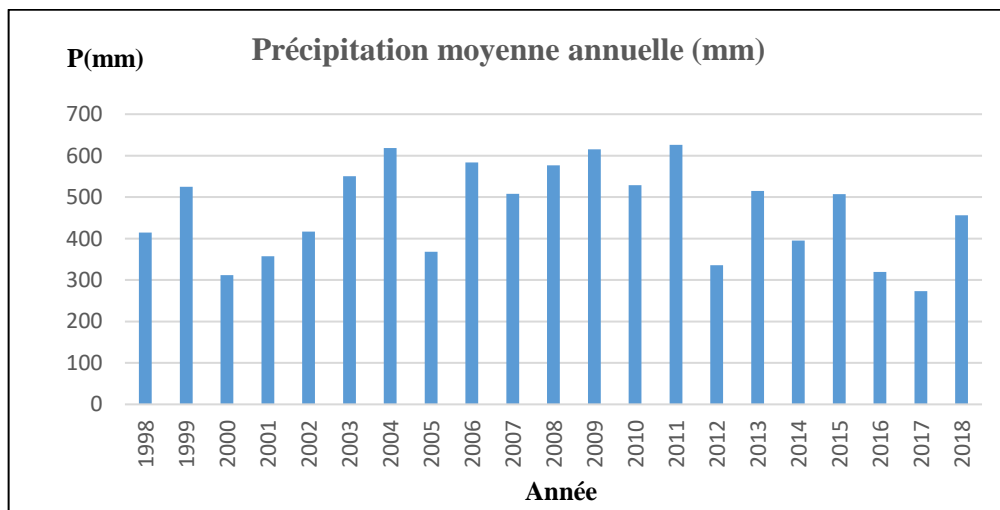


Fig 09 Précipitation moyenne annuelle pour une période de 20 ans (1998/2018).

L'année la plus pluvieuse étant 2011, avec une moyenne annuelle de 626.3mm. L'année 2017 étant la plus sèche avec une moyenne annuelle de 273mm.

III.2.1.2. Les températures

La température est un facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrologique, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau. Il est généralement admis que la température baisse avec l'altitude, SELTZER (1946)

L'analyse des températures est basée sur des observations effectuées au niveau de la station suivante : la station D'el Hamma.

Tableau.05 Températures moyennes mensuelles à la station d'El Hamma (1998/2018)

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T (°C)	6,6	6,9	10,1	16,0	18,30	22,9	27,10	26,1	21,4	17,2	10,8	7,2

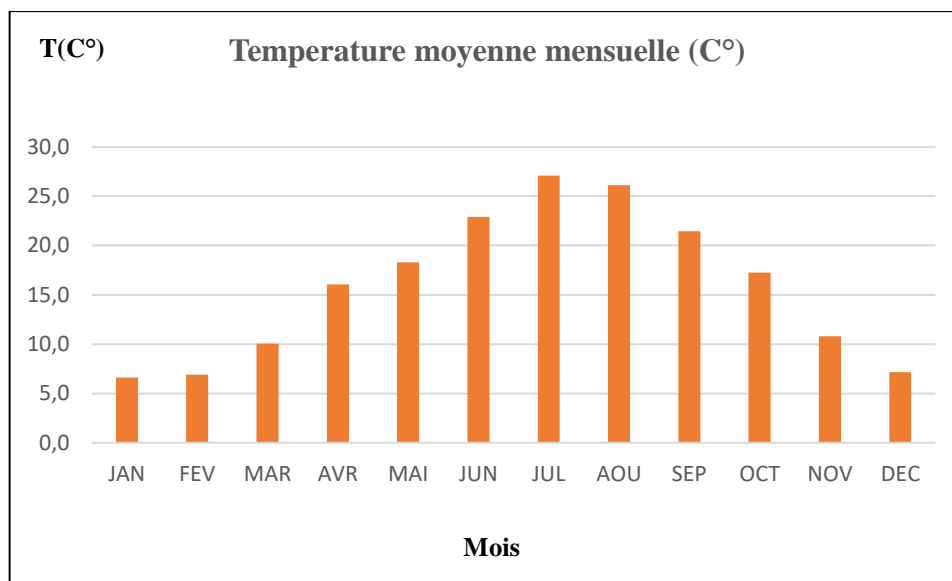


Fig.10 Température moyenne mensuelle pour une période de 20 ans (1998/2018).

Tableau.06 température moyenne mensuelles station d’El Hamma (1998-2018).

Mois	Sep	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Jlt	Aou
T°Max(C°)	27.8	22,2	16.2	11,93	12,01	11,84	15,82	20.18	24.7	30.5	35,0	33.6
T°min(C°)	15.1	11,3	6.22	3,39	2,67	2,25	4.86	7.76	11.1	19,4	18,9	18.1
M+m/2(C°)	21,3	18,8	11,81	7,7	6,66	7,14	10,3	13,85	17.8	22.5	26,9	25.8
M-m(C°)	12.7	10.8 6	9.96	8,54	9,34	9.59	10,96	12.43	13.	11,01	16,	15.4

L’histogramme des variations des températures moyennes mensuelles montre que le mois de Janvier est le mois le plus froid avec 6,6 °C et le mois de Juillet est le plus chaud avec 27.1 °C.

III.2.1.3. L’humidité

L’humidité moyenne de la région représentée dans le tableau ci-dessous où on remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l’ordre de 39,59 % et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 71,58 %.

Tableau.07 Humidité moyenne mensuelle de la station d’ElHamma.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Humidité(%)	69,9	67,72	63,19	61,61	57,42	48,32	39,59	46,62	56,84	56,8	65,59	71,58

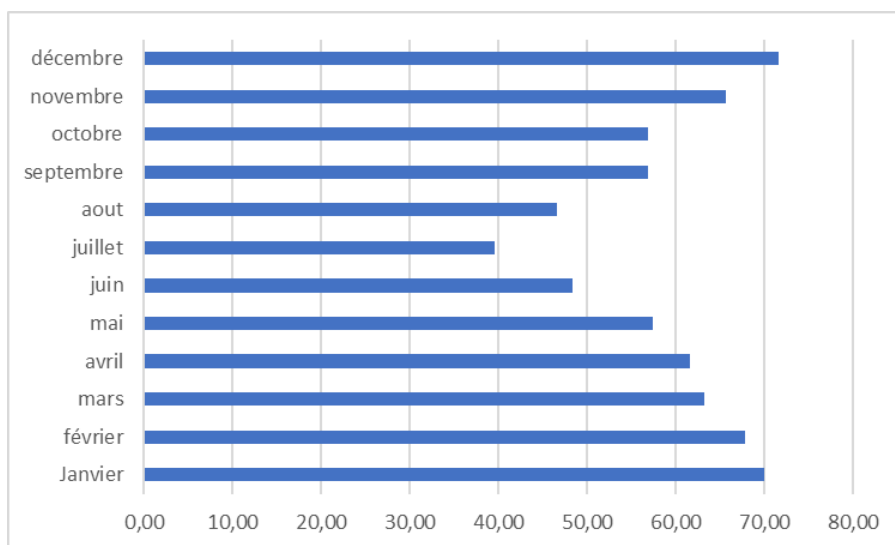


Fig 11 humidité moyenne mensuelle en %.

III.2.1.4. Le vent

Généralement, les vents chargés de pluie soufflent du Nord-Ouest pendant l’automne, l’hiver et une partie du printemps. le sirocco, vent sec et chaud souffle du Sud avec un maximum de fréquence chute en juillet août et provoque une augmentation notable de la température et une brutale de l’humidité atmosphérique (ABDESSEMED ,1982).

Tableau.08 la vitesse moyenne des vents (m/s) durant la periode de 20 ans (1998/2018).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jlt	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Vitesse (m/s)	3.46	4,0	4.21	3.68	3.34	3,29	2,99	2,89	2,79	2.76	3,2	3.1

Le tableau N°08 montre que la vitesse minimale de vent est de 2.79m/s en mois d’Aout et maximale 4.21m/s en mois de Mars :

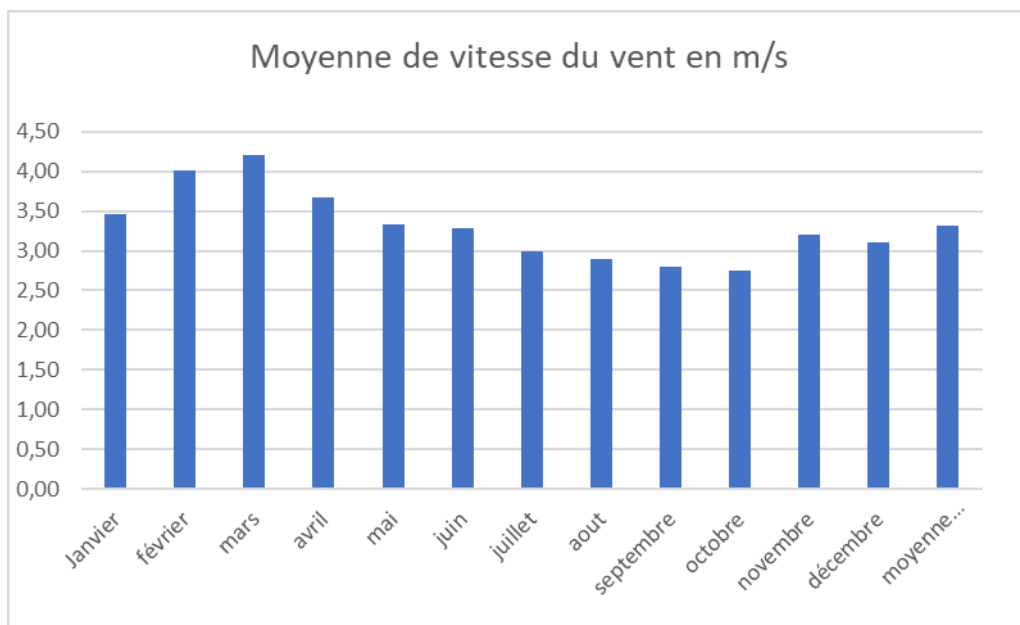


Fig.12 la vitesse moyenne des vents (m/s) durant la periode de 20 ans (1998/2018).

III.2.1.5. la neige

Tableau.09 nombre des jours de chute de neige.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jlt	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec	total
Nombre de Jrs	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	04

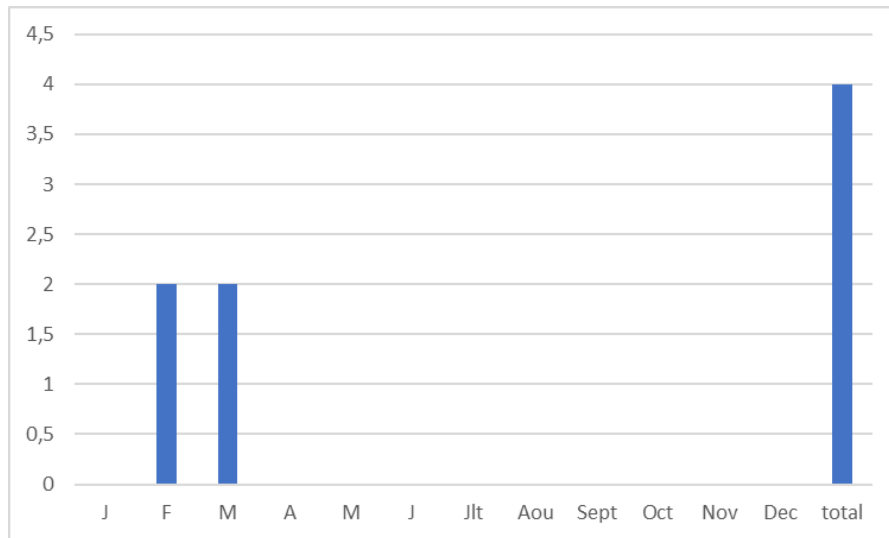


Fig.13 nombre des jours de chute de neige (2018).

III.2.1.6. L’insolation

La durée d’insolation est maximum au cours du mois de Juillet avec une moyenne de 301,64 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de Décembre avec une moyenne de 132,39heures.

Tableau 10 Moyenne mensuelle de l’insolation(h) durant la periode de 20 ans (1998/2018).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Insolation(h)	161,66	160,17	200,86	220,85	238,32	245,06	301,64	296,23	223,82	208,04	156,71	132 ,39

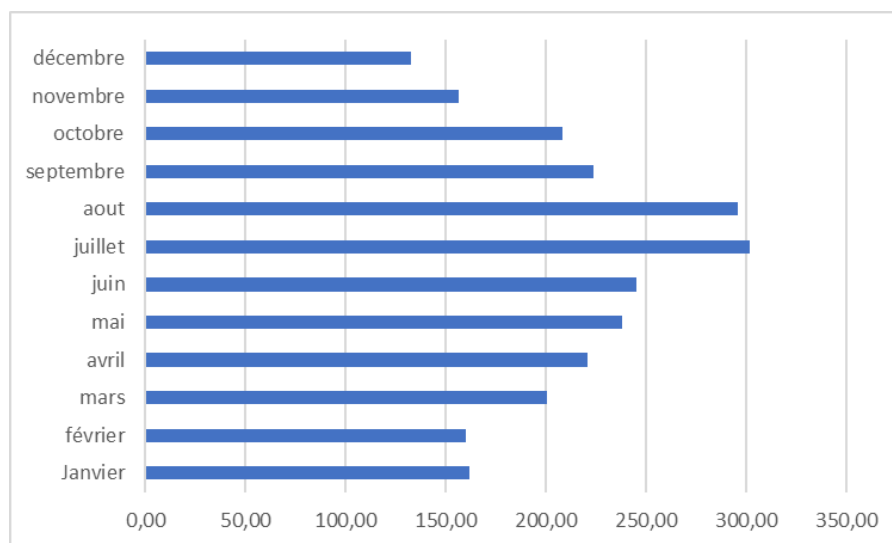


Fig 14Durée de l’insolation(h) durant la periode de 20 ans (1998/2018).

Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique a été réalisé avec les données climatiques relevés durant la période de 1998 à 2018 nous avons tracé pour cette période un graphique où il est porté en abscisse les mois et en ordonnée à droite les précipitations (P mm) et à gauche les températures (T°C) à une échelle double de celle des précipitations (Dajoz, 1971). Ghaussen considère que l'intersection des deux courbes (P et T) permet de définir la saison sèche (P mm < 2T°C) et la période humide (P mm > 2T°C).(Dajoz,1971)

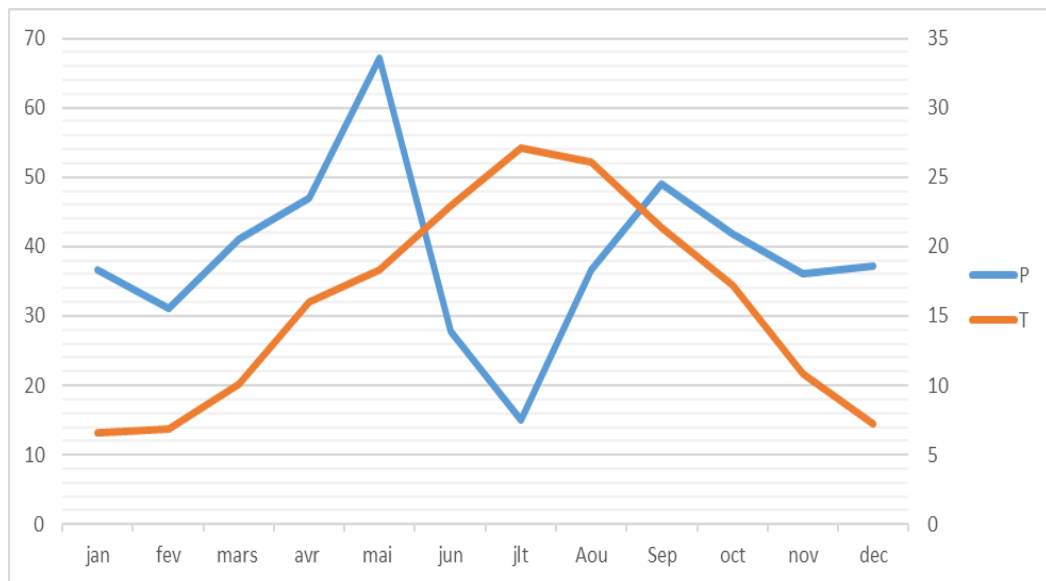


Fig 15 Courbe ombrothermique de la station d'Elhamma.

Deux périodes en été distinguées d'après la fig.(15) qui représente la courbe ombrothermique :

- Période humide : du mois d'Octobre jusqu'à mois du Mai.
- Période sèche : du mois de Juin jusqu'à mois de Septembre.

III.2.2. Les indices

III.2.2.1. Indice de De Martonne

Cet indice est fonction des températures et des précipitations ; il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

où

- I : indice d'aridité
- P : précipitations moyennes annuelles en mm.
- T : températures moyennes annuelles en °C

Application :

- P = 466,84 mm
- T = 15.9 °C
- Ce qui donne :
- I = 18,02

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

- I < 5 : climat hyperaride.
- 5 < I < 7,5 : climat désertique.
- 7,5 < I < 10 : climat steppique.
- 10 < I < 20 : climat semi-aride.
- 20 < I < 30 : climat tempéré.

La station d'El Hamma bénéficie d'un climat semi-aride.

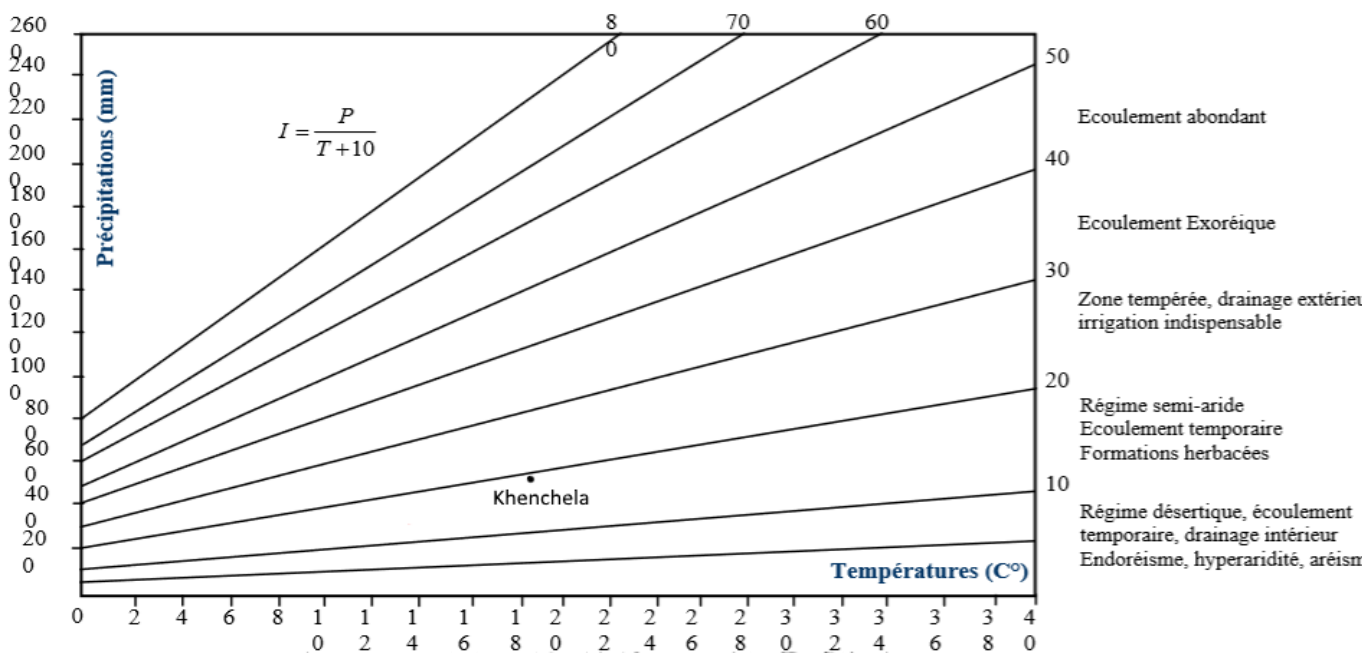


Fig 16 Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne de station d'El Hamma.

III.2.2.2. Climagramme de Louis Emberger

Pour déterminer les climats de la zone méditerranéenne, **L. Emberger** a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q_2 , qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimas et maximas, respectivement des mois le plus froid et le plus chaud. Il propose donc la formule suivante :

$$Q = \frac{p}{2\left(\frac{M+m}{2}\right) \times (M - m)} \times 100$$

Ce quotient a été simplifié par STEWART en 1969 :

$$Q_2 = 3.43 \times \frac{p}{(M - m)}$$

où

- P : précipitation moyenne annuelle (mm).
- M : moyenne des maximas du mois le plus chaud (degrés/Kelvin).
- m : moyenne des minimas du mois le plus froid (degrés/Kelvin)

L'application numérique donne les résultats suivants :

- P = 466,84 mm.
- M = 35 C°.
- m = 2,67 C°.

Ce qui donne :

- $Q_2 = 49,52$.

Le rapport de notre station sur la (**fig.17**) permet de dire que le climat de la région de Khenchela est de type semi-aride.

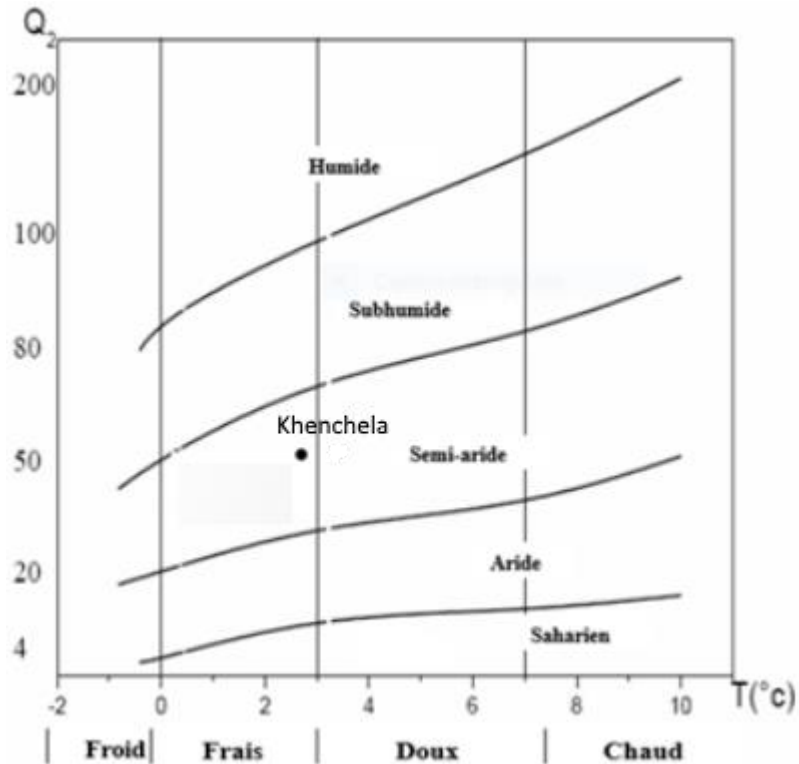


Fig.17 Climagramme d'Emberger de la station d'ElHamma.

III.2.3. CALCUL DES PARAMETRES DE BILAN HYDRIQUE

III.2.3.1. Evapotranspiration potentielle

C'est un élément principal de bilan hydrique, désigne toutes les pertes en eaux par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, elle regroupe l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau pouvant être restituée à l'atmosphère par transpiration des êtres vivants et évaporation du sol et des surfaces d'eaux libres, si celui-ci contient en permanence la quantité d'eau suffisante, alors que l'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la quantité d'eau effectivement transpirée et évaporée.

On utilise la méthode de C.W Thornthwaite pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et cette dernière avec la formule de Turc pour estimer l'évapotranspiration réelle (ETR).

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \times K$$

L'évapotranspiration potentielle (ETP) : La formule utilisée pour le calcul est :

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}$$

- ETP : évapotranspiration potentielle (mm)
- T : température moyenne mensuelle de l'air (°C) :
- I : indice thermique annuel
- a : Coefficient calculé par la formule suivante:

$$a = 1.6 \left(\frac{I}{100}\right) + 0.5 a = 1,67$$

K : Coefficient de correction, qui dépend de la latitude.

$$I = \sum_1^{12} i$$

Tableau.11 Coefficient de correction K dépend du site considéré.

Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16

III.2.3.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée. Elle représente la quantité de vapeur d'eau relativement dégagée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

Des méthodes peuvent être proposées :

❖ La méthode de Thornthwaite :

La méthode de C.W Thornthwaite, où on distingue deux cas principaux :

- ❖ Si $P - ETP > 0$; c-a-d : $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$.
- ❖ Si $P - ETP < 0$; c-a-d : $P < ETP$, ce cas est subdivisé encore en deux cas :
- ❖ Si $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$.
- ❖ Si $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$.

❖ **La méthode de Turc :**

On a choisi la méthode de TURC afin de déterminer l'évapotranspiration réelle (ETR). C'est la méthode la plus répandue, elle tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

- ❖ ETR : évapotranspiration réelles (mm).
- ❖ P : précipitation moyenne annuelle en (mm).
- ❖ L : $300+25T+0.05T^3$ où :
- ❖ T : la température moyenne annuelle en C°.

Application numérique : L= 892,33, ETR=356,36 mm.

Tableau.12 Bilan hydrologique moyen (1998-2018) de la station de Khenchela, par la méthode de Thornthwaite :

	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	jun	jlt	Aou	total
P	49,10	41,82	36,13	37,15	36,71	31,08	41,17	47,06	67,16	27,76	15,01	36,64	466,79
T	21,40	17,20	10,80	7,20	6,60	6,90	10,10	16,00	18,30	22,90	27,10	26,10	190,60
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP	98,94	64,65	26,32	13,05	11,68	12,30	28,18	64,38	89,46	130,17	175,37	155,31	869,82
P-ETP	-49,84	-22,83	9,81	24,10	25,03	18,78	12,99	-17,32	-22,30	-102,41	-160,36	-118,67	
RFU	0,00	0,00	9,81	33,91	58,93	77,72	80,00	62,68	40,38	0,00	0,00	0,00	
ETR	49,10	41,82	26,32	13,05	11,68	12,30	28,18	64,38	89,46	68,14	15,01	36,64	456,08
DA	49,84	22,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,03	160,36	118,67	413,74
EXC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71

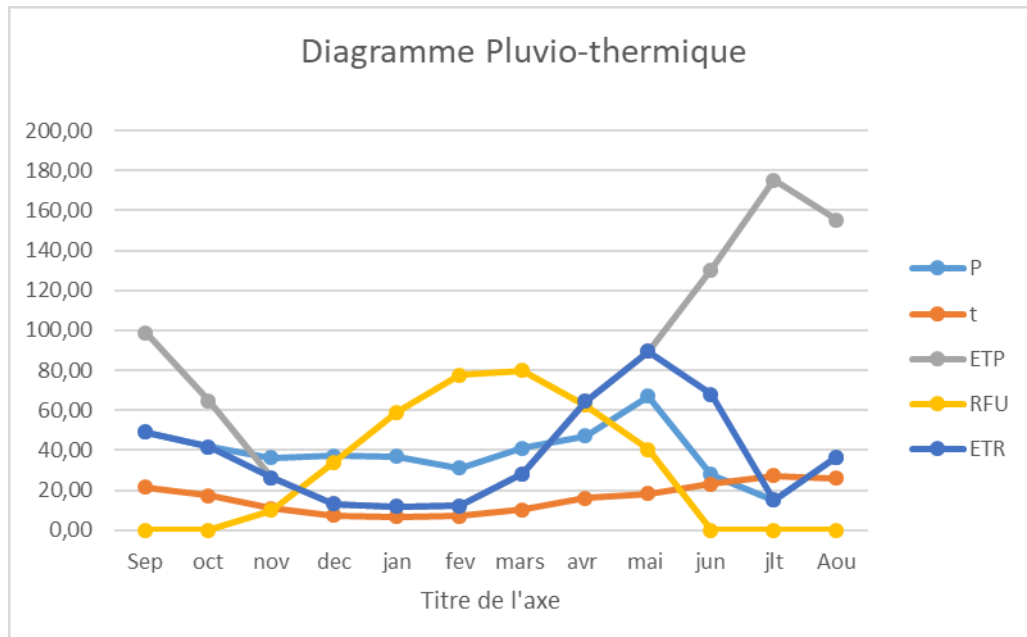


Fig.18 Bilan hydrologique à la station d’El Hamma, par la méthode de Thornthwaite.

L’observation du graphe du bilan hydrologique (Fig.19) nous amène à dire que l’ETP est important du mois d’avril jusqu’au mois d’octobre, avec des valeurs atteignant les 180 mm au mois d’août (1998/2018), rendant ainsi nécessaire l’irrigation. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s’accompagne d’une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de Février et Mars. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu’à l’épuisement du stock.

Conclusion

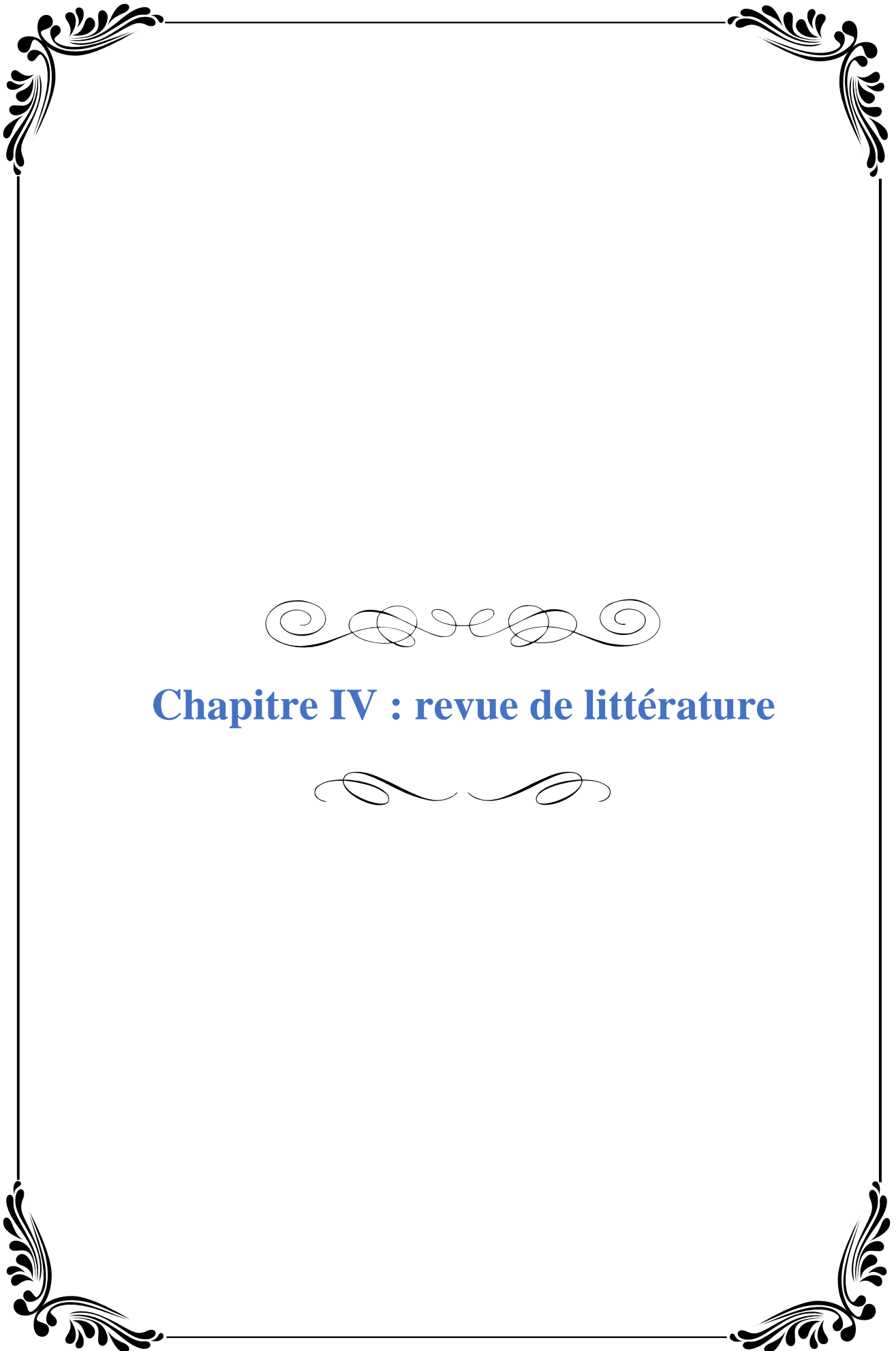
La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat semi-aride.

La répartition des précipitations mensuelles montre deux saisons bien distinctes. Une saison sèche, qui s'étale sur six mois, de mai à octobre. et une saison humide du mois de Novembre à Avril.

Les températures moyennes mensuelles présentent de très importantes variations saisonnières. L'été est chaud la température atteint son maximum au mois de juillet, avec $27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'hiver est relativement doux les températures restent supérieures à 6°C et inférieures à $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, janvier étant le mois le plus froid la température descend jusqu'à $6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

L'humidité atteinte son maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de $71,58\%$. et un minimum au mois de juillet avec une valeur de l'ordre de $39,59\%$.

L'évapotranspiration (ETP) calculée selon la méthode de Thornthwaite est de $869,82\text{ mm}$, l'ETR est de $356,36\text{ mm}$ et un déficit agricole de $413,74\text{ mm}$.



Chapitre IV : revue de littérature

IV.1. Introduction

Les eaux souterraines sont les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car elles sont plus à l'abri des polluants que les eaux de surface (Guergazi et Achour, 2005). Elles sont les eaux des nappes, couches de terrains perméables saturés d'eau. La première nappe rencontrée sous le sol est la nappe phréatique située à moins de 50 mètres de profondeur et généralement séparées de la surface par quelques couches de terrains perméables. Il peut exister des nappes plus profondes, généralement captives (sous pression) situées à plus de 50 mètres de profondeur. Selon la profondeur de l'aquifère, les modes d'exploitation seront différents. Pour capter ces eaux, on peut utiliser (des puits, des forages et des sources).

IV.2. Définitions

IV.2.1. Concept de pollution

Ce terme « pollution » peut se définir comme : une altération du milieu naturel liée à l'activité humaine au travers d'effets directs ou indirects (Ramade, 1993), et plus précisément est l'introduction directe ou indirecte par l'activité humaine de substances susceptibles de porter dans (l'eau ,le sol, l'air) atteinte à la santé humaine et la qualité de l'environnement d'entraîner des détériorations des biens matériels, une détérioration ou une entrave de l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier (Directive 96/61 de l'UE , 1996). D'autre part La pollution est toute modification défavorable du milieu ou de l'écosystème. (Bliefert et Perraud, 2011)

IV.2.2. Pollution des eaux souterraine

Les eaux souterraines, dans la plupart des conditions, sont plus fiables que l'eau de surface. Une des raisons est que l'eau de surface est plus facilement exposée aux polluants (par exemple des usines) par apport les eaux souterraines. Mais ne veut pas dire que les eaux souterraines sont invulnérables à la contamination. Elles sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets volontaires d'effluents polluants, eaux usée ou eau de ruissellement pluvial en milieu urbanisé ou industriel (Pitt et al. 1999; Bower, 2002).

IV.2.3. Les principales sources de pollution des eaux souterraines

Les eaux souterraines contaminées contiennent des substances nuisibles en solution ou en suspension avec des concentrations élevées dépassent parfois celles fixées par les normes nationales ou internationales (Matthess et al., 1985). Ces produits polluants ont deux sources essentielles naturelle et de l'activité anthropique.

IV.2.3.1. Pollution naturelle

Généralement c'est l'ensemble des processus biologiques (la dégradation, consommation de la matière organique, photosynthèse, respiration...), chimiques (par exemple l'oxydoréduction) et physiques tels que la dilution, adsorption. L'eau s'infiltré à travers les sols et les roches peuvent absorber un éventail de composés qui dépendent de la nature du matériel géologique traversé comme le magnésium, le calcium, les chlorures, le bore, le sélénium, etc. Ces processus peuvent également conduire souvent le contaminant à modifier son état physique ou chimique d'origine naturelle (Vrba et Zaporozec, 1994).

IV.2.3.2. Pollution anthropique

Sont l'agriculture qui s'applique d'une manière diffuse sur le territoire, les industries qui sont à l'origine des rejets diversifiés et dernièrement sont les activités domestiques via les rejets des eaux usées et aussi les décharges. (Kenfaouiv, 2008 ; Laurent, 2013)

IV.2.3.2.1. Pollution agricole

L'activité agricole modifie fortement la qualité et la dynamique de l'eau dans le milieu. Par la transformation du couvert végétal, le travail du sol, l'apport de fertilisants et de pesticides, l'agriculture altère le cycle de l'eau comme de ses composés. La croissance de la production agricole au moyen de l'agrochimie et de la mécanisation durant ces dernières décennies a entraîné des dégradations des sols et des eaux dans de nombreuses régions du monde. Ces dégradations varient en fonction des formes et du niveau d'intensification agricole et en fonction du contexte pédo-climatique. (Soulard, 1999).

IV.2.4. La contamination de l'eau souterraine par nitrates

Est un phénomène mondialement grandissant, les (NO₃⁻) représentent le contaminant le plus omniprésent au niveau mondial dans les eaux souterraines et ceux-ci sont étroitement liés aux pratiques agricoles.

L'azote est un nutriment essentiel à la production et à la croissance végétale et il est utilisé mondialement comme fertilisant dans le domaine de l'agriculture (N'Dayegamiye, 2007; Benoit *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2016).

Mais l'excès d'azote peut migrer vers l'aquifère, généralement sous forme de nitrate (NO₃⁻).

Le nitrate (NO₃⁻) est la forme la plus stable de l'azote minéral dans le milieu naturel en conditions aérobies. Cet élément présente des risques pour la santé. Des études ont montré son caractère cancérigène (Gulis *et al.*, 2002; Wolfe, Patz, 2002; Ward *et al.*, 2005), alors que

d'autres épidémiologistes réfutent ce lien (Apfelbaum, 1998; Powlson et al., 2008). Par ailleurs, l'azote induit une perturbation des écosystèmes aquatiques (Haag, Kaupenjohann, 2001) Powlson et al., 2008).

IV.2.5. Pollution de l'eau et modes de transfert des polluants

On appelle pollution la dégradation d'un écosystème par des effets directs ou indirects de substances tels que chimiques, physiques ou biologiques Cette pollution due essentiellement à l'activité humaine, à de plusieurs formes et (ponctuelle, diffuse...). (E.Koller,2004)

Les modalités et le temps de transfert des polluants varient selon les types de polluants et selon le milieu traversé. En effet, le déplacement de l'eau dans les sols est plus complexe par rapport dans les nappes souterraines. Parce que le milieu est variablement saturé au cours du temps et qu'il est très hétérogène dans l'espace (Atteia, 2005).

IV.2.5.1. Pollution diffuse

Concernent de grandes surfaces de sols, elles proviennent généralement d'épandages de produits solides ou liquides (emploi d'engrais ou de pesticides) lors de l'exploitation agricole ou de retombées atmosphériques suite à des activités industrielles. La dispersion puis l'accumulation de substances dangereuses sur ces sols donne ainsi des « sites uniformément contaminés ».

IV.2.5.2. Pollution Ponctuelle

L'inverse des pollutions diffuses, elles se distinguent par la présence ponctuelle dans les sols et sous-sols de substances dangereuses provenant généralement de déversements, de fuites ou de dépôt de déchets. Non confinées et en fortes concentrations, ces substances donnent naissance à des « sites localement contaminés » Elle est accidentelle ou chronique, plus ou moins abondants relativement facilement identifiable; les pollutions localisées peuvent résulter d'évènements accidentels engendrant le déversement de produits toxiques, liés à des conséquences cumulées de diverses activités humaines, tant industrielles qu'agricoles, urbaines, militaires ou de transport. (Ferrer, C. (2012))

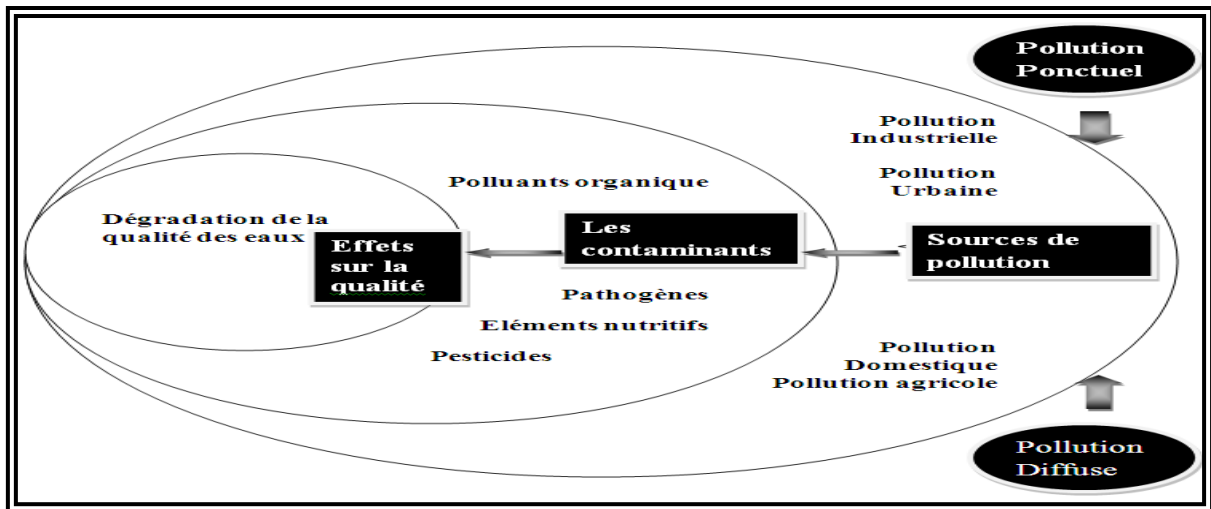


Fig.19 Schéma simplifiée de la pollution des eaux.

IV.3. Méthodes d'estimation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraine

IV.3.1. Notion de vulnérabilité

La contamination et la pollution sont liées à la présence d'un altéragène dans le milieu, provoquant une altération de la qualité de l'eau souterraine. La contamination ne devient pollution que lorsque cette altération présente des effets de nuisance ou de gêne envers l'utilisateur, et a fortiori un risque pour sa santé, et compromet ainsi l'utilisation de cette eau (Simard et al., 1977). La vulnérabilité à la pollution caractérise l'aptitude d'une ressource en eau à être atteinte par une pollution. Elle est fonction des facteurs du milieu qui déterminent la circulation de l'eau. (Hafed, 1999).

IV.3.2. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines

La vulnérabilité des eaux souterraines est une propriété qui est relative, non-mesurable et sans dimension (Vrba et al. (1994). Le terme de la vulnérabilité de l'eau souterraine à aurait été pour la première fois utilisé par Margat (1968) à la fin des années 60. Le concept de la vulnérabilité de l'eau souterraine à la contamination est généralement définit comme la capacité d'un système hydrogéologique à transmettre un contaminant potentiel depuis la surface du sol jusqu'à atteindre la zone saturée (Guillaume, 2012). Véhiculé depuis l'eau de précipitations qui s'infiltré à la surface du sol, la contamination percole ainsi à travers la zone vadose jusqu' à atteindre la zone, (schnebelen et al, 2002)

IV.3.3. Types de vulnérabilité

Comme spécifié par Goldscheider et al. (2004 (1), l'estimation de la vulnérabilité peut être classée en deux catégories : vulnérabilité intrinsèque et vulnérabilité spécifique.

IV.3.3.1. Vulnérabilité intrinsèque

C'est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Cette définition considère que la substance est appliquée directement en surface et voyage au même rythme que l'eau. Le type de contaminant, la vitesse de migration et la dégradation des contaminants ne sont alors pas considérés.

IV.3.3.2. La vulnérabilité spécifique

C'est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque

IV3.4. Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines

Les cartes de vulnérabilité ont toutefois la particularité de ne pas représenter directement les ressources en eaux et leurs éléments associés (niveaux piézométriques, sources ...), mais plutôt un ensemble de paramètres dérivés de ces éléments, voire parfois non-affiliés directement à l'eau souterraine (pente, type de sols...). Elles permettent ainsi de représenter une multitude de données en provenance de sources variées, en les modulant en un nombre limité d'indices relatifs de vulnérabilité. Ces cartes sont également dépendantes du temps dans le sens où les paramètres utilisés (profondeur du niveau piézométrique, intensité de la recharge...) peuvent varier temporellement. Concrètement, la cartographie de vulnérabilité établit une représentation spatiale du degré de vulnérabilité d'un aquifère donné à une contamination potentielle, basée sur les attributs hydrogéologiques, géomorphologiques et hydrologiques (par exemple climat, pluviométrie) de celui-ci. Une carte de vulnérabilité subdivise ainsi une portion de territoire en unités spatiales homogènes montrant un même indice de vulnérabilité, basé sur plusieurs paramètres de l'unité spatiale considérée (paramètres géologiques, pédologiques). Conséquence de la sélection arbitraire des paramètres et des calculs d'indices pour l'estimation de la vulnérabilité, deux unités spatiales différentes montreront ainsi des valeurs de vulnérabilité *relatives*. Vrba et al. (1994).

IV.4. Description des deux méthodes

IV.4.1. DRASTIC LU

La méthode DRASTIC LU se base sur les paramètres relatifs uniquement à la zone vadose, ou zone non saturée de la nappe et le type de sol (Sinan et al., 2000), et ne prend pas en compte (la perméabilité et la nature lithologique), parce que ces deux paramètres n'interviennent pas dans le transfert vertical de la pollution à partir de la surface du sol.

Certains scientifiques ont montré que la vulnérabilité des nappes peut être élaborée sans faire appel à tous les paramètres DRASTIC (BARBER et al., 1993 ; MERCHANT, 1994).

La méthode DRASTIC LU est utilisée pour l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité spécifique verticale à la pollution des nappes par systèmes paramétriques.

Où :

- Is l'indice de vulnérabilité selon la méthode SI ;
- ✓ $ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp + LUc \times LUp$
- P. Etant le poids du paramètre (varie de 1 à 5).
- La cote associée (varie de 1 à 10).

Les valeurs des poids des paramètres de la méthode DRASTIC LU utilisées sont celles définies par Aller et al. (1987). Ces valeurs sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 13 Poids des paramètres DRASTIC LU (after Aller et al. 1987).

Paramètre	Poids
D : Profondeur du plan d'eau	5
R ; Recharge efficace	4
A : matériau de l'aquifère	3
S : Type de sol	5
T : Pente du terrain	3
I : Impact de la zone non saturée	4
C : Conductivité hydraulique	2
LU : land use	5

IV.4.2. La méthode SI « Susceptibility Index »

Cette méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale a été développée au Portugal par Ribeiro L. (2000), SI est une version modifiée du modèle DRASTIC. Qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides). Cinq paramètres sont pris en considération par cette méthode. Quatre (D, R, A et T) sont communs à la méthode DRASTIC. Le cinquième paramètre traduit les activités anthropiques, à travers l'occupation du sol OS. La classification utilisée pour ce paramètre est la classification CORINE Land Cover (ESA. 2016) Une valeur comprise entre 0 et 100 est attribuée à chaque classe d'occupation du sol.

L'équation fait intervenir les poids des paramètres SI attribués selon la formule suivante:

- $Is = (Dp + Rp + Ap + Tp) \times 10 + OSp$

Où :

- Is l'indice de vulnérabilité selon la méthode SI :

D, R, A, T, sont les paramètres de DRASTIC

P sont les poids des paramètres SI.

Selon les valeurs de l'indice de vulnérabilité, la méthode SI présente quatre classes de degrés de vulnérabilité (Achour M. 2014).

IV.5. Système d'information géographique (SIG)

IV.5.1. Présentation de la méthode

Le concept SIG est né en 1963, proposé par le topographe canadien R.F. Tomlinson, le SIG a commencé à pénétrer et à être appliqué dans les différents pays, dans les différents domaines. Le SIG s'est rapidement impliqué dans (la science informatique, la science de l'information, la télédétection, la géographie, la cartographie, les études environnementales, les études de ressources). Les Systèmes d'Information géographique (SIG) sont des outils performants par excellence pour l'étude de l'environnement et la modélisation spatiale des phénomènes naturels (Goodchild, 1996). Ils permettent l'analyse et le traitement de grandes masses de données spatiales et facilitent également l'élaboration des cartes de vulnérabilités des aquifères. En effet, ces logiciels facilitent les analyses multicritères et les mises à jour des modèles élaborés (KaidRassou, 2009). Le Système d'Information géographique (SIG) compte parmi les nouvelles techniques informatiques destinées au domaine de prévision et d'intervention puisqu'il répond à une problématique de gestion, de planification et d'aménagement (Gaaloul, 2009). Pour la réalisation de cartes de vulnérabilité, plusieurs logiciels peuvent être utilisés notamment ceux à systèmes matriciels (format raster), ceux à systèmes vectoriels et les logiciels permettant l'utilisation des deux systèmes.

IV.5.2. Composants d'un SIG

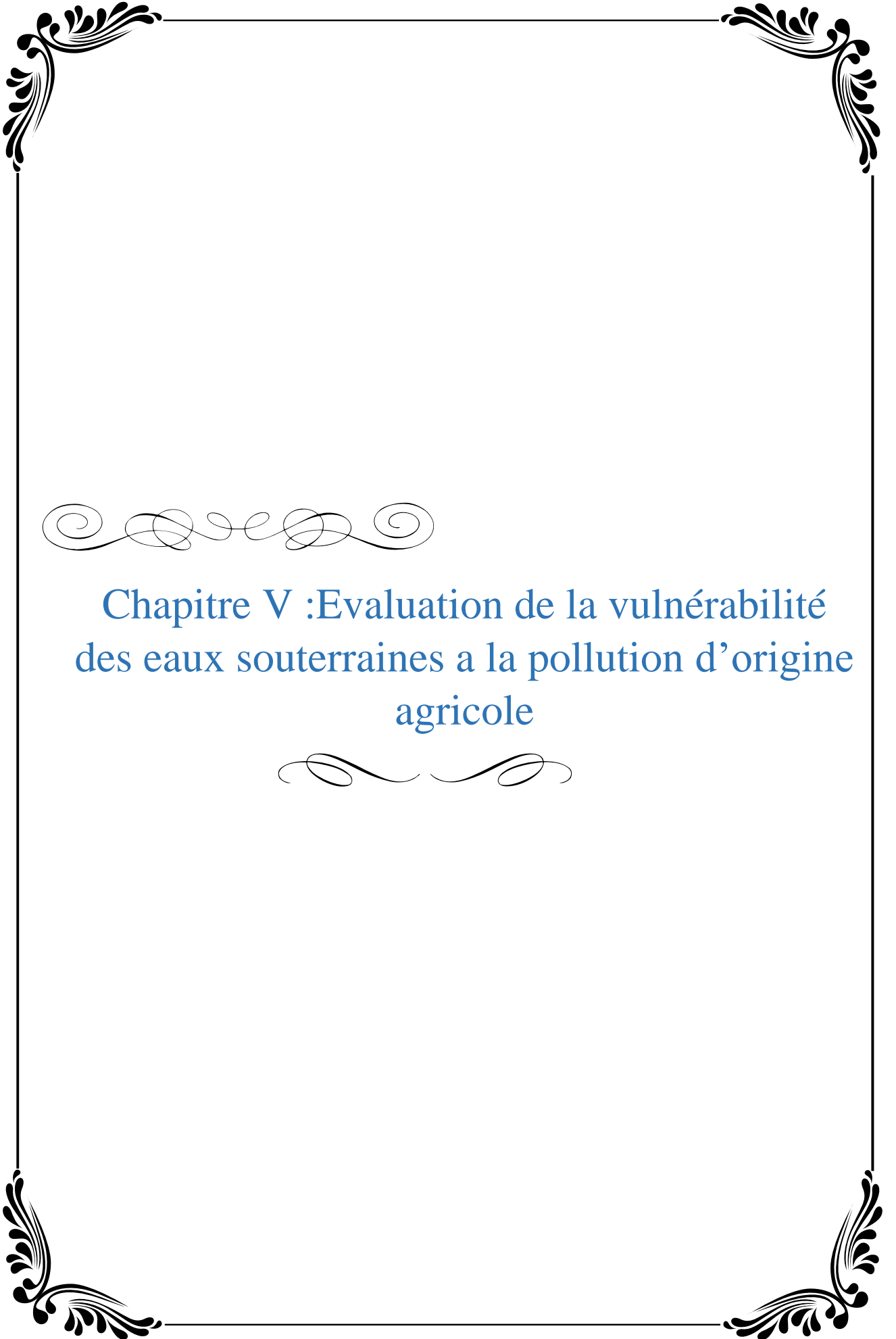
Les utilisateurs (spécialiste en géomatique, géographe...)

- Les processus de travail (principes et méthodes) (méthodes de collecte de données, de structuration et d'entreposage, norme intégrité des données...)
- Les données géographiques structurées : Base de données à référence spatiale [accès, qualité et sécurité des données] ; sources fiables (ANSD, ANAT, CSE...).
- Le matériel physique (tels les ordinateurs, serveur, tablette électronique...)
- Les logiciels (ArcGIS, MapInfo...) (Manga. 2015).

IV.6. Conclusion

La méthode DRASTIC LU et SI (Susceptibility Index). sont des méthodes d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines indépendamment du type de polluant et qui prend en compte la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui affectent et contrôlent l'écoulement des eaux souterraines : la profondeur de l'eau(D) et la recharge efficace(R), les matériaux de l'aquifère(A), le type du sol(S), la topographie (T), l'impact de la zone vadose (zone aérée) (I) et la conductivité hydraulique de l'aquifère(C) et Land Use(LU) Tous Ces facteurs sont représentés par des poids et des côtes qui dépendent respectivement de leur importance relative et des conditions hydrogéologiques locales.

Dans les SIG, chaque paramètre est noté sur une couche en lui affectant une valeur numérique correspondant à son poids, c'est à dire son influence sur la vulnérabilité de la nappe. Par la suite, ces couches sont superposées sur une couche résultat où sera calculé l'indice DRASTIC LU et SI



Chapitre V :Evaluation de la vulnérabilité
des eaux souterraines a la pollution d'origine
agricole

V.1.Introduction

Parmi les nombreux outils cartographiques à la disposition de toute personne responsable de la gestion des ressources en eaux souterraines ou de l'aménagement du territoire, la carte de vulnérabilité qui représente un des éléments-clés pour la protection et la gestion des ressources en eau. Les cartes de vulnérabilité ont toutefois la particularité de ne pas représenter directement les ressources en eaux et leurs éléments associés (niveaux piézométriques, sources, etc.), mais plutôt un ensemble de paramètres dérivés de ces éléments. Elles permettent ainsi de représenter une multitude de données en provenance de sources variées, en les modulant en un nombre limité d'indices relatifs de vulnérabilité. Ces cartes sont également dépendantes du temps dans le sens où les paramètres utilisés (profondeur du niveau piézométrique, intensité de la recharge, etc.) peuvent varier temporellement.

Dans cette étude en a fait recours aux travaux réalisés par BELHEDDAD Y et BAALI A sous la direction de Mr BOULABEIZ M en 2018 dans le cadre du mémoire de master. Deux méthodes ont été appliqués DRASTIC LU (modifié) (after Aller et al, 1987) et SI (Ribiero 2000)(suceptibilité index). Ces méthodes estiment la vulnérabilité des eaux souterraines aux pollution agricole (vulnérabilité spécifique).

V.2.Méthodologie utilisée dans l'élaboration des cartes de vulnérabilités

V.2.1.Logiciels utilisés

Dans l'étude de la vulnérabilité de la région d'étude le logiciel ArcGIS version10.3 a été utilisé comme environnement SIG. ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (EnvironmentalSystemsResearch Institute, Inc.).

ArcGIS for Desktop offre des applications SIG professionnelles complètes qui prennent en charge diverses tâches SIG, notamment la cartographie, la compilation de données, l'analyse, la gestion des géodonnées et des images et le partage d'informations géographiques.

ArcGIS for Desktop est la plate-forme que les professionnels des SIG utilisent pour gérer leurs projets SIG et pour développer des données, des cartes, des modèles et des applications. Il est également le point de départ et la fondation du déploiement du SIG dans les organisations et sur le web. Il est utilisé pour publier et partager des informations géographiques avec d'autres. Les utilisateurs peuvent :

- Partager avec d'autres utilisateurs professionnels des paquetages de cartes et d'autres paquetages SIG

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

- Partager avec tout le monde via des appareils mobiles, le Web et des systèmes personnalisés en publiant des cartes et des services d'informations géographiques connexes au moyen de ArcGIS for Server et ArcGIS Online.

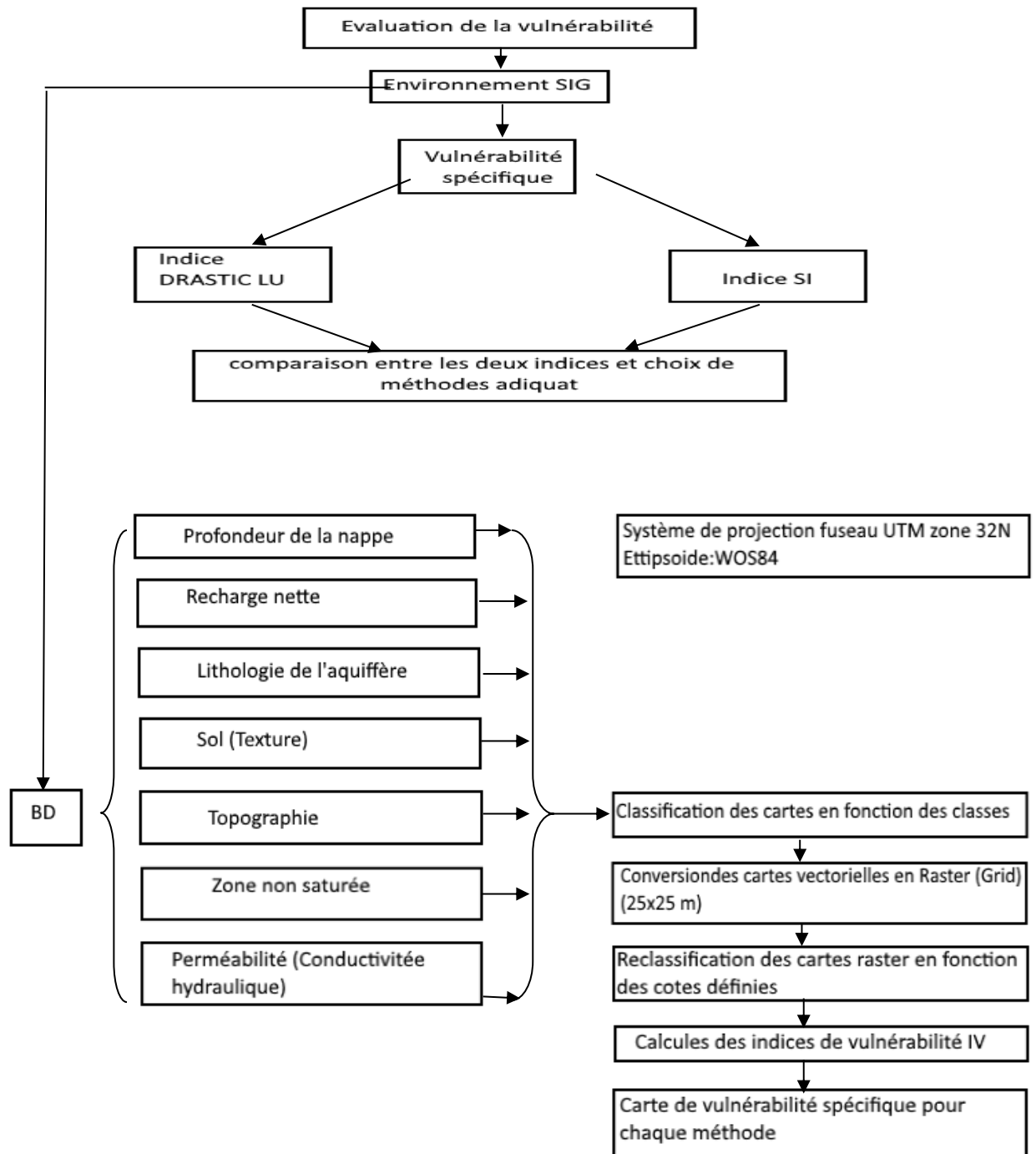


Fig.20 Organigramme présentant les étapes de la réalisation de la carte de vulnérabilité d'après les deux méthodes.

Notre travail consiste à cartographier la vulnérabilité spécifique à la pollution d'origine agricole basant sur les caractéristiques du milieu physique (invariable dans le temps) et l'occupation du sol (variable dans le temps). Pour cela deux méthodes ont été choisies il s'agit de la méthode DRASTIC LU (after Aller et al, 1987) et la méthode SI (suscéptibilité index) (Ribiero 2000)

Les critères sur laquelle reposent ces deux méthodes (Fig.21) représentent les facteurs du transfert de substances polluantes depuis la surface vers les eaux souterraines.

La construction des cartes de vulnérabilité comprend les étapes suivantes :

- Recueil des données relatives à chaque critère.
- Rassemblement des données en classes et indexation des classes.
- Cartographie de chaque critère.
- Pondération des critères.

Dans ce travail, nous avons utilisé une représentation de données en mode vecteur. Les cartes sont obtenues soit par digitalisation des cartes existantes soit par interpolation de données ponctuelles.

L'interpolation est la procédure qui permet d'estimer la valeur d'une variable dans un endroit déterminé, à partir d'un certain nombre de points de mesure, pour la calculer en chaque point de la zone étudiée. Plusieurs méthodes d'interpolation, déterministes et géostatistiques, sont utilisées pour la spatialisation des données ponctuelles telles que la méthode IDWA (Inverse Distance Weighted Averaging), la méthode spline (splining), la méthode de Thiessen, le krigeage et la méthode de triangulation.

V.3.Résultats et discussion

V.3.1.Méthode DRASTIC LU

La description de la méthode DRASTIC LU est dans le chapitre 4.

V.3.1.1.Profondeur de la nappe « D »

Le paramètre profondeur de la nappe d'eau souterraine est un paramètre très important dans l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère (Jourda et al., 2007), correspond au niveau de l'eau en-dessous de la zone non saturée. Ainsi les nappes moins profondes sont facilement accessibles par les polluants infiltrés. (Plus la profondeur au toit de la nappe est importante, moins la zone est vulnérable). La profondeur dans la zone d'étude va de 1,5 m comme minimum pour atteindre une profondeur supérieure à 30 m.

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

La carte des profondeurs de la nappe de Gareat El Tarf montre six classes (Fig.22) :

- 1^{ère} classe : >30 m : représente 7,10 % de la superficie totale de la région est située à l'Est et le Nord du bassin. Une note de 1 est attribuée.
- 2^{ème} classe (22,5 m-30 m) : représente 7,19% de la superficie totale de la région est située à l'Est et le Nord du bassin. Une note de 2 est attribuée.
- 3^{ème} classe (15 m-22 m) : représente 28,52% de la superficie totale de la région est située à l'Est du bassin.une note de 3 est attribuée.
- 4^{ème} classe (9 m-15 m) : représente 35,50% de la superficie totale de la région est située dans l'Ouest allant vers le Sud- Ouest et dans le centre de la zone d'étude avec une note de 5 est attribuée.
- 5^{ème} classe (4,5 m-9 m): représente 21,20% de la superficie totale de la région occupe la partie centrale et le Sud de la zone d'étude. Une note de 7 est attribuée.
- 6^{ème} classe (1,5 m - 4,5 m) : représente 0,48% de la superficie totale de la région est située dans le centre et Nord-ouest et Sud-ouest du bassin.une note de 9 a été attribué.

Tableau 14Poids et cote du paramètre profondeur à la nappe.

Gammes	Cotes	Poids
>30	1	5
22,5 - 30	2	
15 - 22	3	
9 – 15	5	
4,5 – 9	7	
1,5 – 4,5	9	

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

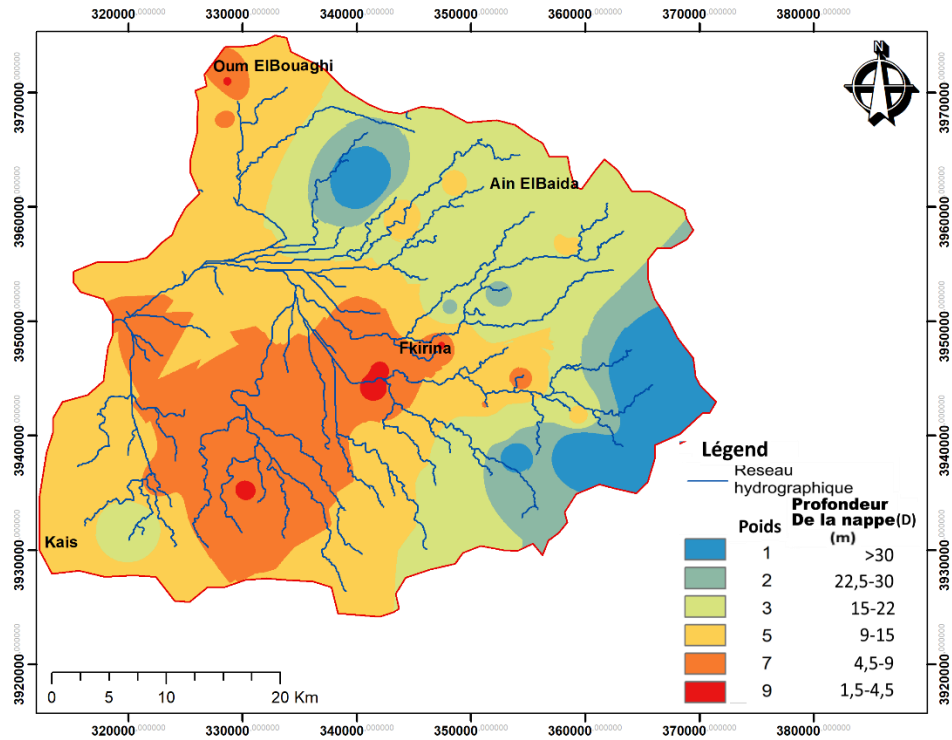


Fig.21 La carte de la profondeur de la nappe de la zone d'étude.

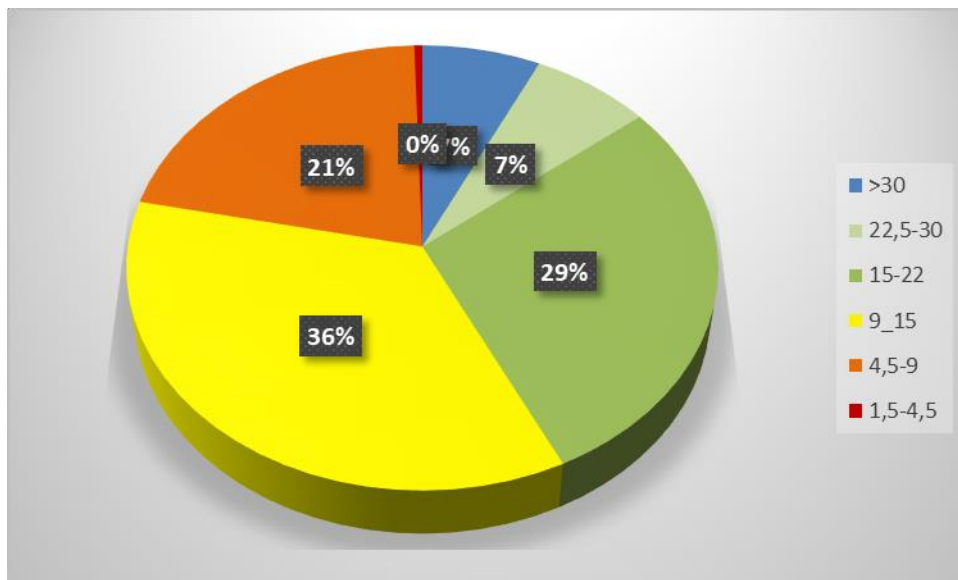


Fig. 22 Représentation de la profondeur de la nappe en %

V.3.1.2.Recharge nette « R »

On peut définir ce paramètre comme le mécanisme qui véhicule ou transporte le polluant vers la profondeur ça veut dire l'aide à s'infiltrer. Plus les valeurs de cette recharge sont grandes, plus le risque de contamination est élevé, le moteur principal de ce mécanisme est les eaux de précipitation sans oublier la contribution importante des eaux d'irrigation dans notre zone d'étude. La recharge nette dans la zone d'étude est obtenue selon la méthode Williams and Kissel (1991). Cette méthode a été appliquée pour plusieurs zones semi-arides aux Etats Unis. La recharge « R » est calculée selon cette méthode avec les équations suivantes correspondantes à différents groupes hydrologiques de sols :

$$R = (P - 10.28) / (P + 15.43) \rightarrow \text{groupe hydrologique A.}$$

$$R = (P - 15.05) / (P + 22.57) \rightarrow \text{groupe hydrologique B.}$$

$$R = (P - 19.53) / (P + 29.29) \rightarrow \text{groupe hydrologique C.}$$

$$R = (P - 22.67) / (P + 34.00) \rightarrow \text{groupe hydrologique D.}$$

Où P est la somme des précipitations annuelles et irrigation, exprimée en pouces. Les quatre groupes hydrologiques A, B, C et D correspondent aux types de sols classés en fonction de leur infiltration (Viessmann., et al. 1977).

Quatre classes ont été définies dans la zone d'étude .la recharge diminue en allant vers El Garaet (de 0 à 5 mm) d'autre part La recharge maximum est observée aux limites du bassin avec une note de 9. (>250 mm) On a :

- Classe 1 (0 - 50 mm) : représente 11,22% de la superficie totale de la région. Situé dans le centre du bassin.une note de 1 est attribuée.
- Classe 2 (30 mm -100 mm) : représente 21,61% de la superficie totale de la région. Situé dans le centre sauf une portion dans le Sud- Est de la zone d'étude. une note de 3 est attribuée
- Classe 3 (100mm-175mm) : représente 18,67% de la superficie totale de la région. Situé dans le centre et dans le Sud- Ouest du bassin.une note de 6 est attribuée.
- Classe 4 > 250 mm : représente 48,50% la superficie totale de la région. Situé dans l'Est de la zone d'étude sauf une portion qui est située dans l'Ouest.une note de 9 est attribuée.

Tableau.15 Poids et Notes du paramètre de Recharge de la nappe de Gareat El Tarf.

Gammes	Notes	Poids
0-5	1	4
3-10	3	
10-17.5	6	
>25	9	

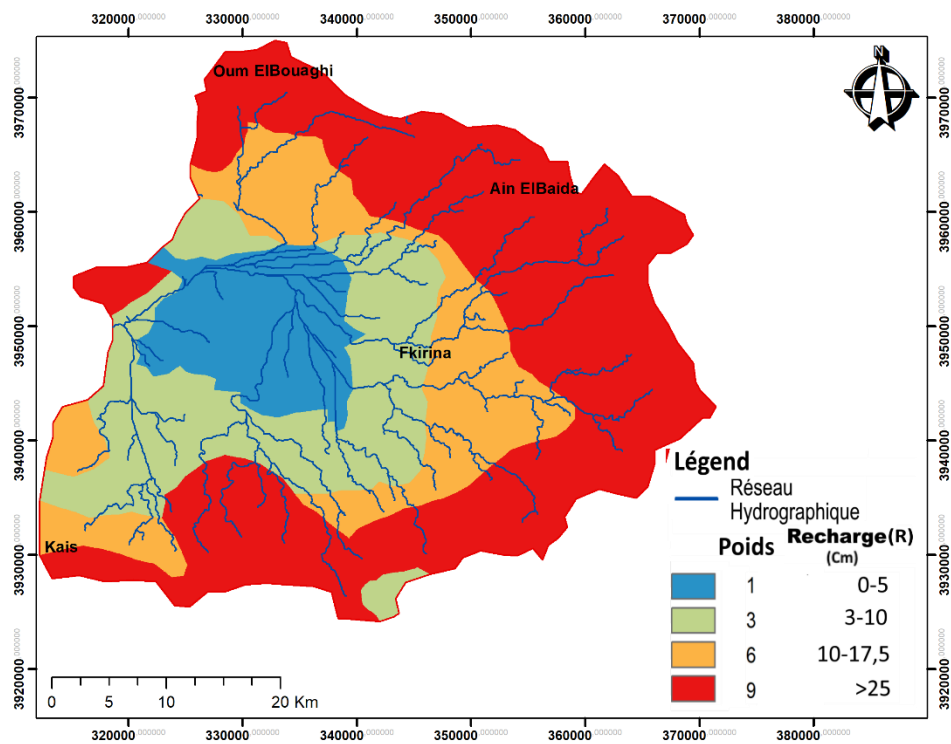


Fig.23 La carte de recharge nette de la nappe de la zone d'étude.

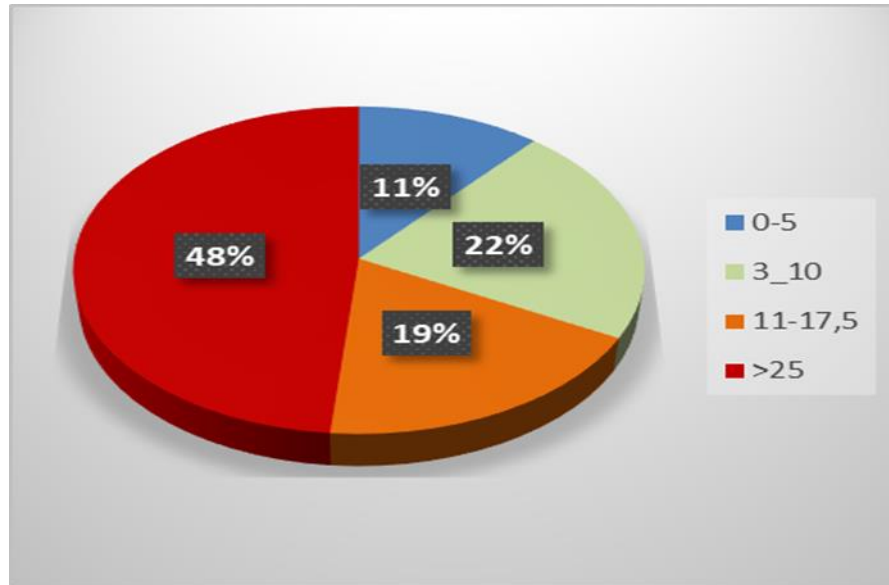


Fig. 24 Représentation de la recharge nette de la nappe en %

V.3.1.3.Lithologie de l'aquifère « A »

La circulation et la propagation d'un contaminant dans la zone saturée dépendent de la texture et la distribution lithologique des couches de l'aquifère. Cela est toujours contrôlé par la granulométrie, la porosité, la perméabilité et la lithologie des formations géologiques (Smida H. 2007). Dans la présente étude la lithologie de l'aquifère est tirée des coupes lithologiques et de carte géologique de la région (Jourda et al. 2007).

La répartition spatiale des niveaux réservoir de GareatTarf montre quatre classes lithologiques

- Classe 1 : représente 13,85% de la surface totale (en bleu), cette formation est située généralement dans le sud de la zone d'étude. L'aquifère est formé par l'argile. une note de 2 est attribuée
- Classe 2 : représente 19,85% de la surface totale (en vert), cette formation est située dans le centre et le sud et Sud- Ouest de la zone d'étude et L'aquifère est formé par marneuses calcaires. une note de 3 est attribuée
- Classe 3 : représente 21,51% de la surface totale (en orange), cette formation est située dans le centre et l'Ouest de la zone d'étude. L'aquifère est formé par argile-gravier du calcaire. une note de 4 est attribuée

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

- Classe 4 : représente 45,07% de la surface totale (en rouge) , cette formation présente la formation dominante ou on la trouve dans le Nord- Ouest vers le Sud- Est de la zone d'étude. L'aquifère est formé principalement par des argiles sableuses et graviers. une note de 5 est attribuée.

Tableau 16 Poids, note et indice du paramètre Lithologie de l'aquifère de Gareat el Tarf.

Zones	Notes	Poids
Argile	2	3
Marno-calcaire	3	
Argile– Graviers de calcaire	4	
Argile sableuse – Graviers	5	

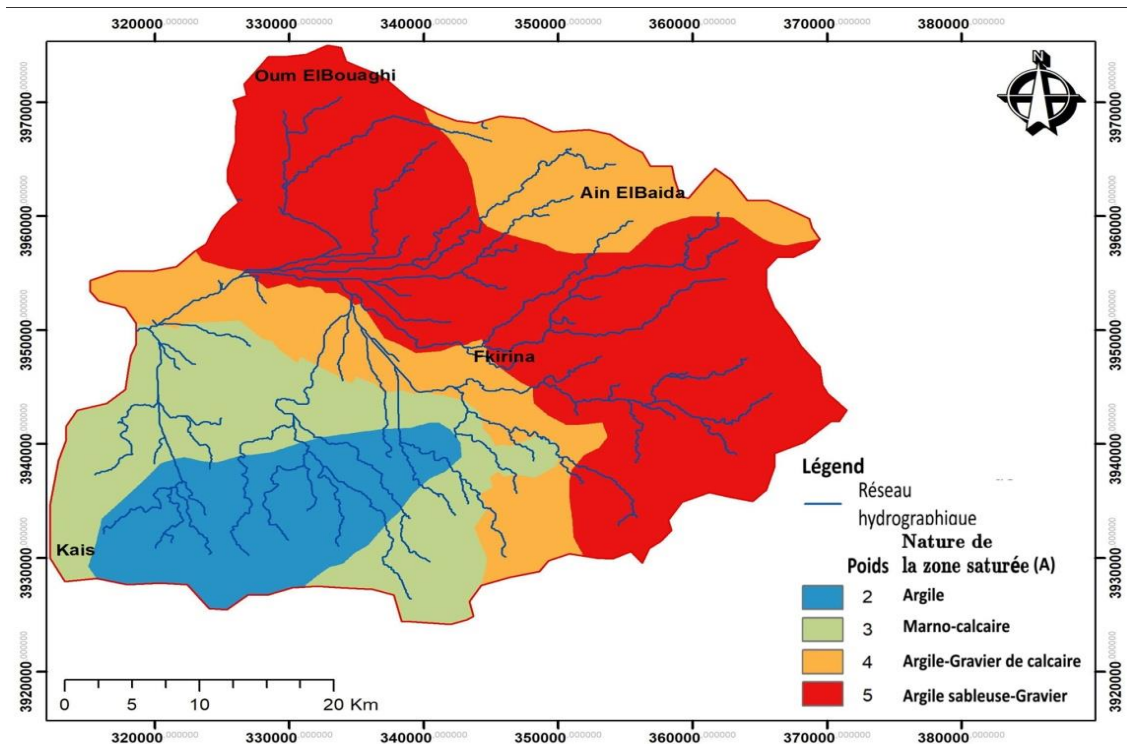


Fig. 25 La carte de lithologie de la zone d'étude.

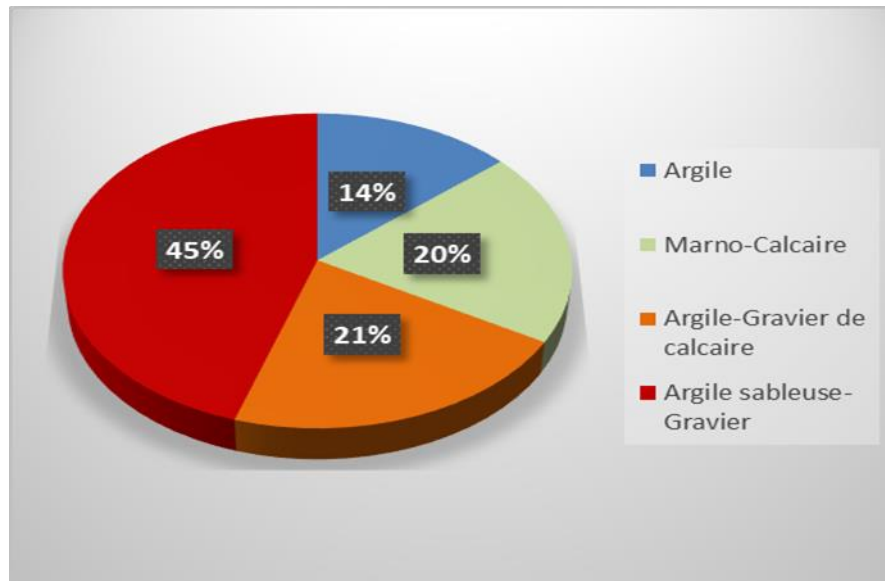


Fig. 26 Représentation de la lithologie de la nappe en %

V.3.1.4. Sol (Texture) « S »

Les caractéristiques du sol guident le mouvement descendant des contaminants. La présence de matériaux fins (argiles, silts et limons) et de la matière organique dans le sol diminue la perméabilité intrinsèque, et retarde la migration des contaminants, par les processus physico-chimiques (adsorption, échange ionique, oxydation) et la biodégradation ça veut dire plus le polluant est en interaction avec ses processus, plus le potentiel de pollution diminue (Smida H. 2007).

Cinq classes ont été définies dans la nappe :

- Sols Argileux : représentent 11,23% de la superficie de la zone d'étude avec une note de 1 est attribuée.
- Limon argileux : représentent 23,83% de la superficie de la zone d'étude. une note 3 est attribuées aux bassin.
- Sols Limon sableux : représentent 23,32% de la superficie de la zone d'étude, couvrant la partie qui entourant Garaet El Tarf. une note de 6 est attribuée.
- Sols Argile Agrégats : représentent 33,38% de la superficie, couvrant le demi-cercle Oum El Bouaghi, Ain El Beida. une note de 7 est attribuée.
- Sols Calcaire fissurés : représentent 8,23% de la superficie, située dans le Nord-Ouest et l'Est de la zone d'étude correspond aux calcaires de maestrichien. une note de 10 est attribuée.

Tableau17 Poids et notes des types de sols de Gareat El Tarf.

Zones	Notes	Poids
Argile	1	5
Limon argileux	3	
Limon sableux	6	
Argile Agrégat	7	
Sol calcaire fissuré	10	

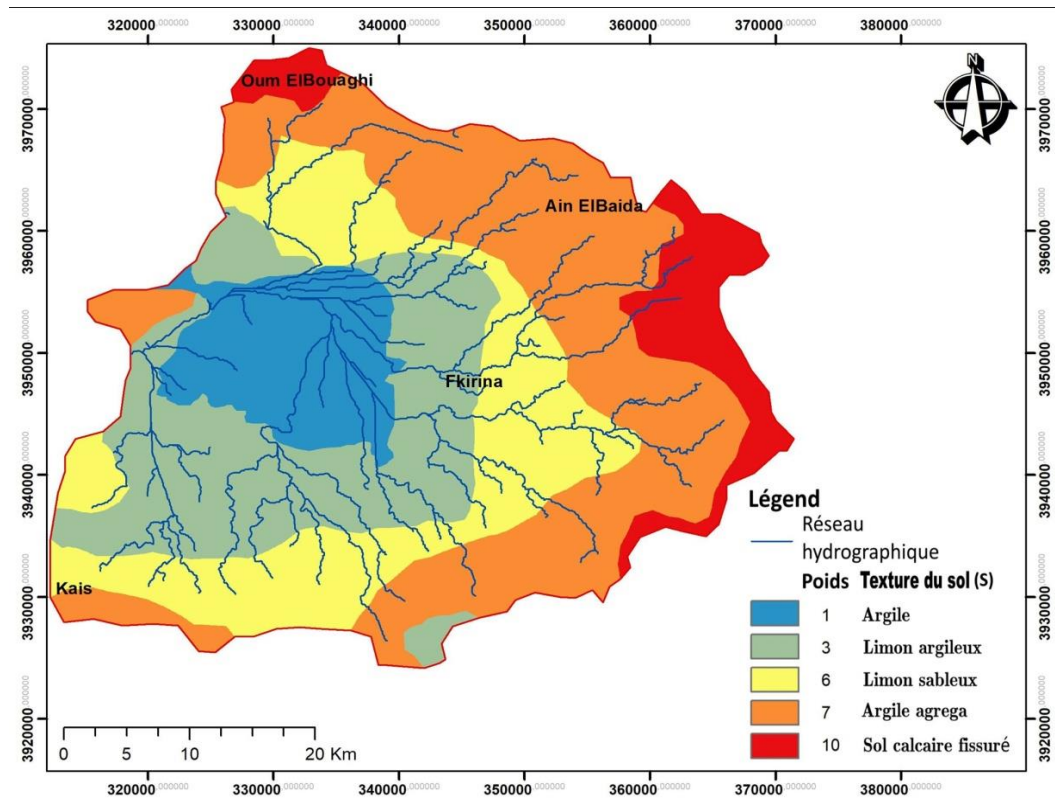


Fig. 27 La carte de la texture du sol de la zone d'étude.

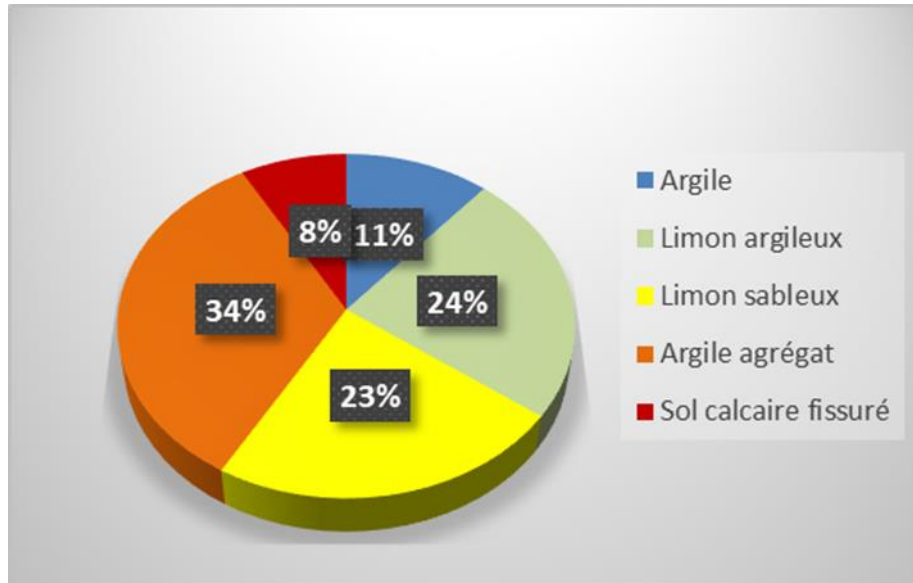


Fig. 28 Représentation de texture du sol en %.

V.3.1.5. La pente (T)

La topographie s'intéresse à la pente de la surface du sol et indique si un polluant fuira ou restera à la surface pour s'infiltrer dans la nappe. Plus la pente est grande, moins est le potentiel de pollution à cause de l'effet de l'élévation de taux d'érosion et de ruissèlement (Smida H. 2007).

- >18% : représente 1,6% de la superficie totale. Situé principalement dans le Nord et l'Ouest de la zone d'étude avec quelque portion dans l'Est et le sud. Les eaux de précipitation se ruissèlent facilement, une note de 1 Est attribuée
- 12%-18% : représentent 3,21% de la superficie totale. Cette classe prend la même situation que la classe précédente, une note de 3 Est attribuée
- 6%-12% : représente 18,76% de la superficie totale. Cette classe prend la même situation que la classe précédente, une note de 5 Est attribuée.
- 2%-6% : représente 56,59% de la superficie totale. Elle est présente presque dans toute la superficie de la zone d'étude sous forme de petites taches, une note de 9 Est attribuée
- 0% - 2% : représente 19,83% de la superficie totale. Et elle représente la classe dominante dans la zone d'étude. Elle occupe la majorité de la superficie de la zone d'étude. Le ruissèlement ici est faible ce qui favorise l'infiltration des polluants, une note de 10 est attribuée

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

Tableau. 18 Poids et Note du paramètre de Pente de Gareat El Tarf.

Gammes	Notes	Poids
0-2	10	3
2-6	9	
6-12	5	
12-18	3	
>18	1	

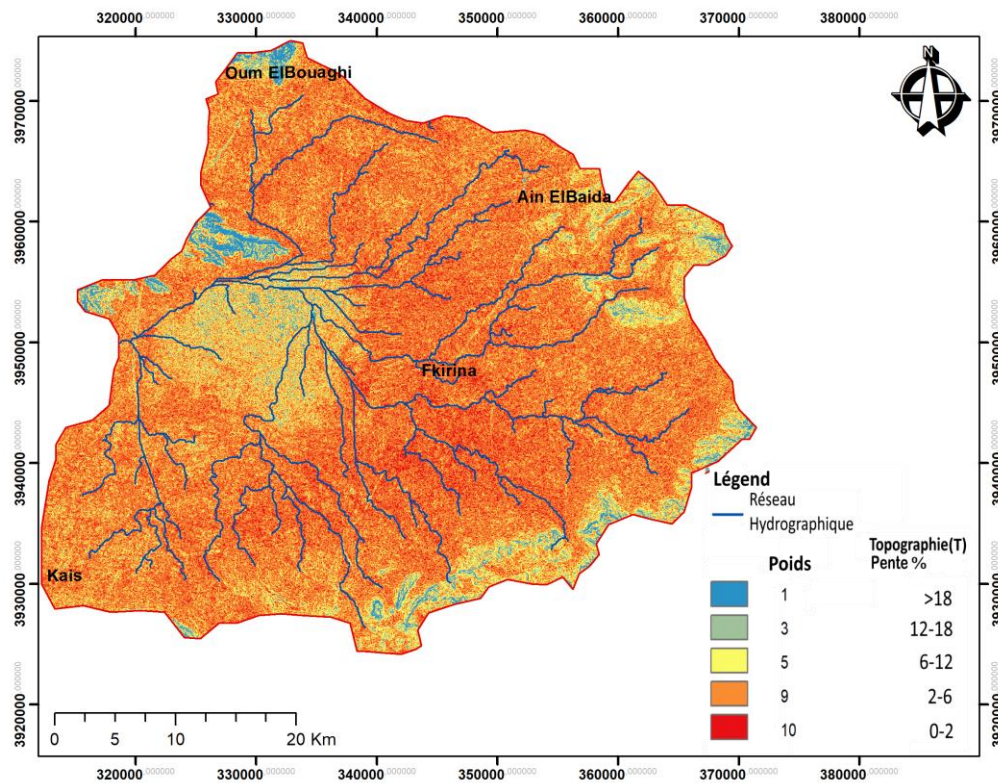


Fig.29 La carte de la topographie(pente) de la zone d'étude

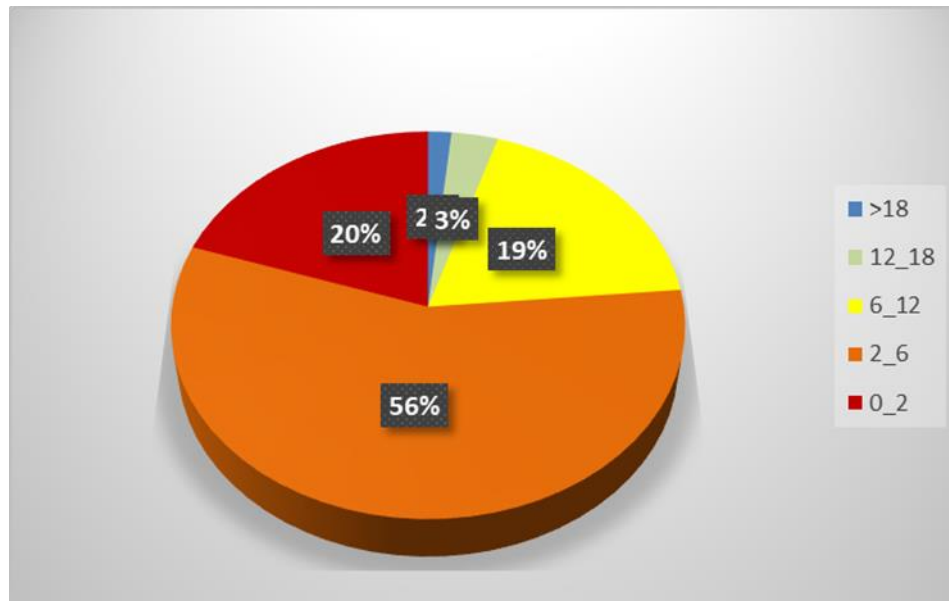


Fig.30 Représentation de la pente en %

V.3.1.6. Nature de la zone non saturée « I »

La zone non saturée est définie comme la fraction entre la nappe et la surface du sol où les pores sont partiellement saturés en eau. La perméabilité de cette zone non saturée contrôle la circulation des polluants et leur arrivée à la nappe. La plupart des processus physico-chimiques qui ont lieu dans cette zone sont influencés par l'épaisseur de cette partie. L'infiltration et la dispersion des contaminants sont guidées par les caractéristiques lithologiques des couches qui contrôlent leurs chemins et leurs trajectoires en sub-surface (Smida H. 2007).

Dans notre zone d'études la zone non saturée est répartie en six classes selon la note attribuée

- **Les argiles** : Représente 4,82% de la superficie totale. Présente dans la région sous forme des lentilles dans le Sud de la zone d'étude. une note de 2 Est attribuée.
- **Argile et gravier de calcaire** : Représente 28,46% de la superficie totale. Prendre la même situation de la classe précédente et aussi dans le Nord, une note de 3 Est attribuée
- **Argile, calcaire et gravier** : Représente 22,17% de la superficie totale. Présente généralement dans le centre et le Nord de la zone d'étude, une note de 4 Est attribuée
- **Terre arable** : Représente 42,93% de la superficie totale. Située dans le centre, l'Est et le Nord de la zone d'étude, une note de 5 Est attribuée

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

- **Calcaire** : Représente 1,5% de la superficie totale. Présente dans la région sous forme des lentilles dans l'Est de la zone d'étude, une note de 6 Est attribuée
- **Gravier et sable** : Représente 0,13% de la superficie totale. Occupe une petite surface dans la région et située dans l'Ouest de la zone d'étude, une note de 7 Est attribuée

Tableau19 Poids et Note du paramètre Impacte de la zone de Gareat El Tarf.

Zone	Notes	Poids
Gravier-Sable	7	4
Calcaire	6	
Terre arable	5	
Argile-Calcaire-Gravier	4	
Argile-Gravier de calcaire	3	
Argile	2	

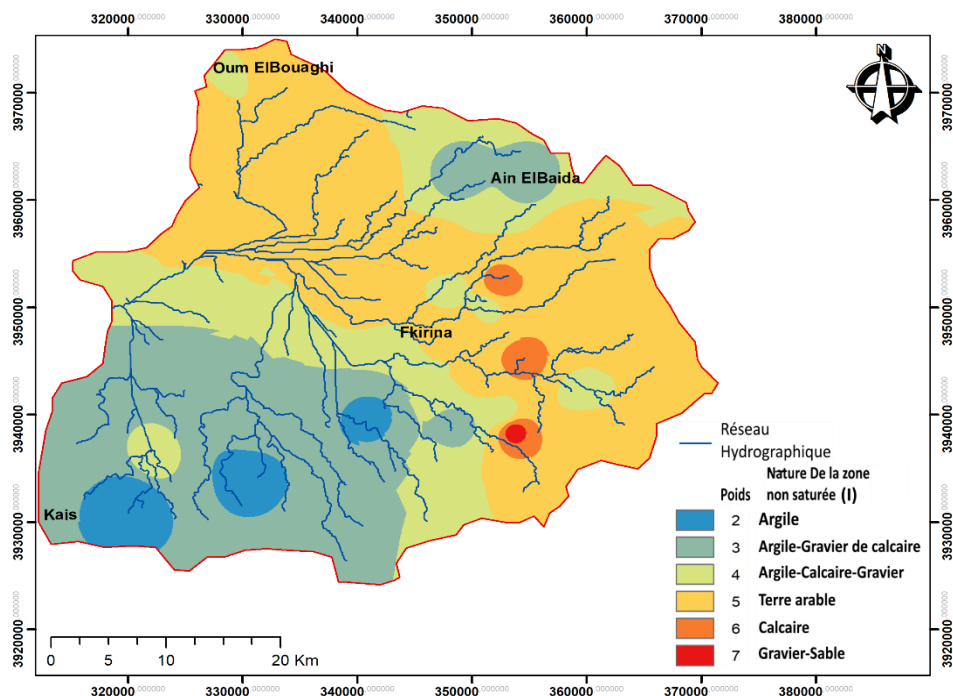


Fig.31 La carte de la nature de la zone non saturée de la zone d'étude.

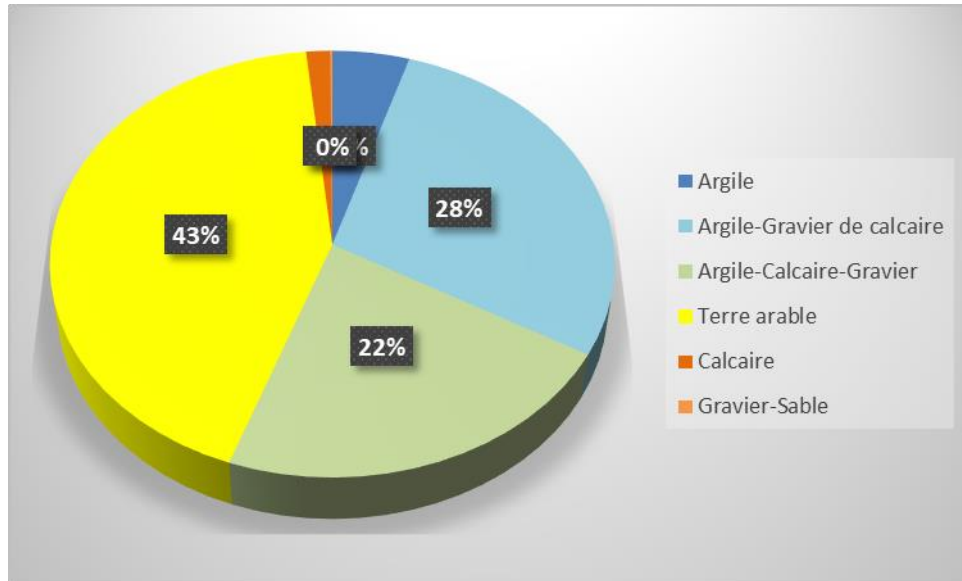


Fig.32 Représentation de la nature des zones saturées en %.

V.3.1.7. Conductivité hydraulique « C »

La conductivité hydraulique contrôle la migration des contaminants et leur dispersion du point d'injection, à la surface, jusqu'à la zone saturée et par conséquent, leurs concentrations dans la nappe aquifère. La perméabilité est calculée par les essais par pompage et après le calcul de la transmissivité qui décrit la combinaison de la conductivité hydraulique (C) et l'épaisseur (D) de la nappe ($C = T / D$).

Trois classes ont été distinguées dans la zone d'étude :

- $4,7.10^{-5}$ - $14,7.10^5$ (m/s) : représente 33,48 % de la superficie totale. Située dans le Sud de la zone d'étude. une note de 2 Est attribuée
- $32,9. 10^{-5}$ - $4,7. 10^{-5}$ (m/s) : représente 21,26 % de la superficie totale. Située dans le centre et le Nord de la zone d'étude. une note de 6 Est attribuée
- $4,7. 10^{-4}$ - $9,4. 10^{-4}$ (m/s) : représente 45,27 % de la superficie totale. Située dans le centre,le Nord et l'Est de la zone d'étude. une note de 9 Est attribuée

Tableau20 Poids et Note pour le paramètre conductivité hydrique de l'aquifère Gareat El Tarf.

Gammes	Notes	Poids
$4,7. 10^{-4} - 9,4. 10^{-4}$	9	2
$32,9. 10^{-5} - 4,7. 10^{-5}$	6	
$4,7.10^{-5} - 14,7.10^{-5}$	2	

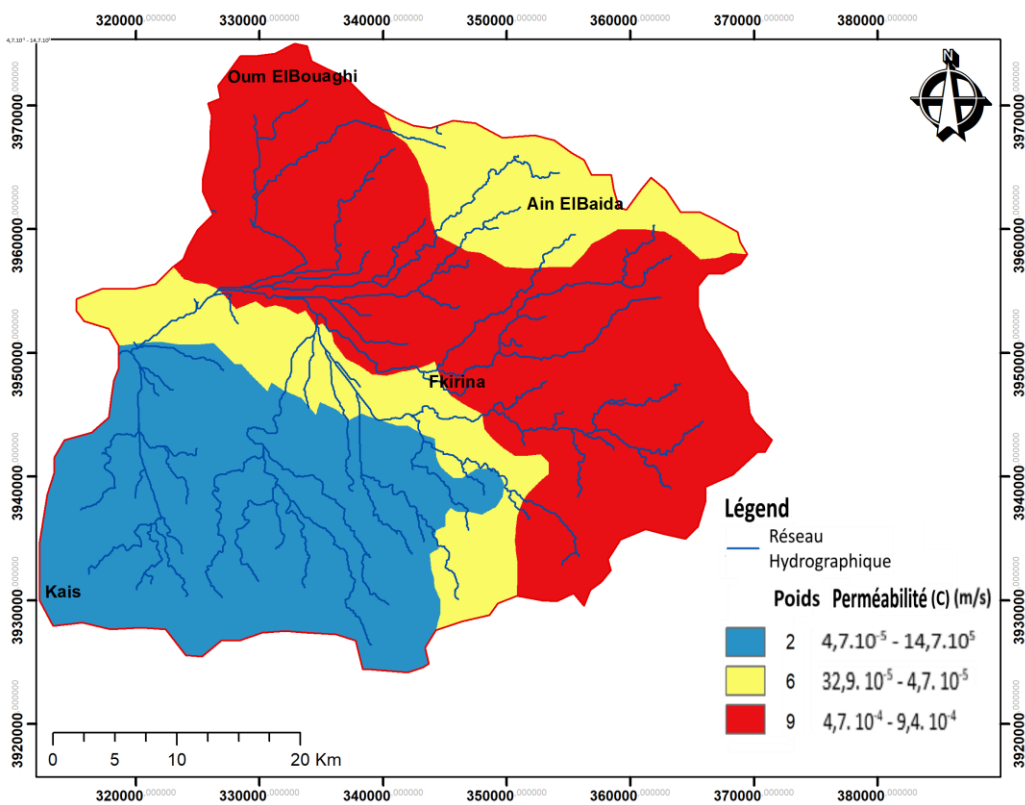


Fig.33 Carte de perméabilité de la nappe.

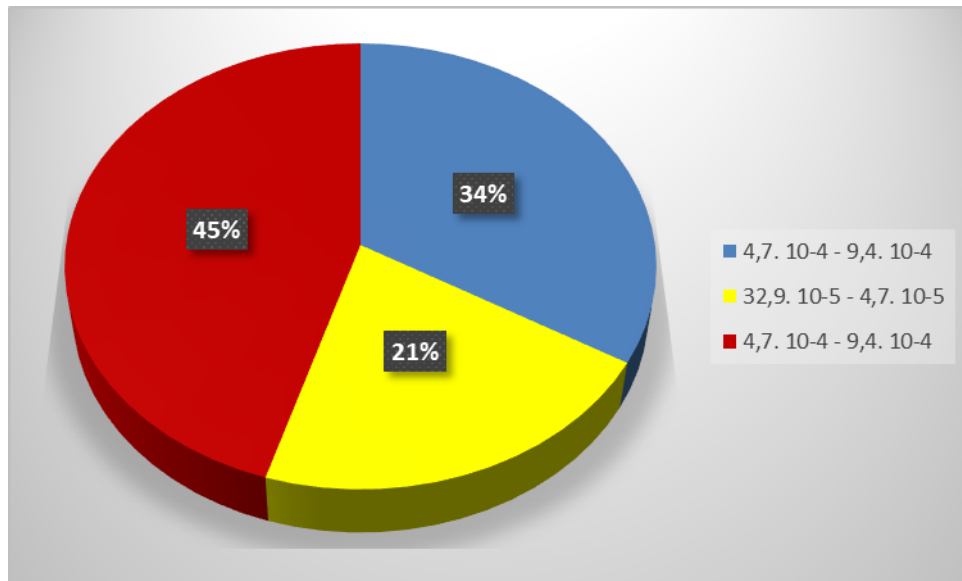


Fig.34 Représentation de perméabilité en %.

V.3.1.8. Occupation du sol « OS »

La carte d'occupation du sol de la zone d'étude a été extraite à partir de la carte globale de l'occupation des sols de l'Afrique (CCI LAND COVER - S2 PROTOTYPE LAND COVER 20M MAP OF AFRICA 2016) cette carte est réalisée par les observations du satellite européen Sentinel-2A pendant une année de 2015 à 2016. Cette carte montre que la région d'étude est une zone beaucoup plus à vocation agricole :

- ✚ 19% de la surface totale sont occupés par les zones couvertes d'arbres et surface d'eaux.
- ✚ 34% de la surface totale sont occupés par les zones couvertes d'arbustes
- ✚ 46% de la surface totale sont occupés par les zones nues.
- ✚ 1% de la surface totale sont occupés par les zones de constructions.

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

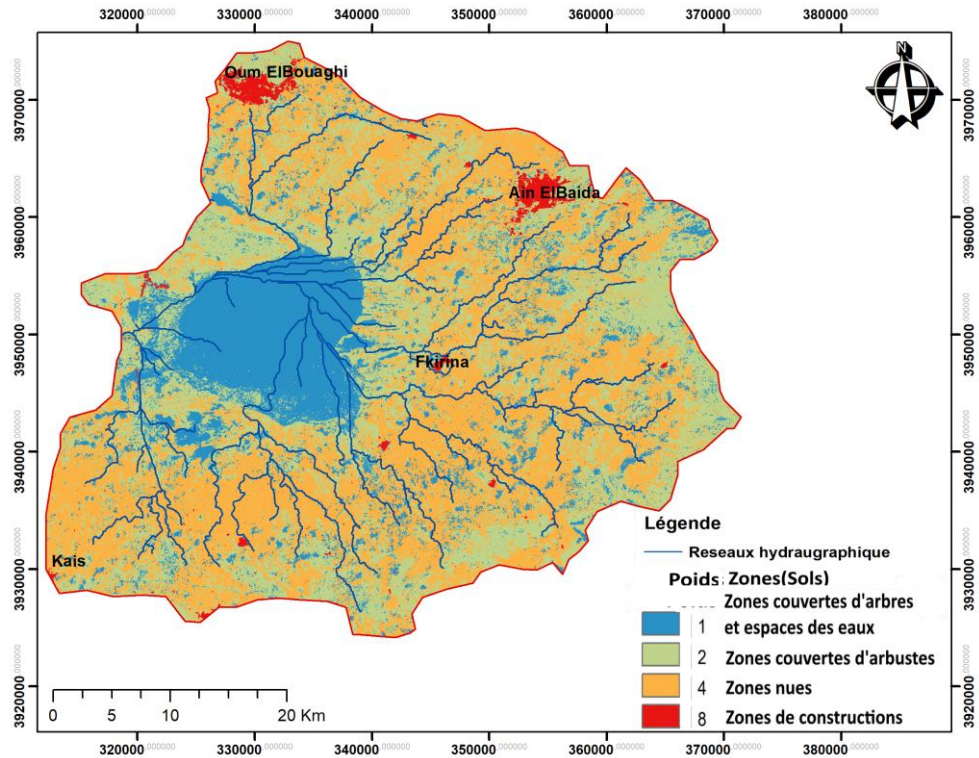


Fig.35 Carte d'occupation du sol (DRASTIC).

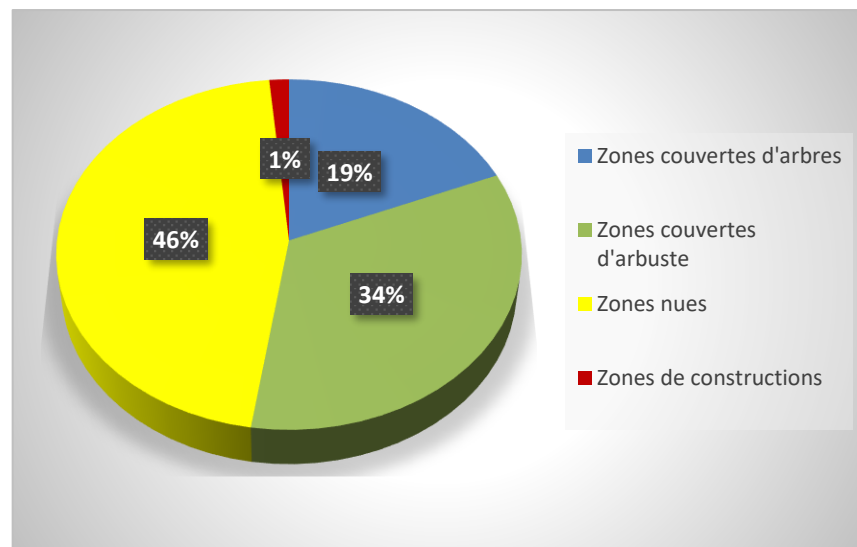


Fig.36 représentation d'occupation du sol en %

V.3.1.9. Calcul de l'indice « DRASTIC LU »

La calcul de l'indice de vulnérabilité se fait par la formule DRASTIC LU décrite à la définition de la méthode, les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité sont subdivisés en intervalles de valeurs significatifs et affectés d'une cotation numérique croissante en fonction de son importance dans la vulnérabilité, chaque paramètre est multiplier par Une

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

valeur numérique appelée poids paramétrique, compris entre 1 et 5, est attribuée à chaque paramètre (tableaux suivants), reflétant son degré d'influence.

Tableau .21 Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité DRASTIC.

Degré de vulnérabilité DRASTIC modifiée	Index de vulnérabilité
Très faible	65-79
Faible	79-100
Modérée	100-120
Très élevée	120-213

La carte obtenue montre quatre classes de vulnérabilité par la méthode DRASTIC LU:

- **Vulnérabilité très faible** : dans la partie Ouest d'a la plaine occupant 1% de la superficie de la zone d'étude.
- **Vulnérabilité faible** : dans la partie Ouest et le centre avec une petite tache dans le Sud. Occupant 13 % de la superficie de la zone d'étude.
- **Vulnérabilité modérée** : Prendre la même situation de la classe précédente occupant 20 % de la superficie de la zone d'étude.
- **Vulnérabilité forte**: présente la classe dominante dans la région couvrant 66% de superficie de la zone d'étude, localisée presque dans toute la région.

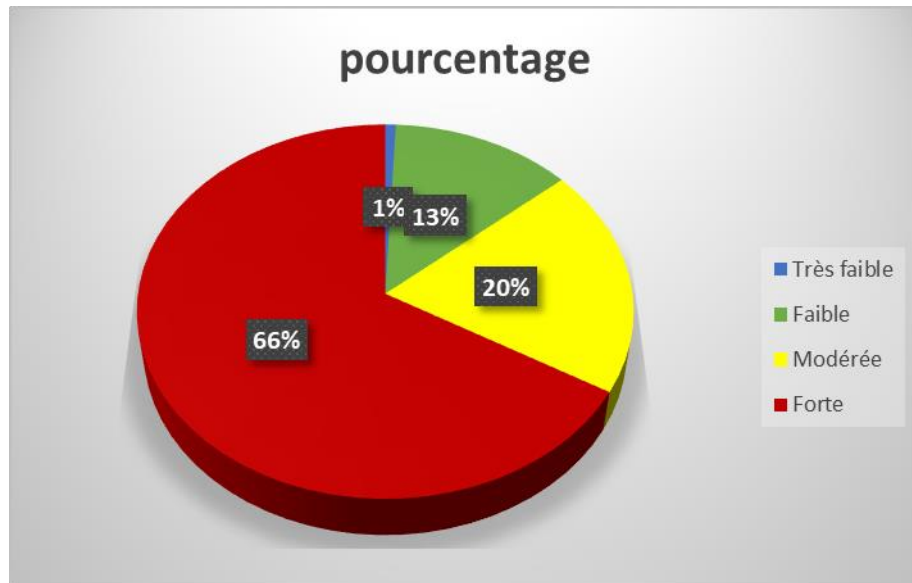


Fig.37 Répartition de vulnérabilité (DRASTIC LU) en % .

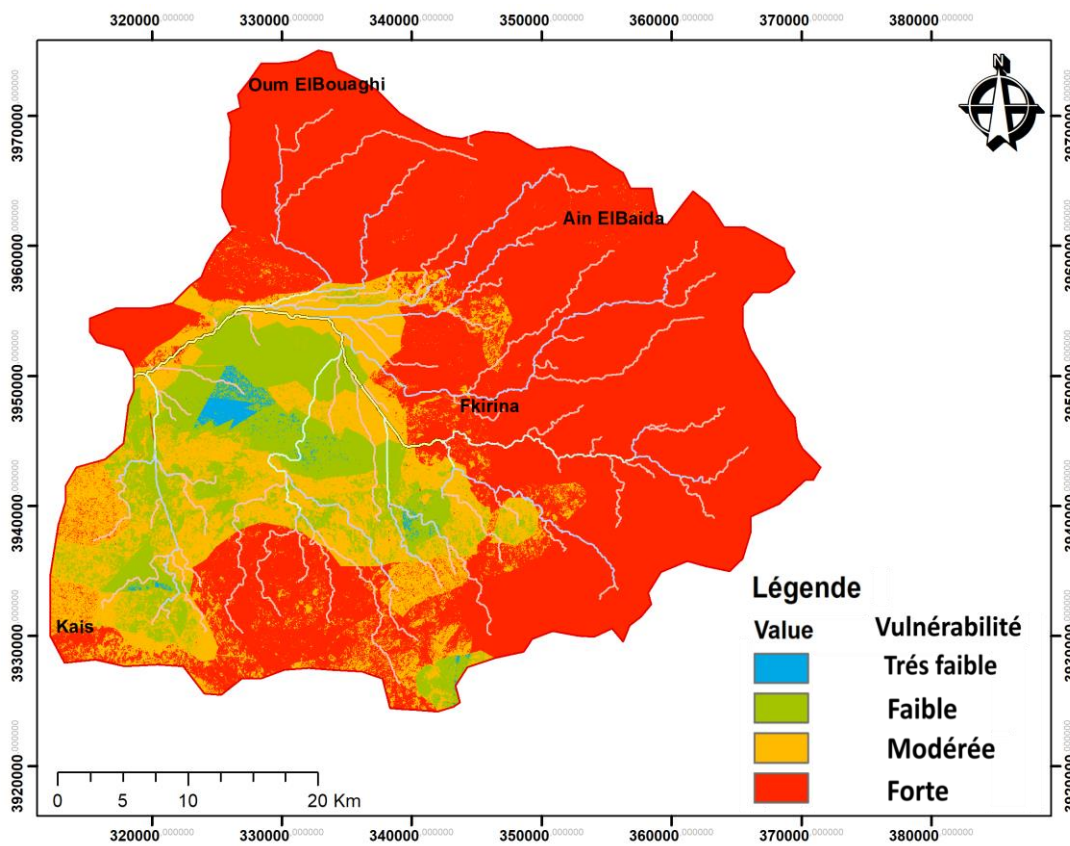


Fig.38 Carte de vulnérabilité (DRASTIC LU).

V.3.2. Détermination des paramètres du modèle « SI »

Les cartes relatives aux quatre premiers paramètres nécessaires (D, R, A et T) ont été déjà préparées lors de l'élaboration des cartes DRASTIC. Donc dans cette méthode on s'occupe par la réalisation de la carte relative au paramètre occupation des sols (OS).

V.3.2.1. Occupation du sol « OS »

La différence entre la carte d'occupation du sol dans la méthode DRASTIC LU et la méthode SI est dans la pondération et les éléments constitutifs de la surface du sol.

- 34% de la surface totale sont occupés par des zones couvertes d'arbres et surface d'eaux.
- 32% sont des zones nues.
- 12% sont des zones pastorales et agroforestières
- 5% sont des zones urbaines discontinues.
- 17% périmètres irrigués.

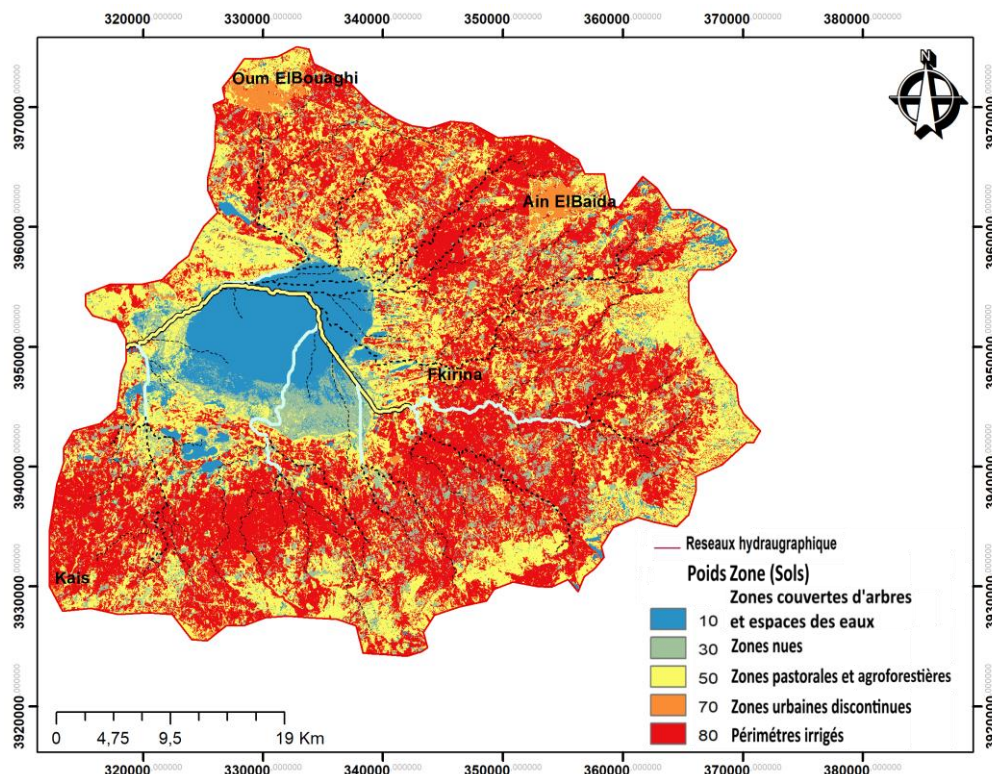


Fig.39 Carte d'occupation du sol (SI).

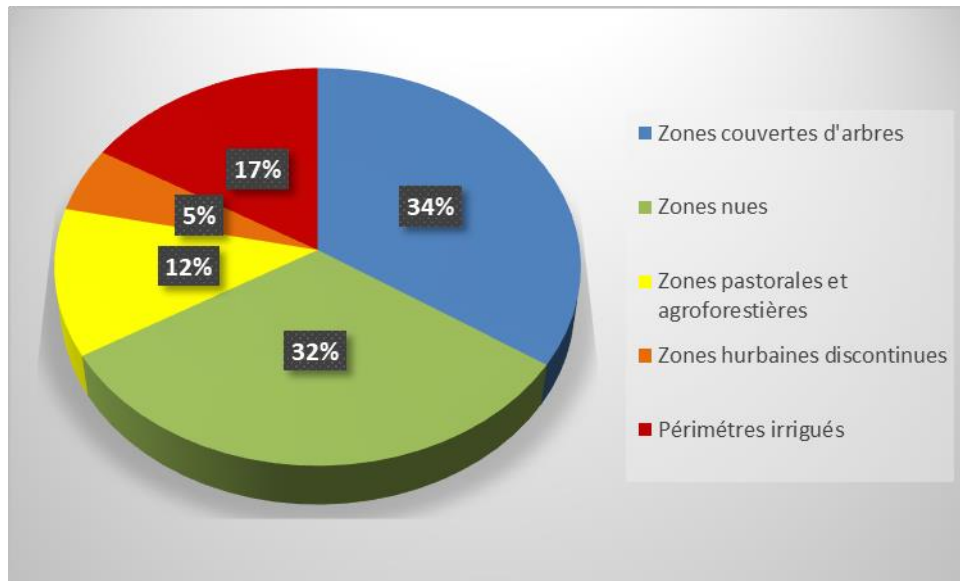


Fig.40 Représentation d'occupation du sol en % (SI).

V.3.2.2. Calcul de l'indice « SI »

La carte obtenue montre quatre classes de vulnérabilité par la méthode SI :

- Vulnérabilité très faible** : dans la partie Ouest de la plaine occupant 9 % de la superficie de la zone d'étude.
- Vulnérabilité faible** : dans la partie Ouest et le centre avec des petites taches presque dans toute la région. Occupant 10 % de la superficie de la zone d'étude.
- Vulnérabilité modérée** : des petites taches presque dans toute la région. Occupant 33 % de la superficie de la zone d'étude.
- Vulnérabilité forte** : occupe 33 % de la superficie de la zone d'étude., localisée presque dans toute la région sous forme des taches.

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

Tableau22 Les critères d'évaluation de degré de vulnérabilité SI :

Occupation des sols selon la classification CORINE Land Cover	CORINE Land Cover Valeur du facteur d'occupation des sols LU (Land use factor)
Périmètres irrigués	90
Zones urbaines discontinues	70
Pâturages et zones pastorales agroforestières.	50
Zones nues	30
Zones couvertes d'arbres et espaces d'eaux.	10

Tableau 23 Poids attribués aux paramètres SI.

Paramètre	D	R	A	T	OS
Poids	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

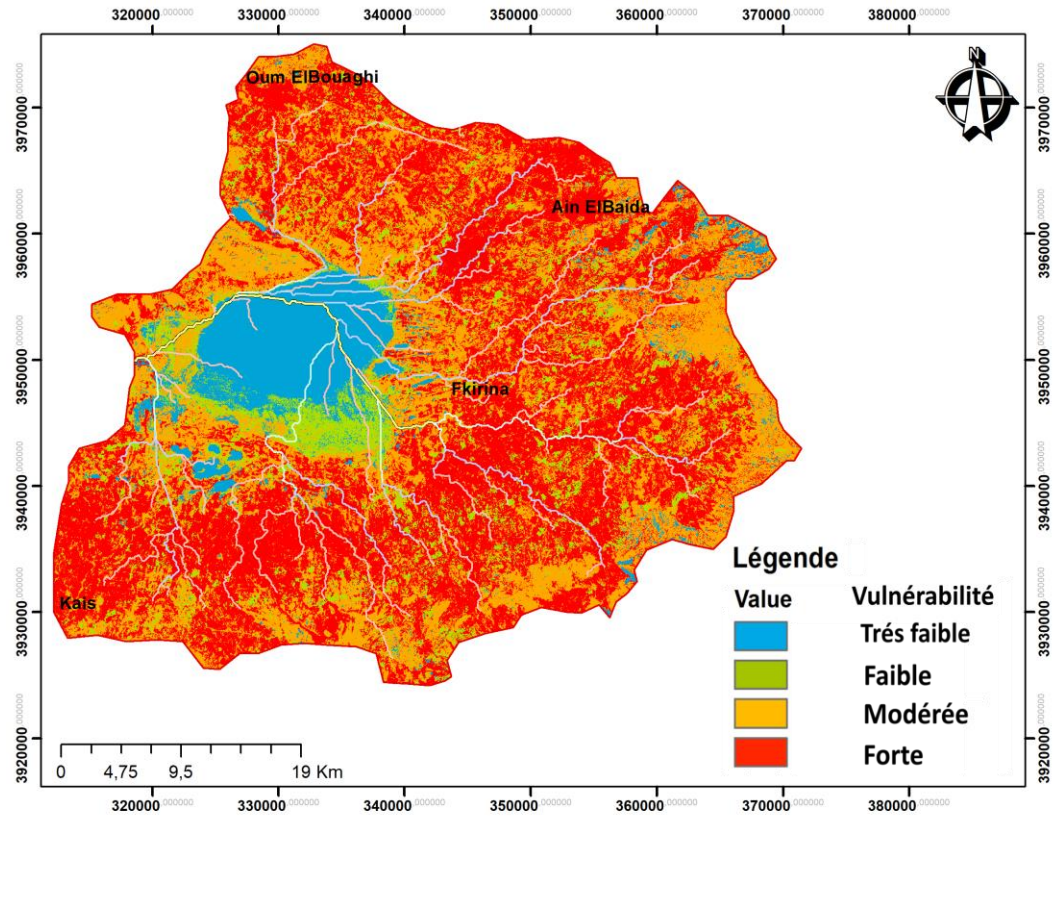


Fig.41 Carte de vulnérabilité (SI).

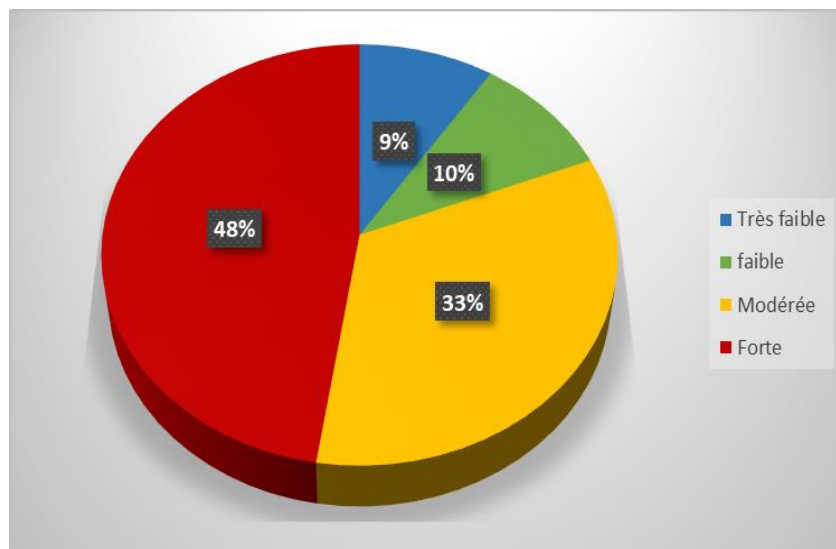


Fig.40 représentation de vulnérabilité en % (SI).

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

V.4. Analyse comparative des résultats des deux méthodes utilisées

L'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution a été réalisée à l'aide des méthodes DRASTIC LU et SI. Ce sont deux méthodes multicritères à index .

Leur comparaison est intéressante, car elle permet de mettre en évidence les différences dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Les deux méthodes donnent des résultats différents pour le degré de vulnérabilité/ susceptibilité très faible et, celui-ci représentant 1 % de la superficie totale selon DRASTIC LU contre 9 % selon SI. Par contre la classe faible pour la méthode SI se ressemble beaucoup la classe faible pour la méthode DRASTIC LU (10% contre 13%).

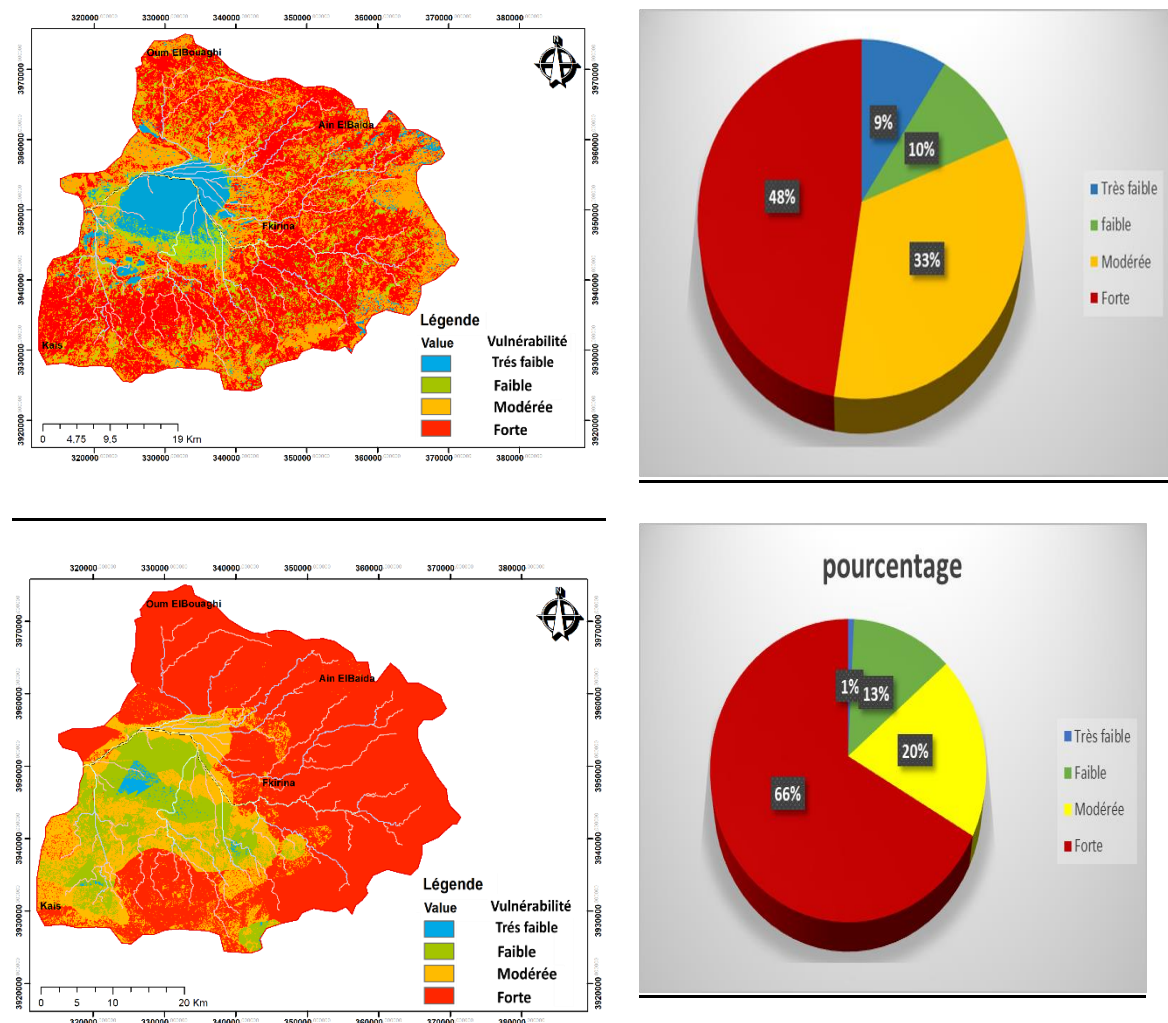


Fig. 43 Comparaison des cartes de vulnérabilité à la pollution obtenues.

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

Pour le degré de vulnérabilité/ susceptibilité moyen, les superficies fournies par DRASTIC LU et SI sont u peut proches aussi, celui-ci représentant 20 % de la superficie totale selon l'indice DRASTIC LU, contre 33% selon l'indice SI. Le degré de vulnérabilité/ susceptibilité élevé représenté selon DRASTIC LU (66% du terrain d'étude), sensiblement moins selon SI (48 % du terrain d'étude).

V.5.Validation des cartes de vulnérabilité

Afin de choisir la méthode le plus adéquate dans la zone d'étude Les deux cartes ont été confrontées aux concentrations des nitrate mesurées en 2017 sur 60 forage (Dib,d). À cette date, les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines de la nappe de GaraetElTarf varient entre 1 mg/l et 225 mg/l, (Fig.45)

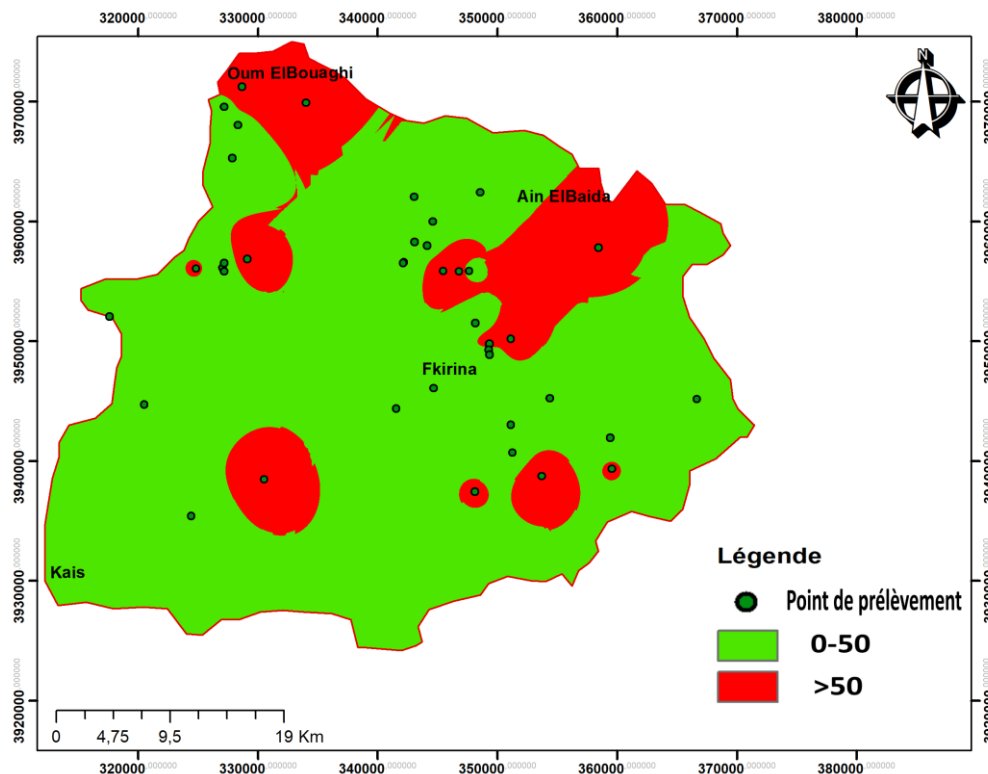


Fig. 44carte de distribution spatiale des nitrates (en mg/l) (Dib et al, 2017)

Sur la carte produite par la méthode SI, on constate une mauvaise adéquation entre le degré de vulnérabilité et les concentrations mesurées, mais La relation avec les concentrations est un peu meilleure pour la carte établie à partir de la méthode DRASTIC LU vue au nombre de paramètres utilisées dans l'évaluation de la vulnérabilité, Plus de 30 % des échantillons ce trouve dans une zone a forte vulnérabilité. En revanche, plus de 40 % des échantillons ont

Chapitre V Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution d'origine agricole

concentrations inférieures à 50 mg/l coïncident avec le degré de vulnérabilité modéré et faible.

V.6.Conclusion

Cette étude constitue une approche d'aide à la protection et à la prévention de la pollution des eaux souterraines de la nappe de GaraetElTarf ainsi qu'à la cartographie de zones vulnérables à la pollution. Elle a été réalisée dans le but d'identifier les zones à haut risque de contamination d'origine agricole et de déterminer la méthode qui permet le mieux d'évaluer la vulnérabilité. L'application de la méthode DRASTIC LU et de celle de SI a permis cette évaluation. Les deux méthodes montrent quatre classes de vulnérabilité allant de très faible à forte vulnérabilité, avec dominance de classe forte (66 % pour la méthode DRASTIC LU et 48 % pour la méthode SI).

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 grès de miocène.

Elle est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride où la précipitation annuelle ne dépasse pas 440 mm avec une température moyenne annuelle est de 17°C. Le climat semi-aride de la région est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux et humide.

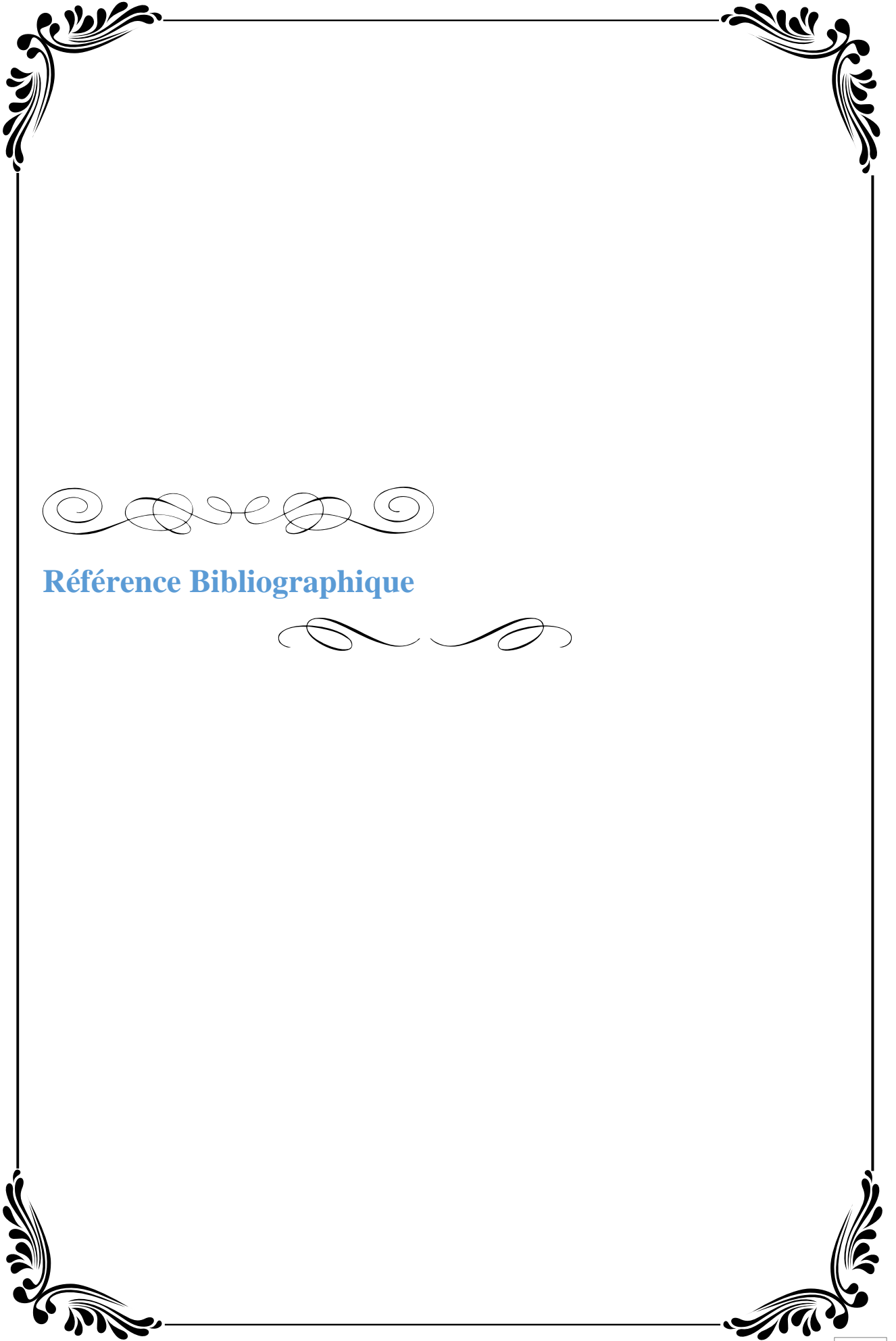
Afin d'évaluer l'impact de l'intensification de l'utilisation du sol sur la qualité des eaux souterraines, la présente étude propose d'évaluer et de spatialiser la sensibilité de la nappe de de GaraetElTarf vis-à-vis de la pollution nitrique à l'aide de la modélisation couplée au SIG.

L'application de deux modèles, le modèle DRASTIC LU (modifié) (after ALLER et al. 1987) et le modèle SI (L. RIBEIRO, 2000). Ces deux modèles sont utilisés pour estimer la vulnérabilité a la pollution d'origine agricole (spécifique) et nous permis de comparer entre eux les résultats des deux méthodes et de les évaluer en fonction de la réalité terrain. Les deux méthodes montrent quatres classes de vulnérabilité de très faible à forte, avec une dominance de la classe forte (66 % pour la méthode DRASTIC LU et 48 % pour la méthode SI). La confrontation des deux cartes obtenues avec la distribution spatiale des nitrates dans les eaux souterraines de la nappe montre que le modèle DRASTIC LU est le mieux adaptée dans notre cas d'étude. La zone a forte vulnérabilité se coïncide avec plus de trente pourcents des échantillons qui présente une concentration en nitrates plus de 50 mg/l.

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

- Crée une banque de donnée et d'information centralisés ou tous les organismes y verraient leur initiative volontaire comme une contribution directe au développement d'une politique efficace et rigoureuse de la gestion de l'aquifère.
- Procéder à des campagnes de sensibilisation pour l'utilisation modérée des engrais chimique, pesticides et insecticides ;

Réaliser des campagnes hydro-chimiques mensuelles complètes, afin d'assuré l'impact actuelle de l'ensemble des foyers de pollution



Référence Bibliographique

Bibliographie

- ABDESSEMED, K., 1981.** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Menetti) dans les massifs de l'Aurès et du Bélezma : Etude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Thèse Doc. Ing. Univ. Aix-Marseille, 200p
- Aller et al., 1987.** Validité de l'application de la méthode de vulnérabilité DRASTIC à l'étude de la pollution par les nitrates dans la Mitidja (Nord d'Algérie).
- Atteia, O., Koller, E., 2005.** Chimie et pollutions des eaux souterraines. Lavoisier.
- Belhadad, Y., Baali, A., 2018.** Estimation et Cartographie de vulnérabilité des eaux souterraines et risque de contamination (cas du sous bassin de Garaet El Tarf). Mémoire de Master. Université Abbes Laghrour. Khenchela.
- Bordet, J., 2007.** L'eau dans son environnement rural ; édition Johanet.
- Castany, G., 1980.** Faire connaissance avec l'eau propre. Hachette. Paris. .
- Dali, N., 2009.** Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Garaet El Tarf (W. Khenchela). Mémoire de Magister. Université Badji Moukhtar. Annaba.
- Ferret, C., 2012.** Rôle des *Pseudomonas* fluorescents dans la biodisponibilité des métaux contaminant les minéraux du sol: application à la phytoremédiation (Doctoral dissertation, Strasbourg).
- Ghandriche, N., 1991.** Modalités de la superposition de structures de plissement chevauchement d'âge alpin dans les Aurès (Algérie). Thèse de l'Univ. de Paris-Sud, centre d'Orsay, 189 p., 68 fig., 6 pl. h. -t.
- Goldscheider, N., Klute, M., S., S., H., H., 2000.** The PI Method - a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. *Zeitschrift für angewandte Geologie* 46,3, 157 – 166p
- Guergazi et Achour., 2005.** Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. *Pratique de la chloration. Larhyss Journal*, 4, 119-127.

- Guiraud, R., 1973.** Evolution post-Triasique de l'Avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Sci. Univ. Nice, 270 p, 114 fig., 12 pl. h.t. .
- Hafed., 1999.** Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu urbain Université de Neuchâtel 2010.
- Jourda J, P, R., 2005.** Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechniquespatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat d'État, Université de Cocody Abidjan.
- Laffitie, R., 1939.** Étude géologique de l'Aurès. Thèse Sciences Paris. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, (2), Stratigraphie, Bull. n° 15, 484 p., 26 fig., 1 carte 1/200.000e h.t;
- Manga, A., 2015.** Système D'information géographique, volume (42).
- Margat, J., 1968.** Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution. Base de la cartographie, Doc. BRGM, 68 SGL 198 HYD. Orléans, France
- Marmi, R., (1995):** Les bassins continentaux de l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie nordorientale: Étude stratigraphique, sédimentaire, structurale et géochimique. Thèse, University Nancy I, France,
- Matthess, G., Pekdeger, A., & Schroter J., 1985.** Behaviour of contaminants in groundwater. UNESCO/IAH/IUGS, Intl. Contributions to Hydrogeology, vol. 6, Heise, Hannover,.
- N'Dayegamiye ., Benoit et al., Wang et al., 2007.** La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO: facteur climatique et régions agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. In Colloque sur l'azote, CRAAQ-OAQ.
- Ramade, R., 1993.** FLUX ET SOURCES DES POLLUANTS PRIORITAIRES DANS LES EAUX URBAINES EN LIEN AVEC L'USAGE DU TERRITOIRE par Sally ZGHEIB.

- Ribeiro, L., 2000.** Récupéré sur Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade dos aquíferos à contaminação, Nota interna, (não publicada), ERSHA-CVRM. .
- Sinan et al., 2000.** Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc. 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, De.
- Seltzer, P., 1946.** Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Physique du Globe de l'Algérie, 219 p. Sukachev., 1942. "On the principles of genetic classification in biocoenology", Zhur. Obschei. Biol., 213-227.
- Smida, H., 2007.** Apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau des systèmes aquifères de la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale). Université de Sfax TUNISIE.
- soulad, C., 1999.** *Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Sciences de l'environnement.* Récupéré sur François Laurent. Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Sciences de l'environnement. Université du Maine, 2012.
- Thinthoin, R ., 1948.** Les aspects physiques du Tell oranais, essai de morphologie de pays semi-arides. Ouvrage publié avec le concours du CNRS Ed. L. Fouqué P, 639.
- Vila, Jean-Marie., 1977.** Carte géologique de l'Algérie au 1/50.000, feuille n° 175, Garet et Tarf (1ère édition) avec notice explicative détaillée (levés de S. Guellal) . Serv. Carte géol. Algérie / SONATRACH, (Div. Hydrocarbures, Dir. Explor.).
- Vrba, J et al., 1994.** Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions to Hydrogeology, vol. 16. 131p. Heinz Heise GmbH. Hannover.
- Williams et Kissel., 1991.** Water percolation: an indicator of nitrogen- leaching potential. In: R.F. Follet, D.R. Keeney, and R.M. Cruse (Eds.). Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. Soil Science Society of America, .

Résumé

Le développement des cultures céréales et agro-industrielles à forte utilisation des fertilisants chimiques dans la plaine du bassin versant de GaraetElTarf constitue un risque important de contamination des eaux souterraines.

La vulnérabilité à la pollution de la nappe de cette région a été étudiée par deux méthodes différentes, la méthode DRASTIC LU et la méthode SI (suceptibility index). Ces deux méthodes évaluent la vulnérabilité spécifique à la pollution agricole.

Quatre classes de vulnérabilité ont été identifiées (Forte, modérée, faible et très faible) aussi bien par la méthode DRASTIC que par la méthode SI. Une analyse intégrée révèle que la classe forte avec 66 % (pour la méthode DRASTIC LU) et 48 % (pour celle de SI) sont les plus dominantes.

La comparaison des deux cartes par rapport à la carte des concentrations en nitrates des eaux de la nappe montre que la méthode DRASTIC LU est mieux adaptée dans l'évaluation de vulnérabilité à la pollution par les nitrates que la méthode SI.

Ces résultats constituent un guide pour les décideurs en matière de protection des zones jugées sensibles à la pollution aux nitrates et d'identification des sites devant abriter ultérieurement des infrastructures socio-économiques.

Mots clés : GaraetElTarf, vulnérabilité, nitrates, SIG, eaux souterraines

Abstract

The development of cereals and agro-industrial crops with high use of chemical fertilizers in the GaraetElTarf watershed is a significant risk of contamination of groundwater.

The vulnerability to the pollution of the aquifer of this region has been studied by two different methods, the DRASTIC LU method and the SI (suceptibility index) method. Both methods assess the specific vulnerability to agricultural pollution.

Four vulnerability classes were identified (Strong, Moderate, Low and Very Low) both by the DRASTIC method and the SI method. An integrated analysis reveals that the strong class with 66% (for the DRASTIC LU method) and 48% (for that of SI) are the most dominant.

The comparison of the two maps with the map of nitrate concentrations in the groundwater shows that the DRASTIC LU method is better suited to assessing nitrate pollution vulnerability than the SI method. These results provide a guide for decision-makers in protecting areas deemed sensitive to nitrate pollution and identifying sites for future socio-economic infrastructure.

Key words: vulnerability, GaraetElTarf, nitrate, SIG, Unground water

ملخص

يشكل تطوير محاصيل الحبوب والصناعات الزراعية ذات الاستخدام العالي للأسمدة الكيماوية في سهل مجتمعات مياه غارة الطارف خطراً كبيراً من تلوث المياه الجوفية.

تمت دراسة القابلية للتأثر بتلوث طبقة المياه الجوفية في هذه المنطقة بطريقتين مختلفتين، طريقة DRASTIC LU وطريقة SI (مؤشر الحساسية). كلتا الطريقتين تقيم التعرض المحدد للتلوث الزراعي. وقد تم تحديد أربع فئات (قوية، معتدلة، منخفضة ومنخفضة جداً) على حد سواء عن طريق الأسلوب DRASTIC وطريقة SI. يكشف تحليل متكامل أن الطبقة القوية بنسبة 66% (بالنسبة لطريقة DRASTIC LU) و48% (لتلك الخاصة بـ SI) هي الأكثر هيمنة. يوضح المقارنة بين الخريطين مع خريطة تركيزات النترات في المياه الجوفية أن طريقة DRASTIC LU مناسبة بشكل أفضل لتقييم قابلية تلوث النترات من طريقة SI.

توفر هذه النتائج دليلاً لصناع القرار في حماية المناطق التي تعتبر حساسة للتلوث بالنترات وتحديد مواقع البنى التحتية الاجتماعية والاقتصادية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: غارة الطارف ، النترات ، نظم المعلومات الجغرافية ، المياه الجوفية.