

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**Université Abbés Laghrour
- Khenchela-
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Ecologie et Environnement**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master : Ecologie et Environnement
Spécialité : écologie fondamental et appliqué**

Thème

**Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution
Par la méthode GOD Cas de la partie est de la nappe de Remila
-Khenchela -**

Présenté par :

BAHLOUL RAYAN

MOUKATEL NAWEL

DEVANT LE JURY :

Président : Ziouch O R MCB université AbbésLaghrour .Khenchela
Examinatrice : Halimi S MCB université AbbésLaghrour .Khenchela
Encadreur : Daifaallah T MCB université AbbésLaghrour .Khenchela

Année universitaire : 2017/2018

Remerciement

Je tiens avant tout à remercier ALLAH le tout puissant, le tout miséricordieux qui, grâce à sa protection et sa bienveillance, il m'est permis d'acquérir le savoir et d'arriver à ce niveau.

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre directeur de recherche **M. Daifallah Tarek** pour sa patience, et surtout sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance. Qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.*

Nous voudrions également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce modeste travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Nous ne remercions toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

Enfin, nos plus profonds remerciements vont également à nos familles pour leur soutien moral dans les moments difficiles pendant toutes les étapes de la réalisation de ce travail.

Merci à vous tout

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère a qui je souhaite une longue vie

A mon père

A mes frères surtout Hassan et belles sœurs

A tout ma famille Moukatel

A mon fiancé pour ses conseils, aides et encouragement

A mon binôme et sa famille

A tous mes amis qui ont toujours à conseillées et à mes cotés :

Yosra, kawthar, iman, Hanane, habiba, nour el houda,

A tous ceux que j'aime

Moukatel Nawel

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

A tous mes frères et mes sœurs, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

A mon binôme et sa famille

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur a Manar ; Meryem. .

A tous mes Professeurs cette mémoire est le fruit de plusieurs années d'études et je ne saurais oublier pas l'ensemble de mes professeurs et maîtres qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Bahloul Rayan

Table de matière

Titre	Page
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations	X
Introduction générale.....	01

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1 Présentation de la zone d'étude	04
I.1.1 Situation géographique de la région de Khenchela.....	04
I.1.2 Cadre socio-démo-économique.....	05
I.1.3 Situation démographique.....	05
I.1.4 Le relief.....	05
I.1.5 Potentiel hydrique.....	06
I.1.5.1 Hydrographie.....	06
I.1.5.2 Hydrogéologie.....	07
I.2 Présentation de la région d'étude El hamma.....	08
I.2.1 Localisation géographique.....	08
I.2.2 Situation démographique.....	09
I.2.3 Relief.....	09
I.2.4 Type de sol.....	09
I.2.5 Potentialités forestières.....	10
I.2.6 Ressources naturelles.....	10
I.2.7 Hydrographie.....	10
I.2.8 Les forages.....	10
I.3 Conclusion.....	11

Chapitre II : Hydro climatologie

II.1 Introduction.....	13
II.2 Les facteurs climatiques.....	14
II.2.1 Les précipitations.....	14

II.2.1.1 Précipitation moyenne mensuelle.....	14
II.2.1.2 Précipitation moyenne annuelle.....	15
II.2.2 Les températures.....	15
II.2.2.1 Température moyenne mensuelle.....	15
II.2.2.2 Température moyenne annuelle.....	16
II.2.3 Analyse de température.....	17
II.2.4 Diagramme pluviométrique.....	17
II.3 Détermination de l'étage bioclimatique.....	18
II.3.1 L'indice climatique de MARTONNE 1923.....	18
II.3.2 Humidité relative.....	19
II.3.3 Vent.....	19
II.3.4 Evaporation.....	20
II.4 Bilan hydrique.....	20
II.4.1 Etude de l'évapotranspiration.....	21
II.4.1.1 Estimation de l'évaporation réelle.....	22
II.4.1.2 Estimation de l'évaporation potentielle.....	22
II.4.2 Le ruissellement et l'infiltration.....	24
II.5 Interprétation de bilan hydrique.....	25
II.6 Conclusion.....	26

Chapitre III : Généralité sur les eaux souterraines

III.1 Introduction.....	29
III.2 Notion sur les eaux souterraines.....	29
III.2.1 Les différents types des eaux souterraines.....	29
III.2.2 Les nappes des eaux souterraines.....	30
III.2.2.1 Origine des eaux souterraines.....	30
III.2.2.2 Notion d'aquifère.....	30
III.2.2.2.1 Aquifère à nappe libre.....	31
III.2.2.2.2 Aquifère à nappe captive.....	31
III.2.2.2.3 aquifère à nappe semi captive ou à drainance.....	32
III.3 Notion sur la pollution des eaux souterraines.....	33
III.3.1 La pollution des nappes souterraines.....	33
III.3.2 L'origine de la pollution.....	33

III.3.3 Les principaux polluants.....	35
III.3.3.1 Voies de transmission de polluant.....	37
III.3.4 Les effets nocifs des polluants sur l'organisme.....	37
III.3.5 La protection des nappes contre la pollution.....	38
III.3.6 Moyens de traitement de nappe polluée.....	39
III.3.7 Défenses naturelles contre la pollution.....	40
III.4 Conclusion.....	41

Chapitre IV : Vulnérabilité des eaux souterraines

IV.1 Introduction.....	43
IV.2 La vulnérabilité des eaux souterraines.....	43
IV.3 Les différents types de la vulnérabilité.....	44
IV.4 Les cartes de vulnérabilité.....	45
IV.4.a Les de vulnérabilité des aquifères.....	45
IV.4.b Utilité des cartes de vulnérabilité.....	45
IV.5 Sources de pollution et vulnérabilité.....	46
IV.6 les méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines.....	46
IV.7 Les principales méthodes accréditées.....	47
IV.7.1 Méthode DRASTIC.....	47
IV.7.2 Méthode SINTACS.....	49
IV.7.3 Méthode AVI.....	51
IV.7.4 Méthode SI.....	52
IV.7.5 Méthode GOD.....	54
IV.8 Généralité sur SIG.....	56
IV.8.1 Introduction.....	56
IV.8.2 Outil requis.....	56
IV.8.3 Global mapper.....	56
IV.8.4 ArcGIS.....	57
IV.9 Conclusion.....	60

Chapitre V : Résultat et Discussion

V.1 Introduction.....	62
V.2 Evaluation de la vulnérabilité de l'aquifère par méthode GOD.....	62
V.3 Données utilisés.....	63
V.4 Méthodologie.....	66
V.5 Résultat et discussion.....	68
V.5.1 Paramètre de type de nappe.....	68
V.5.2 Paramètre profondeur de nappe.....	69
V.5.3 Paramètre type d'aquifère en termes de facteur lithologique.....	70
V.5.4 Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe de zone d'étude.....	71
V.6 Conclusion.....	73
Conclusion générale	74
Recommandation	75
Référence	76
Annexe	78

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure 01	Carte de la wilaya de Khenchela	04
Figure 02	les parcours de la wilaya de Khenchela	06
Figure 03	Carte le potentiel hydrique au niveau de la wilaya Khenchela	07
Figure 04	les limites de commun d'el Hamma dans la wilaya de Khenchela	08
Figure 05	Histogramme des variations de précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Hamma (2005 -2017)	15
Figure 06	Histogramme des variations de précipitations moyennes annuelles à la station d'El Hamma (2005/2017)	16
Figure 07	Histogramme des variations des températures moyennes mensuelles à la station d'El Hamma (2005/2017)	17
Figure 08	Histogramme des variations de température moyennes annuelles à la station d'Hamma	17
Figure 09	La répartition des variations de température moyennes (max ,min ,moy) de la station de Hamma (2005/2017)	18
Figure 10	Courbe ombrothermique de la station d'El Hamma (depuis le moins de septembre jusqu' a aout)	19
Figure 11	Histogramme des variations d'humidité relative mensuelle moyenne d el Hamma (2005/2017)	20
Figure 12	Histogramme des variations de vent mensuel moyen d el Hamma (2005/2017)	21
Figure 13	Histogramme de variation des moyennes mensuelle de l'évaporation de la période	22
Figure 14	graphique du bilan hydrique à la station d'El Hamma	27

Figure 15	les aquifère a nappe libre (Frédéric PORTET Octobre 2003)	32
Figure 16	les aquifère a nappe captive (Frédéric PORTET Octobre 2003)	33
Figure 17	aquifère a nappe semi captive	34
Figure 18	déférente pollution qui contamine les eaux souterraines	36
Figure 19	les Processus de contamination de la nappe ((d'après REGLE, 2001)	37
Figure 20	Comportement du polluant dans son environnement (d'après Ballerini et al., 1998)	37
Figure 21	transfert d'un polluant qui repose sur multicouche	46
Figure 22	Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster 1987)	57
Figure 23	Méthode utilisé pour la réalisation de la carte de vulnérabilité	66
Figure 24	Carte de localise des forages de la zone d'étude (mars 2018)	68
Figure 25	Carte type de nappe (critère G)	70
Figure 26	Carte profondeur de la nappe critère « D »	71
Figure 27	Carte impacte de la zone vadose critère « O ».	73
Figure 28	Carte de l'indice de vulnérabilité GOD	74
Figure 29	Répartition d'indice de vulnérabilité GOD du secteur d'étude.	74

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	page
Tableau 01	la densité de la population de la commune d'el Hamma	09
Tableau 02	la nature du sol dans de la commune d'El Hamma	10
Tableau03	les forages dans de la commune d'El Hamma	10
Tableau 04	les forages dans de la commune d'El Hamma	11
Tableau 05	Les coordonnées de la station météorologique retenue dans l'étude	14
Tableau 06	Représente les résultats des calcule de formule de turc	23
Tableau 07	Représente la méthode de Thornthwaite	24
Tableau 08	Comparaison entre les deux méthodes de calcul	25
Tableau 09	Représente les déférents types de polluants (Hachette, 1996)	37
Tableau 10	Paramètres de la méthode DRASTIC	50
Tableau 11	Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (ALLER et al, 1987)	51
Tableau 12	Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode	52
Tableau 13	Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS	52
Tableau 14	Catégorie de vulnérabilité de la méthode AVI	53
Tableau 15	Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.	55
Tableau 16	Poids attribués aux paramètres SI	55
Tableau 17	Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SI.	56
Tableau 18	Les composants de modèle vectoriel	60
Tableau 19	attributs et la couleur de mode raster	61

Tableau20	Représente Matrice (raster)	61
Tableau21	Critère d'évaluation de la vulnérabilité Indice de vulnérabilité final selon la méthode GOD (S. Bézègues et e. 2002)	65
Tableau22	Déterminé la trace des indices GOD	67

Liste des abréviations :

ANAT : Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire

DPAT : la direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire

PDAU : plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

ANDT : Agence Nationale de Développement du Tourisme

ETP : évapotranspiration potentielle

RFU : Réserve facilement utilisable

EXC: excédent

PCB: polychlorobiphényles

ETR : évapotranspiration réelle

SIG: Systems informatique géographique

MNT : modèle numérique de terrain

GPS: Global Positioning System

NASA: National Aeronautics and Space Administration

ESRI: Environmental systems research Institute

T : Température °C.

K : Coefficient d'ajustement mensuel

ZNS : Zone non saturé

ZN : Zone saturée

I : indice thermique annuelle.

BH : besoin hydrique

DA : difficile agricole

R: Ruissellement.

P: précipitation

Max : maximale.

Min : Minimale

Moy : moyenne

Introduction

Introduction

Dans les conditions naturelles, l'eau souterraine est généralement potable et ne nécessite quasiment pas de traitement avant la distribution et l'utilisation. La bonne qualité de l'eau est le résultat de la protection des sols et des roches dans la zone non saturée au dessus de la nappe phréatique. Ils filtrent les bactéries et protègent les eaux souterraines des contaminants en surface.

Mais l'entrée massive de polluants générés par l'agriculture moderne, l'industrie et le manque d'installations d'assainissement peut dépasser la capacité de la zone non saturée à filtrer les contaminants et protéger les eaux souterraines. Une fois la nappe souterraine est polluée, la décontamination est une tâche très coûteuse et de longue durée. En raison du très long décalage qui pourrait avoir lieu avant qu'un impact de la pollution sur la ressource soit perceptible, la bonne gestion des aquifères, avec des activités de prévention de la pollution, sont d'une grande importance. Dans le cas des aquifères transfrontaliers, l'utilisation durable des eaux souterraines est souvent entravée par le manque de mécanismes juridiques et institutionnels, d'où un manque de gestion commune de ces aquifères.

Pour protéger les eaux souterraines contre la pollution et la surexploitation, il est essentiel d'évaluer le contexte hydrogéologique et l'impact anthropique

Une fois la vulnérabilité de l'aquifère a été évaluée, le risque pour les eaux souterraines peut également être évalué. Les risque de pollution des eaux souterraines est l'interaction entre la vulnérabilité des aquifères à la pollution et la charge de contaminants présente dans l'environnement de l'aquifère, à la suite de l'activité humaine à la surface du sol. La charge de contaminants peut être contrôlée, mais la vulnérabilité des aquifères est déterminée par le contexte hydrogéologique naturel. L'évaluation systématique des risques de pollution des eaux souterraines devrait être intégrée dans les mesures de protection de la qualité des nappes d'eau souterraine, et devrait devenir une composante essentielle de la meilleure pratique environnementale.

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue impérative afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau et la protection des captages d'eau potable par un système d'information géographique qui faciliterait la mise à jour des cartes de vulnérabilité.

Introduction

A la lumière de cette étude de la région de Khenchela, qui se trouve touchée par tous ces problèmes. Notre objectif essentiel est d'identifier les formations aquifères de la région afin de les mettre dans une base de données.

Cette identification doit être sérieusement complétée par une étude hydro climatologique, et aussi une étude hydrogéologique qui dépend sur des carte géographiques de vulnérabilité par utilisation des SIG et de montrer l'importance et les risques pouvant Détériorer la quantité et la qualité des eaux des aquifères de la région d'étude.

Cette étude s'articule autour de 4 chapitres qui traitent respectivement :

Chapitre I : Description et études générale sur de la zone.

Chapitre II : études hydro climatologie de la zone d'étude pour aboutir à l'établissement du bilan hydrique.

Chapitre III : généralité sur les eaux souterrain.

Chapitre IV : la vulnérabilité des eaux souterrain

Chapitre V : L'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité de la nappe par la méthode GOD en utilisant un Système d'information géographique SIG (global mapper, arc-gis 10 .1).

Enfin des perspectives seront évoquées en conclusion en termes d'utilisation des résultats carte de vulnérabilité comme un outil d'aide à la décision et d'analyse spatiale pour tous projets futurs dans la région

I.1 / Présentation de la zone d'étude :

Notre étude de la cartographie de vulnérabilité des eaux souterrain qui est base sur les données géographique des forages de plusieurs commun (région de baghai, el Hamma, m'toussa ...etc.) situe dont la wilaya de Khenchela

I.1.1/ Situation géographique de la région Khenchela :

Khenchela Située à l'Est du pays, au sud-est du constantinois; et au contrefort du Mont des Aurès; la wilaya de Khenchela, s'étend sur une superficie 9 811. Elle est composée de 21 communes et 08 daïra; et confine avec les wilayas de:

- Oum El Bouaghi au Nord.
- El Oued au Sud
- Tébessa à l'Est
- Batna à l'Ouest
- Biskra au Sud-ouest.



Figure 1. Carte de la willaya de Khenchela

I.1.2/ Cadre socio-démo-économique :

La région de Khenchela a été depuis toujours une zone à vocation agro-sylvo-pastorale, L'activité principale au niveau de la région demeure l'agriculture avec une superficie de 231768ha, la couverture forestière occupe 231768ha.

Les terres à haute valeurs agricole sont de 39000ha, les terres improductives sont de 150155ha (terres improductives 78900ha, terres urbanisés 7236ha).

Le secteur de l'industrie est faiblement représenté dans la wilaya. Il se constitue de Deux unités de production de secteur public et trente et un de la petite et moyenne entreprise Privée. (Document *ANDT 2015*)

I.1.3/ Situation démographique :

En 2015, la population est estimée à 449 220 habitants, Soit un taux d'accroissement de 1.7 %. La population de la wilaya est jeune (76,03 % ont entre 15-39 ans).

I.1.4/ Le Relief :

Le relief de la wilaya de Khenchela, est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques. (Document *ANDT 2015*)

1- Les Montagnes :

On les rencontre essentiellement dans la zone Ouest de la wilaya (les Aurès) ; dans la zone centrale (les monts des Nememchas) et au Nord - Est (Ain -Touila).

2 - Les Plateaux :

Ils sont situés au Nord /Est (plateau de O.Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et de Ouled Rechache.

3- Les Plaines :

Elles sont Situées au Nord et Nord /Ouest de la wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

4-Les parcours steppiques et les dépressions :

Ils sont situés dans la partie méridionale de la wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts .Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des oueds drainant le Sud de la wilaya

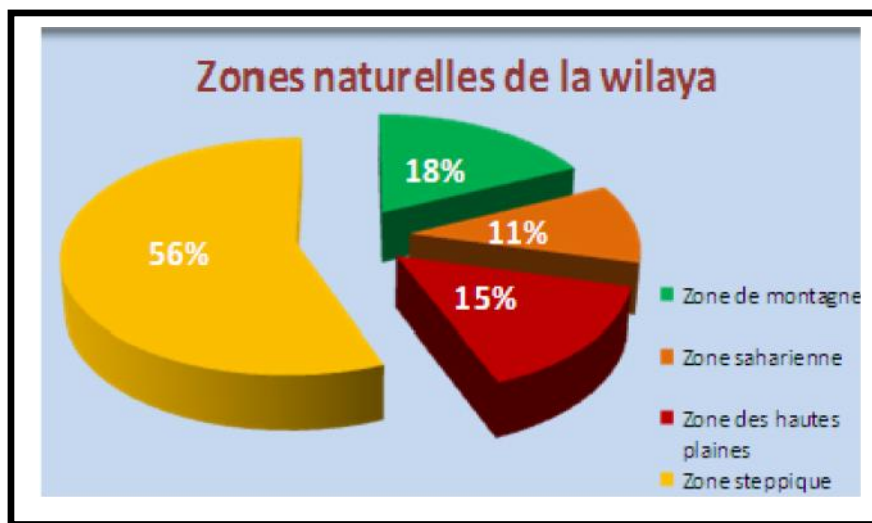


Figure 2. les parcours de la wilaya de Khenchela(document *ANDT 2015*)

1.1.5/ Potentiel Hydrique:

1- Hydrographie

La wilaya est drainée par deux (02) grandes familles d'oueds :

- Les uns se dirigent vers le Nord (O.Baghai, O.Kais, O.Boulefrais, O.Tamza etc.).
- Les autres dirigent vers le Sud, parmi les plus importants (O. El Abiod, O. El Arab, O.Mellagou et Bejer) pour se déverser dans les chotts (Document *ANDT 2015*)

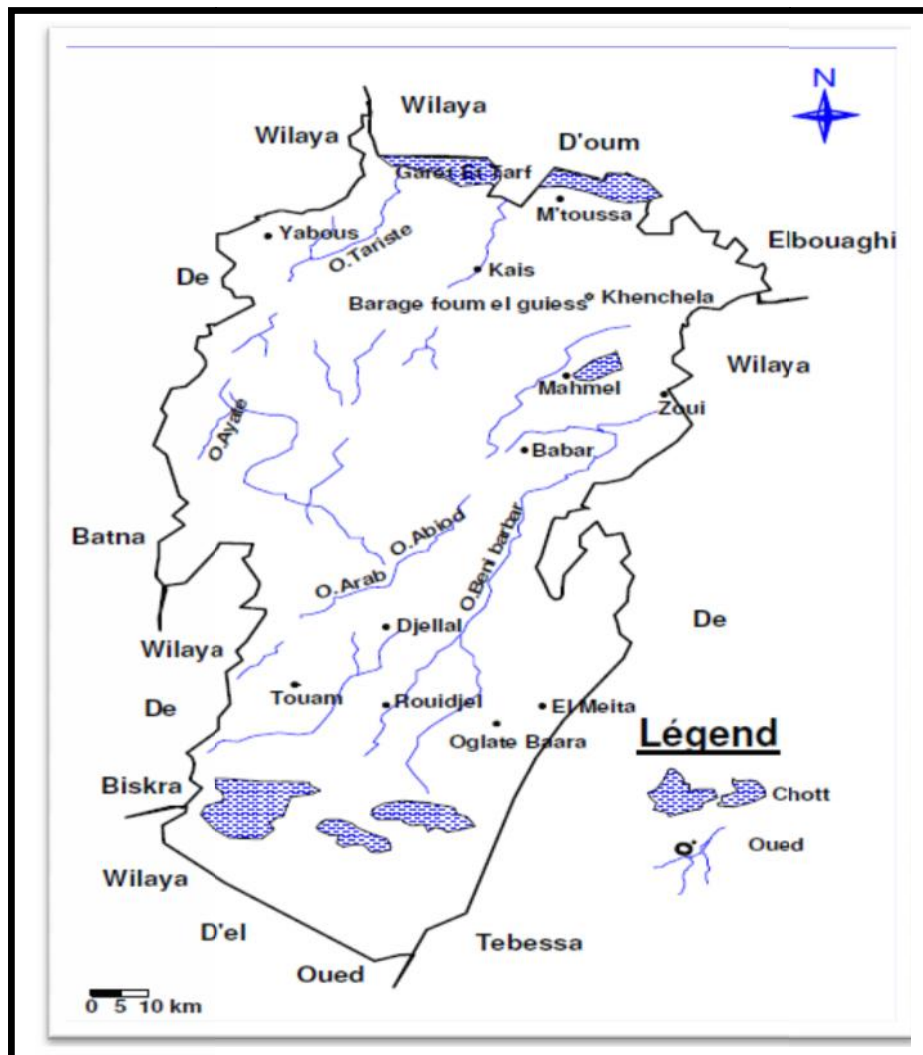


Figure 3. Carte de potentiel hydrique de la wilaya Khenchela.

2- Hydrogéologie

Les estimations en eau souterraine de la wilaya ont été établies par l'ANAT sur la base des caractéristiques de nombreux forages. Trois (03) nappes ont été différenciées et ce grâce à leurs profondeurs moyennes :

- La nappe phréatique (en moyenne inférieure à 100 m de profondeur) est captée par plusieurs forages répartis à travers la wilaya (Nord, Est et Sud). Cette nappe alimente plusieurs sources d'intérêt local (Ain El Fedj, Ain Krim, Ain Frengal), le point d'exurgence de ces sources est généralement une faille ou une fracture.
- Une nappe moyenne (des grès miocènes) : sa profondeur varie de 100 à 300 m est elle aussi, captée par de nombreux forages à travers la wilaya. (Document *ANDT 2015*)

- Une troisième nappe peut être différenciée par sa profondeur qui varie de 300 à 600 m (nappe profonde) ; Cette nappe concerne exclusivement le Sud de la wilaya.

I.2/ Présentation de la région d'étude el Hamma :

La commune El Hamma c'est la région qui contient le maximum des forages et plus précisément « diar beggaga »

I.2.1/ Localisation géographique :

La commune d'El Hamma se situe au nord de la wilaya de Khenchela Elle est délimitée :

- Au Nord par OUM EL BOUAGHI
- Au Sud par la commune d'ENSIGHA
- A l'Est par les communes de KHENCHELA et BAGHAI
- A l'ouest par les communes de KAIS et TAMZA

Ses coordonnées géographiques sont :

- 35° 27' 49'' Nord.
- 7° 4' 57'' Est

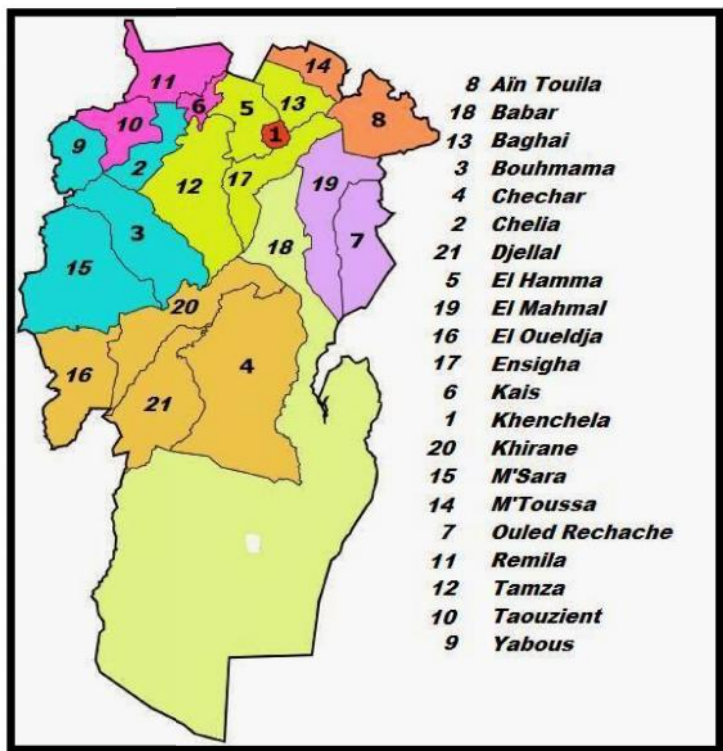


Figure 4. Les limites de commune d'el Hamma dans la wilaya de Khenchela

I.2./ Situation Démographique :

- **Densité de la population à travers de la commune d'el Hamma**

Tableau 01. La densité de la population de la commune d'el Hamma du (DPAT 2015)

Commune	Surface km²	Population totale	Densité (hab/km²)
El Hamma	168	14010	83.4

I.2.3/ Relief :

La terminaison périclinale des Aurès qui couvre la partie Sud de la commune d'El Hamma et la partie centrale de la commune de Khenchela, forme la plus grande part de l'élément montagneux et se décompose en fait, en deux (02) sous unités :

- Une première ligne de crête massive, située au Sud (Djebel Tiferkassa et Ras Serdoun), culminant à 1 500 – 1 700 m, selon une orientation SW-NE, s'interrompt à l'Ouest de la ville de Khenchela.
- Une deuxième ligne de relief, matérialisée par le Kef El Kalâa et Akar, disposés SW-NE et le massif du Djeel Kharroub d'orientation NW-SE que prolonge le massif d'El Menchar disposé lui W-E, moins imposante par son volume et ses altitudes, se détache en direction du Nord sous la forme d'un V. (PDAU Khenchela 2015)

I.2.4/ Type de sol :

Les sols de la région d'EL Hamma sont généralement des sols peu évolués, pauvres en matière organiques et peu profonds. Leur mise en culture est limitée du point de vue aptitudes culturales.

Tableau 02 : la nature du sol dans de la commune d'El Hamma (document *ANDT 2015*)

Commune	Sol Argileux lourd (ha)	Sol léger (ha)	Sol Calcaire (ha)	Sol Argileux Calcaire (ha)	Saut (ha)
El Hamma	5000	2494	3327	6000	16821

I.2.5/Potentialités Forestières :

Répartition de la superficie forestière de la commune

Tableau 03 : les forages dans de la commune d'El Hamma (document ANDT 2015)

Commune	Superficie forestière (Ha)	Essence Principale	Terre vocation Forestière	Total superficie du patrimoine forestier
El-Hamma	3488,12	Pin d'Alep + Chêne vert	1800 Ha	5288,12 Ha

I.2.6/ Ressources Naturelles :

- Source thermale Hammam Essalihine,
- Oued Hammam Essalihine,
- Grotte de Fringale,
- Montagne de Fringale.

I.2.7/ Hydrographie :

La région caractérisé par un réseau hydrographique au régime d'écoulement d'oued El Menzel et oued Hammam Essalihine, ces ressources superficielle toutefois prévois la réalisation des petits barrages, une retenue de 3,5 hm³ sur oued Menzel dans la commune.

Concernent les eaux souterraines sont constituées par la nappe des grés du miocène dont les capacités sont méconnues. (Document *ANDT 2015*)

I.2.8/Les forages :

Tableau 04 : les forages dans de la commune d'El Hamma (PDAU 2007)

Commune	Nbre des forages	Débit L/s	Volume mobilisé m³/jour
El Hamma	07	60	5184

I.3/ Conclusion :

Les données géographiques ; démographiques ; et climatiques de la commune de Hamma nous a donné des conditions favorables de travail sur la mémoire de fin d'étude cartographie de vulnérabilité sur la pollution des eaux souterraines, qui dépendent des cartes géographiques de vulnérabilité par utilisation des SIG.

II.1/Introduction :

D'une façon très générale, l'hydrologie peut se définir comme l'étude du cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux. L'hydrologie au sens large regroupe :

- la climatologie, pour la partie aérienne du cycle de l'eau (précipitations, retour à l'atmosphère, transferts, etc.) ;
 - l'hydrologie de surface au sens strict, pour les écoulements à la surface des continents ;
 - l'hydrodynamique des milieux non saturés pour les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines (infiltration, retour à l'atmosphère à partir des nappes, etc.) ;
 - l'hydrodynamique souterraine (sensu stricto) pour les écoulements en milieux saturés.
- L'hydrologie de surface est la science qui traite essentiellement des problèmes qualitatifs et quantitatifs des écoulements à la surface des continents.

Ces problèmes se ramènent généralement à des prévisions (associer à une date une certaine grandeur) ou des prédéterminations (associer à une grandeur une certaine probabilité) de débits ou de volume en un point ou sur une surface (Laborde, 2009).

La station météorologique d'El Hamma gérée par l'Office National de la Météorologie, est retenue pour notre étude pour une période d'observation allant de 2005 à 2017 servie pour l'évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées suivantes:

Tableau 05. Les coordonnées de la station météorologique retenue dans l'étude

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période d'observation
el Hamma	7°05' E	35°28' N	928.5 m	2005 à 2017

II.2/ Les facteurs climatiques :

II.2.1/ Les précipitations :

La vapeur d'eau atmosphérique se condense en nuages qui engendrent les précipitations sous forme de pluie, de neige ou de grêle. (Boeglin, 2004)

Il existe deux classes d'appareils permettant de mesurer la pluie :

- le pluviomètre, qui donne la pluie globale à une station pendant un temps plus ou moins long;

- le pluviographe, qui permet d'analyser de plus près la répartition de la pluie dans le temps.

Gauthier, 1963)

Les principales représentations graphiques des précipitations sont l'histogramme des précipitations par intervalles de temps permettant d'observer la structure des averses

II.2.1.1/ Précipitation moyenne mensuelle :

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur

Un grand nombre d'années ou dite précipitation moyenne mensuelle donne un aperçu sur les Variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations.

La représentation en histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hamma montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à un autre avec une valeur maximale qui atteint 60.75mm au mois de Mai et un minimum de l'ordre de 18.55mm au mois de Juillet

Les moyennes des précipitations pour la station sont résumées dans la figure Suivant:

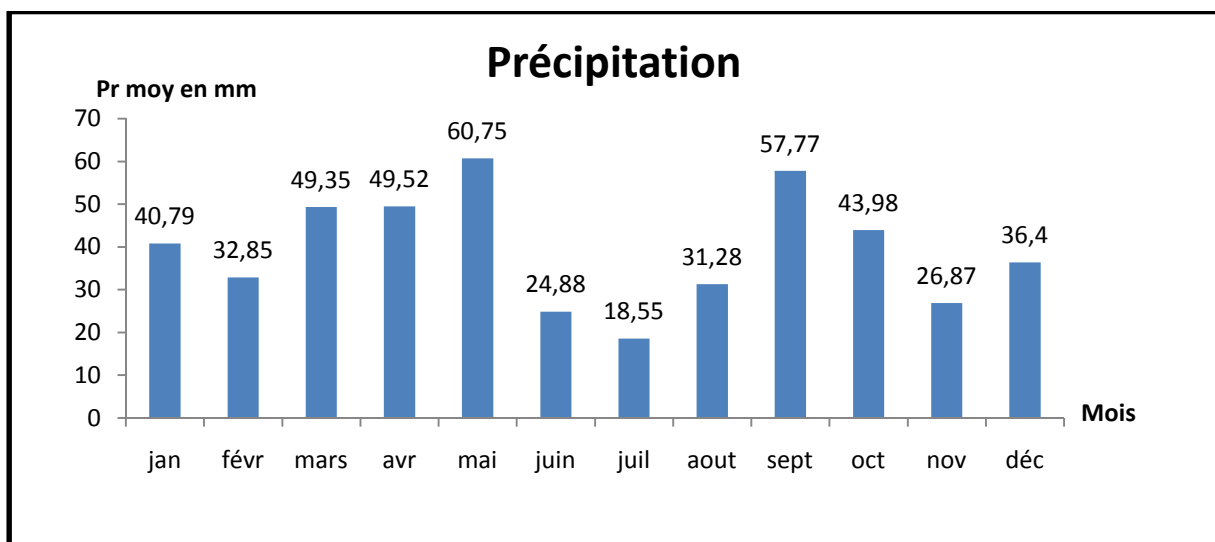


Figure 5. Histogramme des variations de précipitations moyennes mensuelles à la station d'El Hamma (2005 -2017)

II.2.1.2/ Précipitations moyennes annuelles :

D'après l'histogramme (fig. 7), des variations des précipitations moyennes annuelles à la station d'Hamma se répartissent irrégulièrement à travers l'année. On enregistre un maximum de 626,3 mm dans l'année 2011 et un minimum de 276 mm dans l'année 2017. La moyenne annuelle est de l'ordre de 614,9 mm.

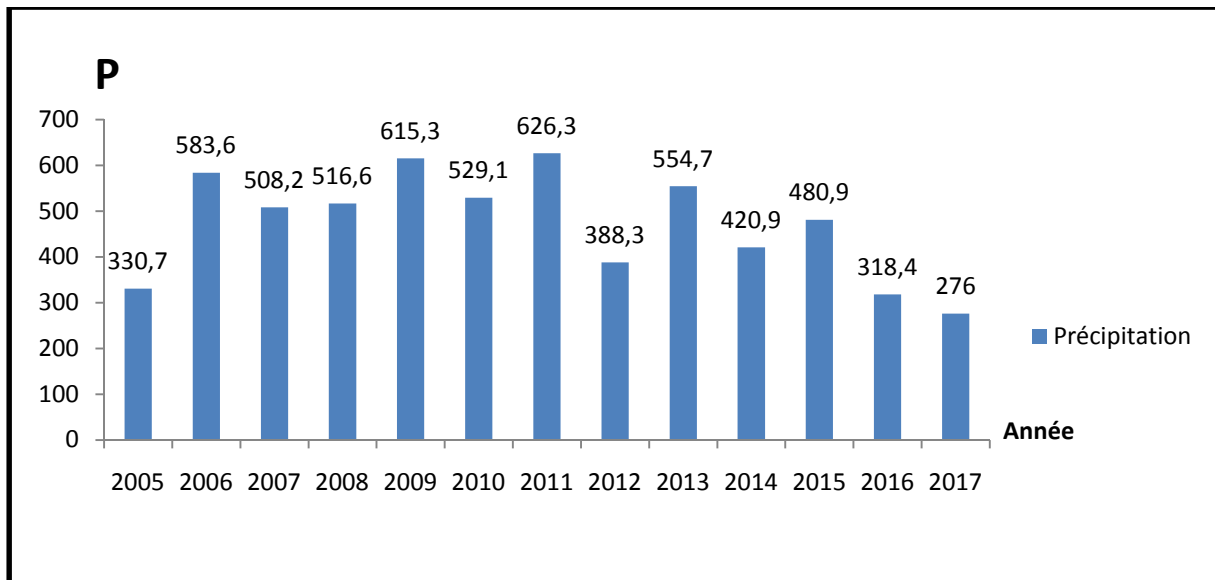


Figure6. Histogramme des variations de précipitations moyennes annuelles à la station d'El Hamma (2005/2017)

II.2.2/ Les températures :

La température est un facteur important du climat, est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. (Vincent et al, 2013)

II.2.2.1/Température moyenne mensuelle :

L'analyse de la variation des températures est basée sur des observations effectuées au niveau de la station d'el Hamma, ou on peut distinguer :

- Une diminution de la température à partir du mois de Septembre pour atteindre sa valeur minimale au mois de Janvier, c'est le mois le plus froid avec une valeur 6,44 °C
- Une élévation de la température où la température croit progressivement du mois de Février pour arrivée à une valeur maximale au mois d'Août, c'est le mois le plus chaud avec une valeur 27,16 °C

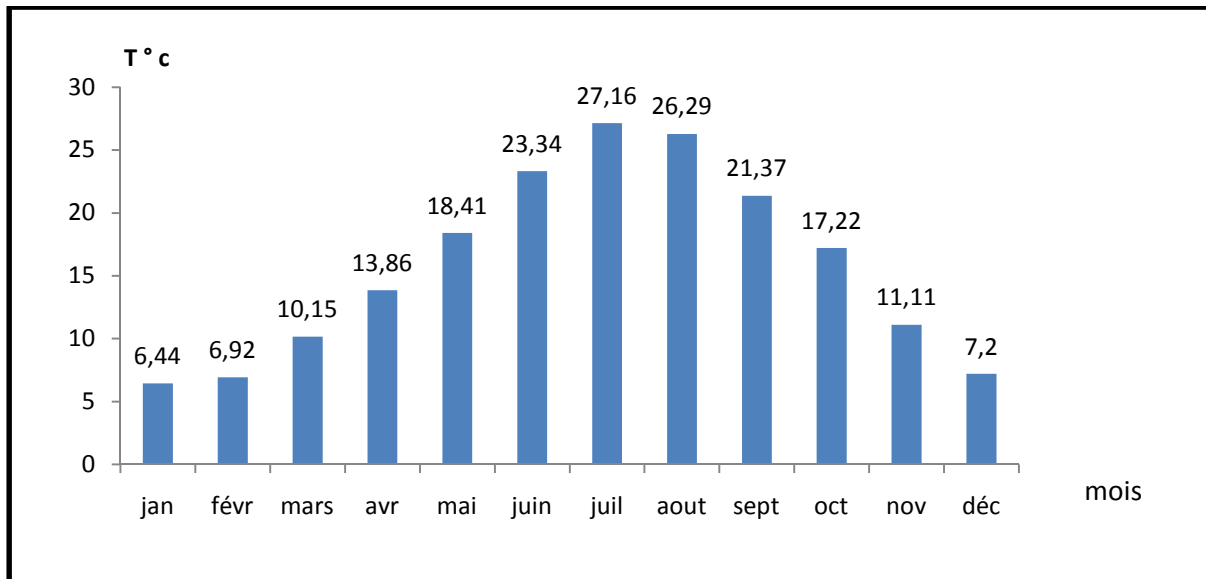


Figure 7. Histogramme des variations de températures moyennes mensuelles à la station d'El Hamma (2005/2017)

II.2.2.2/Température moyenne annuelle :

La variation des températures moyennes annuelles qui ont été observées au niveau de la station d'El Hamma sur la période d'étude varient entre 16,32 °C et 15,29 °C, soit un écart de 1,3 °C. Avec une moyenne de 15.78°C

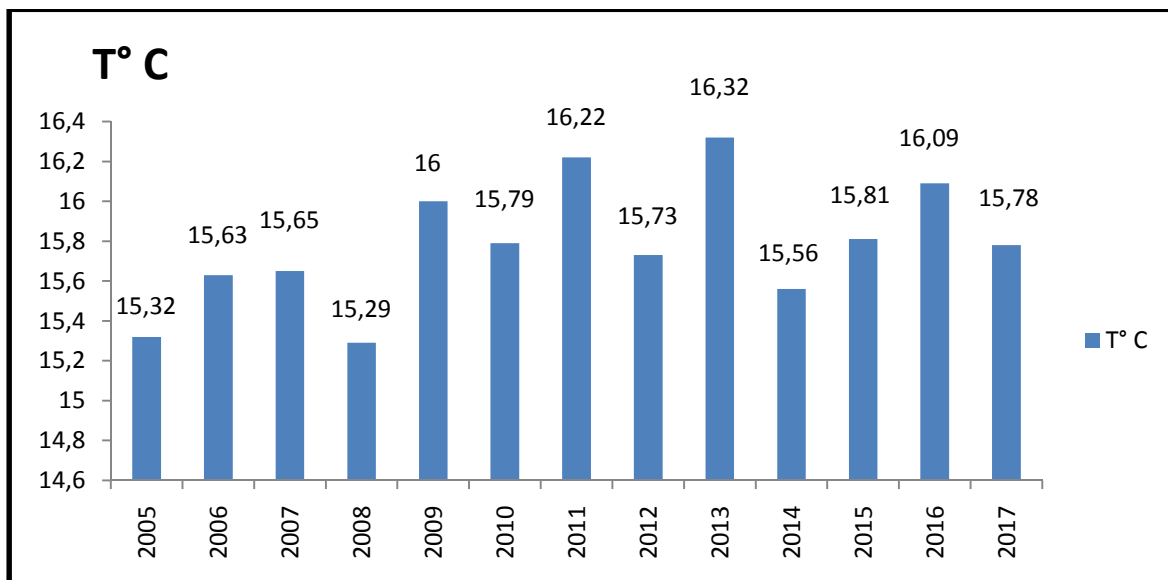


Figure8. Histogramme des variations de températures moyennes annuelles à la station d'Hamma (2005/2017)

II.2.3/ Analyse de température :

D'après le diagramme (fig.10) on peut distinguer une évaluation de la température ou la température croît progressivement à partir du mois de mai pour arriver à une valeur maximale au mois de juillet (c'est le mois le plus chaud, avec une moyenne de 27,16 °C) ; une diminution de la température à partir du mois de septembre pour atteindre sa valeur minimal au mois de février ; c'est le mois le plus froid ; avec (6,44 °C)

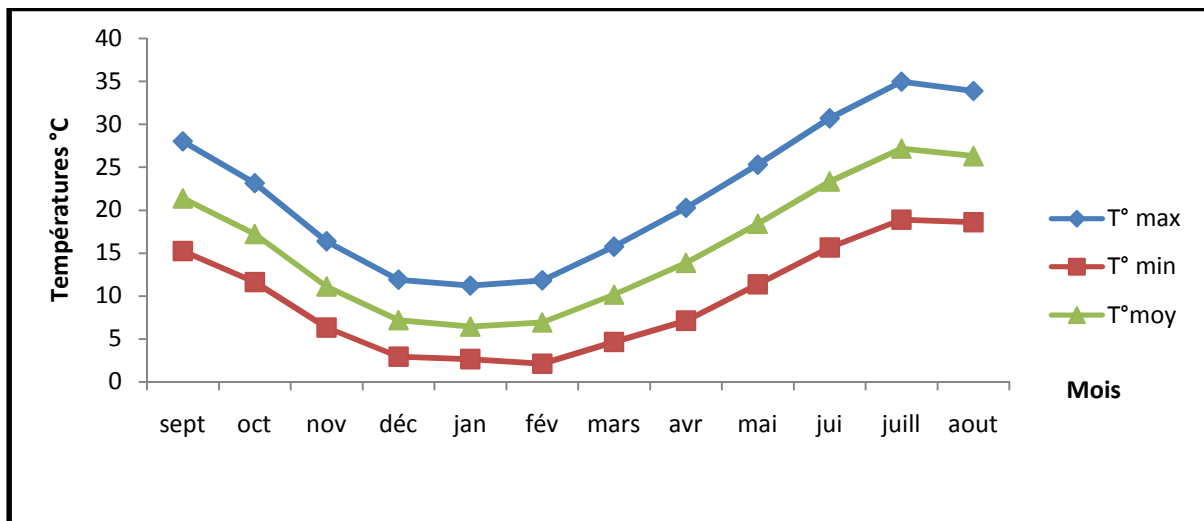


Figure 9.la répartition de la température moyenne (max, min, moy) de la station de Hamma (2005/2017)

II.2.4/ Diagramme ombrothermique de Gaussen :

Le diagramme ombrothermique est établi, en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles pour déterminer les périodes sèches et humides.

D'après le diagramme (fig.11), on peut déterminer deux périodes bien distinctes:

- Une saison sèche et chaude qui s'étend du début du mois de mai jusqu'au mois d'Aout.
- Une saison humide et froide qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de avril.

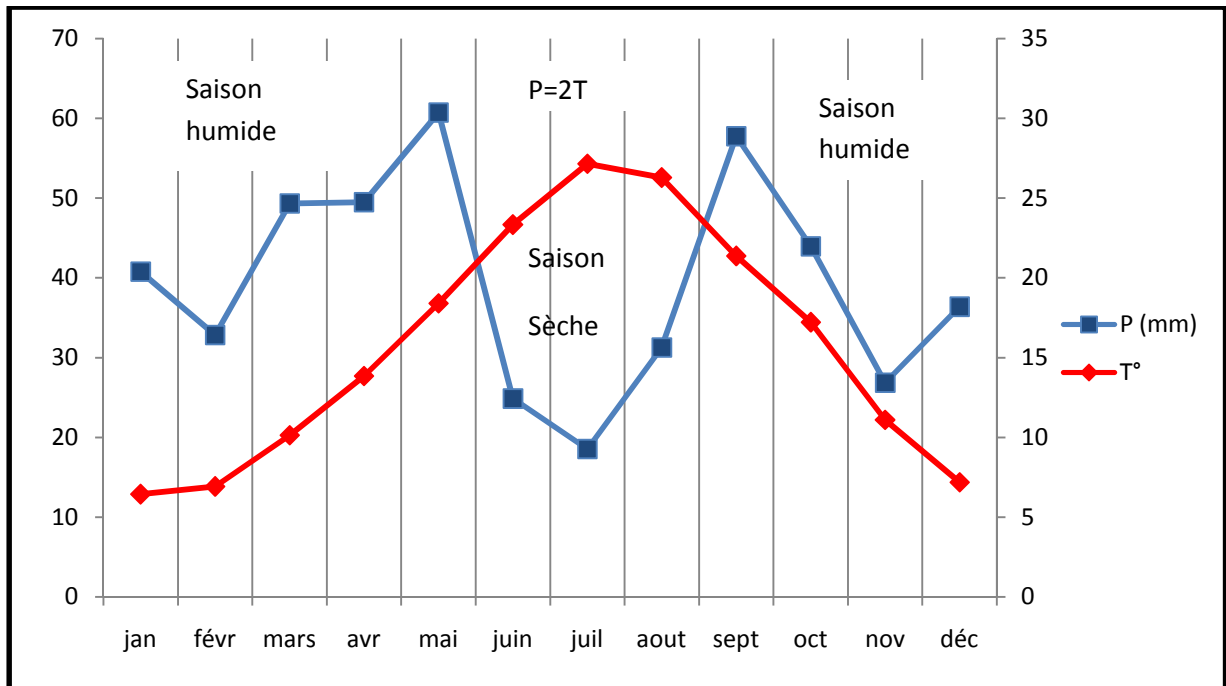


Figure 10. Courbe ombrothermique de Gausson de la station d'El Hamma

II.3/ Déterminations de l'étage bioclimatique :

II.3.1/ L'indice climatique de De .MARTONNE 1923 :

L'indice d'aridité de De. Martonne (1923) se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d'une région:

$$A = P/T + 10$$

Où:

P: Précipitation moyenne annuelle en mm

T: Température moyenne annuelle en °C.

Ainsi, suivant la valeur de A, il définit des climats distincts:

20 < A < 30 Climat tempéré.

10 < A < 20 Climat semi-aride.

7.5 < A < 10 Climat steppiqué.

A < 10 Climat hyperaride

La moyenne des précipitations interannuelles est de 472,99mm que la température annuelle moyenne est de 15.78°C, soit $A=18,34$.

Le climat alors est de type semi-aride

II.3.2/ Humidité relative :

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard, de la rosée et des nuages (**Vincent, 2013**)

A partir de l'histogramme (fig.12) on constate que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes les données hygrométrique montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de décembre c.-à-d. c'est le mois le plus humide alors que le pourcentage le plus faible est de mois de juillet

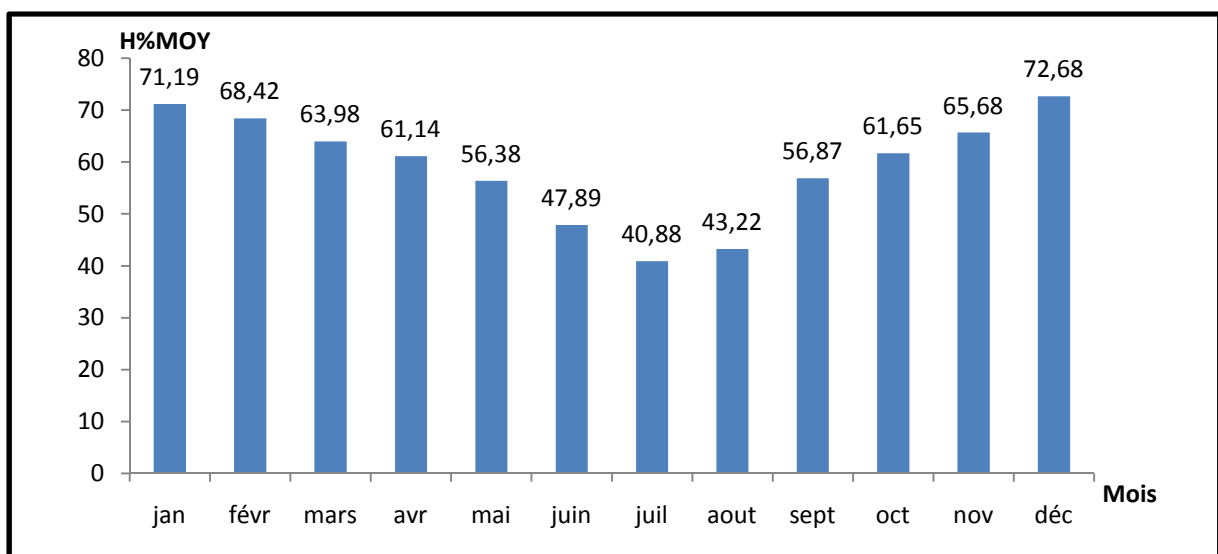


Figure 11. Histogramme des variations d'humidité relative mensuelle moyenne de El Hamma (2005/2017)

II.3.3/Vent :

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression entre deux masses d'air (**Vincent, 2013**).

A partir de l'histogramme (fig.13) on constate que les valeurs de vent sont relativement variées, les données hygrométrique montrent que le plus élevé est enregistré durant le mois de mars alors que le vent le plus faible est de mois de octobre

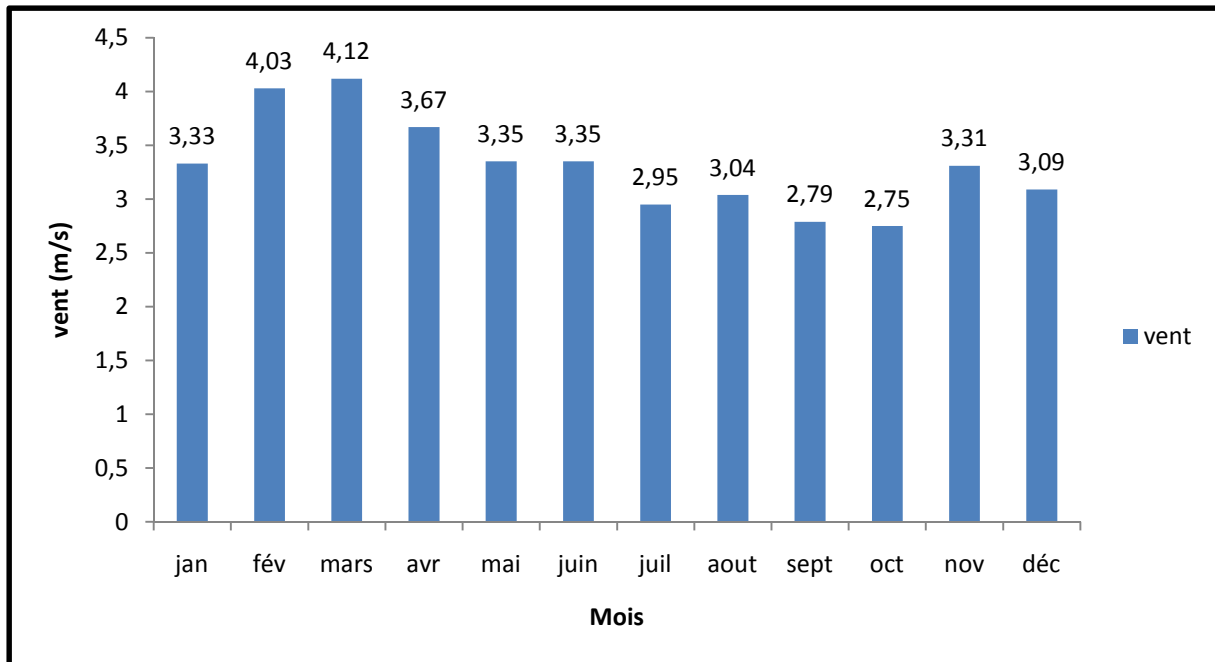


Figure 12. Histogramme des variations de vent mensuel moyen d el Hamma (2005/2017)

II.3.4/ Evaporation :

L'évaporation constituée par le retour direct de l'eau à l'atmosphère et qui est un phénomène purement physique dépendant en particulier du déficit hygrométrique, c'est-à-dire de la différence entre la pression de vapeur saturante à la température considérée et la pression de vapeur réelle. (Boeglin, 2004)

. Ces pertes comportent l'évaporation des nappes d'eau libre, lacs, cours d'eau. Lorsqu'on fait des mesurés d'évaporation, il est intéressant de connaître la température superficielle de l'eau

L'évaporation moyenne variée d'un mois à l'autre ; la valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de (255,42) et la valeur minimale est enregistrée en décembre avec une moyenne de (55,15)

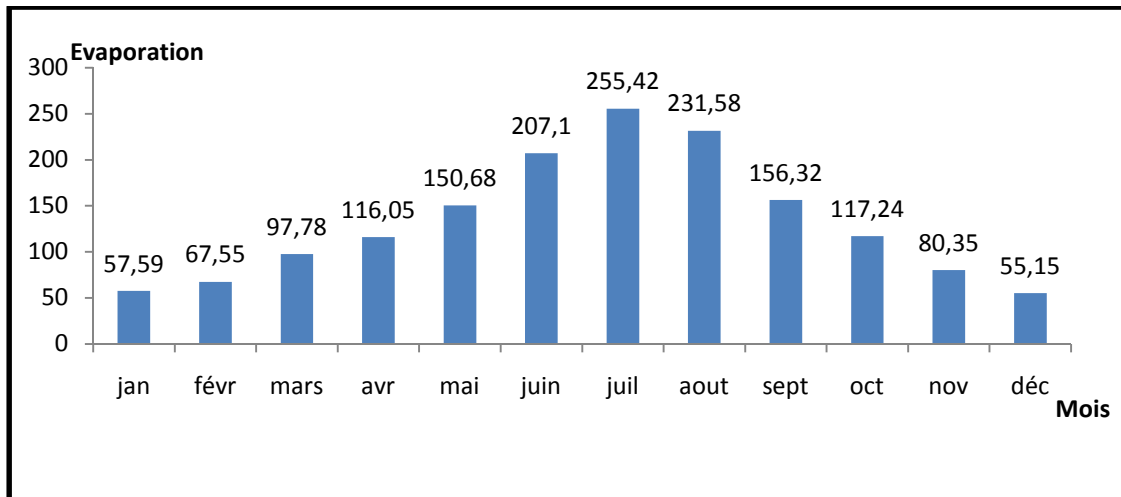


Figure13. Histogramme des variations des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2005 /2017)

II.4 / Le bilan hydrique :

Le bilan de l'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration), il calcule par la formule suivant :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitation annuelle en mm

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm

R : ruissellement en mm

I : infiltration annuelle en mm

Pour cela, on va se baser sur les données de la station météorologique.

II.4.1/Étude de l'évapotranspiration:

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représentée par une quantité d'eau et restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur. L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et transpiration (biologique).

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesuré directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres, ou calculer par des formules empiriques telles que celle de **Turc** ou de **Thornthwaite** ...etc. (Bou belli, 2009)

II.4.1.1/ Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température. L'évapotranspiration réelle est liée à la quantité de pluie tombée dans le bassin et de la réserve maximale en eau du sol.

Formule de Turc:

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Où

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Avec :

ETR: Evapotranspiration réelle annuelle en mm

P: Précipitation annuelle en mm.

T: Température moyenne annuelle en °C.

L : Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le tableau suivant:

Tableau 6. les résultats des calcule de formule de turc

Les paramètres	P en mm	T en c°	L	ETR
Station de Hamma	472,99	15,78	890,96	498,41

II.4.1.2/ Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales. Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle, nous avons appliqué la formule de Thornthwaite.

Formule de Thornthwaite :

Avec:

$$ETP = 16 (10 T / I)^a \cdot K$$

$$i = (T/5)^{1.514}$$

$$I = i$$

$$a = (1.6/100) I + 0.5$$

ETP: Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm

T : Température moyenne du mois considéré en °C.

K : Coefficient d'ajustement mensuel (donné en fonction de l'altitude et du mois considéré).

I : indice thermique annuelle.

Les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 07. Estimation de l'ETR selon la méthode de Thornthwaite

mois	sept	oct	nov	déc	jan	févr	mars	avr	mai	juin	juil	aout	Année
T° C	21,37	17,22	11,11	7,2	6,44	6,92	10,15	13,86	18,41	23,34	27,16	26,29	189 ,47
p (mm)	57,77	43,98	26,87	36,4	40,79	32,85	49,35	49,52	60,75	24,88	18,55	31,28	472,99
i	8,83	6,39	3,31	1,72	1,46	1,62	2,89	4,61	7,06	10,08	12,66	12,05	72,68
K	1,03	0,98	0,58	0,84	0,87	0,85	1,03	1,08	1,2	1,2	1,22	1,15	
ETP mm	98,73	65,64	18,77	13,21	11,38	12,53	28,69	50,45	89,81	133,16	174,12	155,49	851,98
BH	-	-							-	-	-	-	-
RFU	40,96	21,66	8,1	23,19	29,41	20,32	20,66	-0,93	29,06	108,28	155,57	124,21	378,99
ETR	0	0	8,1	31,29	60,7	80	80	79 ,07	50,22	0	0	0	389,38
DA	57,77	43,98	18,77	13,21	11,38	12,53	28,69	50,45	89,81	75,10	18,55	31,28	451,52
EXc	40,96	21,66	0	0	0	0	0	0	0	58,06	155,57	124,21	400,46
	0	0	0	0	0	1,02	20,66	0	0	0	0	0	21,68

Vérification à l'échelle annuelle : ETP-ETR=DA donc 851,98 -451,52=400,46

P-ETR=EXC donc 472,99-451,52=21,47

D'après le bilan hydrique dans la station d'El Hamma, calculé par la méthode de Thornthwaite, nous constatons que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois d'Octobre pour atteindre son maximum (80 mm) de février à mars, période pendant laquelle il y a un surplus d'eau se manifestant par un écoulement.

La RFU diminue à partir du mois d'Avril jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de juin, où on observe l'apparition de déficit agricole (DA) qui se poursuit jusqu'à Octobre.

- Les résultats représentés par le tableau ci-dessous montrent une différence entre les résultats des différentes méthodes de calcul, mais la méthode de Thornthwaite est la plus appropriée pour de tels calculs car elle contient un facteur de correction K qui intègre la durée d'insolation.

Tableau 08. Comparaison entre les deux méthodes de calcul

Méthode	Thornthwaite	turc
Station de Hamma	ETR = 451,52 mm	ETR=498,41 mm

II.4.2/ Le ruissellement et l'infiltration :

Pour déterminer le bilan hydrologique. Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre.

La formule de TIXERONT-BERKALOFF permet d'estimer le coefficient de ruissellement (R)

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

Avec

R: Ruissellement en (mm).

P: précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETP: évapotranspiration potentielle en (mm).

NB:

Cette formule n'est valable que pour des valeurs de précipitations moyennes annuelles ne dépassent pas les 600mm.

Si la précipitation P est supérieure à 600mm, on utilise la formule suivante:

$$\mathbf{R = P^3 / 3}$$

-La valeur obtenue est de l'ordre de 48,59 mm pour la station d'El Hamma

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol, elle renouvelle les stocks d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoulement souterrain et sortant après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous – sol.

La formule de bilan globale: $\mathbf{P = R + I + ETR}$

On aura: $\mathbf{I = P - R - ETR}$

Avec

P: précipitation moyenne mensuelle en mm.

R: Ruissellement en mm.

I: l'infiltration en mm

ETR: évapotranspiration réelle calculée selon la formule de THORNTHWAITE en mm.

La valeur obtenue est 2 ,16 mm.

II.5/ Interprétation du bilan hydrique:

L'établissement du bilan hydrique a pour but de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EXC), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologique (Laborde, 1982).

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné Généralement par un écoulement et dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA)

L'observation de l'allure de la station d'El Hamma (fig. 15) montre que :

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (174,12 mm) et son minimum au mois de Janvier (11,38mm), un déficit agricole maximum au mois de Juillet imposant une irrigation

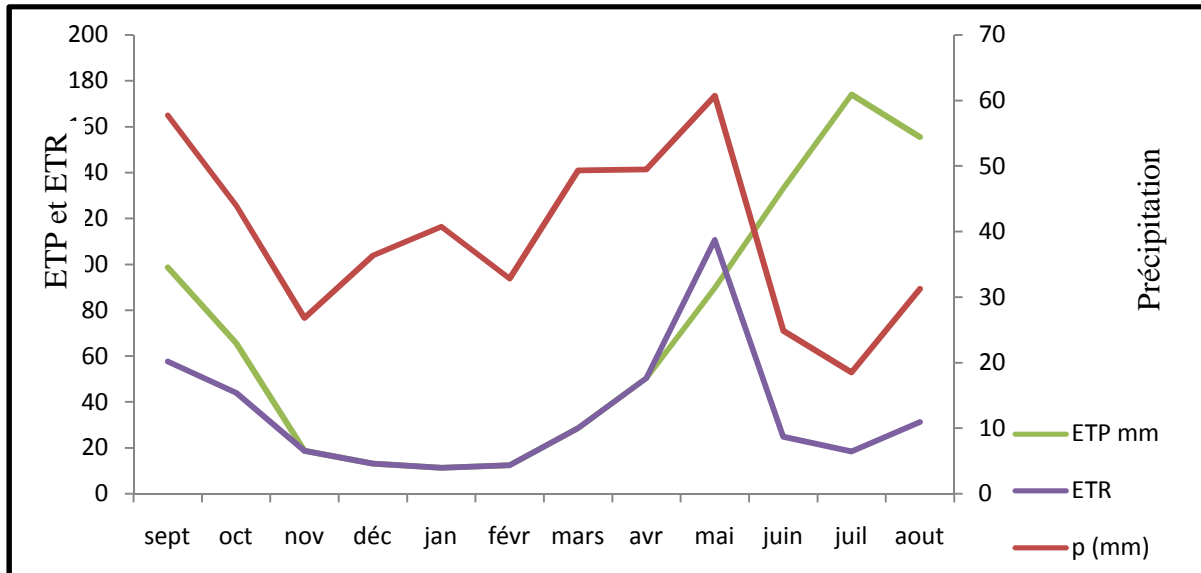


Figure 14. Graphique du bilan hydrique à la station d'El Hamma

II.6/ Conclusion :

Le climat de la région d'étude est de type semi-aride avec une composante d'altitude influencée par les courants d'air froid et humide (maximum des précipitations en Hiver et au Printemps, couverture neigeuse peu durable mais parfois importante, saison sèche à orage brutaux en Eté, effet de barrage des reliefs, favorisant les précipitations.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 472,99mm

La répartition des précipitations mensuelles montre deux grandes saisons bien distinctes:

- Saison sèche et chaude.
- Saison froide et humide.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6°C et 27°C pour la station d'El Hamma, et une moyenne de 6°C pour le mois de janvier le plus froid, ceci dit que la région d'étude est parmi les régions moyennement arrosées en Algérie.

L'appréciation du bilan d'eau par la méthode de THORNTHWAITE a montré que

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (174,12) et son minimum au mois de Janvier (11,38 mm),

L'excédent dans mois de Mars attendre une maximum valeur (1,02 mm) avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet au station d'El Hamma imposant une irrigation.

La répartition des précipitations mensuelles montre deux grandes saisons bien distinctes:

- Saison sèche et chaude.
- Saison froide et humide.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6°C et 27°C pour la station d'El Hamma, et une moyenne de 6°C pour le mois de janvier le plus froid.

III.1 /Introduction :

Depuis des milliers d'années, l'eau douce a posé problème dans le monde ; vu sa répartition inégale à la surface de la terre et son utilisation qui semble être abusive par les consommateurs, entre autres l'homme dans ses activités tant domestiques, agricoles qu'industrielles.

Les activités humaines influent donc sur la quantité et la qualité des ressources en eau et de l'eau souterraine en particulier.

Les statistiques nous font croire tout d'abord que, sur l'ensemble des eaux de la surface terrestre, seulement 3% sont constitués d'eaux douces et 97% d'eaux salées. D'autre part, l'eau souterraine représente 30% de ses réserves en eau douce, la plus grande partie étant représentée par les glaciers.

L'eau souterraine constitue donc la plus grande réserve en eau douce liquide de la planète ; c'est l'une des matières premières les plus vitales pour l'homme et pour l'ensemble de l'économie.(Kevin, 2012)

III.2 /Notion sur les eaux souterraines :**III.2.1/Les différents types des eaux souterraines :**

Sous l'aspect hydrogéologique, une roche contient de l'eau sous différentes formes (Kevin, 2012) :

- Eau de constitution entrant dans la structure cristalline des minéraux (le gypse par exemple a pour formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Eau adsorbée à la surface des minéraux par des interactions électrostatiques
- Eau non-libre située dans les pores fermés et inclusions fluides
- Eau libre circulant dans les pores et les fissures

III.2.2 /Les nappes d'eaux souterraines :**III.2.2.1/ Origines des eaux souterraines :**

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire proviennent des précipitations (pluies, neige) et de leur infiltration dans le sous-sol.

Les eaux connées : les eaux que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) sont dérivées des réservoirs d'eaux météoriques qui ont réagi avec les roches environnantes. Souvent ces eaux sont relativement salées.

Les eaux connées peuvent contribuer à l'hydrologie de formations géologiques qui se sont enfouies très récemment ou bien rester piégées dans des roches dont la perméabilité est très faible et dont toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent cette eau est présente depuis la formation de la roche.

Les eaux juvéniles : Ces eaux sont libérées directement par des processus magmatiques en profondeur. Elles sont difficilement distinguables des eaux situées en profondeur, par exemple l'eau remplissant le forage profond (11 km). Les processus magmatiques peuvent relâcher en plus de l'eau, des composés gazeux (CO₂ par exemple) (Kevin, 2012).

III.2.2.2 Notion d'aquifère

Un aquifère (du latin aqua=eau et ferere=porter) se définit comme étant une formation hydrogéologique perméable permettant l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables par des moyens économiques

L'écoulement de l'eau souterraine peut être non-confiné (libre) ou confiné (captif). La base de l'aquifère (substratum) est constituée par une formation hydrogéologique imperméable. Le toit est de trois types (Kevin, 2012) :

- Hydrodynamique à fluctuations libres (aquifère à nappe libre) : le niveau de la surface libre de l'écoulement souterrain peut se déplacer verticalement sans limite vers le haut, jusqu'à la surface topographique.
- Géologique imperméable (aquifère à nappe captive) : la présence d'un niveau peu perméable ne permet pas l'élévation du niveau de la surface supérieure.

- Géologique semi-perméable (aquifère à nappe semi-captive).

III.2.2.2.1 / Aquifère à nappe libre :

C'est le premier aquifère rencontré sous la surface du sol. Son niveau est à une altitude appelée niveau piézométrique ou niveau hydrostatique (NH), mesuré dans de petits ouvrages appelés piézomètres. Sa nappe est dite phréatique (du grec phreas : puits).

Il s'agit d'une nappe comprise dans un terrain recevant l'eau par toute sa surface, c'est-à-dire, que le terrain qui la renferme n'est recouvert en aucun point par une roche imperméable empêchant l'eau d'y arriver par infiltration directe à partir de la surface. Dans la nappe libre l'eau peut y prendre librement la forme qui lui convient d'où le nom de nappe libre (Kevin, 2012

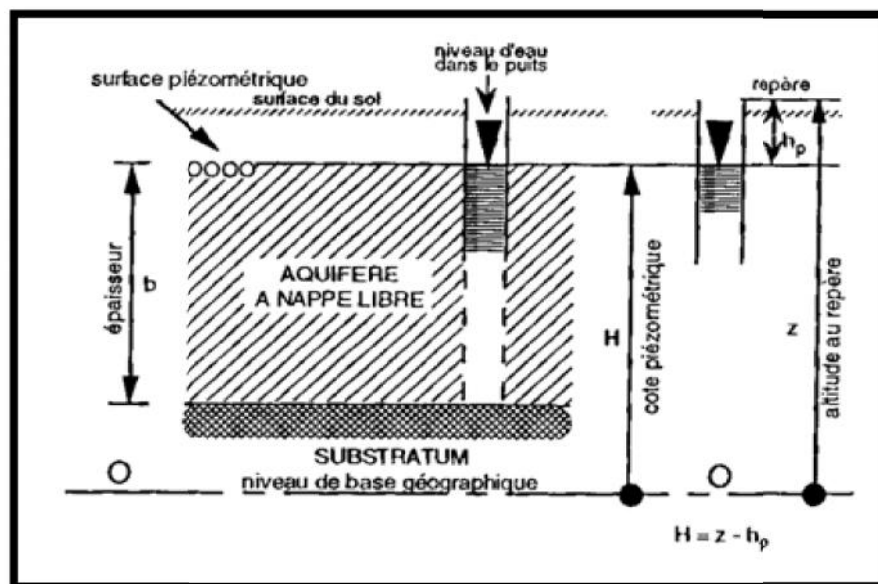


Figure 15. Schéma d'un aquifère à nappe libre (Portlet, 2003)

III.2.2.2.2/ Aquifère à nappe captive :

L'aquifère à nappe captive est celui limité par deux formations imperméables. Il existe une pression verticale de haut en bas égale au poids des terrains sus-jacents. Cette pression est équilibrée par la pression de pore ou de couche régnant à l'intérieur de l'aquifère d'où on l'appelle aussi aquifère sous pression. Le potentiel hydraulique est supérieur ou égal à

l'altitude du mur de la formation située au-dessus de l'écoulement. L'aquifère est entièrement saturé en eau.

Si un sondage perce le toit de l'aquifère, il ya chute de pression dans l'aquifère et expulsion d'eau. Le niveau se stabilise à une altitude qui représente le niveau piézométrique déterminé par la différence de charge entre la zone d'alimentation et l'ouvrage considéré. En cas d'artésianisme, l'eau jaillit naturellement. On rencontre parfois des aquifères qui passent de l'état libre à l'état captif (Kevin, 2012).

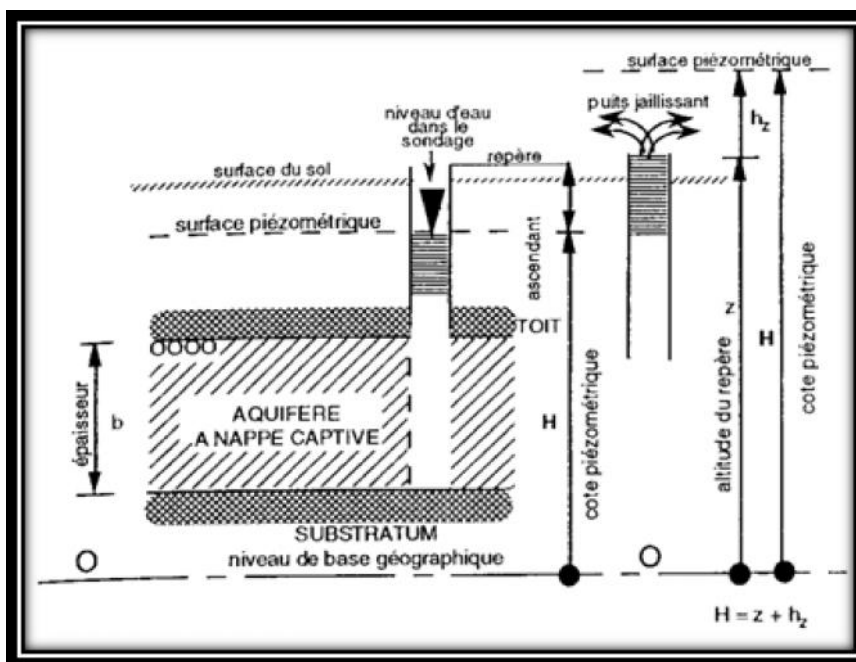


Figure 16. Schéma représentatif d'un aquifère à nappe captive (Portet, 2003)

III.2.2.2.3 / Aquifère à nappe semi-captive ou à drainance :

Son toit et/ou son substratum est constitué par une formation semi-perméable. Il en résulte des échanges d'eau avec l'aquifère sus- et sous-jacent, appelés drainance. La formation est incorporée à un aquifère multicouche.

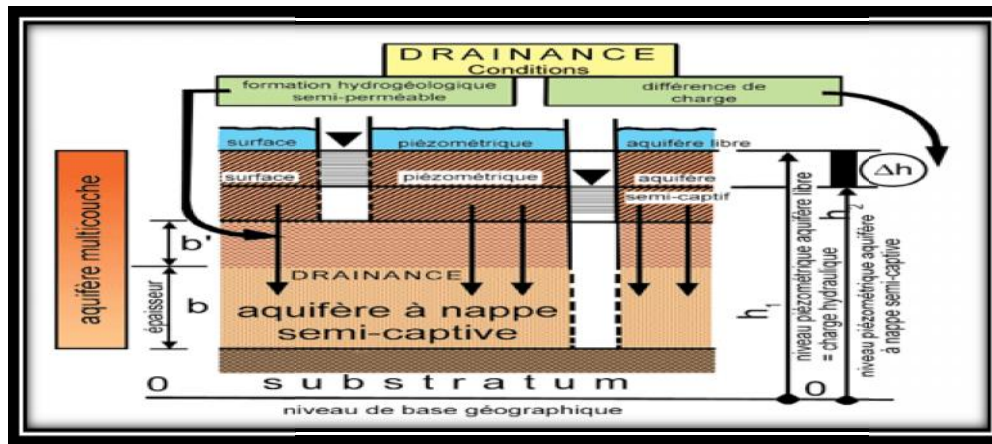


Figure 17. Schéma représentatif d'un aquifère à nappe semi captive

III.3 /Notion sur la pollution des eaux souterraines :

III.3.1/La pollution des nappes souterraines :

Signalons que la pollution des nappes d'eau souterraines est la contamination de l'eau d'une nappe par des substances indésirables qui provoquent des nuisances et qui rendent l'eau impropre pour certaines utilisations. Cette pollution à une origine naturelle ou anthropique.

III.3.2/L'origine de la pollution :

➤ *Origine naturelle :*

Emissions volcanique ; séismes ; salinité ; toxines algales ...etc.

➤ *Origine anthropique :*

Sont classées en quatre types :

a) Origine domestique : dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannées, les eaux ménagères, peuvent être transférées à la nappe. Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages libèrent également des lixiviats riches en polluants.

b) Origine industrielle : les polluants de cette origine sont très variés selon le type d'activité (substances organiques, hydrocarbures, métaux lourds...). Les pollutions ici sont

exceptionnelles et insidieuses. Un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels.

c) Origine agricole : la pollution est étendue dans l'espace et dans le temps. En effet, elle est influencée par les pratiques de cultures (utilisation massive des engrais et produits chimiques de traitement des plantes, l'irrigation), de l'élevage (élevage intensif des porcs, bovins et volailles).

d) Origine urbaine et routière : les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident) (Kevin, 2012).

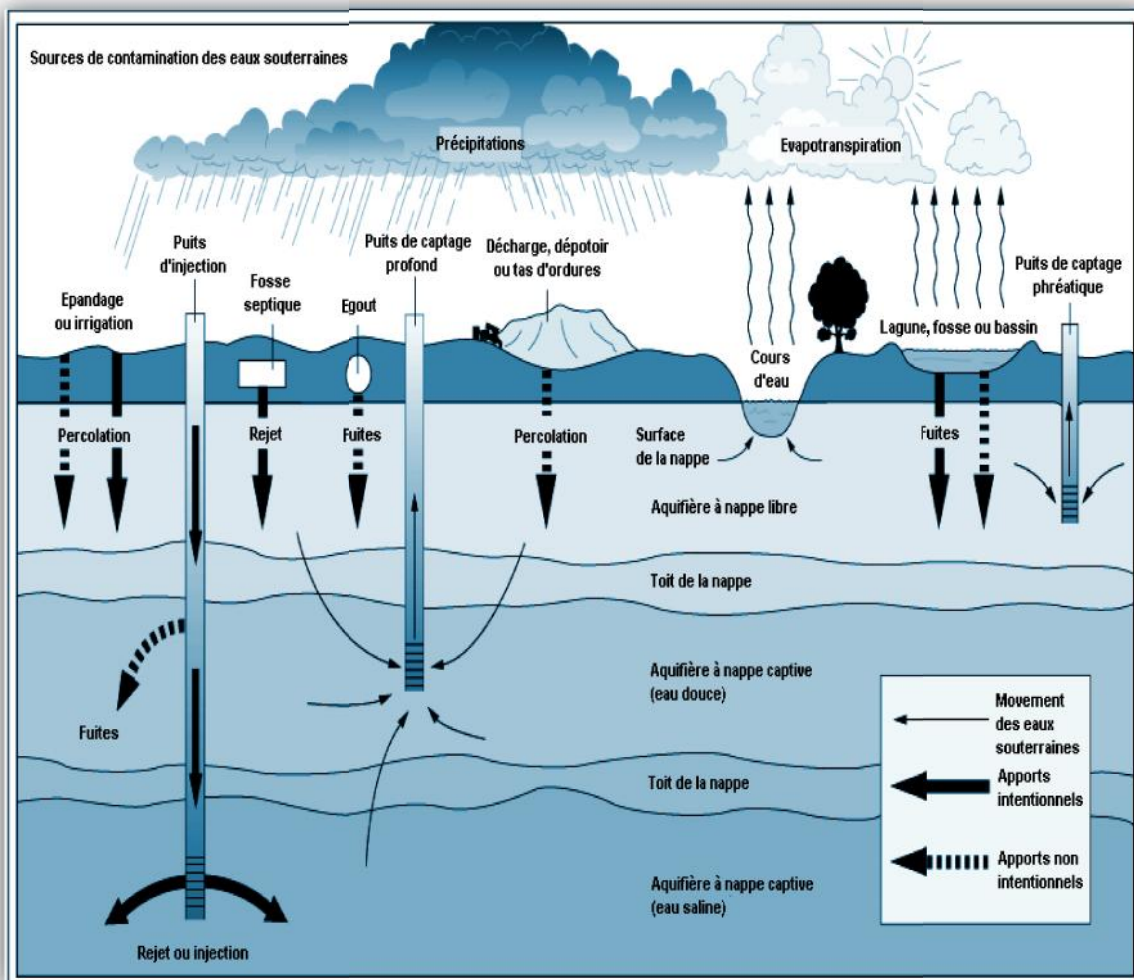


Figure18. Différentes sources de pollution des eaux souterraines

III.3.3/ Les principaux polluants

Tableau 09 : représente les différents types de polluants (**Hachette, 1996**)

TYPES DE Polluant	NATURE	SOURCES
> Physique		
pollution thermique	rejets d'eau chaude	centrales thermiques
pollution radioactive	radio-isotopes	installations nucléaires
> Matière organique		
	glucides, lipides, protides	effluents domestiques, agricoles, agro-alimentaires
	ammoniac, nitrates	élevages et piscicultures
> Chimique		
Fertilisants	nitrates, phosphates	agriculture, lessives
métaux et métalloïdes	mercure, cadmium, plomb, aluminium, arsenic...	industries, agriculture, pluies acides, combustion
Pesticides	insecticides, herbicides, fongicides	agriculture, industries
organochlorés	PCB, solvants	industries
composées organiques de synthèse	nombreuses molécules	industries
Détergents	agents tensio-actifs	effluents domestiques
hydrocarbures	pétrole et dérivés	industrie pétrolière, transports
> M microbiologiques		
	bactéries, champignons, virus,	effluents urbains et d'élevage

L'air et l'eau sont les vecteurs de migration de différent polluant. Au cours du transport par l'eau dans le sol et la zone non saturée se produisent des processus d'adsorption/désorption et des processus de dégradation, qui peuvent freiner, ou parfois accélérer, la migration.

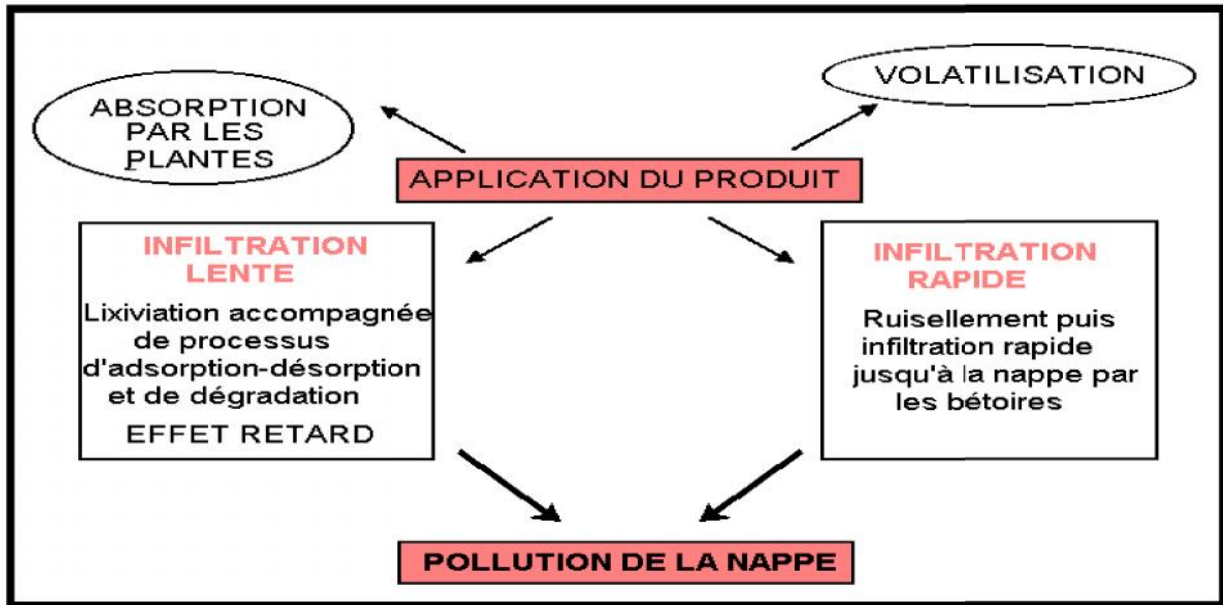


Figure 19. les Processus de contamination de la nappe (d'après REGLE, 2001)

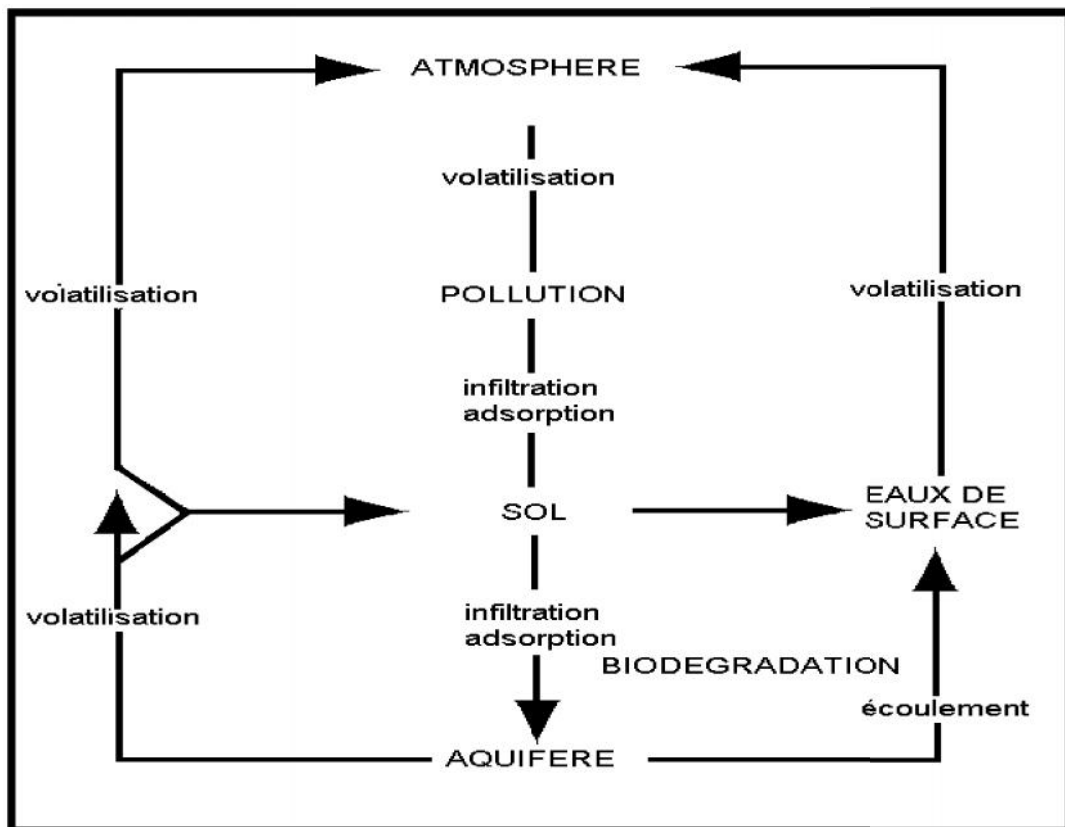


Figure 20. Comportement du polluant dans son environnement (d'après Ballerine et al, 1998)

III.3.3.1/Voies de transmission de polluant à l'être vivant :

- Transmission directe par ingestion d'eau de boisson contaminée ou par main sale portée à la bouche
- Transmission indirecte par aliments ou objets souillés par eau ou main sale (Delmont, 2016)

III.3.4/ les effets nocifs des polluants sur les organismes :

Les polluants de l'eau peuvent avoir beaucoup d'effets différents, tout dépend du polluant et de l'organisme considéré

Génotoxicité

On sait que beaucoup de composé qui pénètrent dans les organismes causent des dommages à l'ADN. Ces composés sont appelés génotoxines.

Cancérogénicité

Plusieurs polluants sont carcinogènes, ce qui signifie qu'ils peuvent entraîner un cancer chez l'être humain et les animaux. Les polluants carcinogènes sont des polluants qui jouent un rôle dans une ou plusieurs étapes du développement du cancer dans l'organisme.

Neurotoxicité

Le système nerveux des organismes est très sensible aux effets toxiques des produits chimiques, qu'ils soient naturels ou synthétiques. Les produits chimiques qui ont des effets neurologiques sont appelés des neurotoxines. Par exemple les insecticides sont de dangereuses neurotoxines.

Perturbation des transferts d'énergie

Dans l'organisme la transformation d'énergie se fait dans les cellules au niveau de la mitochondrie. Dans ces mitochondries il y a production de molécules d'ATP,

Problèmes de reproduction

Les polluants entraînant des échecs reproductifs due fait de dommages sur les organes reproducteurs sont appelés perturbateurs (ou modulateur) endocriniens. Il y a plusieurs façons pour un polluant de perturber le système endocrinien.

Effets sur le comportement

Tous les comportements sont vulnérables à une altération par les polluants. Le comportement social ou sexuel peut être modifié, entraînant une diminution de la reproduction. La vulnérabilité face aux prédateurs peut augmenter, du fait d'une baisse de la vigilance. Ainsi l'effet des polluants sur les comportements entraîne une baisse de la production et un taux de mortalité plus élevé.

Et on a d'autre maladie a transmission hydrique ex diarrhée ; hépatite ; typhoïdes ...ect

(Lenntech 1998-2018)

III.3.5/La protection des nappes contre la pollution :

La protection des nappes contre les pollutions peut se faire de diverses manières, entre autres par la mise en place des périmètres de protection des captages d'eau potable.

Les périmètres de protection d'un captage sont définis après une étude hydrologique. Leur but est de protéger les abords immédiats de l'ouvrage et son voisinage. Pour un captage ou un champ captant, trois zones concentriques sont définies dans lesquelles des contraintes plus ou moins fortes sont instituées pour éviter la dégradation de l'eau.

1. périmètre de protection immédiate

Ce premier périmètre concerne le captage lui-même. Sa surface est limitée à quelques dizaines de mètres carrés (environ 30 m sur 30). La collectivité locale est propriétaire du terrain qu'elle doit clôturer, sauf en cas d'impossibilité. Toutes les activités y sont interdites, sauf celles consacrées à l'exploitation et l'entretien des équipements. Son rôle est d'empêcher la dégradation des ouvrages ou l'introduction directe des substances polluantes dans l'eau.

2. périmètre de protection rapproché :

Il doit protéger le captage de la migration des substances polluantes. Sa surface dépend des caractéristiques locales ; elle varie entre 1 à 10 hectares. Toutes les activités, installations et dépôts susceptibles de nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux sont interdits. Il s'agit généralement de :

- La réalisation de forage et puits autre que ceux nécessaires à l'extension ou à la surveillance du champ captant ;
- L'exploitation des carrières, le remblaiement d'excavations ;
- Le dépôt des déchets et de tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux ;
- L'installation des canalisations, réservoirs ou dépôts d'hydrocarbures, des produits chimiques et d'eau usée ;
- L'épandage ou l'infiltration des lisiers et des eaux usées d'origine domestique ou industrielle.

3. périmètre de protection éloigné

Ce dernier périmètre n'est pas obligatoire, il renforce le précédent. Sa surface est très variable, réglementée par les activités, dépôts ou installations qui présentent un danger de pollution pour les eaux prélevées, par la nature et la quantité des produits polluants mis en jeu ou par l'étendue des surfaces qu'ils affectent (Kevin, 2012).

III.3.6/Moyens de traitement d'une nappe polluée :

Les procédés de décontamination des nappes font appel à des voies physiques, chimiques et biologiques.

- Les voies physiques comprennent le pompage de l'eau, l'écumage du polluant surnageant, la ventilation par bullage dans la nappe, la filtration par membrane.
- Les voies chimiques font appel aux réactions d'oxydation par O_3 , H_2O_2 (avec U.V) ou réduction par le fer.
- Les voies biologiques utilisent l'action des micro-organismes du sol dont l'activité est stimulée par adjonction des nutriments.

Ces différentes voies sont généralement associées. Les traitements de décontamination peuvent être réalisés :

- In situ : il consiste à dépolluer les terres et les eaux en place dans le milieu naturel ; c'est-à-dire, le polluant est traité sur place, dans la zone non saturée et la zone saturée.
- On site : il s'agit d'extraire les eaux du milieu naturel, par excavation ou pompage, pour les dépolluer sur le site même, c'est-à-dire, l'eau est pompée, traitée en surface puis réinjectée dans l'aquifère.
- Hors site : c'est un traitement extérieur qui consiste à extraire les eaux du milieu naturel, par excavation ou pompage, pour les traiter au centre spécialisé (Kevin, 2012).

III.3.7/Défenses naturelles contre les pollutions :

1. Rôle protecteur des sols

Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les argiles, les hydroxydes et la matière organique adsorbent les cations (Ca, Mg, K, Na, métaux lourds) et certaines molécules organiques. Les molécules à moins de 6 carbones sont entraînées vers la nappe mais les cycles benzéniques sont retenus.

Le contenu microbiologique du sol peut épurer le sol de ses substances indésirables : minéralisation des composés azotés, dénitrification, dégradation des micropolluants organiques (pesticides). Les germes pathogènes introduits dans le sol sont éliminés quand les conditions de survie sont défavorables : UV, compétition avec la microflore indigène du sol.

2. Rôle épurateur du couvert végétal et des organismes

Les plantes accumulent des éléments minéraux et servent donc de zone de stockage, en particulier pour les nitrates. La déforestation, le retournement des prairies libèrent une grande quantité d'azote. La végétation des zones humides et des bords de rivières ont un effet épurateur remarquable (dénitrification dans les zones hydro morphes anaérobies).

3. Rôle protecteur des berges des cours d'eau

Les dépôts vaseux situés au fond des cours d'eau et latéralement à proximité de la berge, riches en bactéries, sont le siège du processus de biodégradation des hydrocarbures et de l'accumulation des métaux lourds (Zn, Pb, Cd, As, Mn) qui se fixent sur les particules argileuses des alluvions.

4. Autoépuration biologique des eaux souterrain

Les organismes vivants et non toxiques (bactéries, petits invertébrés) sont présents dans les eaux souterraines même à grande profondeur. Ils peuvent métaboliser les polluants introduits dans la nappe. Les polluants organiques toxiques comme polychlorobiphénols (PCB) sont lentement transformés. Les nitrates sont détruits en milieu anaérobie (cas des nappes captives) (Kevin, 2012).

III.4/Conclusion :

Partout où des eaux souterraines accessibles et exploitables ont été reconnues, il a été compris qu'elles étaient des sources d'approvisionnement plus extensives et plus stables que les eaux de surface, surtout dans les régions du monde où celles-ci sont rares et irrégulières, tout particulièrement en zones arides et semi-arides, et plus à la portée de nombreux usagers. Aussi, l'exploitation et l'utilisation des eaux souterraines ont-elles une forte spécificité dans l'économie de l'eau.

Bien qu'elle soit difficile à récupérer, l'eau souterraine est cherchée pour sa qualité. (**Kevin 2012**)

IV.1/ Introduction :

Les problèmes liés à la pollution des eaux souterraines constituent actuellement une source d'inquiétude qui requiert un intérêt universel. Cette pollution, générée par les activités anthropiques, peut, en atteignant des niveaux critiques, présenter un danger grave pour la santé publique. Pour la sauvegarde de ces ressources, il est nécessaire de prévoir des moyens de protection. Face aux difficultés liées aux techniques de dépollution et au coût de celles-ci, la protection impose en premier lieu des mesures préventives. Celles-ci passent par la cartographie des zones de l'aquifère susceptibles d'être atteintes par des polluants que l'on qualifiera de vulnérables. La notion de vulnérabilité des eaux souterraines a été initialement introduite par MARGAT dans les années soixante (ALBINET et MARGAT, 1970; MARGAT, 1968). Vu la complexité des mécanismes régissant le transfert d'un polluant, la multitude et la variabilité des facteurs mis en cause, diverses approches ont été proposées. Certains auteurs ont défini la vulnérabilité comme étant une propriété intrinsèque des aquifères. D'autres estiment qu'elle est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la nature des sols (GOGU et DASSARGUES, 1998; LALLEMAND-BARRES, 1994; VRBA et ZAPOROZEC, 1994).

IV.2 / La vulnérabilité des eaux souterraines :

Est définie en partant d'une évaluation qualitative des mécanismes de transfert d'un polluant qui repose sur une conceptualisation multicouche du milieu traversé. Ce milieu est subdivisé en couches horizontales dans lesquelles des processus physiques, chimiques et biologiques ont lieu simultanément. La migration d'une substance polluante emprunte naturellement les zones suivantes (**Amharref et al, 2007**):

- la Zone de l'Interface Sol (ZIS), qui constitue le domaine des activités polluantes;
- la Zone Non Saturée (ZNS), qui est le domaine du transfert vertical;
- la Zone Saturée (ZS), qui est le lieu de la propagation et de la dilution de la pollution.

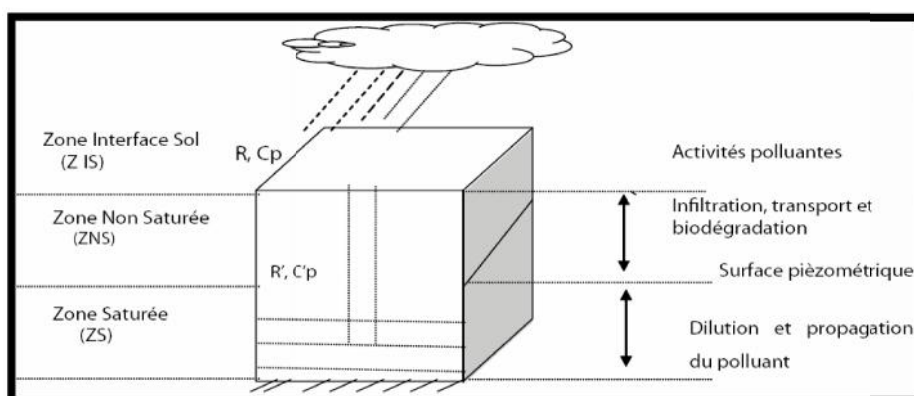


Figure 21: Transfert d'un polluant qui repose sur multicouche (Amharref et al, 2001)

La troisième zone (ZS) est caractérisée par un pouvoir de dilution et de transfert latéral. Les deux premières zones sont caractérisées par un pouvoir de recharge et d'épurations naturelles

IV.3 / Différents types de la vulnérabilité:

Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité ; la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique (Schnebelen et al, 2002):

Ñ La 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. Elle ne tient compte que des facteurs physiques influençant le mouvement d'un polluant vers la nappe.

Ñ 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.

IV.4 / Les cartes de vulnérabilité :**a/ Les cartes de vulnérabilité des aquifères :**

Sont des outils utiles pour contribuer à la protection des ressources hydrique souterraines contre une éventuelle pollution et donnent un document qui peut être utilisé en matière d'aménagement

Les paramètres utilisés sont type du nappe la profondeur de la nappe, la nature lithologique de la zone non saturée,. La carte obtenue par l'emploi du logiciel ArcGIS 10.1 a mise en évidence quatre zones à différents degrés de vulnérabilité, les zones à très faible et faible vulnérabilité occupent une faible aire. La zone à moyenne vulnérabilité est répartie sur plusieurs endroits de la zone d'étude. La zone à forte vulnérabilité présente la majeure partie de la région d'étude.

b/Utilité des cartes de vulnérabilité:

Les cartes de vulnérabilité ont pour but de représenter les différents niveaux de vulnérabilité des eaux souterraines sur un support cartographique à fin d'aider à la prise de décision pour l'aménagement du territoire. Les échelles utilisées diffèrent selon 13 objectifs demandés et la précision des différents paramètres. Il y a donc interdépendance entre les objectifs, les échelles de cartographie et les paramètres utilisés (Albinet et Margat, 1970; Landreau, 1996; CRIVERT, 2003; Cazaux, 2007).

- à l'échelle nationale ou régionale: (1/1 000000), pour l'éducation ou la sensibilisation à la protection des ressources en eau souterraine;
- à l'échelle régionale: (1/500000 - 1/250000), pour orienter une politique générale de gestion de la qualité des ressources ou de police des eaux;
- à l'échelle régionale, voire locale: (1/250000 – 1/50000), pour aider à la décision en matière d'aménagement ;
- à l'échelle locale: (1/50000 – 1/10000), pour l'aménagement ou pour la protection des ressources en eau ou de captages d'eau ; associée à d'autres documents, elle peut permettre de prendre des décisions définitives.

IV.5 / Sources de pollution et vulnérabilité :

Les nappes d'eau souterraine sont vulnérables à de nombreuses sources de pollution différentes. La localisation, la nature et la quantité des sources de pollution doivent être connues pour évaluer la charge de pollution à la surface du sol et donc potentiellement vers la nappe. Les charges de pollution sont relativement faciles à identifier, en particulier la pollution ponctuelle, mais c'est la vulnérabilité du système aquifère en combinaison avec la charge de pollution qui conduit à l'évaluation du danger de pollution encouru par les eaux souterraines.

Des données hydrogéologiques comme l'épaisseur et les propriétés hydrauliques, telles que la perméabilité de la zone non saturée sont nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des aquifères à des charges de pollution.

VI.6/ Les méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines:

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gog et Dassargues, 1998).

Elles peuvent être classées en trois grandes catégories:

- **Les méthodes statistiques:** elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe.
- **Les modèles de simulation:** ils consistent à trouver une solution numérique à des équations mathématiques représentant le processus de transfert de contaminants (Schnebelen 2002). Ils donnent une image de vulnérabilité spécifique de la nappe
- **Les méthodes de cartographies à index :** basés sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple).

Les méthodes de cartographie à index comportent deux types d'approche: les systèmes hiérarchisés et les systèmes paramétrés. (Schnebelen et al, 2002)

- **des systèmes hiérarchisés** sont basées sur la comparaison d'une zone donnée avec les critères représentant les conditions de vulnérabilité d'autres zones (autres bassins ou autres systèmes aquifères). Elle est généralement utilisée pour évaluer la vulnérabilité de contextes hydrogéologiques variés à moyenne ou grande échelle (régionale ou nationale);
- **des systèmes paramétrés** reposent sur la sélection des paramètres (ou critères) considérés comme représentatifs pour estimer la vulnérabilité d'une eau souterraine. Chaque critère a une gamme de variation naturelle définie qui est subdivisée en intervalles discrétisés et hiérarchisés. Un index est attribué à chaque intervalle, reflétant le degré de sensibilité relative à une contamination.

IV.7 /Les principales méthodes accréditées:

IV.7.1 / Méthode de DRASTIC :

Pour donner un aperçu général de la caractérisation de la vulnérabilité des aquifères, il est utile d'examiner les éléments pris en compte dans l'exemple sur la méthode DRASTIC. A chaque élément de l'évaluation de la vulnérabilité est attribué une note relative, et le score final est classé en utilisant un graphique de classement qui permet de caractériser l'aquifère comme suit : très grande vulnérabilité à très faible vulnérabilité.

D = profondeur de la nappe phréatique (plus c'est profond, moins c'est vulnérable)

R = recharge nette (plus le taux de recharge est grand, plus c'est vulnérable)

A = médium aquifère (les aquifères de faible perméabilité sont moins vulnérables)

S = médium du sol (perméabilité, capacité d'adsorption)

I = l'impact de la zone vadose (combinaison de S et D)

C = conductivité hydraulique (semblable à A)

Les cartes DRASTIC permettent de visualiser le degré relatif de vulnérabilité d'un secteur de la zone étudiée. Le potentiel de pollution augmente dans le même sens que l'index. Les notations généralement accordées aux sept paramètres de la méthode DRASTIC sont présentées dans le (tableau) ci-dessous. La notation 10 correspond au degré de vulnérabilité le plus élevé.

Tableau 10.Paramètres de la méthode DRASTIC

D : distance à la nappe (m)		R : recharge (mm)	
Valeurs (m)	Notation	Valeurs (mm)	Notation
0 – 1.5	10	25.5	9
1.5 – 4.5	9	17.5- 25.5	8
4.5 - 9	7	10- 17.5	6
9 - 15	5	5- 10	3
15 - 22	3	0- 5	1
22.5 - 30	2		
> 30	1		
A ; Nature de la zone saturée		S : Nature du sol	
Calcaire karstique	10	Mince ou absent	10
Sable et gravier	8	Sables	9
Grés massif	6	Limons sableux	6
Métamorphique ahéré	4	Limons	4
Métamorphique	3	Limons siheux	3
Massive shale	2	Argiles	1
T : Topographie (pente)		I : Lithologie de la couche vudoxe	
Valeurs (%)	Notation	Calcaire karstique	10
0 à 2	10	Sable et gravier	9
2 à 6	9	Sable et gravier avec salt et argile	8
6 à 12	5	Grés	6
12 à 18	3	Calcaire	6
>18	1	Salt et argile	1
0 à 2	10		

C : Perméabilité	
Valeurs (m /s)	Notation
$>9.4 - 10^{-4}$	10
$4,7 . 10^{-5}$ à $9,4 . 10^{-4}$	8
$32,9 . 10^{-5}$ à $9,4 . 10^{-4}$	6
$14,7.10^{-5}$ à $32,9 . 10^{-4}$	4
$4,7. 10^{-5}$ à $14,7 . 10^{-4}$	2
$4,7.10^{-3}$ à $4,7 . 10^{-4}$	1

Tableau 11 .Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (ALLER et al, 1987)

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Très faible	< 80
Faible	80 – 120
Moyen	121 - 160
Élevé	161 - 200
Très élevé	> 200

IV.7.2/ La méthode SINTACS :

Elle est dérivée de la méthode DRASTIC, développée en Italie, au début des années 1990, de manière à s'adapter à la cartographie à plus grande échelle compte tenu de la grande diversité hydrogéologique de l'Italie (Petelet et al. 2000).

Les paramètres de caractérisation de la vulnérabilité qui ont été retenus dans cette approche sont les mêmes que ceux de la méthode DRASTIC, soit en italien:

- S: Soggiacenza (profondeur de la nappe); - I: Infiltrazione (infiltration);

- N: Azione del Non Saturo (zone non saturée);
- T: Tipologia della Copertura (sol);
- A: Carratteri Idrogeologici dell' Acquifero (caractéristiques de l'aquifère) ;
- C: Conducibilità Idraulica (conductivité hydraulique);
- S: Acclività della Superficie Topografica (Topographie)

Tableau 12: Poids attribués aux paramètres SINTACS dans les différents scénarios de la méthode

Senario Paramètre	Impact normal	Impact sévère	Drainage important	karst	Terrains fissurés
S	5	5	4	2	3
I	4	5	4	5	3
N	5	4	4	1	3
T	4	5	2	3	4
A	3	3	5	5	4
C	3	2	5	5	5
S	2	2	2	5	4

Tableau 13. Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SINTACS

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	< 106
Moyen	106 – 186
Élevé	187 – 210
Très élevé	> 210

IV.7.3/ La méthode AVI :

Développée par l'institut de recherche national d'hydrologie (National Hydrology Research Institute - NHRI) à Saskatoon, Saskatchewan (Canada), la méthode de l'index de vulnérabilité des couches aquifères (Aquifer Vulnerability Index -AVI) détermine un critère de protection des eaux souterraines.

AVI mesure la vulnérabilité selon la résistance hydraulique (c) à l'écoulement vertical de l'eau opposée par les formations géologiques situées au-dessus de la couche aquifère.

La résistance hydraulique est calculée à partir de l'épaisseur (d) de chaque couche sédimentaire et de la conductivité hydraulique (k) de chacune de ces couches. Résistance hydraulique, $c = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{K_i}$, pour les couches de 1 à i.

Dans ce type d'approche, des valeurs hydrauliques saturées de conductivité (Ksat) sont assignées à chaque couche sédimentaire rapportée par point. Ces valeurs sont souvent établies à partir de valeurs typiques issues de recherches bibliographiques.

L'épaisseur des différentes couches sédimentaires découle de l'étude des ouvrages existants sur le territoire de l'étude. La résistance hydraulique (c) a la dimension du temps (par exemple en années) et représente le flux-temps par gradient d'unité pour l'eau s'infiltrant au travers des diverses couches de sédiment vers la couche aquifère saturée.

Une résistance hydraulique (c) faible, suppose une vulnérabilité importante, au contraire, (c) élevée suppose une vulnérabilité faible (tableau 14). Une carte de vulnérabilité peut être déduite en calculant le logarithme₁₀ de la résistance hydraulique (notation c) pour chacun des points inventoriés. Les surfaces résultantes (par interpolation des points, à fortiori pour un milieu supposé homogène) représentent les secteurs de résistance différente. Elles sont groupées par catégories de vulnérabilité.

Tableau 14. Catégorie de vulnérabilité de la méthode AVI

Résistance hydraulique, c (années)	Notation(c)	Catégorie de vulnérabilité
<10ans	<1	Vulnérabilité extrêmement élevée
10à100ans	1à2	Vulnérabilité élevée
100à1000ans	2à3	Vulnérabilité modérée
1000à10000ans	3à4	Basse Vulnérabilité
>10.000ans	>4	Vulnérabilité extrêmement basse

IV.7.4/ La méthode SI (Susceptibility Index) :

La méthode SI (Susceptibility Index ou méthode d'Indice de Susceptibilité), qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides), a été développée au Portugal par RIBEIRO (2000). Cette méthode prend en considération cinq paramètres. Les quatre premiers paramètres sont identiques à quatre paramètres déjà utilisés dans la méthode DRASTIC (D : la profondeur de la nappe, R : la recharge efficace de l'aquifère, A : la lithologie de l'aquifère, et T : la pente topographique du terrain). Les cotes correspondantes aux différentes classes de ces paramètres, dans la méthode DRASTIC, ont été également conservées. Un cinquième nouveau paramètre a été introduit : le paramètre occupation des sols (OS). La classification utilisée pour ce paramètre est la classification CORINE Land Cover (EUROPEAN COMMUNITY, 1993) (Tableau). Une valeur appelée facteur d'occupation des sols et notée LU, variant de 0 à 100, est attribuée à chaque classe d'occupation des sols. Il est à signaler que les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres ont été multipliées par 10 pour faciliter la lecture des résultats obtenus. Ces valeurs varient par conséquent de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable. Les poids attribués aux paramètres SI varient de 0 à 1 selon l'importance du paramètre dans la vulnérabilité (tableau16)

La méthode SI présente quatre degrés de vulnérabilité selon les valeurs des indices obtenues (Tableau17).

Il est à signaler que les paramètres, qui ne sont pas pris en compte dans la méthode SI par rapport à la méthode DRASTIC sont les suivants : conductivité hydraulique de l'aquifère,

impact de la zone vadose et type de sol. En effet, la méthode SI considère que le paramètre conductivité hydraulique de l'aquifère est difficile à évaluer dans l'espace. De plus, ce dernier paramètre a été déjà pris en compte indirectement dans le paramètre A (lithologie de l'aquifère) par la considération des caractéristiques granulométriques de l'aquifère. RIBEIRO (2000) minimise également le rôle de la zone vadose en se basant sur les travaux de FOSTER (1987), et ceux de VRBA et ZOPOROZEC (1994) qui considèrent également que les processus d'atténuation relatifs au paramètre type de sol sont sans grand effet sur la vulnérabilité, bien que ce paramètre soit indirectement pris en considération à travers le paramètre occupation des sols.

Plusieurs applications de cette méthode ont été effectuées (BATISTA, 2004; FRANCES et al. 2002; OLIVEIRA et LOBO FERREIRA, 2005; STIGTER et al. 2006). Ces études ont montré une bonne corrélation entre les zones considérées comme vulnérables par cette méthode et les zones réellement contaminées.

Tableau 15: Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.

Occupation de sol selon la classification CORINE LAND COVER	Valeur de facteur d'occupation sols LU (Land use factor)
Décharge industrielle, décharge d'ordure, mines	100
Périmètre irrigués, rizières	90
Carrière, chantier naval	80
Zones artificielles couvertes, zones vertes	75
Culture permanentes (vignes, oliviers ...etc.)	70
Zones urbaines discontinues	70
Pâturage et zones agro-forestières	50
Milieus aquatiques (marais, salines...etc.)	50
Forets et zones semi-naturelles	0

Tableau 16: Poids attribués aux paramètres SI

Paramètre	D	R	A	T	OS
poids	0.186	0.212	0.259	0.121	0.222

Tableau 17: Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SI.

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
Faible	<45
Moyen	45-64
élevé	65-84
Très élevé	85-100

IV.7.5 / Méthode de GOD :

La méthode du GOD a été développée par Foster en 1987. Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale des polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas la migration latérale des polluants dans la zone saturée (Mardhel et al, 2005).

C'est une méthode paramétrique utilisant le produit des trois paramètres:

- Type de nappe (Groundwater occurrence)
- Lithologie de la zone non saturée de l'aquifère (Overall aquifère class)
- Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table) (Foster, 1987)

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (Figure 23)

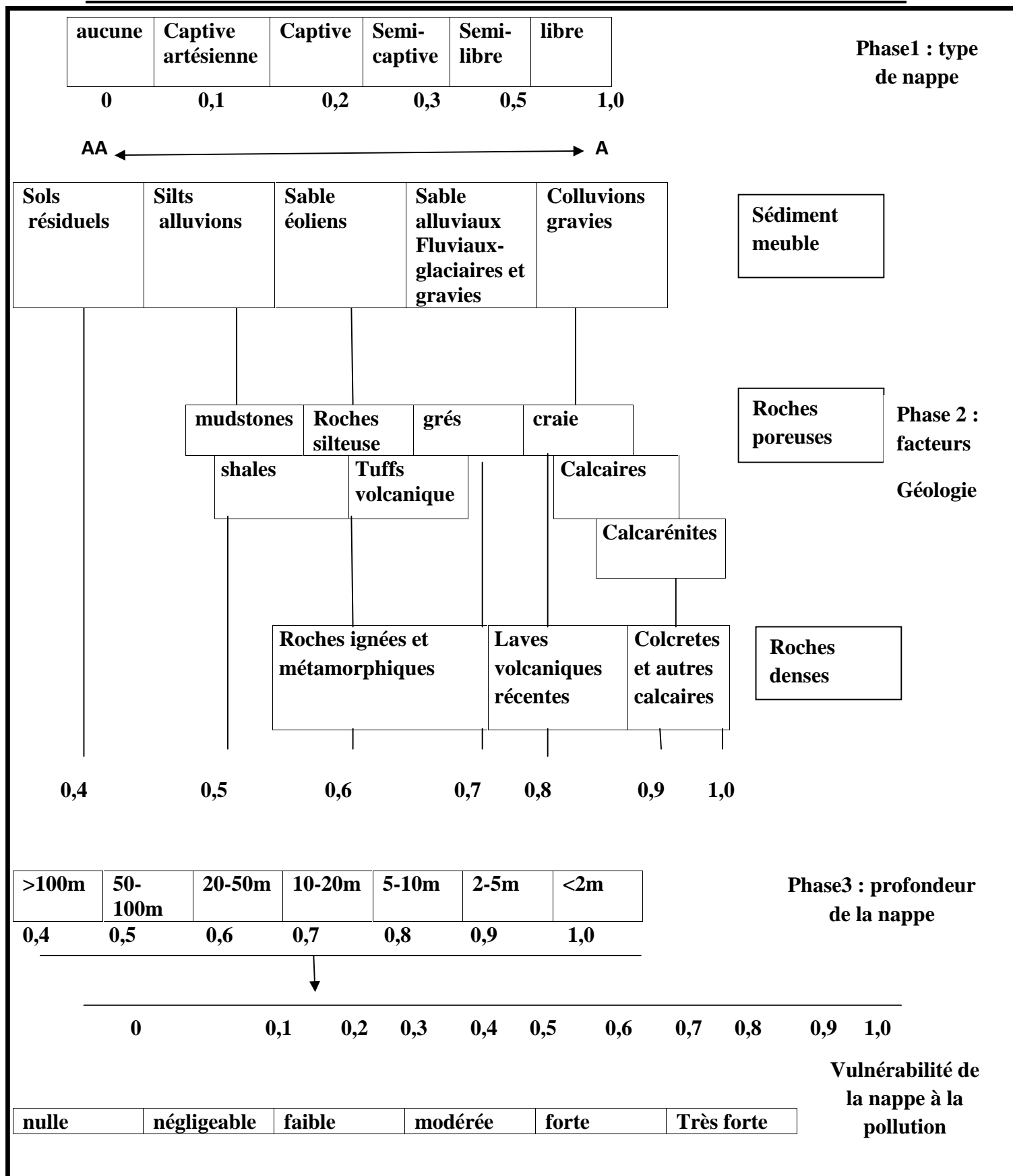


Figure 22. Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster 1987)

IV.8/Généralité sur SIG usagés :**IV.8.1/ introduction**

Les délimitations manuelles des bassins versants sur les cartes topographiques et les analyses morphométriques classiques ont été les toutes premières mesures quantitatives utilisées pour cerner la géomorphologie des bassins versants. Ces analyses sont le préambule à de nombreuses études hydrologiques. Aujourd'hui l'outil informatique permet d'entreprendre aisément ces différentes manipulations permettant la délimitation des bassins versants, la mesure de la géométrie, de l'hypsométrie, des pentes ou de l'organisation du réseau hydrographique. A cet effet, des logiciels des Systèmes d'Information Géographique, notamment Arc Gis, fournissent des outils intéressants de calculs et de mesures hydro morphologiques à partir des cartes MNT. Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation en trois dimensions de la surface de la terre, créée à partir des données d'altitudes du terrain. En 2009, un MNT a été mis gratuitement à disposition des internautes, offrant une résolution de 30 mètres, et couvrant 99 % de la surface du globe.

IV.8.2/Outil requis

- Boite a outil géographique géofrèe conversion entre système des cordonne GPS – des données SIG – scientifique
- logiciel Google Earth, qui permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage De photographies aériennes ou satellitaires. Utilise a détermine la localisation des forages
 - Carte : MNT (modèle numérique de terrain)
 - Logiciels : Global Mapper & ArcGIS 10.1

IV.8.3/Global mapper

Global Mapper est un logiciel SIG robuste et économique qui combine une gamme complète d'outils de traitement de données spatiales à une variété inégalée de formats de données. Développé à la fois pour les professionnels du SIG et les passionnés de cartographie. Il est utilisé en de nombreux domaines (cartographie, transport, Ressources naturelles, pétrole et gaz...etc.)

➤ **Point forts**

- Plus de 250 formats de fichiers
- Données gratuites en ligne
- Outils de rendu 3D
- Outils d'analyse avancés
- Outils de calcul de volume et relief
- Outils de gestion des données GPS
- Disponible en 32 et 64 bits

➤ **Objectif**

- Délimitation d'un bassin versant
- déterminations de ses caractéristiques morphométriques.

IV.8.4/ArcGIS

ArcGIS est un logiciel d'information géographique développée par la société américaine ESRI qui permet de créer des plans et des cartes numériquement. Ce système est composé de différents plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG, qu'ils soient bureautiques, web ou mobile de collaborer et de partager l'information géographique (**Saidi, 2013**).

➤ **Objectif d'ArcGIS**

- intégrer des données multi-sources (cartes, photos, images, ...)
- Pour faire des requêtes et visualiser les résultats
- Pour faire de l'analyse spatiale
- Pour faire de l'analyse de réseau
- Pour faire de l'interpolation spatiale.

➤ **SIG C'est un système d'information composé de :**

- Ordinateurs et périphériques
- Logiciels spécialisés
- Données numériques
- Personnel qualifié


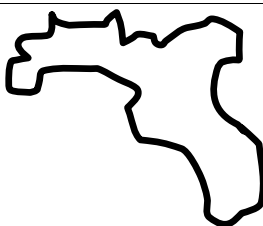
➤ Les Modèles qui représenté un SIG :

a / modèle vectoriel

Structure qui permet de manipuler et de représenter les données graphiques d’après les coordonnées de points individuels auxquels on peut ajouter des attributs.

On distingue trois principaux types de composantes: point, ligne, polygone (Saidi, 2013)

Tableau 18. Les composants de modèle vectoriel

Composante	Représentation graphique	Représentation dans un fichier
point	•	id, x, y
ligne		id, N x1, y1 x2, y2 ... xN, yN x1, y1 est différent de xN, yN
polygone		id, N x1, y1 x2, y2 ... xN, yN x1, y1 est identique à xN, yN

Id : identificateur

N : nombre de points définissant l’objet

b /Modèle matriciel :

Structure qui permet de manipuler et de représenter l'information cartographique à partir d'une matrice de cellules (pixels) qui possèdent certains attributs de teinte et de couleur. L’espace géographique se trouve subdivisé de façon régulière en cellules de même forme et de même dimension.

La localisation est définie par la position en ligne et en colonne dans la matrice, les coordonnées géographiques ou projetées d'un point de référence et la dimension de la cellule (informations contenues dans le "header")

La valeur numérique attribuée à chaque cellule correspond à la valeur d'attribut (un seul)

Les démarcations se produisant aux limites des ensembles de cellules de même valeur ne correspondent pas nécessairement aux frontières des entités sur le terrain.

(Saidi , 2013)

Tableau19 : attributs et la couleur de mode raster

Valeurs de la matrice	Attribut
0	
1	Municipalité « A »
2	Municipalité « B »
Valeurs de la matrice	couleur (r, v, b)
0	(255, 255,255)
1	(128, 128,128)
2	(64 ,64 ,64)

Tableau 20: représente Matrice (raster)

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	2	2	2	0
0	0	0	2	2	2	2	0
0	0	0	0	2	2	2	0
0	0	0	0	0	2	2	0

IV.9/CONCLUSION

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines est une méthodologie qui est devenue impérative afin d'assurer la gestion qualitative des ressources en eau et la protection des captages d'eau potable. Elle apparaît donc nécessaire et incontournable, car elle permet d'identifier facilement les zones sensibles à des pollutions potentielles. Elle permet aussi d'orienter l'aménagement du territoire. Cependant, l'usage de ces cartes pour la limitation efficace de la protection des eaux souterraines doit tenir compte du contexte hydrodynamique de l'aquifère qui ne compromet pas inutilement la planification et la gestion du territoire (Amharref et al, 2007), tout ça effectuée grâce a des logiciels des Systèmes d'Information Géographique, notamment Arc Gis.

V.1/Introduction

Ce chapitre est consacré à déterminer notre objectif d'études et de interprétation des résultats des carte de vulnérabilité de pollution des eaux souterrain de la région el Hamma et leur voisinage a partir des donnée piézométrique, géologie et coupe hydrogéologique des forages. Ces analyses ont été effectuées sur deux logiciel : global mapper et arc GIS version 10.1

Les traitements numériques et le calcul de la vulnérabilité des aquifères de la région ont été réalisés par l'intermédiaire De la méthode GOD y compris un SIG pour but de déterminé si la nappe expose a la pollution afin de prévenir et protégée les eaux souterrain pour la génération futur .

V.2/Évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère par la méthode GOD :

La méthode GOD présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Elle utilise une approche empirique où la vulnérabilité des aquifères est définie en fonction de l'inaccessibilité de la zone saturée, au sens de la pénétration du polluant, et de la capacité d'atténuation des couches sus-jacentes à la zone saturée.

L'approche employée pour ce modèle a recours à trois paramètres:

Le premier réside dans l'identification du type d'aquifère en fonction de son degré de confinement, Le deuxième correspond à la lithologie de l'aquifère et le Les cotes attribuées aux classes des différents paramètres sont inférieures ou égales à " 1". L'Indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres. La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des aquifères par la méthode GOD a été faite par le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation :

$$IGOD= C_g * C_o * C_d$$

Avec Ca : Type d'aquifère ; Cl : Lithologie de l'aquifère ; Cd : Profondeur de la nappe.

Les différentes plages d'IG obtenues ont été mises en parallèle avec les classes de vulnérabilité. D'une manière générale, les indices GOD obtenus sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du "très faible" à "extrême" (**Murat et al, 2003**)

Tableau 21: Critère d'évaluation de la vulnérabilité Indice de vulnérabilité final selon la méthode GOD (**Bézélgueset, 2002**)

0	0,1 à 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Négligeable	Faible	Modéré		forte			Très forte (extrême)		

V.3/Données utilisées :

L'évaluation des différents paramètres considérés par les méthodes t GOD nécessitent les données multi sources et leur bonne connaissance. Il s'agit des données géologiques, hydrogéologiques, pédologiques, d'occupation de l'espace, de la topographie, ainsi que de la météorologie.

L'image Google Earth a fourni les informations sur l'occupation de l'espace, le tracé du réseau hydrographique et des zones étudiée.

Le traitement de toutes ces données s'est effectué avec les logiciels global mappe et arc GIS et a permis de constituer la base de données physique de la zone d'étude.

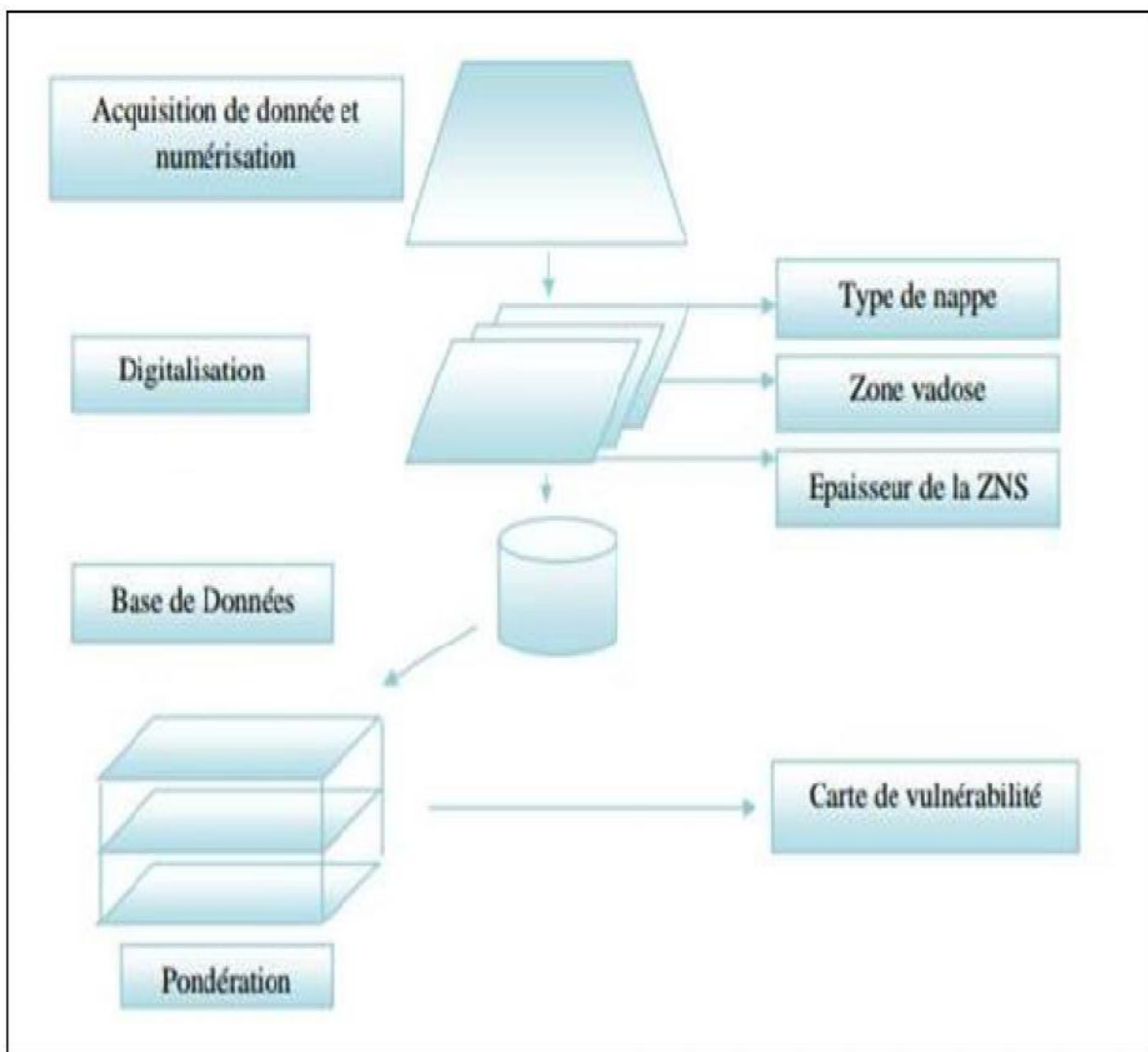


Figure 23: méthode utilisé pour la réalisation de la carte de vulnérabilité

Tableau 22: Déterminé la trace des indices GOD

Paramètre	Groundwater roccurrence Type de nappe	Overall aquifère class Lithologie de la ZNS de l'aquifère	Depth togroundwatertable Profendeur de nappe
Désignation	Les nappes d'eau souterraine sont vulnérables à de nombreuses sources de pollution différentes. Selon leur type et de mode d'écoulement dans l'aquifère ; La localisation, la nature et la quantité des sources de pollution doivent être connues pour évaluer la charge de pollution à la surface du sol et donc potentiellement vers la nappe.	La nature lithologique, la perméabilité et la porosité et l'épaisseur de la ZNS sont des paramètres fondamentaux de la vulnérabilité des eaux souterraines. La lithologie de l'aquifère est tirée des coupes lithologiques des sondages et des piézomètres réalisés dans la zone d'étude ; En revanche, plus la perméabilité de la ZNS est importante et son épaisseur est faible, plus la vulnérabilité des eaux souterrain est importante	La carte de vulnérabilité relative à la profondeur de la nappe La profondeur de la nappe ou épaisseur de la ZNS est un critère fondamental pour appréhender le temps de transfert d'une pollution jusqu'à la nappe ainsi que la possibilité pour cette pollution d'être traitée en cours de transfert. La nappe est d'autant plus vulnérable que l'épaisseur de la ZNS est faible
Source des donnés	Carte Géologique et log des forages.	Colonne lithostratographique des forages	Carte piézométrique de la zone d'étude.
Mode de traitement	Digitalisation	Interpolation (Krigage).	Interpolation (Krigage).

V.4/Méthodologie :

Les étapes de faire les cartes de vulnérabilités :

01- Transférer les coordonnées X ; Y et entrer les résultats dans Google Erth

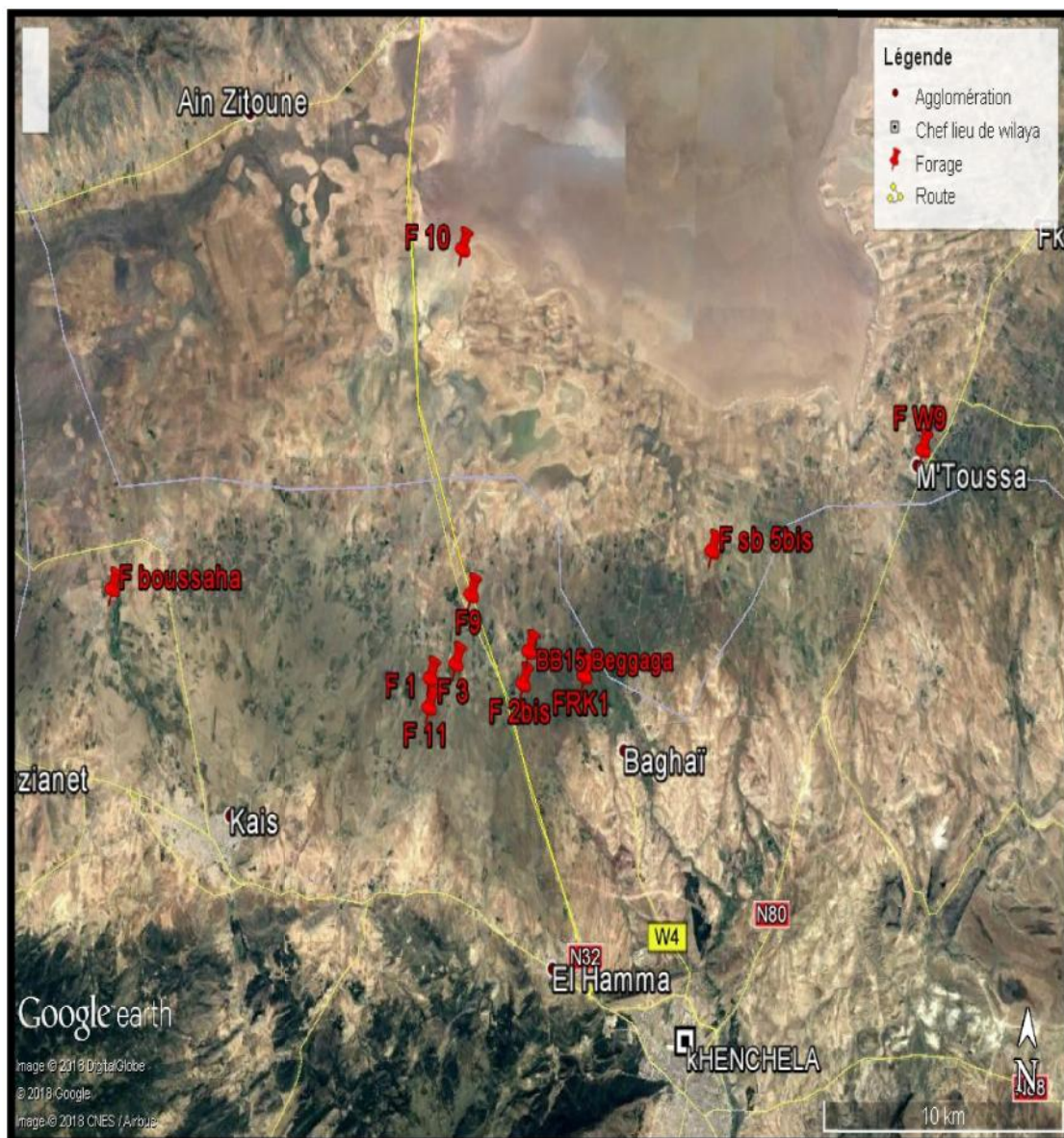


Figure 24. Carte de localise des forages de la zone d'étude (année 2018)

- 02- Ouvrir Global mapper puis ouvrir votre carte MNT
- 03- Cliquer sur « file » puis « open data file » Pour appliquer la projection à la carte MNT.
- 04- Limiter la zone étudiée (bassin versant et les réseaux Hydrographiques).

- 05- Cliquer sur « file » et « export vector format » Ensuite choisir « shapefile », Valider OK.
- 06- Choisir « export point » et dénommer chaque point Puis valider OK.
- 07- Les mêmes étapes pour enregistrer la superficie mais En changer « export point » par « export area » et Cliquer OK
- 08- Ouvrir Arc GIS, cliquer sur « Add Data » puis choisir le nom forage et valider add
- 09- Ensuit c'est le même pour enregistrer la limite de bassin versant et les réseaux hydrographiques.
- 10- Cliquer sur le point de fourrage pour faire le tableau des donnés (type de nappe, facteur géologique, profondeur de nappe).
- 11- Cliquer sur « Arc toolbox », 3D « Analyst Tools », « Raster Interpolation » puis « IDW », et compléter les informations.
- 12- Enfin émerger les cartes de vulnérabilité (la carte de l'indice profondeur de nappe, de l'indice type de nappe, de l'indice d'impact ZNS)
- 13- Classification, et reclassification des trois paramètres spécifiques de la nappe.
- 14- Pour élaborer la carte « Igod », cliquer sur « spatial Analyst Tools », « Map Algebra » puis « Raster Calculator ».
- 15- Classification et de la carte vulnérabilité finale selon la méthode GOD.

V.5/Résultat et Discussion

V.5.1/Paramètre de type de nappe (Groundwater occurrence) « G »

Une napper semi captive est moins vulnérable que la nappe semi libre est surtout lorsque la pédologie des sols est compacte et non poreux nous permet de résulter que

- La nappe semi-captive occupe 50 ; 23% sur l'ensemble de la zone d'étude. (Un poids de 0.25 a0.4 d'après le système GOD)
- la nappe captive artésienne située Au nord et nord -ouest qui représente 29.06 % de totalité de la zone d'étude. (Un poids de 0.25 d'après le système GOD)
- la nappe semi –libre qui représente 20 .70 % située aux milieux de la zone d'étude. (Un poids de 0.4, d'après le système GOD)

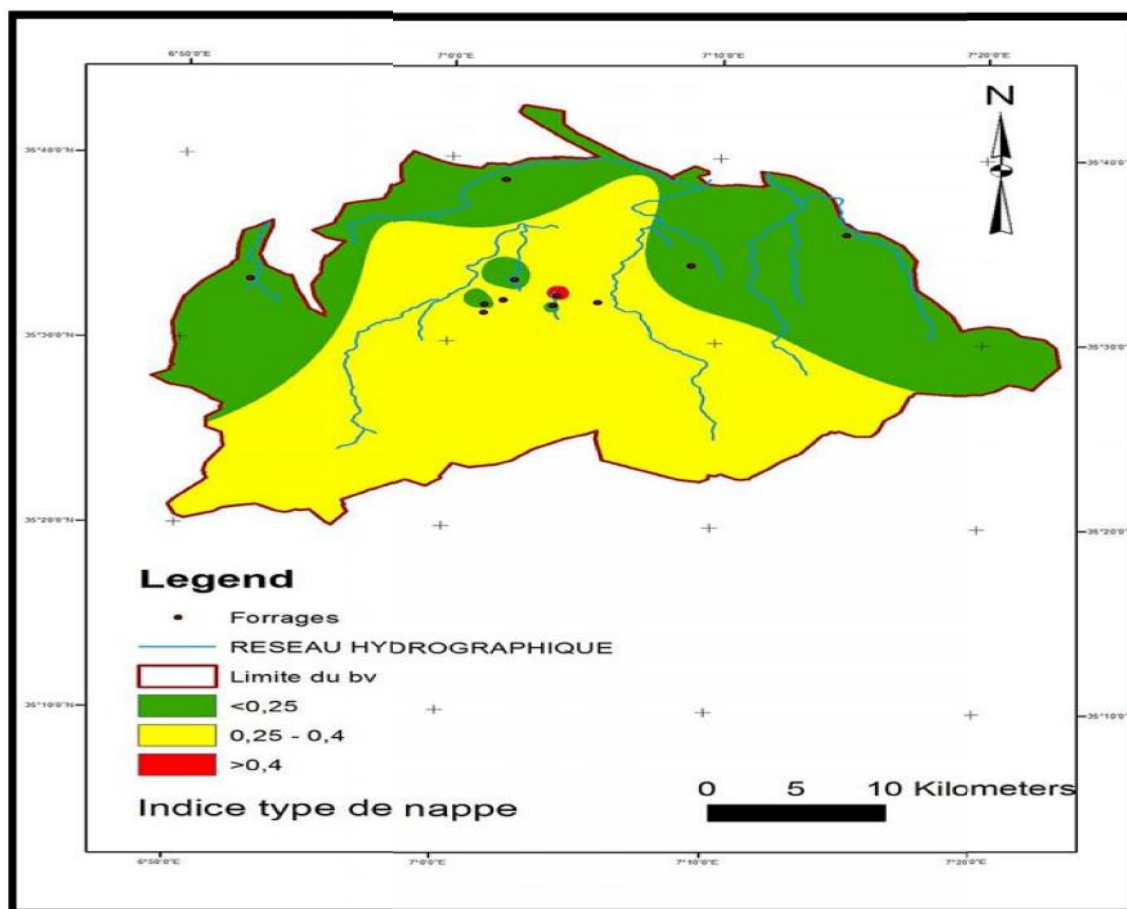


Figure 25: Carte type de nappe (critère G)

V.5.2/Paramètre « profondeur de la nappe » D.

La profondeur d'aquifère conditionne le temps de dégradation de polluant jusqu'à la nappe et d'après notre carte on peut montre trois catégorie de profondeur des nappe

- à l'ouest de la zone d'étude on a une profondeur de 10-20 m. qui représente 41,01% de la superficie totale. (Un poids de 0,7 d'après le système GOD)
- à l'est de la zone la profondeur compris entre 5 à 15m (en jaune) qui occupe 58,49% de la zone d'étude. (Un poids de 0,7-0,8 d'après le système GOD)
- au centre de la zone d'étude on a une faible profondeur 5 m qui représente 0,49%. (Un poids de 0,8 d'après le système GOD).

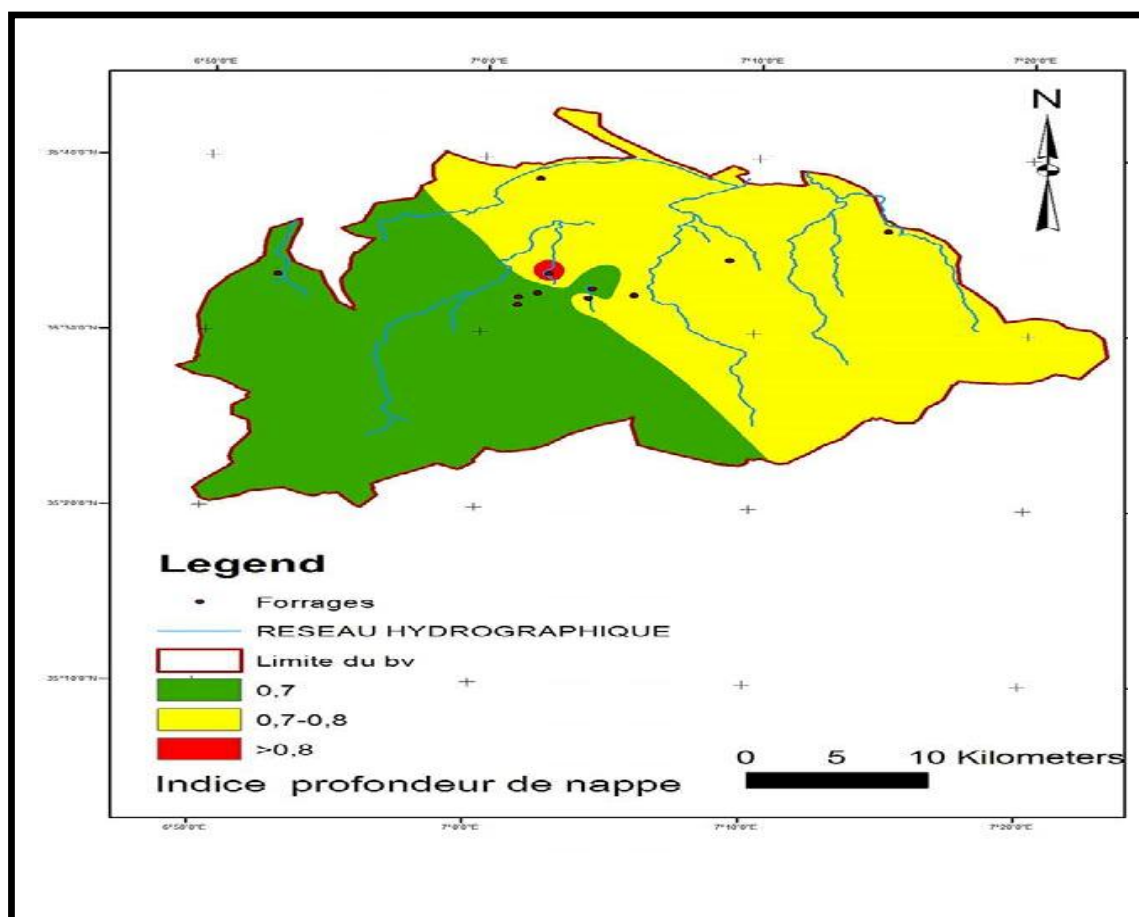


Figure 26: Carte profondeur de la nappe critère « D »

V.5.3/Paramètre type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overall aquifer classe)

La migration des polluant vers la nappe tout dépend sur la nature de la géologie de la formation d'aquifère, en générale la pollution est transmis par une faible vitesse dans les sols sable et gravie, la vitesse nulle lorsque le sol est argileux ; d'après notre carte on constate 4 types de matériaux qui constituent la zone non saturée :

- la zone non saturée est compose de sol résiduels alluvions qui présente 39,49% Au sud et sud-ouest de la zone d'étude. (Un poids de 0,4-0,6 d'après le système GOD).
- la zone non saturée est essentiellement sol résiduels qui occupe 38,69% Au centre et nord -est et nord ouest de la surface totale. (Un poids de 0,4 d'après le système GOD.)
- la zone non saturée est constituée par sable alluviaux fluviaux glaciaires et gravies qui occupe 19,23% Au centre -ouest de la zone d'étude. (Un poids de 0,6- 0,8 d'après le système GOD.)
- la zone non saturée est constituée par colluvions gravies qui occupe 2,57 % Au centre -est de la zone d'étude. (Un poids de 0,8 d'après le système GOD)

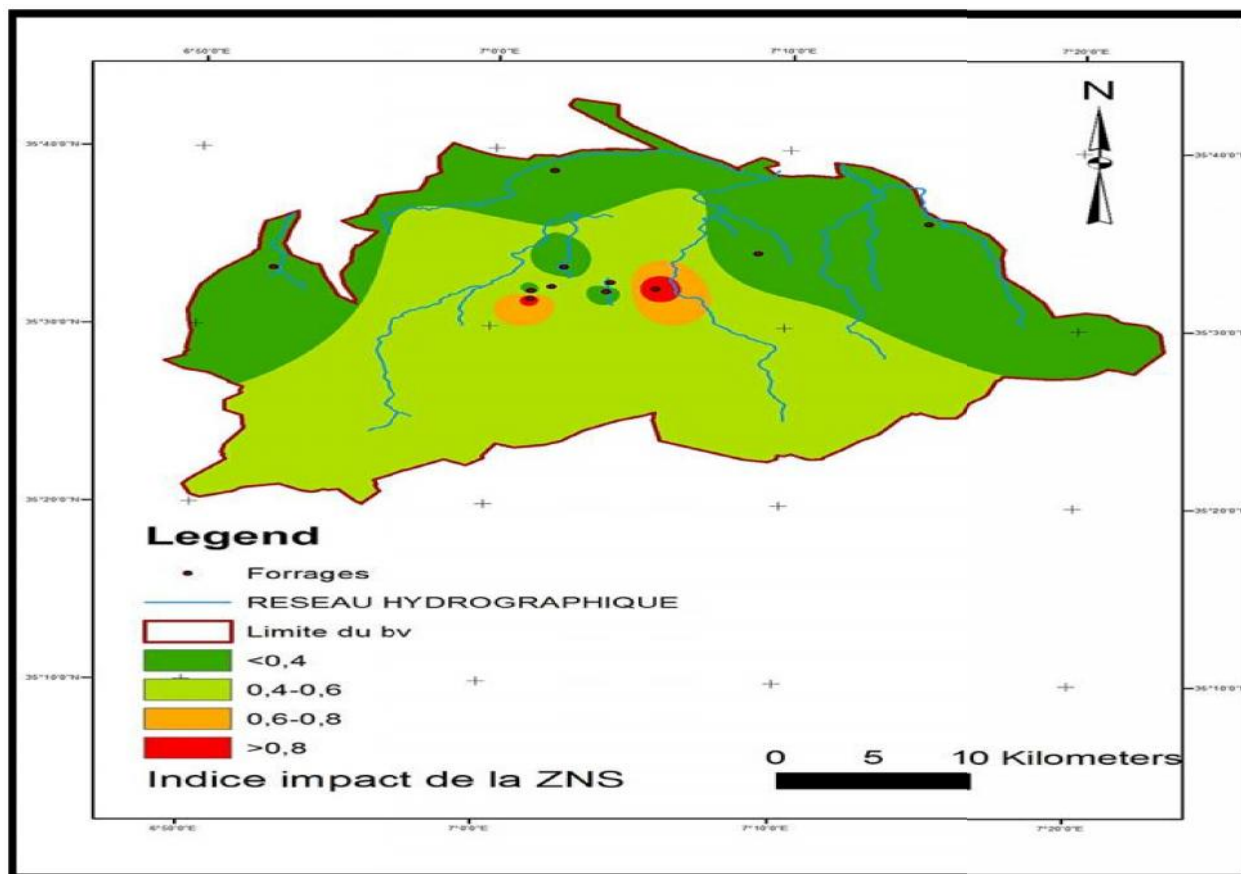


Figure 27: Carte impacte de la zone vadose critère « O ».

V.5.4/Cartographie de la vulnérabilité a la pollution de la nappe de zone d'étude

L'indice de vulnérabilité Igod relatif a la méthode GOD est calculé par la multiplication de trois cartes d'indices G, O et D.

$$I_{god} = CG * Co * CD$$

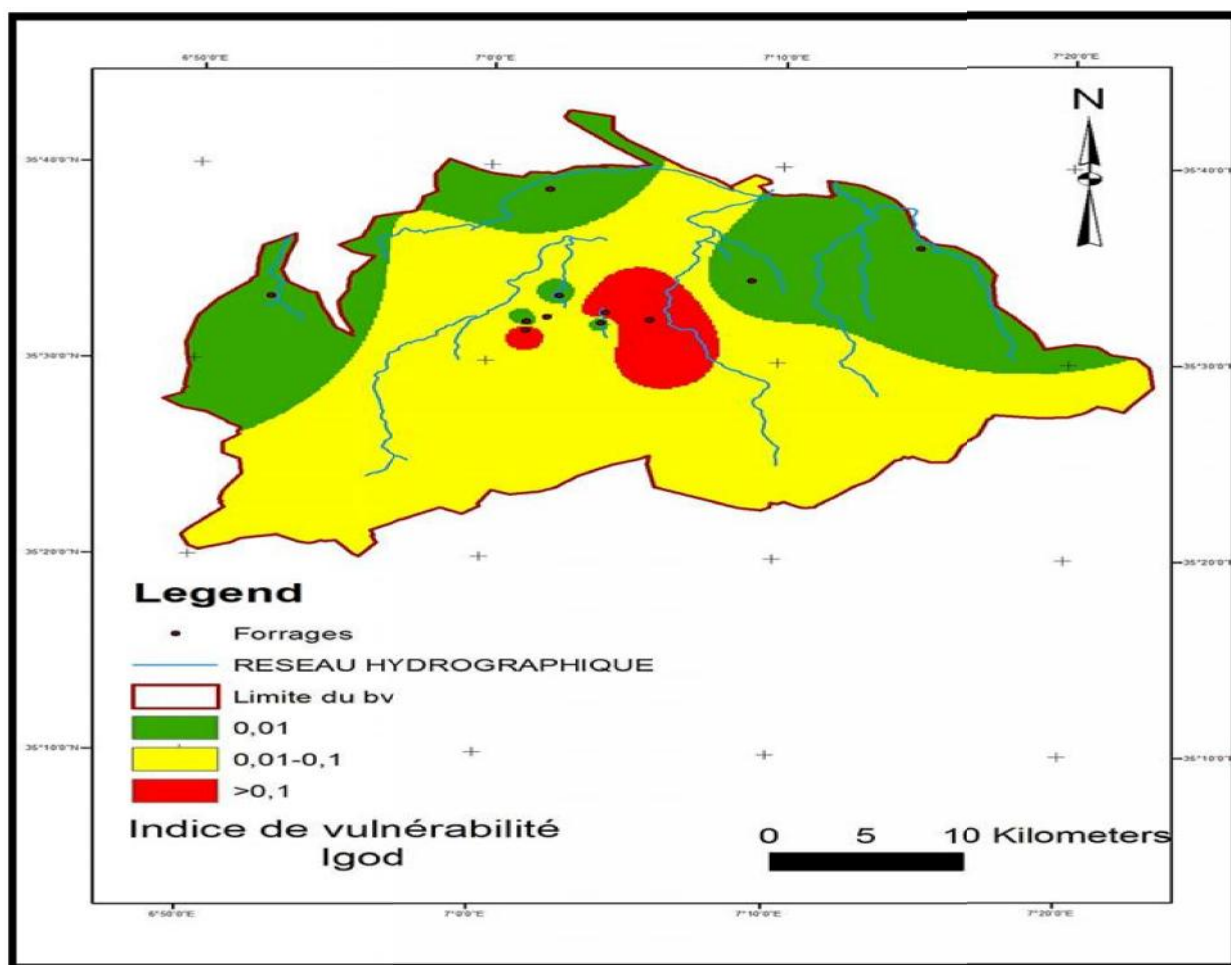


Figure 28 : Carte de l'indice de vulnérabilité GOD

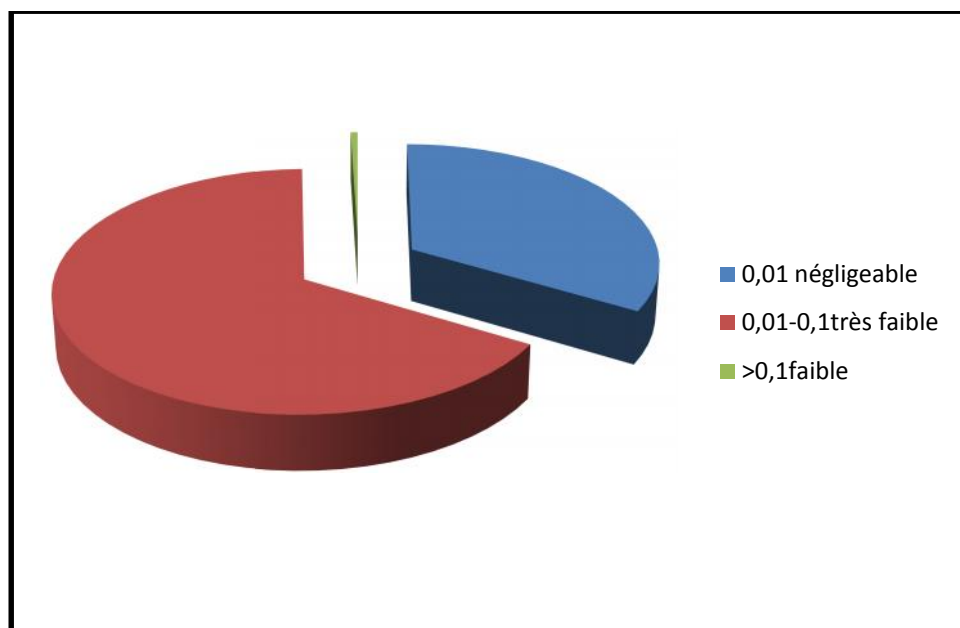


Figure 29 : Répartition d'indice de vulnérabilité GOD du secteur d'étude.

La superposition des 3 cartes pondérées avec l'application de la formule GOD permet d'obtenir la carte finale qui montre les classes de vulnérabilité qui sont :

(Négligeable - Très faible –faible).

- Classe de vulnérabilité « négligeable » : représente 31,99% de la zone d'étude et se localise aux alentours du quelque forage de la zone nord –est et nord -ouest . Cette vulnérabilité est presque nulle malgré la nature de lithologique de la zone non saturée entièrement au sol résiduel. Cela due de la profondeur de la nappe qui est loin du sol et de type de nappe qui est captive
- Classe de vulnérabilité « très faible » : représente 63,11% de la zone d'étude en jaune qui couvre le sud-ouest et le sud –est ou on a un avantage de profondeur de la nappe lions que le sol mais la nappe est semi –libre se que conditionner la très faible vulnérabilité
- Classe de vulnérabilité « faible », qui située aux zones agricoles a la partie central de la zone d'étude qui occupe 0,48% de la total de surface. Ou on a une faible profondeur de la nappe qui est rapproche de sol avec une aquifère semi- libre sans oublies une Lithologie graveleuse ce qui favorise la faible vulnérabilité.

V.6/Conclusion

La carte de vulnérabilité est le résultat de la superposition des cartes des facteurs régissant la vulnérabilité de la nappe au risque de contamination. On constate que on a deux classe majeure la zones très faible a faible vulnérabilité occupent grande aire.aux centre ; sud-ouest et le

Sud –est, par ailleurs La zone à vulnérabilité négligeables répartie sur plusieurs endroits de la zone d'étude aux nord Qui présente 31,99%de totalité de surface.

Conclusion générale

Conclusion générale

La région d'el Hamma fait partie des zones semis aride. Elle étend sur une superficie totale de 168 km², elle est située au nord de la wilaya de Khenchela, ces coordonnées géographiques son : 35°27'49'' nord et 7°4'57''est. L'étude hydrographie de la région a permis caractériser un réseau hydrographique au régime d'écoulement d'oued el Menzel et oued Hamma Essalihine.

L'étude hydro climatique a permis de déterminer le climat de la région ; c'est un climat semi aride caractérisé par un hiver froid et une température moyenne annuelle 15,78°C, les précipitations sont irrégulières avec une moyenne annuelle de 614,9mm tandis que l'évaporation mesurée au niveau de la station d'el Hamma est de 132,73 mm.

La cartographie de la vulnérabilité de la pollution des eaux souterraines est une méthodologie qui permet à déterminer la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines.

La méthode GOD utilise pour présenter la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale des polluants à travers la zone non saturé, les trois paramètres ayant trait au type d'aquifère, la lithologie de la zone non saturé et la profondeur de la nappe.

L'étude de la vulnérabilité de la nappe à la pollution a permis l'établissement d'une carte de vulnérabilité. Cette dernière a mis en évidence trois zones à différent degré de vulnérabilité :

- Classe de vulnérabilité « négligeable » : représente 31,99% de la zone d'étude et se localise aux alentours du quelque forage de la zone nord –est et nord -ouest . Cette vulnérabilité est presque nulle malgré la nature de lithologique de la zone non saturée entièrement au sol résiduel. Cela due de la profondeur de la nappe qui est loin du sol et de type de nappe qui est captive
- Classe de vulnérabilité « très faible » : représente 63,11% de la zone d'étude en jaune qui couvre le sud-ouest et le sud –est ou on a un avantage de profondeur de la nappe lions que le sol mais la nappe est semi –libre se que conditionner la très faible vulnérabilité
- Classe de vulnérabilité « faible », qui située aux zones agricoles a la partie central de la zone d'étude qui occupe 0,48% de la total de surface. Ou on a une faible profondeur de la

Conclusion générale

nappe qui est rapproché de sol avec une aquifère semi- libre sans oublier une Lithologie graveleuse ce qui favorise la faible vulnérabilité.

Conseils d'exploitation Recommandation :

Dans la région d'el Hamma, l'eau souterraine occupe une grande partie principale des ressources sensibles. les conseils à prendre pour préserver ces ressources :

- La cartographie est un complément pour les études hydrogéologiques et nécessaire pour réaliser les études de vulnérabilité
- L'exploitation de la carte de vulnérabilité à la pollution de la région d'el Hamma.
- Un contrôle du mouvement ondulatoire de la nappe à partir des réseaux piézométriques.
- Dans le domaine de la conservation et de la protection des eaux souterraines la cartographie peut aider le législateur à prendre ou à renforcer des mesures.
- Ces cartes seront certainement très utiles et notamment en ce qui concerne la délimitation des périmètres de protection des captages d'eaux potables et des zones favorables aux rejets.
- Application et adaptation de la méthode de géo-référencement assistée d'un système de gestion à des bases de données à d'autres terrains karstiques
- Sensibiliser les citoyens à protéger l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

.AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC (2015). Un manuel de formation de l'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les organismes de bassins transfrontaliers en Afrique » module 8 les risques liés à l'eau souterraine, 20 p

Amharref, m. Aassine, s. Bernoussi, a. & Haddouchi, b. (2007). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines : application à la plaine du Gharb (Maroc). *Revue des sciences de l'eau*, 20(2), 185–199. Doi:10.7202/015812ar p186

Bemoussat. A (2012). Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterrain à travers le bassin Tafna, mémoire de magistère, université de Tlemcen, 128 p

Bézélgueset .S (2002) Cartographie de la vulnérabilité des nappes de grande-terre et de mariegalante (Guadeloupe). Phase 1- définition de la méthode de détermination de la vulnérabilité, rapport BRGM-51783-Fr, 41 p.

Boeglin J-C (2001) Propriétés des eaux naturelles, *Journal Technique de l'eau*,

Boubelli. S (2009). Identification et mise en évidence des formations hydrogéologiques de la wilaya de Khenchela (nord-est algérien) analyse et synthèse de données mémoire magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 133p

Delment. J (2016) Les enjeux de santé liés à la qualité de l'eau de boisson dans les pays en développement, Atelier d'information sur la qualité de l'eau dans les projets de développement des services d'eau potable, Lyon.

Ewodo Mboudou. G, Ombolo. A, Kouame Kan .J , Bon. A.F, Bineli. And E (2015) Evaluation of the intrinsic vulnerability of the Mingosso watershed (Yaounde region) by parametric methods DRASTIC, SI and GOD," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 12, no. 1, pp. 266–286.

Hachette (1996). Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines, d'après c. L'évêque, écosystèmes aquatiques

Hemidi. L (2013) Vulnérabilité de la nappe alluviale Guerrara à la pollution, mémoire de magistère, université Kasdi Merbeh Ouergula, 147 p.

Melloul.A, Boughrila.M, Boufairta.M (2009) étude de la contamination des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité d'un aquifère soumis au climat semi aride méditerranéen cas de la plaine côtière de Saidia, Maroc. *Sécheresse*. 20(02), p 223-231

Kevin .L (2012) les eaux souterraines: captage, exploitation et gestion, Université de Kinshasa – Gradat

Références bibliographiques

Khelifi .A, Ounissi O (2016). Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution cas de la nappe d'el Mahmel – mémoire fin d'étude, université Abbes Laghrour Khenchela, 70 p.

Laborde J.P. (2009). Eléments d'hydrologie de surface, Edition 2000, Nice. 204 p.

Murat .V, Paradis. D, Savard M. M, Nastev .M, Bourque .E, Hamel .A, Lefebvre .R, Martel. R, (2003) Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD, ressources naturelle .Canada, commission géologique, p. 16

Roche M. (1963) Hydrologie de surface, GAUTHIER - VILLARS ÉDITEUR – PARIS, 430 p.

Saidi .M (2013) Apport des logiciels de SIG dans la morphométrie des bassins versants l'exemple d'ARC GIS, Guide méthodologique d'utilisation. Université Kadi Ayache, Marrakech, 9 p.

Vincent .I, Vogel. J (2014). Climat, météo et atmosphère, cahier pédagogique. Globe Suisse, 47 p.

Sites Web :

<http://www.ilocis.org/fr/documents/images/055-019f.gif>

info@geomatique.fr

[Www .géomatique .Fr / global mapper \(Alain olivier géomatique 1998-2018\)](http://www.géomatique.Fr/global_mapper)

<http://www.andi.dz/PDF/monographies/Khenchela.pdf>

<file:///D:/Rapport%20PAT%20Hammam%20ESSALHINE%20khenchela%20Phase%20I%20.pdf>

<https://www.lenntech.fr/francais/faq-effet-polluants-sante.htm>

<https://www.emse.fr/bouchardon/enseignement/processus-naturels/up3/web/essais-pompage-2003-e.html>

<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-sout/pol-sout.htm>

[www.cef-cfr.ca>uploads>ArcGIS-EF1](http://www.cef-cfr.ca/uploads/ArcGIS-EF1)

Résumé

L'étude de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines nécessite la convergence de connaissances de diverses origines

L'objet de cette étude en joignant aux plusieurs donnée bibliographique pour but de forme une carte de vulnérabilité de la nappe de la région de el Hamma en appliquant la méthode GOD. Les paramètres étudiés sont le Type de nappe (G) type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (O), profondeur de la nappe (D).

La carte obtenue par l'emploi du logiciel arc gis version 10.1 a mise en évidence trois zones à différents degrés de vulnérabilité, qui peut montre par deux classe majeur la zones très faible a faible vulnérabilité occupent grande aire.aux centre ; sud-ouest et le Sud –est, par ailleurs La zone à vulnérabilité négligeables répartie sur plusieurs endroits de la zone d'étude aux nord Qui présente 31,99%de totalité de surface

Mots clés : eaux souterraine, vulnérabilité, GOD, logiciel arc gis version 10.1, nappe

Groundwater Vulnerability Mapping Study Requires Convergence of Knowledge from Different Sources.

The purpose of this study is to add to the several bibliographic data for the purpose of form a vulnerability map of the water table of the El Hamma region by applying the GOD method. The studied parameters are the type of aquifer type aquifer (G) in terms of litho logical factors (O), depth of the aquifer (D).

The map obtained by using arc gis software version 10.1 highlighted three zones with different degrees of vulnerability, which can show by two major classes the very weak areas with low vulnerability occupy large areas in the center; southwest and the Southeast, otherwise negligible vulnerable area spread over several locations in the study area to the north which presents 31, 99% of total area

Key words: groundwater, vulnerability, GOD, arc gis software version 10.1, groundwater

دراسة خرائط الضعف للمياه الجوفية تتطلب تقارب المعرفة من مصادر مختلفة
الغرض من هذه الدراسة هو الإضافة إلى البيانات البيولوجية المتعددة لغرض تشكيل خريطة ثغرة في جدول المياه في منطقة الحامة من
خلال تطبيق طريقة GOD. المعلومات المدروسة هي نوع طبقة المياه الجوفية من النوع G, من حيث العوامل الصخرية O,
المياه الجوفية D

سلطت الخريطة التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج Arc GIS version 10.1
, والتي يمكن أن تظهر من خلال فئتين رئيسيتين, حيث أن المناطق الضعيفة للغاية ذات الضعف المنخفض تشغل مساحات كبيرة.
رق المناطق الضعيفة التي لا تحصى على مناطق عديدة من منطقة الدراسة إلى الشمال و التي تقدر ب 31,99
المساحة الكلية.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية , القابلية للتضرر, ArcGIS version 10.1

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Chapitre II

Hydro climatologie

Chapitre III

Généralité sur les eaux souterraines

Chapitre IV

Généralité sur la vulnérabilité des eaux souterraines

Chapitre V

Résultat et discussion

ANNEXE

Sondage	Coordonnées		Profondeur de la nappe	
	X	Y	PN	Poids
F1	892000	256850	17,95	0,7
F 2bis	895841	256975	17,84	0,8
F3	893023	257350	12,66	0,7
F10	892400	269400	7,33	0,8
F11	892000	256000	20,1	0,7
BB 15	898350	257400	11,96	0,7
F Boussaha	878600	258450	10,5	0,7
F Sb 5bis	903350	261400	7,27	0,8
F W9	911900	265000	1,1	0,8
F9	893500	259400	6,6	0,9
F RK1	898,350	256,400	7,9	0,8

Sondage	Coordonnées		Type de nappe	
	X	Y	TDN	POIDS
F1	892000	256850	Captive	0,2
F 2bis	895841	256975	Captive	0,2
F3	893023	257350	Semi-captive	0,3
F10	892400	269400	Captive	0,2
F11	892000	256000	Semi-captive	0,3
BB 15	898350	257400	Semi-libre	0,5
F Boussaha	878600	258450	Captive	0,2
F Sb 5bis	903350	261400	Captive	0,2
F W9	911900	265000	Captive	0,2
F9	893500	259400	Captive	0,2
F RK1	898,350	256,400	Semi-captive	0,3

Sondage	Coordonnées		Facteurs Lithologiques	
	X	Y	ZNS	POIDS
F1	892000	256850	Sol résiduels	0,4
F 2bis	895841	256975	Sol résiduels	0,4
F3	893023	257350	Sables éoliens	0,6
F10	892400	269400	Sol résiduels	0,4
F11	892000	256000	Graviers	0,8
BB 15	898350	257400	Sables éoliens	0,6
F Boussaha	878600	258450	Sol résiduels	0,4
F Sb 5bis	903350	261400	Sol résiduels	0,4
F W9	911900	265000	Sol résiduels	0,4
F9	893500	259400	Sol résiduels	0,4
F RK1	898,350	256,400	Graviers	0,8

ANNEXE

Méthodologies :

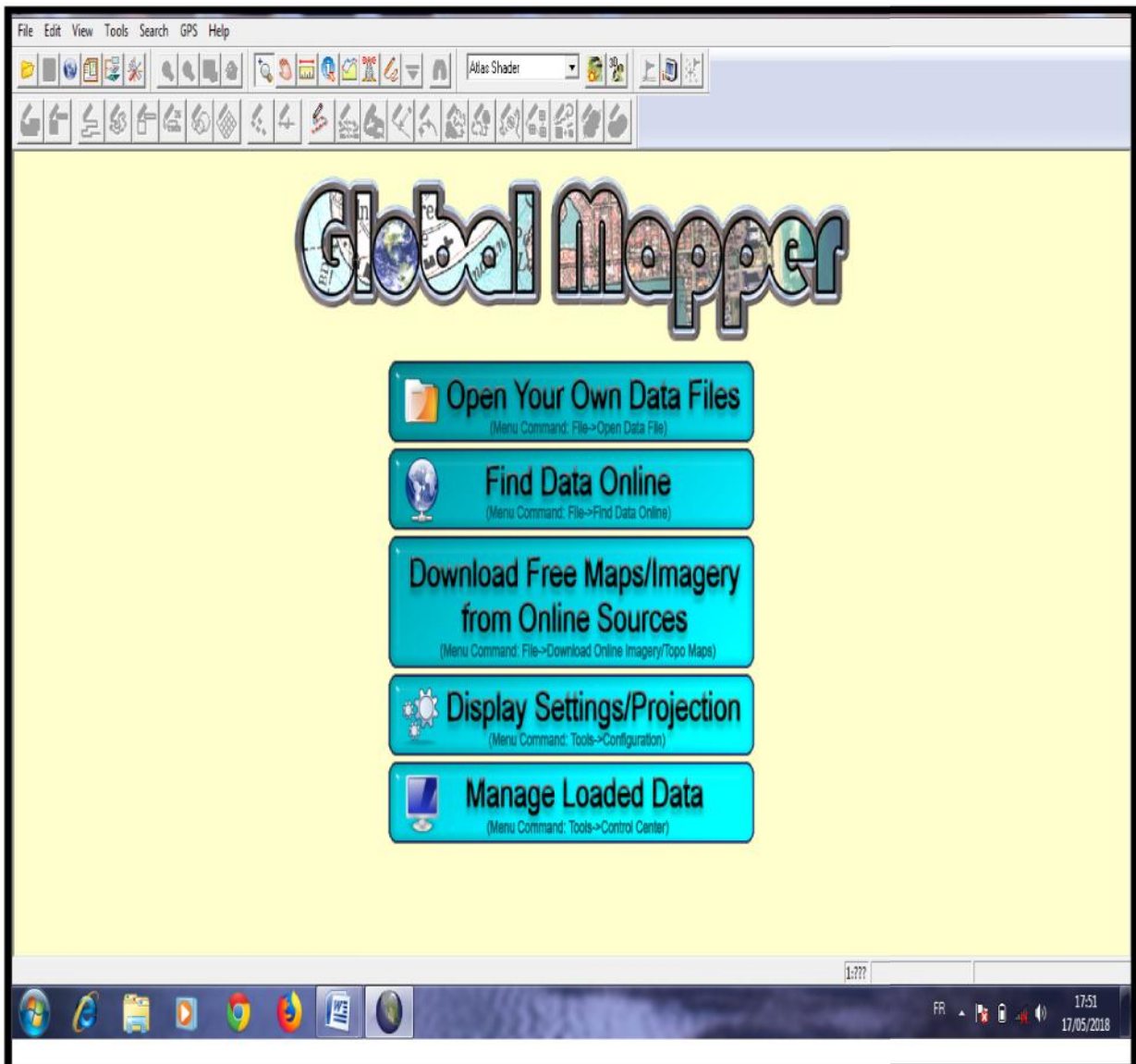
Mètres / Degrés Décimaux ou Mètres ou Degrés Décimaux Sexagésimaux

Lambert Nord Algérie Voirol Ur GPS standard lon/lat **Calcul**

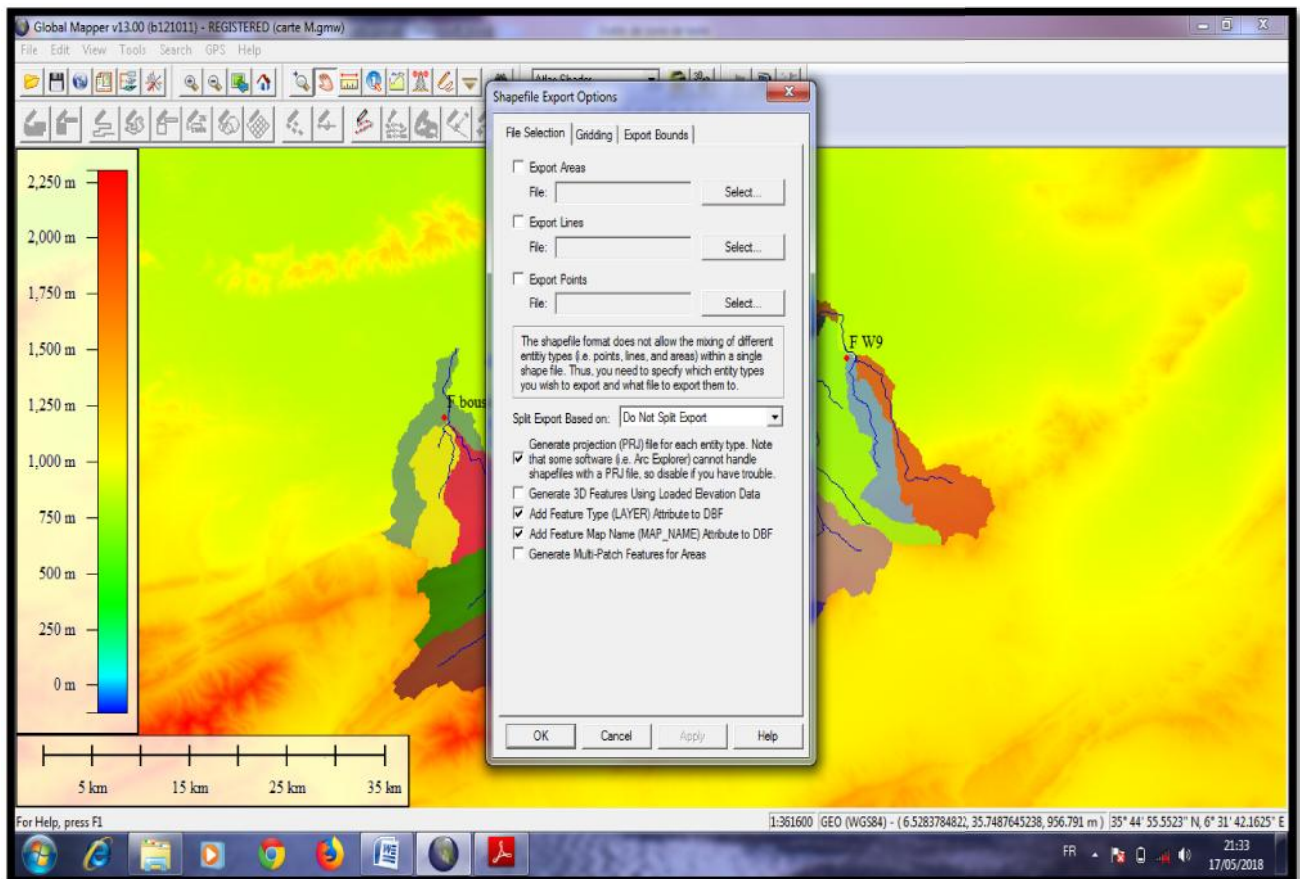
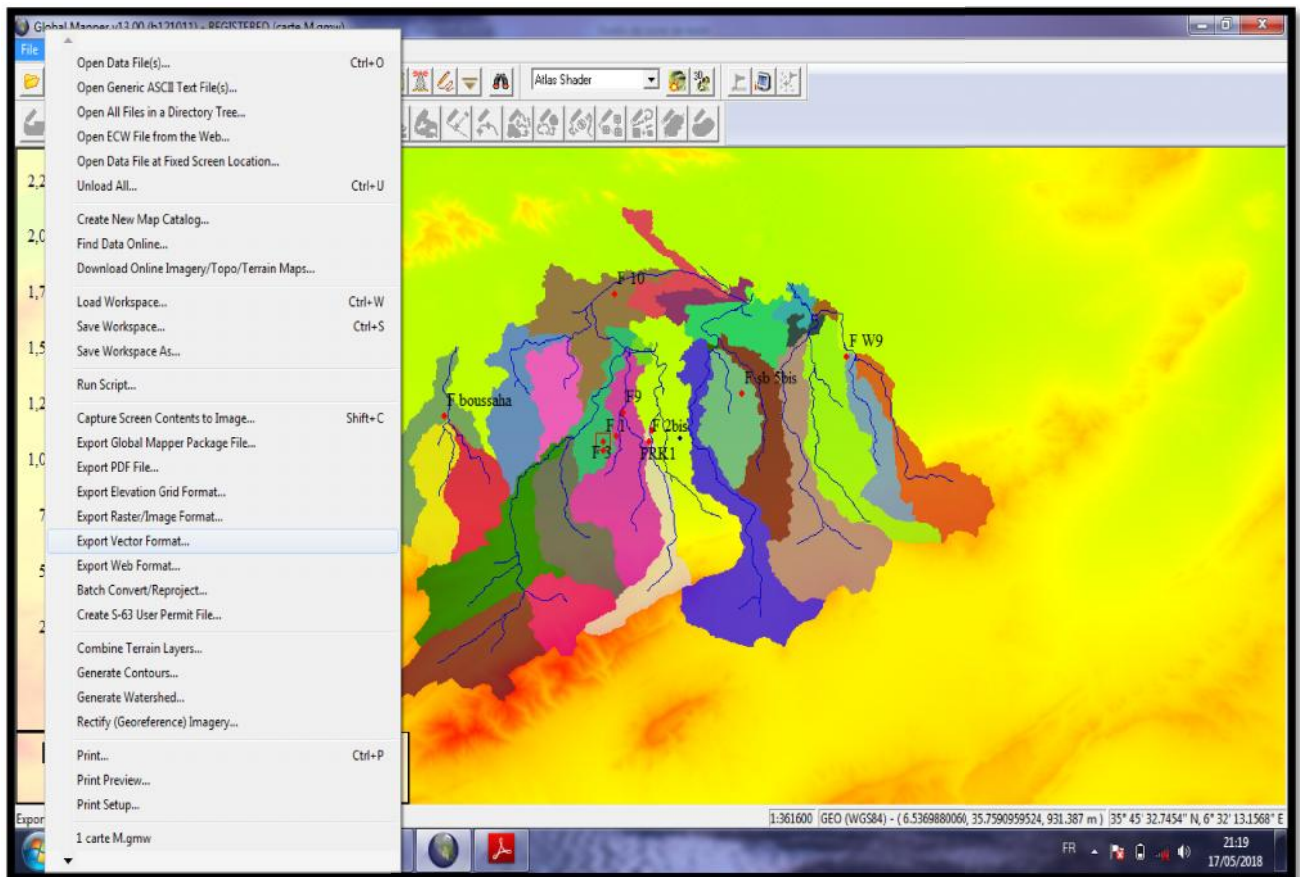
Decimal Sexagesimal (° ' ")

X,Easting	Y,Northing	Longitude	Latitude
898350	257400	7°5'34.7246" E	35°32'10.5342" N
903350	261400	7°9'0.3147" E	35°34'12.8721" N
892000	256000	7°1'20.3525" E	35°31'34.3502" N
911900	263000	7°14'46.2747" E	35°35'56.7930" N
893023	257350	7°2'3.3128" E	35°32'16.6510" N
892400	269400	7°1'59.8642" E	35°38'48.2782" N
895841	256975	7°3'54.4377" E	35°32'0.4110" N
892000	256850	7°1'21.8487" E	35°32'1.9121" N
893500	259400	7°2'25.8598" E	35°33'22.4347" N
878600	258450	6°52'32.9663" E	35°33'12.7505" N

Efface



ANNEXE



ANNEXE

