

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Terre et de l'Univers"

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie et Environnement"

Thème

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère de la région de Tissmsilt

Présentés et soutenus publiquement par :

-M^{lle}: GUERDI Hala

-M^{lle}: CHADOUL Amina

Jury:

-Président:	Mr. AIDONI Amine	MAA	Université de Tiaret
-Promoteur :	Mr. MOUCHARA Nabil	MAA	Université de Tiaret
-Co-Promoteur :	Mr. AMEUR Mohammed	MAA	Université de Tiaret
-Examineur :	Mr. SABBOUA Toufik	MAA	Université de Tiaret

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

On remercie Allah miséricorde de nous avoir amené à réaliser ce travail et de nous avoir donné la possibilité de poursuivre nos études supérieures et de les réussir.

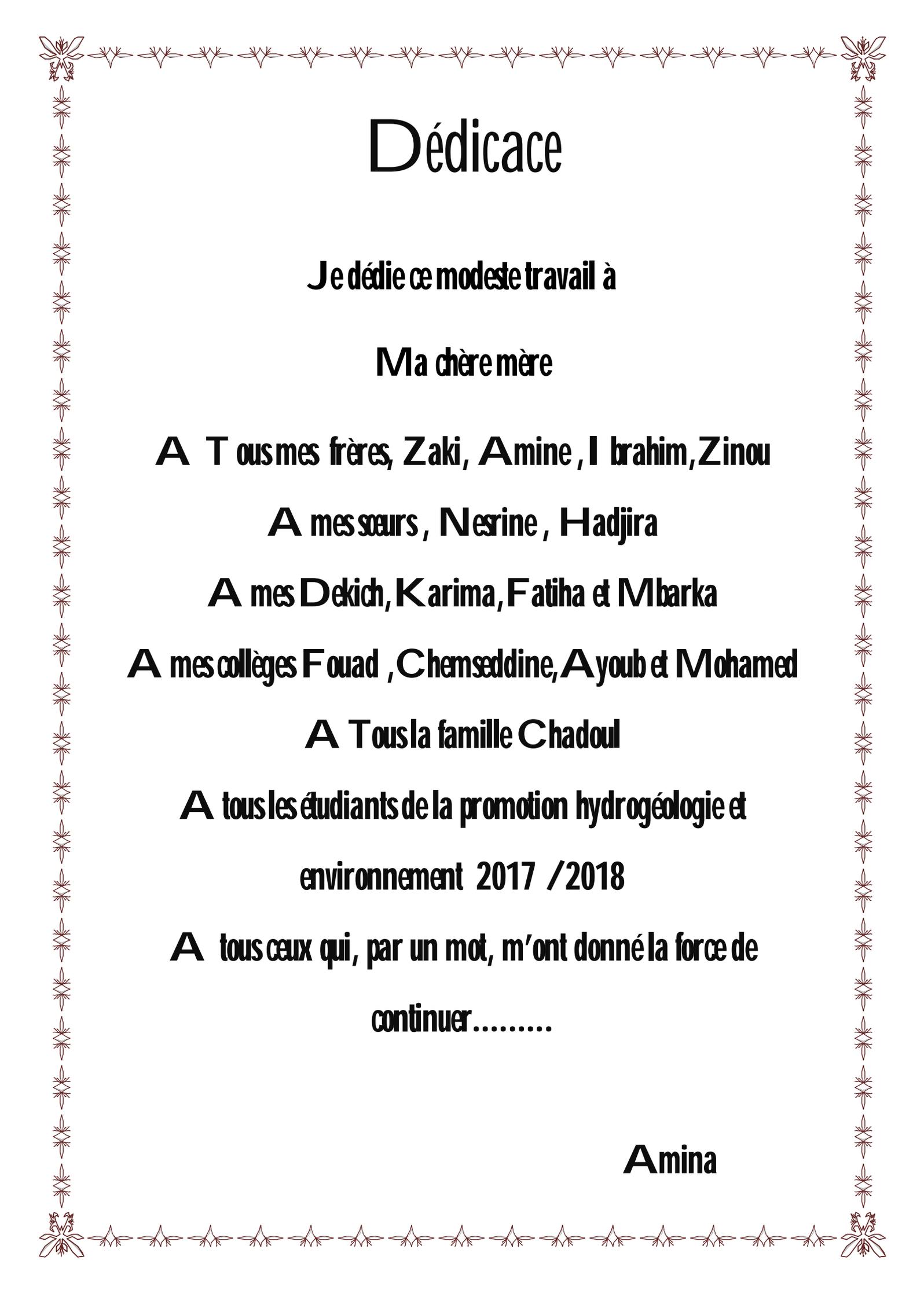
*Il nous est agréable d'adresser nos sincères remerciements à **Mr MOUCHARA NABIL** qui nous a fait confiance pour le choix de ce sujet. Nous le remercions de nous avoir guider pendant la réalisation de ce travail, pour toutes les connaissances en Hydrogéologie qu'elles nous a transmises, pour sa sagesse et sa bonté, qu'il en soit remercié.*

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de notre département.

Nos remerciements vont aussi à messieurs les membres du jury pour avoir accepter de juger et examiner notre travail.

Enfin, A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Ma chère mère

A Tous mes frères, Zaki, Amine, Ibrahim, Zinou

A mes sœurs, Nesrine, Hadjira

A mes Dekich, Karima, Fatiha et Mbarka

A mes collègues Fouad, Chemseddine, Ayoub et Mohamed

A Tous la famille Chadoul

A tous les étudiants de la promotion hydrogéologie et

environnement 2017 /2018

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de

continuer.....

Amina

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

A la mémoire de mon défunt père.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,,,

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,,,

À ma mère !

A mon marie Ghlamala.....,

A mes frères Amine, Ayoub. Mohamed, Kemal.

A mes sœurs Nahia, Newal et Hanane

A mes amis Karima, Fatiha et Mbarka ...

A mes collègues Fouad et Chamseddine,,,

A Tous la famille Guerdi et Djafar

A tous les étudiants de la promotion hydrogéologie

et environnement 2017 /2018

**A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer.....**

Hala

Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	01
CHAPITRE I : Cadre physique et géologique	
1.Introduction.....	03
2.Présentation générale de la région de Tissemsilt	03
2.1.Situation géographique de la région de Tissemsilt	03
2.2.Situation de la zone étude	04
2.3.Population	05
2.4.Relief.....	06
2.5.Hydrographie	07
2.6.Végétation.....	08
3.Cadre géologique général.....	09
4.Etude lithostratigraphique.....	11
1. Le Trias.....	12
2. Terrains Allochtones.....	12
A- Sénonien C _s	12
B- Cénomaniens C _c	12
C-Eocène inférieur. e ₁	12
D- Eocène moyen et supérieur. e ₂	12
E- Oligocène.....	13
F- Miocène inférieur.....	13

5.CONCLUSION.....13

CHAPITREII : Étude hydroclimatique

1. Introduction.....14

2. Les facteurs climatiques.....14

2.1 Les précipitations.....14

2.1.2 Les précipitations moyennes mensuelles.....14

2.1.3 Régime saisonnière des précipitations.....16

2.1.4 Précipitation moyennes interannuelles et coefficient pluviométrique(CP).....17

3. Les températures.....18

4. Classification du climat de la région.....20

5. DiagrammeOmbrothermique de GAUSSEN.....20

6.Détermination de l'humidité du sol (méthode D'Euverte).....21

7. Indice d'aridité de DEMARTONNE.....22

8. Le Diagramme D'Emberger.....23

9. Le Bilan Hydrique.....24

9.1 Etude de l'évapotranspiration.....25

9.1.1Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....25

9.1.1.1 Formule de Thornthwaite (bilan d'eau).....25

9.2 Évapotranspiration réelle (ETR).....26

9.2.1 La formule de Turc.....26

9.2.2Estimation du ruissellement.....27

9.2.2.1 Méthode de Tixeront Berkaloff.....27

9.2.3Estimation de l'infiltration.....27

10. Interprétation du bilan hydrique.....29

11. Conclusion..... 29

CHAPITRE III: Etude hydrogéologique

1. Introduction.....30

2. Contexte hydrogéologique.....30

3.Ressource en eaux souterraines31

4. Méthodologie d'évaluation des Ressources.....32

1. Les nappes phréatiques.....33

a. Les Alluvions des Oueds Lardjem et Oued Fodda.....33

Table des matières

2. Les nappes profondes	33
1. Les calcaires.....	33
a. les calcaires Jurassique.....	33
b. les calcaires du crétacé.....	33
2. Les Grès Numidiens.....	33
a.les Grès numidiens du djebel Meddad, djebel Laghouat et djebel Guernlahmer.....	33
b. Les Grès et les Formations du Miocène.....	33
c. Les Grès du Djebel Nador et Khemisti	34
5. Ressources souterraines mobilisées	35
5.1. Forage	35
5.2. Puits	36
6. Conclusion.....	36

CHAPITRE IV : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines

1. Introduction.....	37
2. La pollution des eaux	37
2.1. Définition de la pollution	37
2.2. Types de pollution	37
a. La pollution physique	37
b. La pollution chimique	37
c. La pollution organique	37
d. La pollution bactériologique.....	38
2.3. Les sources potentielles de contamination des eaux souterraines dans la région..	38
4.1 Notion de vulnérabilité à la pollution.....	38
4.2 Types de vulnérabilité.....	38
4.2.1 La vulnérabilité intrinsèque.....	38
4.2.2 La vulnérabilité spécifique.....	38
4.2.3. La vulnérabilité des nappes	38

Table des matières

4.2.4. Les critères de vulnérabilité	39
Critères de vulnérabilité intrinsèque.....	39
4.2.4.1. Critères relatifs au sol.....	39
4.2.4.2. Critères de vulnérabilité spécifique.....	39
5. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité	39
5.1 Méthode DRASTIC	39
5.2. Méthode AVI.....	39
5.3. Méthode SINTACS.....	40
5.4. La méthode SI.....	40
5.5. Méthode COP.....	40
5.6. Méthode RISK	41
5.7Méthode GOD.....	41
5.7.1. Profondeur de la nappe.....	44
5.7.2. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques.....	44
a. Paramètre « D» profondeur de la nappe.....	44
b. Paramètre « O » Nature lithologique de la ZNS.....	45
c. Paramètre « G » type d'aquifère.....	46
d. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'étude selon GOD.....	47
-la classe "négligeable "	47
-la classe "faible "	47
6. conclusion.....	50
Conclusion générale.....	51
Recommandation.....	52
Références bibliographiques	
Résumé	

Liste des figures

Fig. N°01: Carte de situation géographique de la wilaya de Tissemsilt (Arour E, 2016).....	03
Fig. N°02 : Carte de situation de la wilaya de Tissemsilt (In DRE, 2004).....	04
Fig. N° 03 : Histogramme de l'évolution de la population (hab.) des communes de Tissemsilt, Khemisti et Laayoune entre 1987 et 2017.....	06
Fig. N°04 : Carte altimétrique de la wilaya de Tissemsilt (In DRE, 2004).....	07
Fig. N° 05 : Carte des sous bassins versants du bassin Cheliff amont Boughzoul (in LADJAL R., 2013)	08
Fig. N° 06 : Carte des forêts de la wilaya de Tissemsilt (In DRE, 2004).....	09
Fig. N° 07 : Carte structurale générale (Beta consults, 2014).....	10
Fig. N° 08 : Coupe géologique à travers la nappe B (In Beta consults, 2014).....	11
Fig. N° 09 : Coupe lithologique à travers la nappe B (in Beta consults, 2014).....	11
Fig. N° 10 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tissemsilt (1986-2016).....	15
Fig. N°11 : Distribution des précipitations moyennes saisonnières en pourcentage (1986-2016).....	16
Fig. N°12 : Variation moyenne de la température mensuelle de la période (1986-2016) Station de Tissemsilt.....	19
Fig. N°13 : Courbe Ombrothermique selon Gaussen.....	20
Fig. N°14 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DeMartonne.....	23
Fig. N°15 : Climagramme d'EMBERGER.....	24
Fig. N°16 : Carte Hydrogéologique du bassin de la Wilaya de Tissemsilt (In DRE, 2004).....	31
Fig. N°17 : Carte de localisation des dépressions dans la wilaya de Tissemsilt (In DRE, 2004)	32
Fig. N°18 : Carte des aquifères (In ABH CZ).....	34

Fig. N°19 : La méthode GOD, paramètres et cotations (In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z., 2017).....	43
Fig. N°20 : Carte du paramètre "D" type de profondeur de nappe de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018).....	45
Fig. N°21 : Carte du paramètre "O" type de lithologie de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018)	46
Fig. N°22: Carte du paramètre "G" type d'aquifère de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018).....	47
Fig. N°23 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon la méthode GOD de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018).....	48
Fig. N°24 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution des eaux de la zone d'étude selon GOD m. (In Cherikh M., 2014-2015).....	49

Liste des tableaux

Tableau N°01 : les coordonnées de chefs lieux de la zone d'étude

Tableau N°02 : Evolution de la population de la wilaya de Tissemsilt (1987-2017)

Tableau N°03:Caractéristiques géographiques de la station de Tissemsilt

Tableau N°04 : Les Précipitations moyennes mensuelles de la station de Tissemsilt (1986-2016).

Tableau N°05: régimes saisonniers des précipitations à la station de Tissemsilt

Tableau N°06 : coefficient pluviométrie de la station de Tissemsilt (1986-2016)

Tableau N°07: Température moyennes mensuelles de la station de Tissemsilt

Tableau N°08 : Montre les Valeurs du rapport P/T (station de Tissemsilt, 1986-2016)

Tableau N°09 : Valeurs du rapport P/T (station de Tissemsilt, 1986-2016)

Tableau N°10 : Comparaison entre les deux méthodes de calcul de l'ETR

Tableau N°11 : Estimation du ruissellement selon les formules de Tixerion-Berkaloff dans la station de Tissemsilt Période (1986-2016)

Tableau N°12 : Valeurs de l'infiltration efficace (I) en mm pour la station de Tissemsilt (1986-2016)

Tableau N°13 : Bilan hydrique de la station de Tissemsilt (1986-2016) selon C.W Thornthwaite.

Tableau N°14 : Les caractéristiques des bassins versants (DRE, 2004)

Tableau N°15 : Listes des forage de la zone d'étude (DRE, 2017)

Tableau N°16: Listes des forages exploités (DRE, 2017)

Tableau N°17: Listes des forages non exploités (DRE, 2017)

Tableau N°18: Critères d'évaluation de vulnérabilité selon la méthode GOD (In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z, 2017)

Tableau N°19 : Indice des paramètres selon la méthode GOD

Tableau N°20 : Echelle de vulnérabilité hydrogéologique

Liste des abréviations

DRE : Direction des Ressources en Eau.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique – Tiaret.

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.

P : la population.

Ha : habitant.

UTM : La projection universelle transverse de Mercator.

Cp : Coefficient pluviométrique.

AE : Année excédentaire.

AD : Année déficitaire.

IA: Indice d'aridité.

Q² : Quotient pluviométrique d'Emberger.

ETR : Evapotranspiration réelle.

ETP : Évapotranspiration potentielle.

I : Infiltration.

i: indice thermique mensuel.

R : Ruissellement.

K : Coefficient de correction de la latitude.

RFU: Réserve en eau dans le sol facilement utilisable par les plantes.

Def : Déficit agricole.

BH: Bilan Hydrique.

Exc : Excédent.

Z.N.S : Zone non saturée.

IG : Type d'aquifère.

IO : Lithologie de l'aquifère.

ID : Profondeur de la nappe.

I GOD: Indice de GOD.

Introduction générale

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère
de la région de Tissemsilt.**

Introduction générale

L'existence de la vie est tributaire de la disponibilité des ressources en eau, c'est pourquoi on disait que "L'eau, c'est la vie".

La disponibilité de l'eau pour l'homme est nécessaire dans les divers domaines industriels, pharmaceutiques, cosmétiques et surtout alimentaire. Pratiquement plus la qualité de l'eau diminue, plus la nécessité de procéder à des contrôles fréquents ne devient impérieuse. Cette qualité différée selon le domaine d'application, de point de vue nutritionnel, l'eau doit répondre aux normes de conformité physico-chimique et bactériologique dans le but de préserver la santé humaine. **(In Mahfouf F et Djemil S., 2015)**

Cependant, plusieurs sources de pollution des eaux souterraines sont répertoriées. Ces différents polluants altèrent la qualité des eaux souterraines et réduisent inéluctablement sa valeur. La préservation de cette ressource inestimable, s'avère un enjeu délicat dans un milieu fragile, d'où la nécessité, voire l'obligation de faire appel en amont à la préservation de la contamination des ces eaux de profondeurs afin de leur assurer un aménagement efficace. Cette prévention peut se faire, d'abord par la délimitation des zones susceptibles d'être atteintes par la pollution que l'on qualifiera de vulnérable sou à risques.

Pour mieux comprendre la relation entre la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution et les conditions hydrologiques, géologiques et météorologiques locales des aquifères, plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité ont été créées, DRASTIC, GOD et SINTACS.... **(In CHARIKH M)**

Ce mémoire s'organise en quatre chapitres:

La situation géographique, le milieu naturel et la géologie de la région ont été présentés dans le premier chapitre, où nous avons essayé de montrer les différentes phases lithologiques et paléogéographiques liées à l'histoire géologique de la région d'étude.

Le second chapitre a été consacré à la climatologie de la région, malgré le manque de données en absence de stations fonctionnelles. Plusieurs calculs abordés pour la mise au point d'un bilan hydrique qui permet une recharge de l'aquifère en question.

Le troisième chapitre est relatif à l'étude hydrogéologique de l'aquifère, basée sur l'étude de la circulation de l'eau, de son origine, son évolution dans le temps et dans

l'espace. Ces connaissances permettront de dégager les solutions à préconiser pour la préservation du système aquifère de la région d'étude.

Le quatrième chapitre présente le résultat de l'application d'une méthode de cartographie de la vulnérabilité, largement expliquée dans la bibliographie et appliquée dans le monde et en Algérie, à savoir la méthode GOD dans le but de délimiter les zones vulnérables afin de les protéger contre tous type de pollution capable de s'introduire dans le système aquifère.

Chapitre I : **Cadre physique et géologique**

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère
de la région de Tissemsilt.**

I. Introduction :

Ce chapitre est consacré principalement à l'étude géologique et litho stratigraphique de la région d'étude (Tissemsilt). De plus, il vise la description des différentes formations et couches géologiques a fin de défini les différents les horizons et les zones potentiellement aquifères.

Aussi on va essayer de donner un aperçu structural et montrer les accidents tectoniques qui affectent le domaine.

II.2.Présentation générale de la région de Tissemsilt :

I.2.1.Situation géographique de la région de Tissemsilt :

Située au sud-ouest d'Alger, de laquelle elle est distante de 170 kilomètres, la wilaya de Tissemsilt fait partie de la bordure sud de Tell. Elle est comprise entre 1°18'E et 2°18'E de longitude et 35°32'N et 36°00'N de latitude nord.

Environ 80 kilomètres de monts et vallées la séparent de la mer méditerranée.(DRE., 2004)

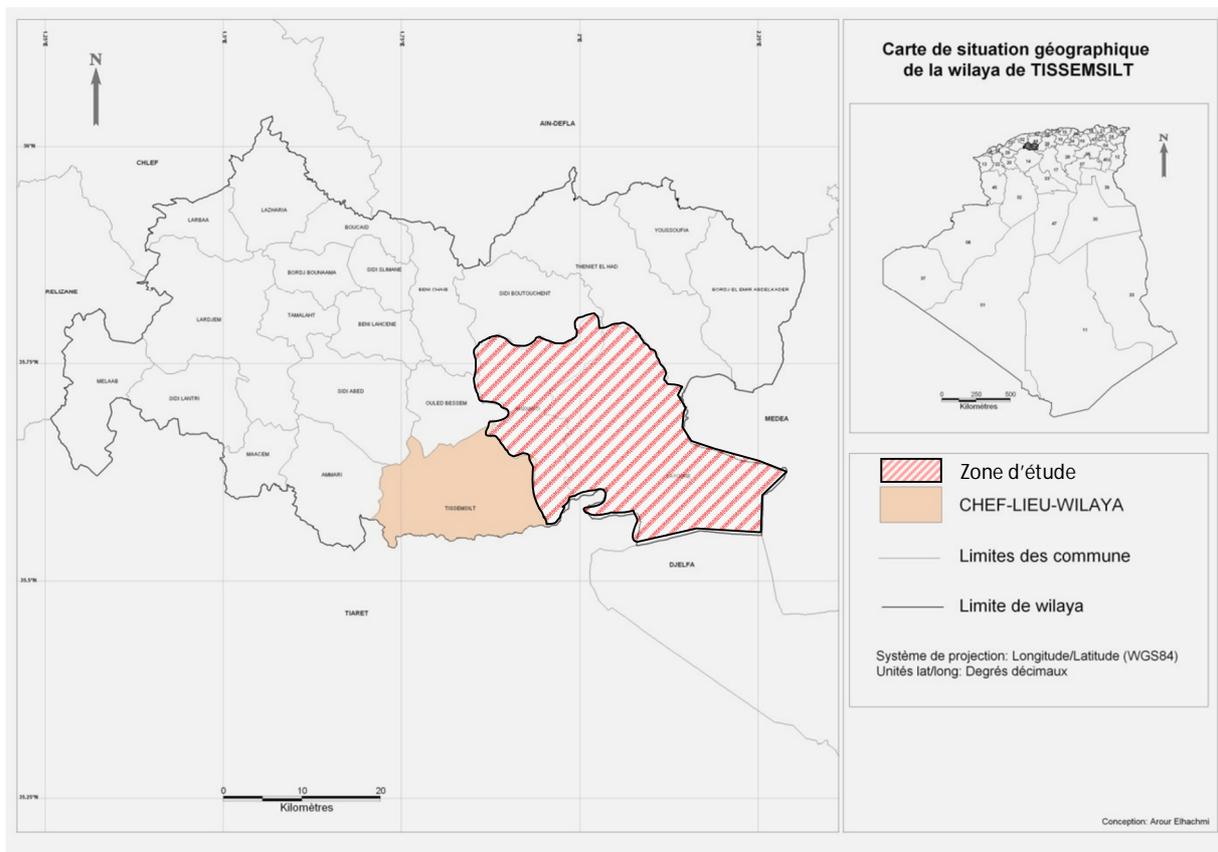


Figure N°01 : Carte de Situation géographique de la wilaya de Tissemsilt (Arour E., 2016)

Contenue dans le grand massif de l’Ouarsenis, la Wilaya de Tissemsilt s’étend sur une superficie de 3151,37 Km². (fig.01) (DRE, 2017)

Elle est limitée :

- Au Nord, par la Wilaya de Ain Defla et Chlef.
- A l’Est, par la Wilaya de Medéa.
- A l’Ouest, par la Wilaya de Relizane.
- Au Sud-ouest, par la Wilaya de Tiaret.
- Au Sud-est, par la Wilaya de Djelfa.

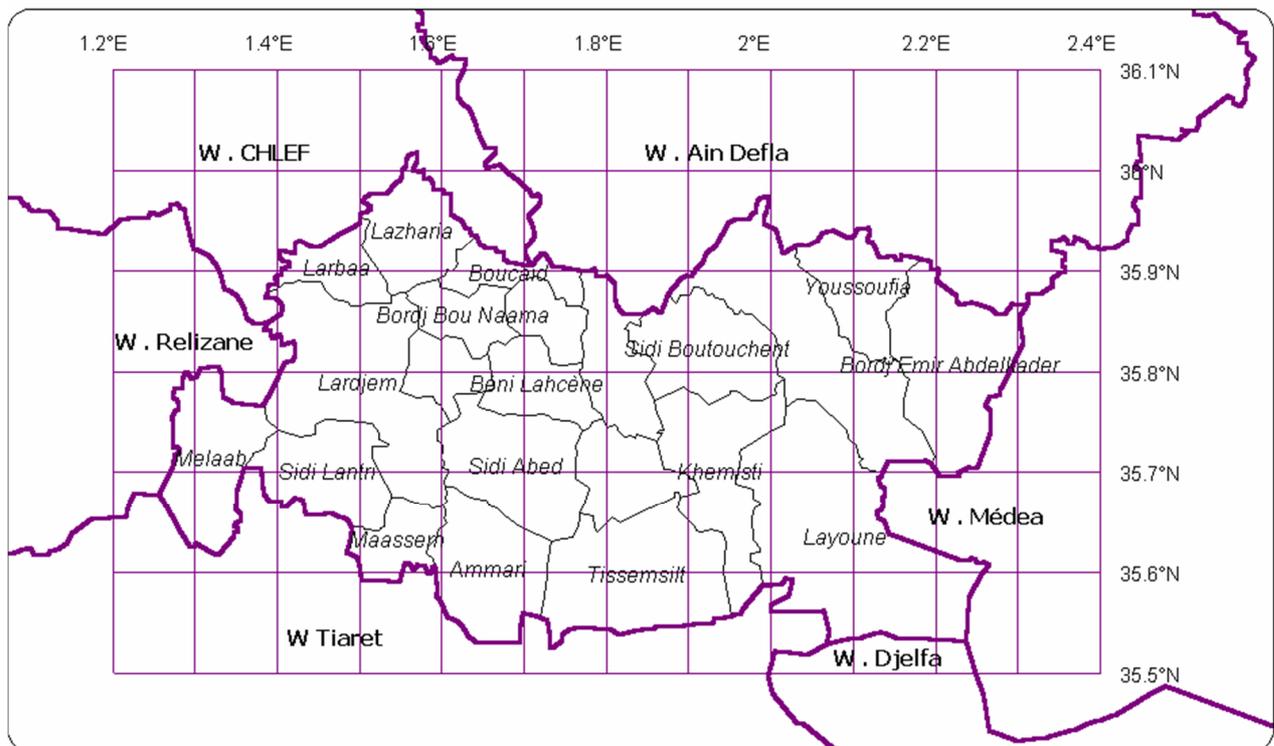


Figure N° 02 : Carte de situation de la wilaya de Tissemsilt (DRE, 2004)

I.2.2.Situation de la zone étude :

La zone d’étude est limitée administrativement par les communes suivantes :

- Au nord par la commune de BeniChaib, Sidi Boutouchent et Theniet El had.
- Au sud les communes de HassiFdoul(wilaya duDjelfa) et Hammadia (wilaya de Tiaret).
- A l’est par la commune de Ksar Boukhari (wilaya de Medea).
- Au le sud-ouest par le chef-lieu de la wilaya(commune de Tissemsilt).

Au l'ouest par la commune de Sidi Abed.

Tableau N°1 : les coordonnées des chefs-lieux de la zone étude (Laayoune et Khemisti)

Commune	Altitude	Latitude	Longitude
Khemisti	917 m	35°40'00'' Nord	1°57'00'' Est
Laayoune	840 m	35°41'41''Nord	1°59'53'' Est

I.2.3.Population :

La population totale de la Wilaya est estimée à la fin de l'année **2017** à **349.070** personnes contre **342.320** en 2016 soit une augmentation absolue de **6.750** et un taux d'accroissement de l'ordre de **1,97** %. La structure par sexe donne un rapport de masculinité de 103. Quant à la densité, elle est de 111 hab /Km² avec des pointes de 452 hab/km² dans la commune de Tissemsilt et 401 hab/Km² dans la commune de Bordj-Bounaama.

La distribution de la population par dispersion fait ressortir que 66.55% des habitants vivent dans les chefs-lieux ; 7,80 % dans les agglomérations secondaires et enfin 25,65 % dans des hameaux et la zone éparsée. L'essentiel de la population urbaine est concentrée dans les villes situées le long des routes nationales 14 et 19 (Tissemsilt : 94.833 hab-Theniet El Had : 36.186 hab - Khemisti : 28.670 hab- Laayoune 24.740 hab -Lardjem : 29.983 hab et Bordj-Bounaama : 25.260 hab).

La structure par âge fait apparaître que plus de 70% de la population ont moins de 35 ans, montrant ainsi combien d'efforts restent à consentir pour répondre à ses besoins notamment en matière d'emploi. (DRE., 2017)

Tableau N°02 :Evolution de la population (1987-2017)

Année Communes	RGPH 1987	RGPH 1998	RGPH 2008	Population en 2017
Tissemsilt	34131	61155	75197	94833
Khemisti	13320	20191	22900	28670
Laayoune	14414	20580	20579	24740

(DRE, 2017)

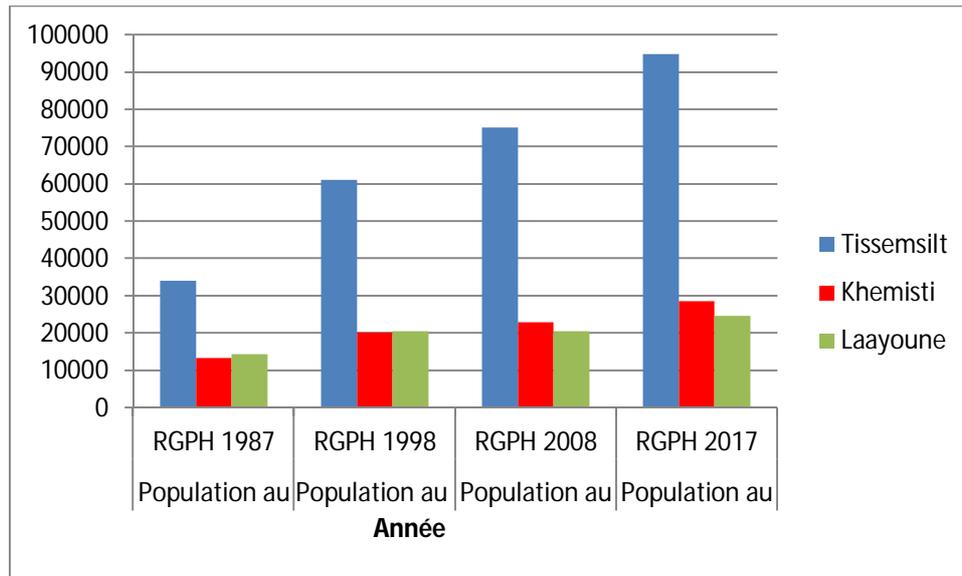


Figure N°03 : Histogramme de l'évolution de la population (hab.)des communes de Tissemsilt, Khemisti et Laayoune entre 1987 et 2017.

I.2.4.Relief :

Le relief est fortement accidenté au Nord de la Wilaya de Tissemsilt où les zones de montagnes occupent près de 65 % du territoire. Les pentes sont généralement supérieures à 25% expliquant dans une certaine mesure l'importante sensibilité au phénomène d'érosion et les contraintes d'aménagement de l'espace local. Le reste du territoire de la Wilaya est constitué par des zones de piémonts et une plaine de configuration plus ou moins accidentée, longée à l'Est par une micro-zone pastorale (Selmana).

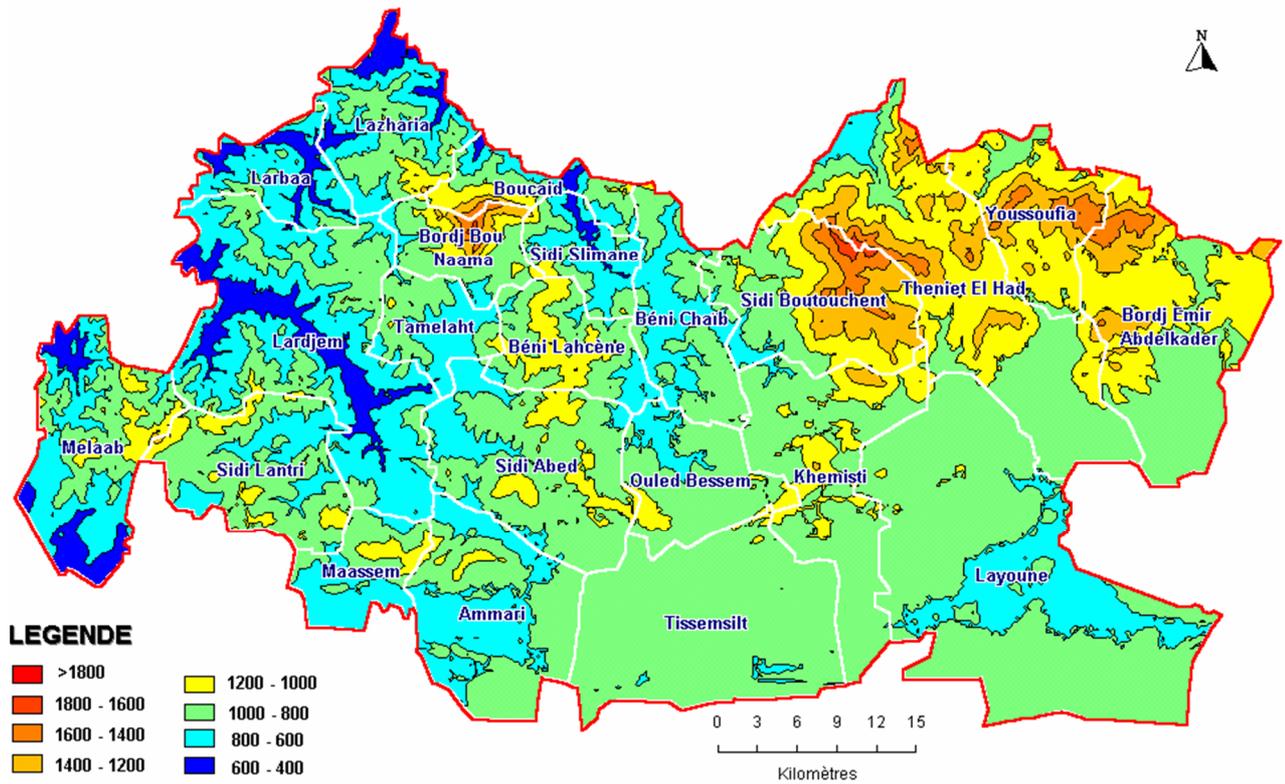


Figure N°04 : Carte altimétrique de la wilaya de Tissemsilt(DRE.,2004).

I.2.5.Hydrographie :

Compte tenu de la nature accidentée du relief, le réseau hydrographique de la Wilaya est relativement faible.

Les oueds qui le constituent divergent vers deux directions opposées, Nord -Ouest et Sud –Est, rejoignant en dernier lieu l’Oued Chlef.(DRE., 2017)

Notre zone d’étude est située dans le bassin versant de Chélif Zahrez et plus précisément dans le sous bassin d’Oued Ouassel moyen. (Voir figure n°05)

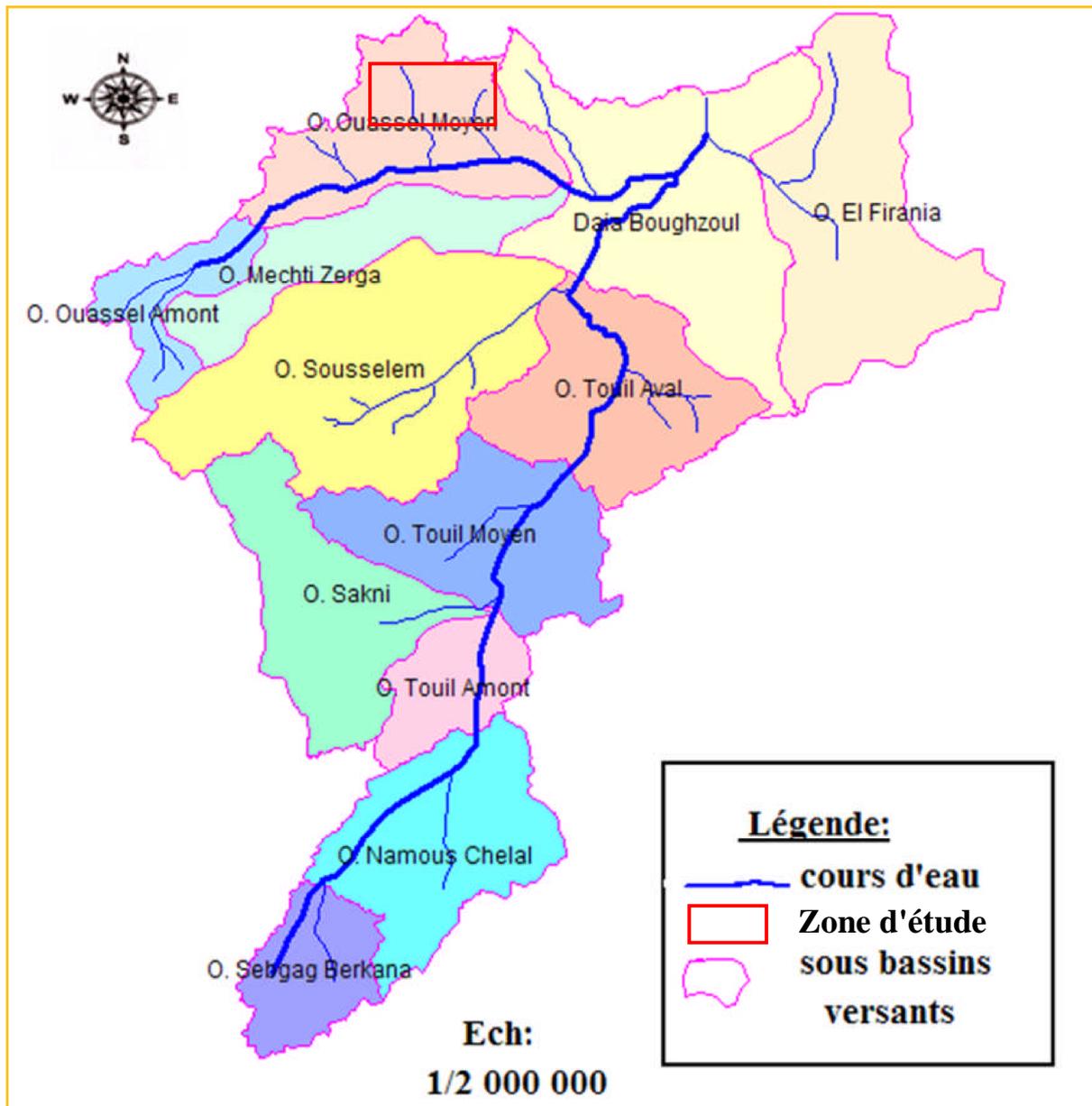


Figure N°05 : Carte des sous bassins versants du bassin Cheliff amont Boughzoul (In LADJAL R., 2013)

I.2.6. Végétation :

L'altitude plus que le sol impose son empreinte en ce domaine. Le manteau forestier demeure sans doute l'élément le plus remarquable du massif de l'Ouarsenis. Nous rencontrons le chêne vert sur les terres assez argileuses et le pin d'Alep sur les roches calcaires. Dans les parties basses, où la forêt a été à peu près détruite, c'est le maquis avec lentisques et oliviers. Au-dessus, quand le diss n'envahit pas le terrain, c'est le pin d'Alep qui domine. A partir de 900 mètres, c'est le domaine des chênes (chênes vert – chêne liège et

chêne zèen). Au-dessus de 1300 m apparaît le cèdre (dejebelMeddad en particulier à Theniet el Had). (DRE., 2017)

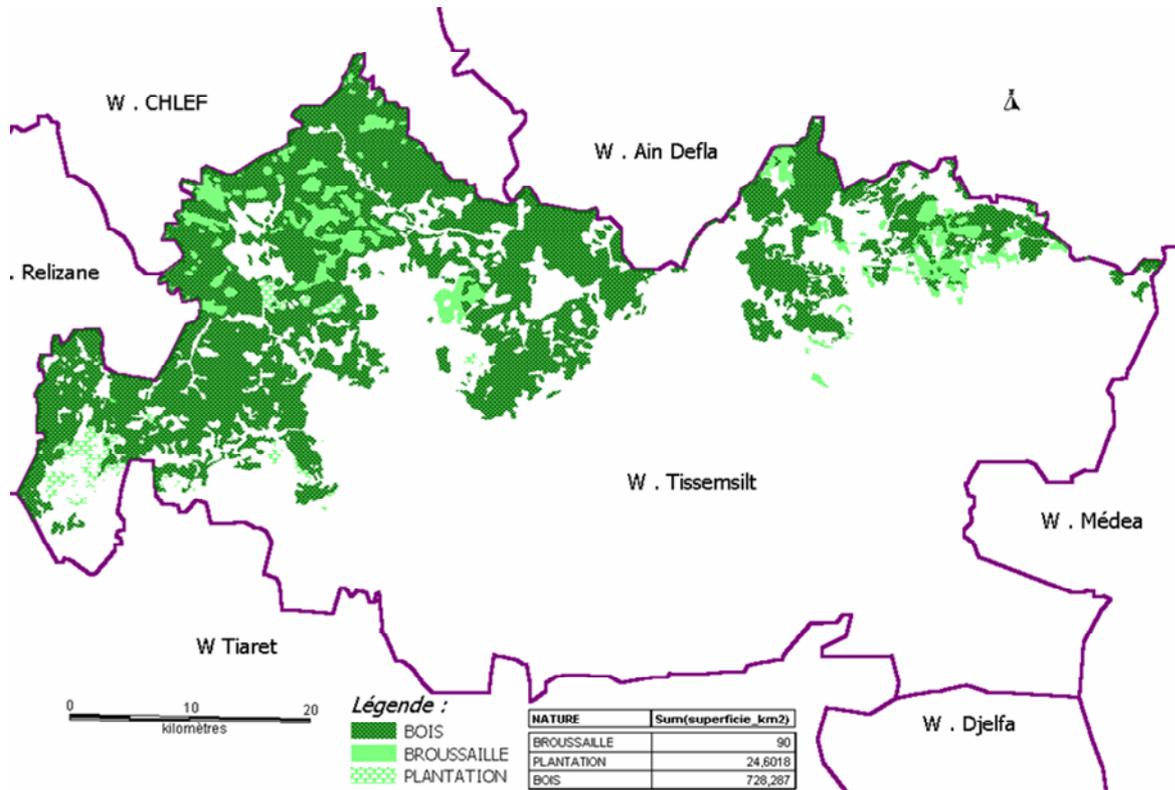


Figure N°06 : Carte des Forêts de la wilaya de Tissemsilt. (DRE., 2004)

III-CADRE GEOLOGIQUE GENERAL

L'Ouarsenis oriental est situé dans la partie méridionale du sillon tellien. Du point de vue structural, la région d'étude est constituée par des unités de nappes de charriage à lithologie très chaotique. Ces unités montrent une stratigraphie très hétérogène et qui présente des séries tantôt à succession normale, tantôt à série renversées.

Les observations tectoniques, nous amènent à distinguer de bas en haut : (voir fig.n°07)

- le complexe A,
- la nappe B,
- la nappe C.

Ainsi, ces différentes unités se chevauchent les unes sur les autres par contact anormal en faveur des semelles triasiques argilo-gypso-salines.

Cette architecture structurale générale est le résultat de plusieurs phases tectoniques dont la dernière est post-miocène inférieure.

Dans notre cas, la zone d'étude (Khemisti et Laayoune) est située au niveau de la nappe B.

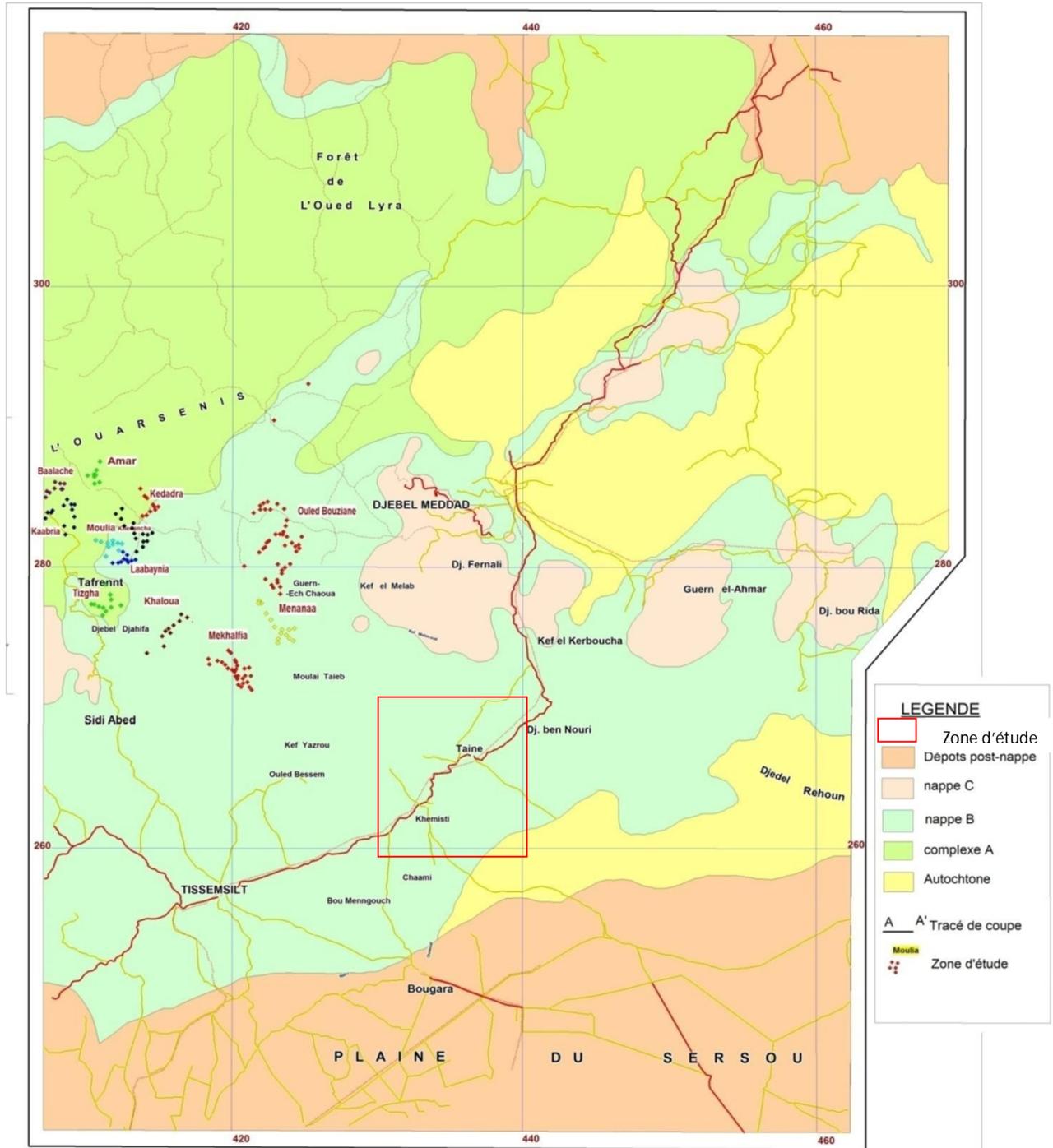


Figure N°07 : Carte structurale générale(Beta consults, 2014)

VI- ETUDE LITHOSTRATIGRAPHIQUE :

Cette étude sera consacrée particulièrement à la description stratigraphique des formations appartenant à la nappe B.

La nappe allochtone de type B, englobe des terrains essentiellement marneux, où prédominent le Crétacé supérieur (Cénomaniens, Turonien) et le Tertiaire (Eocène, Oligocène, Miocène). Ces formations reposent directement sur le substratum autochtone formé par le Miocène inférieur.

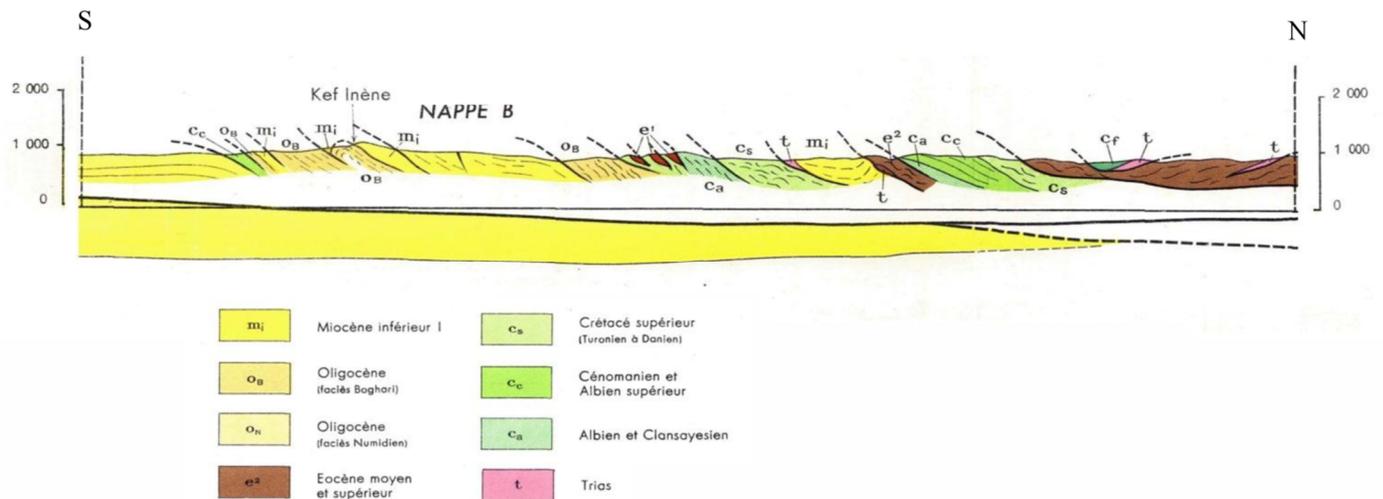
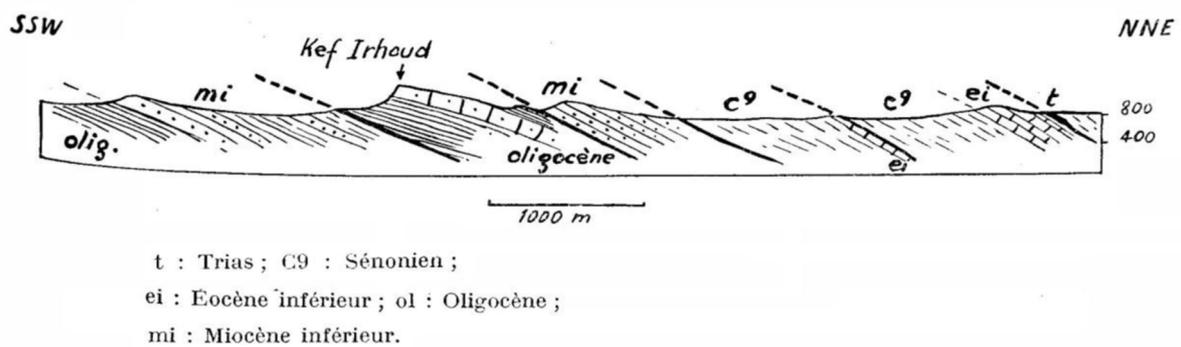


Figure N°08 : Coupe géologique à travers la nappe B (In Beta consults, 2014)



t : Trias ; C9 : Sénonien ;
 ei : Eocène inférieur ; ol : Oligocène ;
 mi : Miocène inférieur.

Figure N°09: Coupe lithologique à travers la nappe B (in Beta consults, 2014)

1. Le Trias :

Le Trias y apparaît en position anormale, où il est constitué essentiellement par un ensemble chaotique formé par des marnes, calcaires dolomitiques jaunâtres et violacés, du gypse, des cargneules, des galets anguleux, des grés et des intercalations schisteuses.

2. Terrains Allochtones :**- La Nappe B**

Au niveau des différents sites d'étude, la nappe B est représentée par des formations crétacées et tertiaires.

L'allochtone précité est formé de bas en haut par la succession lithostratigraphique suivante :

A- Sénonien C_s

Occupant une large partie de la zone d'étude, il est représenté par des marnes grises avec des intercalations marnocalcaires et des niveaux calcaires peu épais.

B- Cénomaniens. C_c

Le Cénomaniens est constitué par une série très marneuse, les intercalations marnocalcaires ou calcaires restant peu abondantes, il constitue un excellent niveau repère.

C-Eocène inférieur. e₁

L'extrême base de l'Eocène inférieur est marneuse, le reste de la série est calcaire ou marno-calcaire.

D- Eocène moyen et supérieur. e₂

Cet horizon est très bien développé au niveau de toutes la zone d'étude, il est formé par des marnes gris-verdâtres chargées de quelques bancs peu épais de marnocalcaires recouvertes par un ensemble calcaire et marno-calcaire dont la base est soulignée par un niveau de silex lenticulaire.

E- Oligocène

L'Oligocène est constitué de la base au sommet par :

- Un faciès gréseux représenté par une série marneuse dans laquelle s'intercalent des bancs de grés calcaires dont la puissance est assez variable ;
- Un faciès marno-gréseux prédominant constitué par des marnes de teinte variable

admettant de petites intercalations de grés ;

- Un faciès marneux franc constituant le toit de la série oligocène, il est formé essentiellement par des marnes sans aucune intercalation de niveaux détritiques.

F- Miocène inférieur

Cette série, d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres est formée par des marnes grises ou verdâtres pouvant parfois passer latéralement à des grés, et admettant des intercalations des grés à galets aplatis de marnes et de grès quartziteux à ciment calcaire.

Conclusion :

La wilaya de Tissemsilt, qui est caractérisée par un relief accidenté, couvert par des formations argileuses ou Marno-schisteuses, ce qui lui confie une pauvreté en ressource en eau souterraine.

La région d'étude est caractérisée par des formations sédimentaires, dont l'âge le plus ancien est le crétacé supérieur jusqu'au Plio-Quaternaire, constituées généralement par des grés, des marnes, des argiles et des conglomérats. Ces formations sont susceptibles d'emmagasiner des eaux souterraines.

Chapitre II :

Etude hydroclimatique

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère de la région de Tissemsilt.

1. Introduction :

L'étude hydro climatologique est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. L'évaluation du bilan hydrique exige la connaissance des paramètres suivants : les précipitations, l'infiltration, l'évapotranspiration et le ruissellement.

L'étude climatique pose beaucoup de problèmes d'ordre pratique notamment : la disponibilité des données, la période d'observation et la situation géographique de la station d'observation par rapport à la zone d'étude.

Pour une étude climatique intéressante liée directement à notre secteur d'étude, nous avons utilisé les données de la station de Tissemsilt qui fait partie de notre secteur d'étude pour une période de 31ans (1986-2016).

Les caractéristiques de cette station météorologique sont représentées au tableau n°03 suivant :

Tableau n° 03: Caractéristiques géographiques de la station météorologique Tissemsilt.

Station	Les coordonnées UTM		Zone	Z (m)	Code	Période d'observation
Tissemsilt	X(m)	Y(m)	31 S	858	011006	1986-2016
	392892.97	3940853.53				

(In ANRH)

2. Les facteurs climatiques :

2.1. Les précipitations :

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes .La variabilité interannuelle des précipitation est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP).

2.1.2 Les Précipitations moyennes mensuelles :

L'analyse des données pluviométriques moyennes mensuelles permet de mieux approcher la distribution des quantités d'eau enregistrées pour tous les mois de l'année.

Les précipitations moyennes mensuelles dans Tissemsilt représentées sur le tableau n°4 ci-après :

Tableau N°4: Les Précipitations moyennes mensuelles de Tissemsilt (1986-2016)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Annuel
P moy. mens en (mm)	28,42	44,08	49,80	62,34	73,10	66,78	61,51	59,83	38,26	12,64	3,13	13,27	513,27

(ANRH)

Les données des Précipitations moyennes mensuelles sont reportées sur l'histogramme de la figure n° 08 ci-dessous :

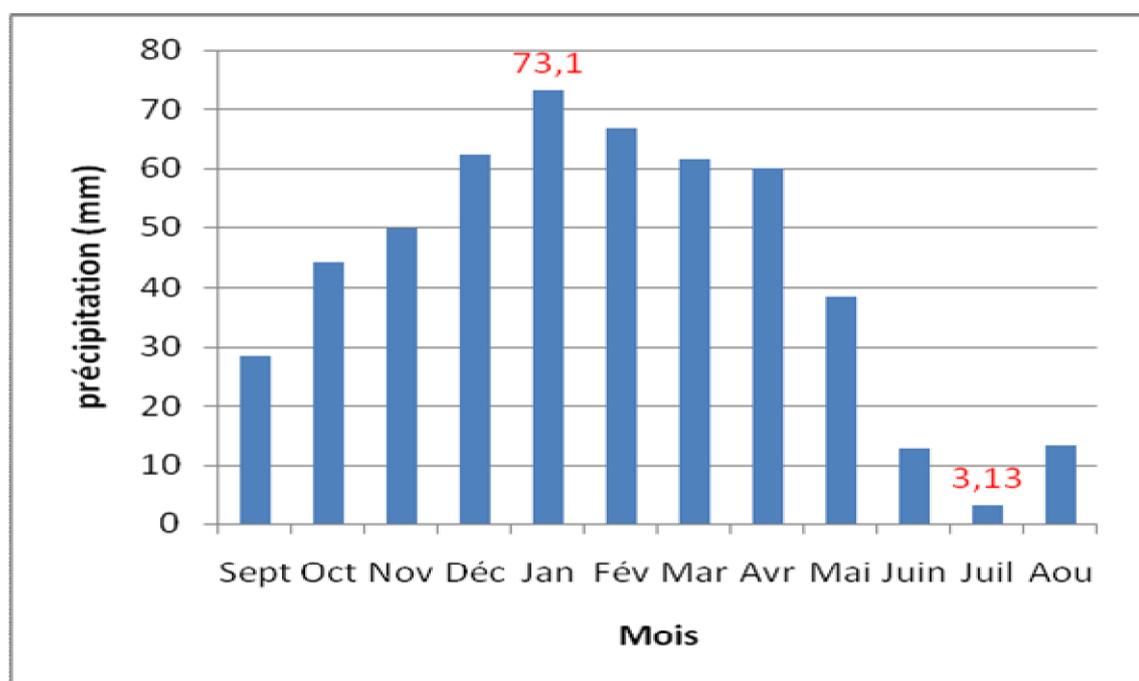


Figure N°10: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles en mm de la station de Tissemsilt (1986-2016).

L'histogramme, donnent un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans la région d'étude. Une période pluvieuse constitue par les mois les plus arrosés, se situe entre Octobre et Avril ou en trouve le mois de Janvier est le mois le plus pluvieux ou on a enregistré un maximum de l'ordre de 73.10mm. Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux auquel on marque un minimum de l'ordre de 3.13mm.

2.1.3 Régimes saisonniers des précipitations

Les répartitions des précipitations selon les saisons représentées sur le tableau n°05:

Tableau N°05: régimes saisonniers des précipitations de la station de Tissemsilt (1986-2016).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
	Sep – Oct. - Nov.	Déc. – Jan - Fév.	Mar –Avr – Mai	Jui-Juill-Aout	
P moyennes saisonnières (mm)	122,3	202,22	159,6	29,05	513,27
% de P moyennes saisonnières	23,82%	39,39%	31,09%	5,65%	100%

Le tableau montre l'existence de deux périodes :

- Une période pluvieuse s'étale du mois de septembre au mois de mai, c'est-à-dire pendant les trois saisons automne, hiver et printemps avec une moyenne maximale de 202.22 mm en hiver
- Une période sèche (moins pluvieuse) qui correspond aux mois de juin, juillet et aout avec une précipitation moyenne de 29.04mm.
- Il en découle que près de $\frac{3}{4}$ des précipitations tombent en une période humide avec un maximum de pluviométrie de 39.39% en hiver et un minimum en été soit 5.65% des précipitations annuelles.

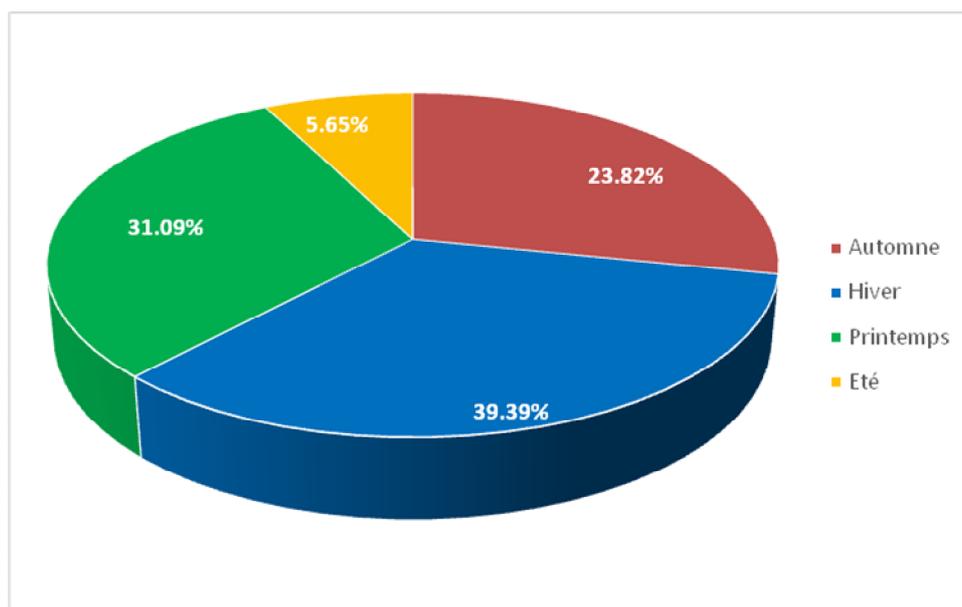


Figure N°11 : Distribution des précipitations moyennes saisonnières % de Tissemsilt (1986-2016)

2.1.4 Précipitations moyennes interannuelles et Coefficient pluviométrique (Cp) :

Le coefficient pluviométrique annuel Cp est un paramètre très important pour la détermination des années excédentaires et des années déficitaires, le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie.

Il est déterminé par la formule suivante :

$$CP = \frac{P}{P_{moy}}$$

Avec :

CP : coefficient pluviométrique.

P : pluviométrie interannuelle en (mm).

P_{moy} : pluviométrie moyenne annuelle de la période considérée en (mm).

- Si **Cp** > 1 : Année excédentaire (AE).
- Si **Cp** < 1 : Année déficitaire (AD).

Les valeurs du coefficient pluviométrique sont présentées dans le tableau n° 06 suivant :

Tableau N°06: Coefficient pluviométrique de la station de Tissemsilt (1986-2016).

Années	P moyennes interannuel en (mm)	CP	Observation
1986-1987	596,2	1,16	AE
1987-1988	517,55	1,00	AE
1988-1989	452	0,88	AD
1989-1990	414,6	0,80	AD
1990-1991	375,45	0,73	AD
1991-1992	372,6	0,72	AD
1992-1993	376,05	0,73	AD
1993-1994	344	0,67	AD
1994-1995	405 ,2	0,78	AD
1995-1996	548,55	1,06	AE
1996-1997	684,4	1,33	AE
1997-1998	551,6	1,07	AE
1998-1999	519,3	1,01	AE
1999-2000	509,55	0,99	AD
2000-2001	419,35	0,81	AD

2001-2002	432,15	0,84	AD
2002-2003	515,7	1,00	AE
2003-2004	566,95	1,10	AE
2004-2005	413,45	0,80	AD
2005-2006	452,4	0,88	AD
2006-2007	549,4	1,15	AE
2007-2008	581,3	1,13	AE
2008-2009	707,55	1,37	AE
2009-2010	734,05	1,43	AE
2010-2011	587,55	1,14	AE
2011-2012	529,15	1,03	AE
2012-2013	678,65	1,32	AE
2013-2014	758,8	1,47	AE
2014-2015	585,8	1,14	AE
2015-2016	551,55	1,00	AE

D'après le tableau n°06, on a une moyenne pluviométrique de 488.27mm sur une période de 30ans (1986-2016). On distingue 18 années présentant un coefficient pluviométrique annuel supérieur à 1 où l'année (2013-2014) est la plus pluvieuse avec 758.8mm/an, donc elles sont excédentaires et 12 années présentent un coefficient pluviométrique annuel inférieure à 1, elles sont déficitaires où l'année (1993-1994) représente l'année la plus sèche avec 344 mm.

3. Les Températures.

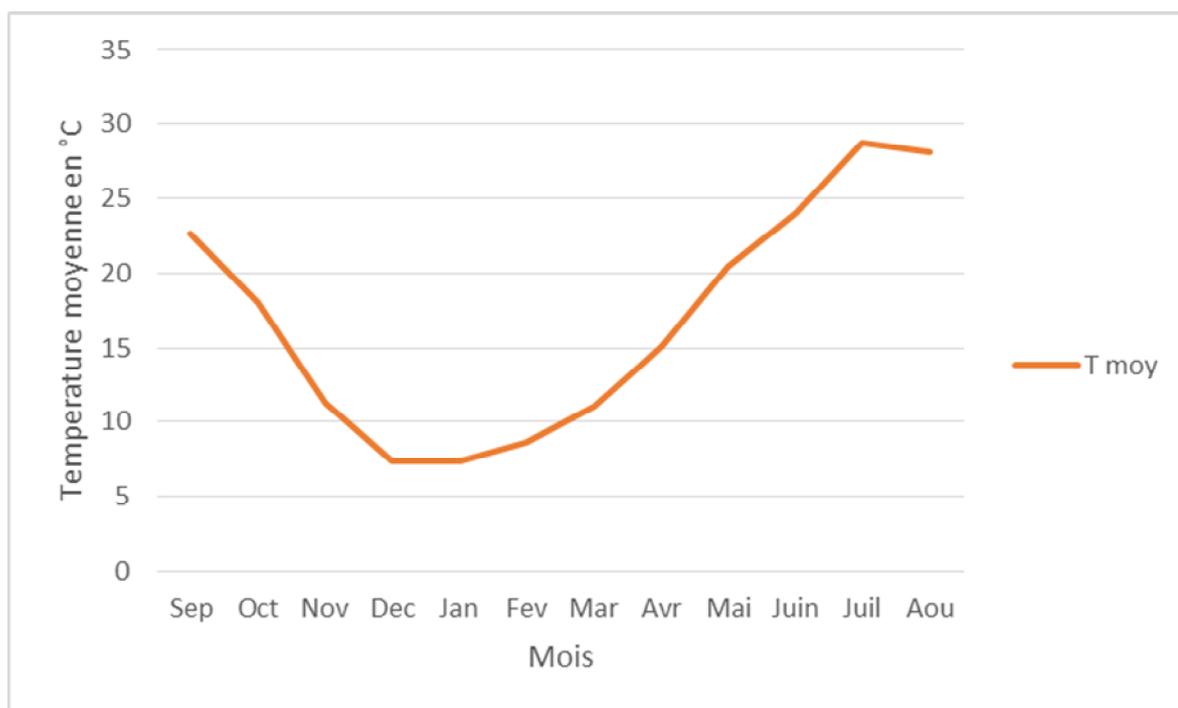
La température de l'air est l'un des effets le plus important de la radiation solaire et un grand nombre de phénomènes physique (évaporation, gel de l'eau, gelée blanche, dilatation..). Cette dernière est aussi un paramètre indispensable pour l'estimation du bilan hydrologique. (In MAHFOUF F. et DJEMIL S., 2015)

Le tableau n° 07 montre les variations de la température moyenne mensuelle à la station de Tissemsilt durant la période 1986 – 2016

- T°Moy: désigne la température moyenne mensuelle (°C).

Tableau N°07 : Températures moyennes mensuelles de la station de Tissemsilt.

Mois	Température Moyenne (°C)
Septembre	22,7
Octobre	18
Novembre	11,3
Décembre	7,4
Janvier	7,4
Février	8,6
Mars	11
Avril	15,1
Mai	20,5
Juin	24
Juillet	28,7
Aout	28,1
Moyenne	16,9

**Figure N°12**: Courbe de variation des températures moyennes mensuelles de la station de Tissemsilt (1986-2016).

Les températures moyennes mensuelles confirment que le mois le plus froid sont les mois de décembre et janvier avec une température moyenne mensuelle de 7.4°C par contre le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température moyenne mensuelle de 28.1°C.

4. Classification du climat de la région

La région d'étude est caractérisée par des conditions climatiques qui seront précisées en utilisant plusieurs méthodes :

L'indice d'aridité de De Martonne, le diagramme d'Emberger, la méthode de H. Gaussen, F. Bagnouls et méthode d'Euverte.

5. Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN:

Le diagramme Ombrothermique permet de calculer la durée de la saison sèche et humide sur un seul graphique. Pour cela, on compare des courbes de pluies (courbes ombriques) et de la température (courbe thermique) ; on admettant que le mois est sec lorsque « P est inférieur ou égal à 2T ».

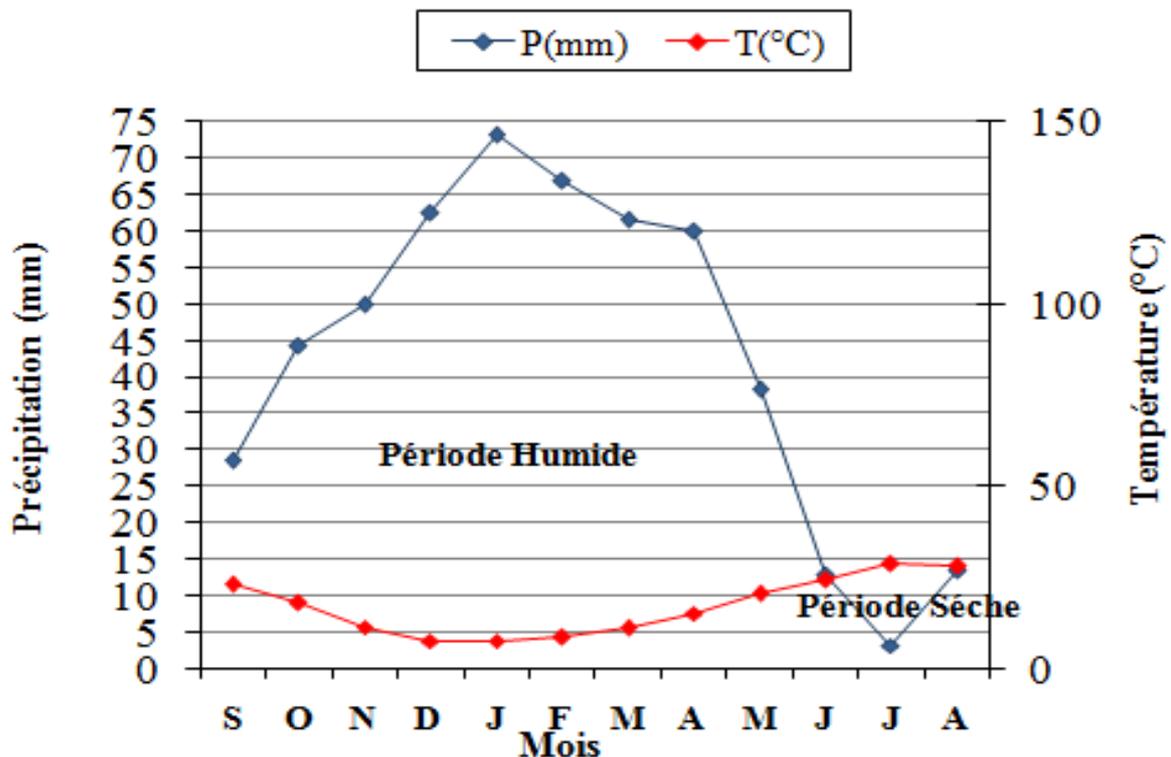


Figure N°13: Courbe ombro-thermique de Gaussen de la station de Tissemsilt (1986-2016)

La courbe ombrothermique de la station de Tiaret, montre que la région de Tiaret est caractérisée par deux périodes climatiques :

- Période humide : c'est la surface limitée par les deux intersections des courbes, de précipitation et de température. Cette période allant du mois d'octobre au mois d'avril ;
- Période Sèche : s'étalant du mois Mai au mois de Septembre.

6. Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte) :

Cette méthode est basée sur l'établissement d'un rapport entre les précipitations et les températures moyennes mensuelles (P/T) d'une même période.

Le rapport (P/T) donne la valeur de l'humidité du sol et permet de définir 4 types de régimes :

Tableau N°08 : montre les Valeurs du rapport P/T

Rapport (P/T)	$P/T < 1$	$1 < P/T < 2$	$2 < P/T < 3$	$P/T > 3$
Régime	Très sec	Sec	Subhumide	Humide

Tableau N°09 : Valeurs du rapport P/T de Tissemsilt (1986-2016).

Mois	T (°C)	P moyennes (1986-2016)	P/T
Septembre	22,4	28,42	1,26
Octobre	18	44,08	2,44
Novembre	11,3	49,80	4,40
Décembre	7,4	62,34	8,42
Janvier	7,4	73,10	9,87
Février	15,1	66,78	4,42
Mars	20,5	61,56	3,00
Avril	15,09	59,83	3,96
Mai	24,3	38,26	1,57
Juin	28,7	12,64	0,44
Juillet	28,1	3,13	0,11
Aout	18	13,27	0,73
Annuel	16,9	513,27	-

Les valeurs du rapport P/T représentées dans le Tableau n° 09 permettent de connaître l'évolution de l'humidité du sol pendant l'année :

- ❖ Pour les mois de Septembre et Mai le régime est sec.
- ❖ Les mois de Juin, Juillet, et Aout caractérisés par un régime très sec.
- ❖ Les mois Octobre, Mars, le régime subhumide.
- ❖ Un régime **humide** durant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Avril.

7. Indice d'aridité de DEMARTONNE

En 1926 a défini un indice d'article utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprime par la relation suivante:

$$I = P/T + 10$$

Où :

A : Indice d'aridité annuel ;

P : précipitation moyenne annuelle en *mm* ; $p = 513.27\text{mm}$;

T : Température moyenne annuelle C° ; $T = 16.9^{\circ}C$;

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 513.27 \text{ mm} \\ T = 16.9 \text{ (}^{\circ}C) \end{array} \right. \longrightarrow I = 19.07$$

Selon De Martonne :

- Si $A < 5$: il s'agit d'un climat hyper aride ;
- Si $5 < A < 10$: il s'agit d'un climat très sec (Désertique) ;
- Si $10 < A < 20$: il s'agit d'un climat sec (Semi-aride) ;
- Si $20 < A < 30$: il s'agit d'un climat tempéré ;
- Si $A > 30$: il s'agit d'un climat humide (écoulement abondant).

D'après l'indice d'aridité de DE MARTONE, on peut dire que notre région d'étude se caractérise par un climat semi-aride $10 \leq I < 20$.

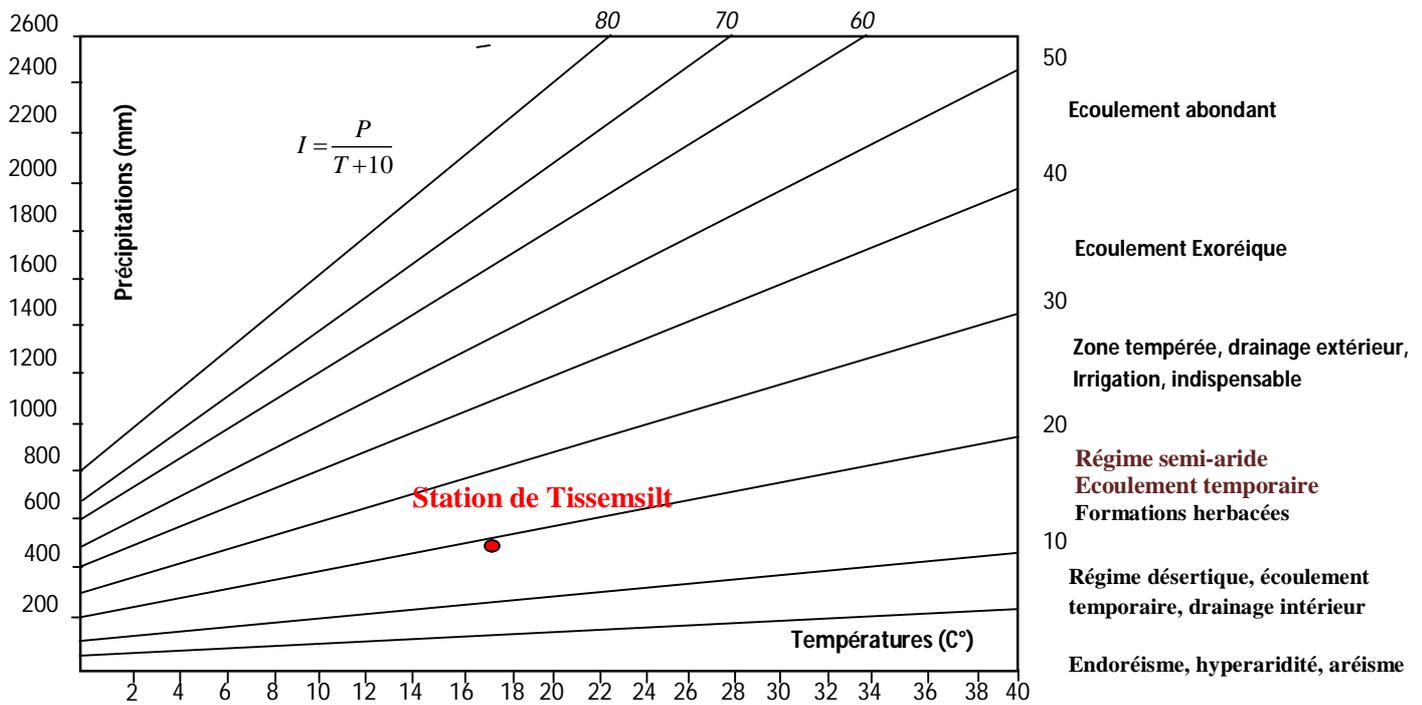


Figure N°14 : Indice d'aridité de DEMARTONNE de la station de Tissemsilt (1986-2016)

8. Le diagramme d'Emberger

Pour préciser le climat de la région nous allons utiliser le climagramme de L'Embergersur lequel nous avons reporté les données des stations choisies, avec en abscisse la moyenne des températures minimales de la saison froide (en °C), et en ordonnée Q2 donné par la formule suivante :

$$Q2 = \frac{P}{(M+m)(M-m)/2} * 1000 \quad \text{Ou encore} \quad Q^2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Où :

Q² : quotient pluviométrique d'Emberger.

M² : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (°K).

m² : moyenne des minima du mois le plus froid en degré absolu (°K).

P : précipitations moyennes annuelles en (mm).

Ce diagramme est utilisé pour la situation du climat de la région étudiée, où nous avons :

$$\left\{ \begin{array}{l} M = 28.7 + 273,15 = 301.85 \text{ °K.} \\ m = 7.4 + 273,15 = 280.55 \text{ °K.} \\ P = 513.27 \text{ mm.} \\ T = \frac{7.4+7.4+8.60}{3} = 7.8 \text{ °C.} \end{array} \right. \quad \Rightarrow \quad Q^2 = 82.73$$

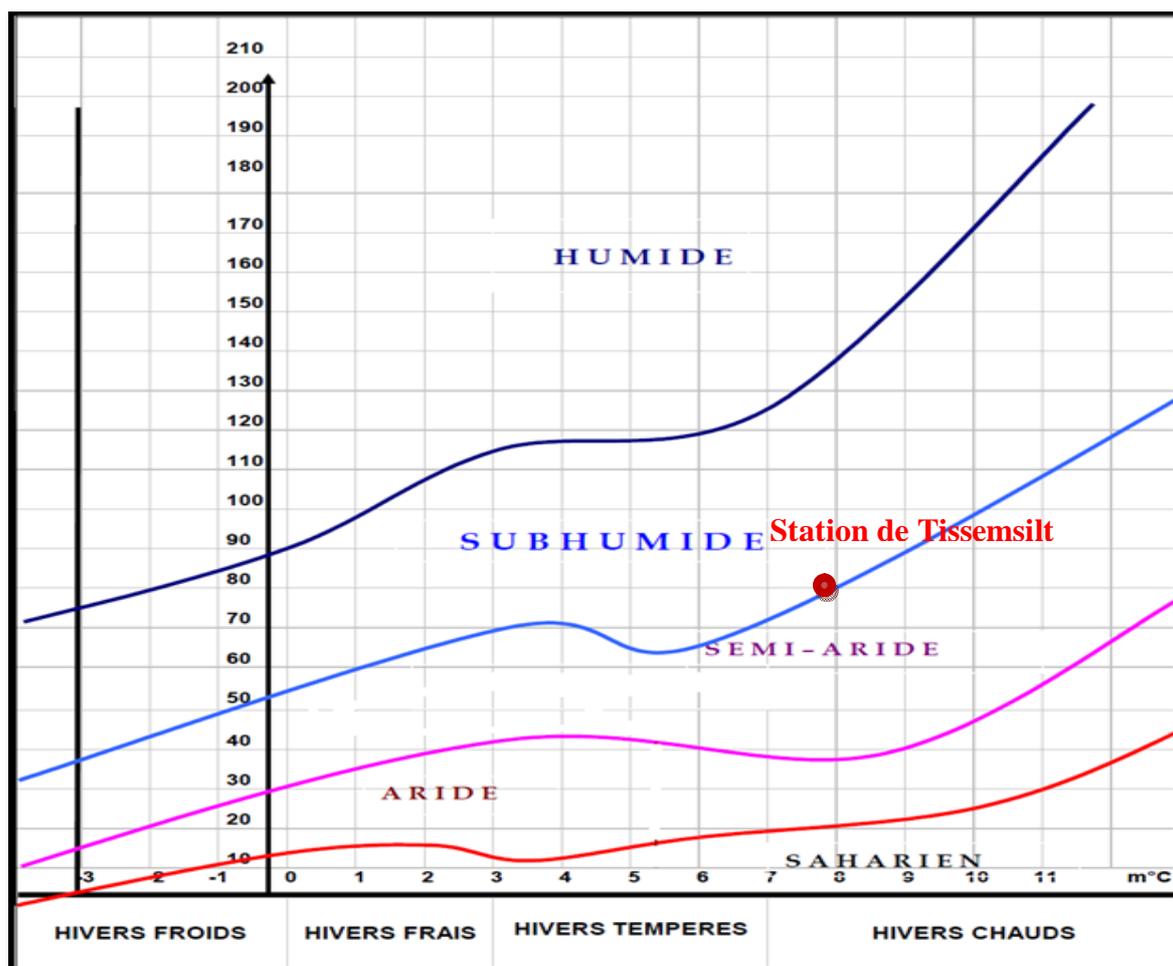


Figure N°15: Climatgramme d'EMBERGER de la station de Tissemsilt (1986-2016).

9. Le Bilan hydrique :

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par écoulement, infiltration ou évaporation.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany, 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm).

I : Infiltration annuelle (mm)..

P : Précipitation annuelle (mm)..

R : Ruissellement annuel (mm).

9.1 Etude de l'évapotranspiration

C'est un terme important du cycle hydrique qui résulte de deux phénomènes, l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration) ; l'évapotranspiration est fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation et la couverture végétale).

9.1.1 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifique bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

9.1.1.1 Formule de Thornthwaite (bilan d'eau).

Cette méthode est basée sur la notion de **RFU** (réserve en eau dans le sol facilement utilisable par les plantes). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évaporation est de 110mm comme valeur maximale.

Outre que les données pluviométriques et la température, cette méthode introduit le coefficient thermique **K** et l'indice de température mensuel **i** pour l'estimation de l'**E.T.P.** selon la relation suivante :

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

$$i = (T/5)^{1.5}$$

$$I = \sum i \quad a = (1.6/100) I + 0.5$$

Avec :

T : Température moyenne du mois considéré en °C

ETP : Évapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

K : coefficient de correction de la latitude,

I : indice thermique annuel.

i : indice thermique mensuel.

L'ETP est estimée à 877,09mm/an (voir tableau bilan).

- si pour un mois **P > ETP** on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (50 mm) et si elle dépasse cette valeur il y aura un

excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP . Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Cette méthode a été appliquée à Tissemsilt conférer au tableau n°13

9.2 Évapotranspiration réelle (ETR).

Elle est aussi appelée déficit d'écoulement, l'ETR représente la quantité de vapeur effectivement exportée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux. Elle fait intervenir la réserve facilement utilisable (RFU), la quantité d'eau nécessaire aux plantes est retenue dans le sol par les forces capillaires. Elle est déterminée par plusieurs formules entre autres celles de Thornthwaite et Turc.

L'ETR est également calculée par la méthode du bilan hydrique mensuel de Thornthwaite qui est une adaptation de la méthode de calcul de l'ETP.

9.2.1. La formule de Turc :

M. Turc a établi la formule suivante :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec : $L = 300 + 25t + 0,05t^3$

Où : P : pluie moyenne annuelle, en mm.

L : paramètre de température, en mm.

t : température moyenne annuelle, en C°.

Selon les deux formules précédentes de l'évapotranspiration réelle de Tissemsilt on obtient :

Tableau N°10: Comparaison entre les deux méthodes de calcul de l'ETR

Station	ETR TURC (mm/an)	ETR CW.Tornthwaite (mm/an)
Tissemsilt	334.83	365,73

9.2.2 Estimation du ruissellement.

C'est la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol par unité de temps sans s'évaporer avant de garder une masse d'eau. Il existe plusieurs méthodes pour le calcul du ruissellement. On utilise la méthode de Tixeront et Berkaloff.

9.2.2.1 Méthode de Tixeront et Berkaloff :

Tixeront et Berkaloff ont établi une formule permettant d'estimer le ruissellement moyen annuel :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2 \quad \text{si} \quad P < 600 \text{ mm}$$

Avec :

R : Ruissellement en (mm) ;

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm) ;

ETP : L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

Tableau N°11 : Estimation du ruissellement selon les formules de Tixeront-Berkaloff de la station de Tissemsilt (1986-2016).

Station \ Paramètres	P (mm/an)	ETP	R (mm/an)
Tissemsilt	513,27	877,09	56,51

La lame d'eau ruisselée pour la période 1986-2016 à la station de Tissemsilt est de 56,51mm pour une pluie moyenne annuelle de 513,27mm

9.2.3 Estimation de l'infiltration.

L'équation du bilan hydrique nous permet de déterminer l'infiltration efficace (Ie).

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - ETR - R$$

Avec :

- P : précipitation moyenne annuelle en mm
- ETR : évapotranspiration réelle annuelle en mm.
- R : ruissellement en mm.
- I : l'infiltration efficace en mm.
- Si $I > 0$: les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si $I < 0$: les entrées sont inférieures aux sorties.

Tableau N°12: Valeurs de l'infiltration efficace (*I*) en mm de la station de Tissemsilt (1986-2016).

Station	P	ETR	R	I
Tissemsilt	513,27mm/an	365,73mm/an	56,51mm/an	88,39mm/an

L'infiltration efficace calculée à la station de Tissemsilt est égale à 88,39mm

D'après la valeur, nous constatons que l'infiltration à la station de Tissemsilt est supérieure à zéro, donc les entrées sont supérieures aux sorties.

Tableau n° 13 : Bilan hydrique de la station de Tissemsilt (1986-2016) selon C.W Thornthwaite.

Mois	T(°C)	IT	K	ETPC	P(mm)	BH	RFU	ETPR	Def	Exc
S	22,7	9,67	1,03	100,26	28,42	-71,84	0,0	28,42	71,84	0,0
O	18	6,83	0,97	60,62	44,08	-16,54	0,0	44,08	16,54	0,0
N	11,3	3,39	0,86	22,09	49,82	27,73	27,73	22,09	0,00	0,0
D	7,4	1,8	0,81	9,27	62,36	53,09	80,82	9,25	0,00	0,0
J	7,4	1,8	0,87	9,95	73,10	63,15	100	9,95	0,00	43,97
F	8,6	2,25	0,85	12,96	66,78	53,82	100	12,96	0,00	53,82
M	11	3,26	1,03	25,13	61,56	36,43	100	25,13	0,00	36,43
A	15,1	5,24	1,10	49,15	59,83	10,68	100	49,15	0,00	10,68
M	20,5	8,30	1,21	96,94	38,28	-58,66	41,34	96,94	0,00	0,0
J	24	10,51	1,22	132,08	12,64	-119,44	0,0	53,98	78,10	0,0
J	28,7	13,75	1,24	188,91	3,13	-185,78	0,0	3,13	185,78	0,0
A	28,1	13,23	1,16	169,73	13,27	-156,46	0,0	13,27	156,46	0,0
Annuel	16,9	86,18		877,09	513,27	-363,82		368,73	508,78	144,90

Avec :

- T : température mensuelle en (°C)
- P : précipitation mensuelle en (mm)
- IT : indice thermique
- RFU : réserve facilement utilisable en (mm)
- CL : coefficient d'ajustement de la latitude
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm)
- ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)
- Def : déficit agricole en (mm)
- BH: Bilan Hydrique

– EXC : excédent en (mm)

Formules de vérification :

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad A.N : P = 368,73 + 144,90 = 513,27 \text{ mm}$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \quad A.N : ETP = 368,73 + 508,78 = 877,09 \text{ mm}$$

10. Interprétation du bilan hydrique.

Nous constatons qu'à partir du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril les précipitations deviennent supérieures à ETP ce qui permet la reconstitution de la R.F.U. qui est à son maximum (100 mm) au mois de Janvier jusqu'au mois d'Avril.

Le déficit agricole débute à partir du mois de Septembre avec une valeur 71,84 mm et Octobre avec une valeur 16,54 mm jusqu'à et atteint son maximum au mois Mai jusqu'au mois de Juillet avec une valeur de 185,78 mm.

La période déficitaire en eau commence à partir du mois de Mai et se termine au mois d'Octobre, et la période humide débute au mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril.

11. Conclusion

L'étude des facteurs climatiques révèle un climat semi-aride avec un hiver froid et humide et un été chaud et sec.

- ❖ Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 513,27 mm à la station de Tissemsilt.
- ❖ La température moyenne annuelle est de 16,9°C à la station de Tissemsilt.
- ✓ L'E.T.P moyen calculé est de 877,09 mm
- ✓ L'ETR ou déficit d'écoulement qui est égale à 365,73 mm.
- ✓ Le ruissellement et l'infiltration (R+I) = 144,90 mm.

Chapitre III : Etude hydrogéologique

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère
de la région de Tissemsilt.**

1. Introduction :

L'eau dans la nature se trouve non seulement dans différents états mais aussi dans différents milieux ; atmosphérique, superficiel et souterrain. L'étude de ces milieux nous renseigne sur le comportement de cette ressource et par conséquent donne les moyens nécessaires à sa gestion et à sa protection. (In Koffi P., 2016)

Le but essentiel de l'étude hydrogéologique est de définir en absence des données de base dans ce domaine, les caractéristiques quantitatives et qualitatives des structures hydrogéologiques de la région. Ce problème sera abordé sous l'aspect le plus approprié à savoir la localisation des principaux aquifères. (In Hachemi M., 2017)

Le territoire de la wilaya de Tissemsilt ne constitue pas une unité hydrographique naturelle. Il fait partie d'un réseau hydrographique formé de neuf bassins versants dont aucun ne s'y trouve inclus en totalité, mais s'étend à l'une des wilayas limitrophes.

2. Contexte hydrogéologique :

Les 9 bassins versants qui sont situés partiellement sur le territoire de la wilaya de Tissemsilt figurent au tableau n°14 ci-après avec leurs caractéristiques.

Code B.V	Nom bassin versant	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité
0108	Oued MechtiZerga	1549	251,373	1,79
0110	Oued Ouassel moyen	1403	222,206	1,66
0112	DiaaBoughzoul	2617	338,732	1,85
0116	Oued Deurdeur	858	185,59	1,77
0119	Oued RouinaZeddine	899	173,654	1,62
0121	Oued Fodda	1161	212,705	1,75
0123	Oued Sly	1405	225,147	1,68
0125	Oued Tiguiguest	1514	202,985	1,46
0126	Oued RihouTleta	928	185,24	1,70

Tableau N° 14: Les caractéristiques des bassins versants (In DRE., 2004)

La forme des bassins versants, traduite ici par l'indice de compacité, a une influence certaine sur l'écoulement ; un bassin versant très allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin versant de forme ramassée.

L'indice de compacité est donc censé représenter la plus ou moins grande compacité des bassins versants, c'est à dire la plus ou moins grande vitesse de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement, en provenance des diverses parties du bassin versant. Dans la zone

d'étude il y a deux bassins versants : Oued Mechti Zerga, Oued Wassel moyen. (In DRE., 2004)

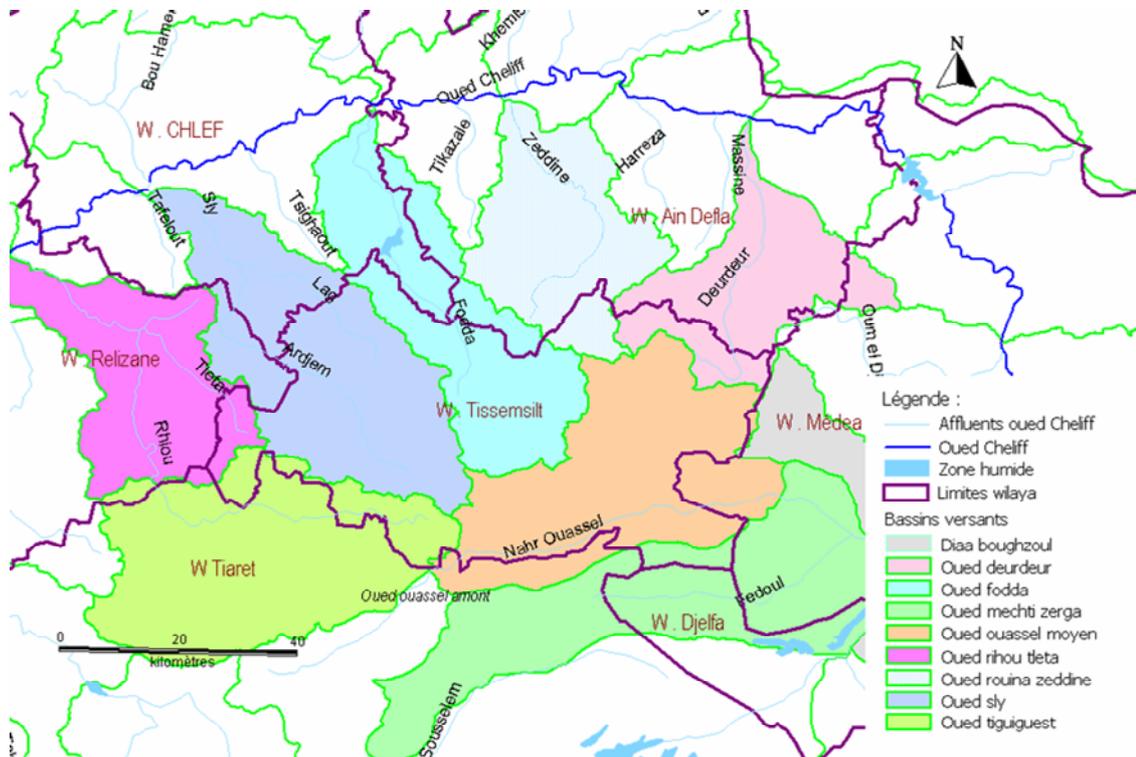


Figure N°16 : Carte hydrogéologique des bassins de la wilaya de Tissemsilt

(In DRE., 2004)

3. Ressource en eaux souterraines :

La wilaya de Tissemsilt est formée de deux zones distinctes :

1. La zone Nord de la wilaya :

C'est une zone montagneuse d'une structure géologique très complexe et un relief très accidenté ; ce qui rend l'exploitation des eaux souterraines très faible. Néanmoins la présence de petites structures composées de roches perméables (calcaires et grès) ainsi d'un réseau de sources très dense, donne une quantité d'eau appréciable qui sert à l'alimentation en eau potable la population de la zone éparse. (In DRE., 2004)

2. La zone Sud de la wilaya :

C'est une zone de vallées et piémonts (Carte ci-dessous). On peut distinguer les unités suivantes :

- Unité d'Oued Rhiou : La grande partie exploitable de cette unité se trouve hors wilaya.
- Unité d'Oued Nahr Ouassel : La wilaya de Tissemsilt ne couvre qu'une petite partie de la plaine de Nahr Ouassel qui s'étend au sud de la wilaya de Tissemsilt.
- Dépression de Tissemsilt – OuledBessam.
- Dépression de Khemisti–Layoune. (D.R.E., 2004)



Figure N°17 : Carte de localisation des dépressions dans la wilaya de Tissemsilt

(In DRE., 2004)

4. Méthodologie d'évaluation des Ressources :

La lithologie de la région est très variée et complexe. Elle est composée des calcaires, des grès, des roches détritiques consolidées. Pour ce qui suit nous citons les formations potentiellement susceptibles d'être aquifères.

D'après les données existantes on distingue deux types de nappes (superficielles et profondes).

- **Les nappes phréatiques** : (superficielles) :

Le remplissage Plio-Quaternaire des dépressions de Laayoune, Khemisti, Tissemsilt et ainsi que les vallées alluviales des Oueds Lardjem et Nahr Ouassel qui sont relativement exploitées; forment de bons aquifères superficiels.

- **Les nappes profondes** :

Les nappes profondes représentées principalement par les réservoirs calcaires et gréseux, qui sont structurellement complexes et très mal connues.

Les affleurements des Grès Numidiens et Albiens en profondeur, au Djebel Meddad, Djebel Laghouat, Djebel Guernelahmar, Djebel Nador peuvent constituer de bons aquifères. (In **D.R.E., 2004**)

4.1. Les nappes phréatiques :

1. Les Alluvions des Oueds Lardjem et Oued Fodda :

Les alluvions superficielles des deux Oueds constituent de bons aquifères exploitables notamment pour la petite et moyenne hydraulique et subsidiairement pour l'alimentation en eau potable. (In **DRE., 2004**)

4.2. Les nappes profondes :

1. Les calcaires :

Les calcaires sont représentés par le jurassique et le Barremo- Aptien du crétacé, qui dominent la zone septentrionale de la wilaya.

a. les calcaires Jurassiques :

Le Jurassique affleure au djebel Ouarsenis (Bordj Bounaama) qui est composé d'une roche dure et compacte. De nombreuses sources au pied de ce massif témoignent de l'existence des Karsts.

b. les calcaires du crétacé:

Les principaux affleurements sont au djebel Rhilès au nord-est de la wilaya

2. Les Grès Numidiens :

Deux grandes masses de Grès Numidiens affleurent au Djebel Meddad et le Djebel Laghouat.

a. les Grès numidiens du djebel Meddad, djebel Laghouat et djebel Guernlahmer :

Ce sont des roches siliceuses, d'origine détritique, très fissurées par la tectonique et favorables à l'infiltration. Elles peuvent constituer des réservoirs souterrains importants.

b. Les Grès et les Formations du Miocène :

Les assises gréseuses reposent sur des marnes imperméables ; elles peuvent constituer de bons aquifères. Ces formations affleurent en plusieurs endroits.

c. Les Grès du Djebel Nador et Khemisti :

Cet affleurement se localise au Nord de la wilaya ; il est bien alimenté en pluie. Les pentes sont faibles, favorisant ainsi l'infiltration. (In DRE., 2004)

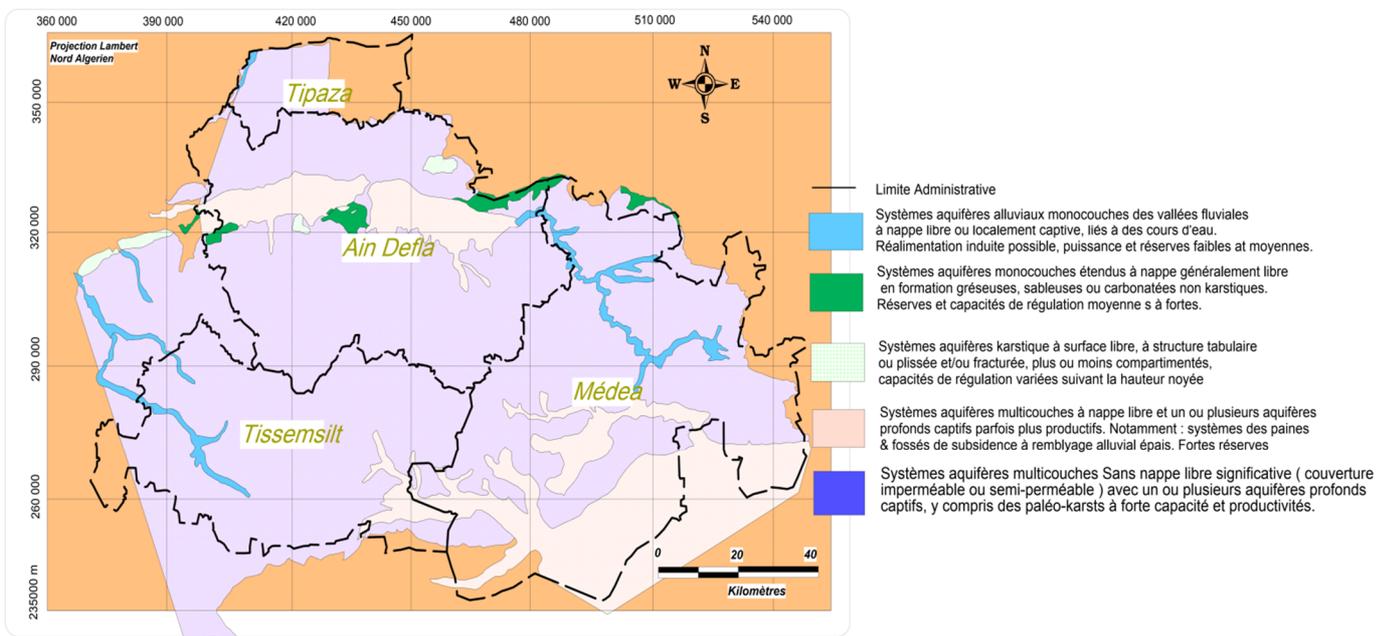


Figure N° 18 : Carte des aquifères Chleff zahrez (In ABH CZ)

5. Ressources souterraines mobilisées :

Il existe plusieurs types de captages, puits et forages qui servent à l'alimentation en eau potable des agglomérations du détail, irrigation des terres de la région et à l'alimentation industrielle. (In D.R.E., 2004)

5.1. Forage :

La zone d'étude compte 9 forages, dont 2 seulement exploités pour l'alimentation en eau potable, et 3 forages non exploités.

Tableau N° 15: Liste des forages dans la zone d'étude

Dénomination	Coordonnées (m) X	Coordonnées (m) Y	Commune	Prof (m)	Niveau statique (m)
Feradja	430900	268750	Khemisti	250	9,5
Khemisti F4	430600	264800	Khemisti	200	7,93
Khemisti F5	431850	264800	Khemisti	180	Artésien
SALMANA B16	445000	253000	Layoune	200	56
SALMANA D14-Bis	447010	251000	Layuone	120	47

(In DRE., 2017)

➤ Forage exploités :

Tableau N°16 : Liste des forages exploités

Dénomination	Coordonnées (m) X	Coordonnées (m) Y	Commune	Prof (m)	Niveau statique (m)
Khemisti F4	430600	264800	Khemisti	200	7,93
Khemisti F5	431850	264800	Khemisti	180	Artésien

(In DRE., 2017)

➤ Forage non exploité :

Cinq forages sont abandonnés pour différentes raisons : débit faible, forage négatif, eau salée, niveau dynamique profond. Le tableau qui suit récapitule la situation de ces forages.

Tableau N°17 : Liste des forages non exploités

Dénomination	Coordonnées (m) X	Coordonnées (m) Y	Commune	Prof (m)	Niveau statique (m)
Feradja	400750	240700	Khemisti	250	9,5
SALMANA B16	389950	221350	Layoune	200	56
SALMANA D14-Bis	447010	251000	Layoune	120	47

(In DRE., 2017)

5.2. Puits :

La majorité des puits exploités dans la wilaya de Tissemsilt sont des ouit de drainage le long des Oueds (Lardjem Oued Fodda...) et servent l'alimentation en eau potable des agglomérations et à l'irrigation .Les puits privés son mal connus. **(In DRE., 2004)**

7. Conclusion :

Dans cette étude, il ressort que ces unités hydrogéologiques sont occupées par des matériaux alluvionnaire hétérogène fin formé essentiellement par les sables et Calcaire blanche et argile, des grés dure et des calcaires et marnes.

Sur le plan hydrogéologique, la région d'étude présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Plio-Quaternaire, comportant deux systèmes de nappes aquifères, l'une monocouche superficielle est la nappe multicouche profonde.

La recharge des nappes aquifères est due par plusieurs facteurs qui sont la formation de l'aquifère, la profondeur et la perméabilité de la zone non saturée.

Chapitre IV : **Vulnérabilité et protection des eaux souterraines**

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère
de la région de Tissemsilt.**

1. Introduction :

L'établissement des cartes de vulnérabilité des aquifères permet une meilleure gestion des nappes d'eau et la mise en place d'actions efficaces pour réduire ou éviter les pollutions. (In Hemidi L., 2014)

La qualité des eaux souterraines est conditionnée par la nature de la roche réservoir (minéralisation, acidité). Généralement de bonne qualité, l'eau souterraine peut souvent être utilisée sans aucun traitement préalable. (In Hachemi M., 2017)

Ce chapitre a pour but de réaliser une carte de vulnérabilité intrinsèque en basant sur des paramètres physique à savoir : profondeur de la nappe, type d'aquifère et la nature de la zone non saturée.

2. La pollution des eaux :

2.1. Définition de la pollution :

La pollution est la modification des propriétés physique, chimique et biologiques de l'eau, qui restreint ou empêche son utilisation dans diverses applications où elle joue normalement un rôle.

Elle peut se définir par rapport à des situations de référence variées :

-pour l'écologue, il s'agit de la dégradation du milieu par l'introduction d'un agent altérage. Cet agent, substance ou facteur (biologique, chimique ou physique) provoque à partir d'une certaine concentration ou intensité, une altération gênante ou nuisible de ce milieu.

-pour l'utilisateur, l'eau est polluée quand sa qualité ne correspond plus aux exigences de certain usage (domestique, agricole ou industriel). (In Hemidi L., 2014)

2.2. Types de pollution :

a. **La pollution physique** : altération de la transparence de l'eau (présence de matières en suspension) ou de sa température.

b. **La pollution chimique** : présence de substance chimique indésirable ou toxique, comme par exemple les métaux qui provoquent des déséquilibres biologiques.

c. **La pollution organique** : présence de matières organiques qui génèrent une surconsommation de dioxygène, nécessaire à leur dégradation et l'apparition de produits toxiques comme l'ammoniac.

d. **La pollution bactériologique** : présence de microorganisme dont certains sont pathogène susceptible de provoquer des maladies.

2.3. Les sources potentielles de contamination des eaux souterraines dans la région :

La région d'étude est à vocation agricole, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux par l'utilisation des engrais commerciales tel que fertilisant minérale pour améliorer le rendement de la culture. De même, l'élevage intense contribue à la pollution organique par les composés azotés et phosphatés par l'usage des déchets.

Ces résidus sont maintenus par le sol et sous l'effet du lessivage et l'infiltration à partir de terrain participe à la contamination de la nappe superficielle. **(In Hemidi L., 2014).**

4. .1.Notion de vulnérabilité à la pollution :

La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique, en relation avec la nappe d'eau souterraine, procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions, selon les caractéristiques du milieu.

On distingue deux types de vulnérabilité : la vulnérabilité intrinsèque et la vulnérabilité spécifique.

4.2 Types de vulnérabilité :

4.2.1 La vulnérabilité intrinsèque : Est utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui détermine la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les actions humaines.

4.2.2 La vulnérabilité spécifique :

Est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants.

La vulnérabilité spécifique prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. **(In Hachemi M., 2017)**

4.2.3. La vulnérabilité des nappes :

La vulnérabilité des nappes à ces diverses pollutions est conditionnée par plusieurs facteurs, parmi lesquels on cite :

-Le pouvoir filtrant du réservoir.

-L'épaisseur de la zone non saturée de réservoir.

-La vitesse d'écoulement des eaux souterraines.

-La nature du réservoir.(Koffi P., 2016)

4.2.4. Les critères de vulnérabilité :

4.2.4.1 Critères de vulnérabilité intrinsèque :

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. L'ensemble des critères de vulnérabilité rencontrés dans la littérature sont exposés ci-dessous.

4.2.4.2 Critères de vulnérabilité spécifique :

Le comportement du polluant potentiel (milieu fixe) dépend des caractéristiques du milieu, mais également des propriétés physico-chimiques et biologiques du composé lui-même (réactions acides bases, d'oxydoréduction, de désorption, biodégradation, synthèse cellulaire, diffusion, évaporation, filtration, transport de germes,...). (In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z., 2017)

5. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité :

L'étude de vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution est un outil qui permet d'identifier les régions les plus susceptibles à la contamination dans un aquifère donné. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la vulnérabilité des aquifères :

5.1 Méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC permet de déterminer le degré de vulnérabilité et le potentiel polluant des eaux souterraines. C'est une méthode paramétrique qui utilise la somme des produits des sept paramètres : profondeur de la nappe, recharge nette, lithologie de la zone saturée, type du sol, topographie (pente), lithologie de la zone non saturée et conductivité hydraulique de l'aquifère. (In Hemidi L., 2014)

5.2. Méthode AVI:

Cette méthode cherche à évaluer le temps de transport d'éventuels contaminants en fonction de l'épaisseur de la Z.N.S. Elle a été appliquée en 2005 en étant comparée à l'application de la méthode GOD.

L'importance de GOD réside dans le fait qu'il tient seulement compte des facteurs les plus significatifs pour évaluer la vulnérabilité. La base de données relative à ces paramètres est facilement accessible contrairement à la méthode DRASTIC où les paramètres tels que la recharge, la zone non saturée qui jouent un rôle prépondérant dans la migration d'un polluant sont évalués avec beaucoup d'approximations. (In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z., 2017)

5.3. Méthode SINTACS :

La méthode *SINTACS*, développée par Civita (1994) (**In Hamza et al, 2007**), est la version italienne de la méthode *DRASTIC* : c'est une adaptation de cette méthode aux conditions méditerranéennes. Cette méthode de vulnérabilité verticale intrinsèque prend en considération les mêmes paramètres que la méthode *DRASTIC*. Un poids compris entre 1 et 5 est attribué à chacun d'eux, et chaque paramètre est classé en plusieurs classes, dont chacune est associée à une cote variant de 1 à 10. La spécificité de cette méthode par rapport à la méthode *DRASTIC* est qu'elle propose cinq scénarios différents de vulnérabilité : les scénarios « impact normal » et « impact sévère », scénarios relatifs aux aquifères constitués par des sédiments non consolidés, localisés dans des aires à sols épais, avec une profondeur du plan d'eau qui n'est pas très élevée. (**In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z., 2017**)

5.4 La méthode SI :

La méthode *SI* prend en considération cinq paramètres. Les cotes correspondantes à différentes classes des paramètres dans la méthode *DRASTIC* ont été également conservées pour les paramètres similaires. (**In Hachemi M., 2017**)

D : la profondeur de la nappe,

R : la recharge efficace de l'aquifère,

A : la lithologie de l'aquifère,

T : la topographie.

5.5 Méthode COP :

La méthode «COP» a été développée pour évaluer la vulnérabilité intrinsèque des aquifères carbonatés dans le cadre du programme *COST Action 620* de l'Union Européenne. L'acronyme *COP* correspond aux initiales des trois facteurs utilisés: concentration des flux, couches supérieures et précipitations. La base conceptuelle de cette méthode, en fonction de l'approche européenne, est d'évaluer la protection naturelle des eaux souterraines, déterminé par les propriétés des couches situées au-dessus de la nappe aquifère ou ce qu'on appelle aussi zone de vadose ou zone non saturée (facteur O), la concentration de l'écoulement (facteur C) et les précipitations au-dessus de l'aquifère (facteur P), comme les paramètres de l'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines. (**In Aichouch F et Moulayat KH et Didane Z., 2017**)

5.6 Méthode RISK :

La méthode retenue s'inspire de la méthode suisse EPIK et de la méthode RISKE, dérivée de cette dernière, en raison de leur spécificité envers les aquifères karstiques. (In Hachemi M., 2017)

4 critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques ont été retenus :

- R : la roche aquifère
- I : les conditions d'infiltration
- S : le sol et la couverture protectrice
- K : le degré de développement de la karstification

5.7 Méthode GOD :

Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée, il se compose de trois grandes phases :

La phase 1 : Type de nappe.

La phase 2 : Facteurs géologiques.

La phase 3 : Profondeur de la nappe.

Cette méthode est basée sur l'identification du type de nappe, type d'aquifère en termes de facteur lithologique et la profondeur de la nappe. Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'une aquifère vis à vis une éventuelle pollution de surface.

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 suivante. (In Aichouch F. et Moulayat K. et Didane Z., 2017).

$$\mathbf{IG = IA \times IO \times ID}$$

Avec :

IG : Type d'aquifère ;

IO: Lithologie de l'aquifère ;

ID : Profondeur de la nappe.

Les différentes plages d'IG obtenues ont été mises en parallèle avec les classes de vulnérabilité. L'Indice GOD a pour valeur minimum " 0 " et " 1 " comme valeur maximum. D'une manière générale, les indices GOD sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du "très faible" à "extrême". (In Cherikh M., 2015)

Remarque: Il est à noter, qu'une activité humaine telle que la surexploitation d'une nappe va influencer le degré de confinement de l'aquifère, mais cela n'apparaît pas dans le schéma proposé.

La carte finale obtenue se compose de 6 indices de vulnérabilité: aucune vulnérabilité, vulnérabilité négligeable, faible vulnérabilité, vulnérabilité moyenne, forte vulnérabilité, vulnérabilité extrême. On peut réduire ce nombre d'indice à 5 sachant que la définition «d'aucune vulnérabilité» revient à avoir un indice de 0. Or, définir une zone comme non vulnérable est erroné.

La vulnérabilité augmente avec l'indice et la classification, elle se fait en cinq classes allant de 0 à 1.

Tableau N°18: Critères d'évaluation de la vulnérabilité selon la méthode GOD (In Cherikh M., 2015).

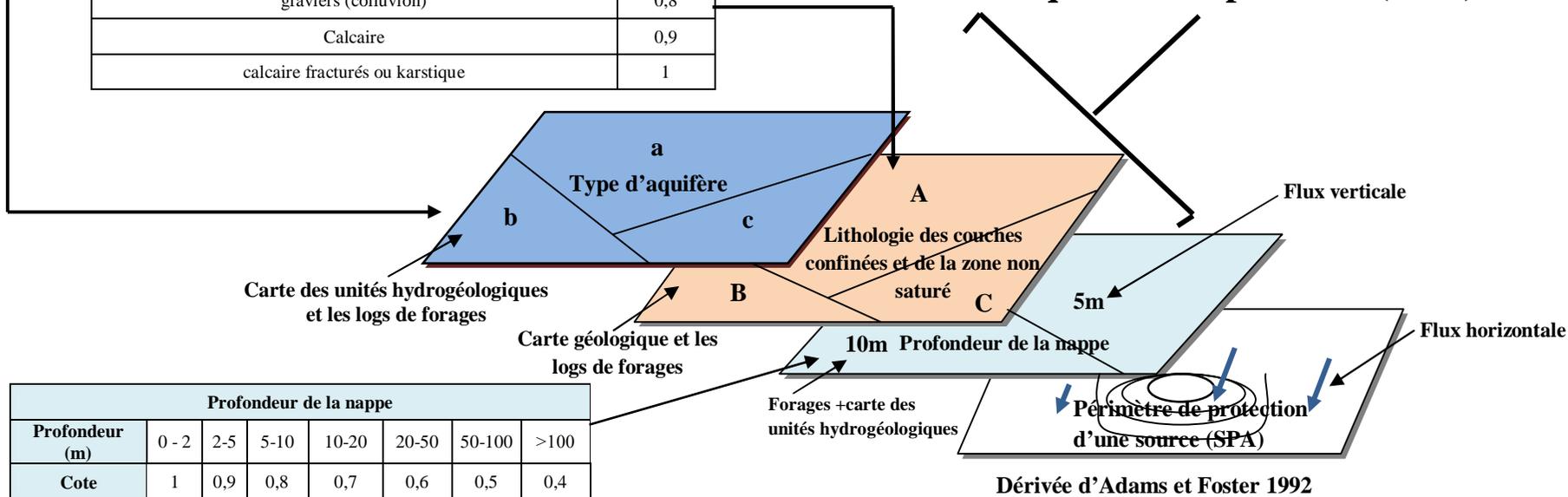
Classe GOD	Intervalle
Vulnérabilité très faible	0-0,1
Vulnérabilité faible	0,1-0,3
Vulnérabilité modérée	0,3-0,5
Vulnérabilité forte	0,5-0,7
Vulnérabilité extrême	0,7-1

Type d'aquifère	Cote
aucun aquifère	0
aquifère confiné et artésienne	0,1
aquifère confiné	0,2
aquifère semi-confiné	0,3
aquifère avec couverture de surface	0,4-0,6
aquifère non confiné	0,7-1

Lithologie de l'aquitard au de l'aquidérme	Cote
sol résiduel	0,4
limon alluvial, loess, shale, calcaire fin	0,5
sable éolien, siltite, tuf, roche ignée et métamorphique fracturé	0,6
sable et gravier, tuf, grés	0,7
graviers (colluvion)	0,8
Calcaire	0,9
calcaire fracturés ou karstique	1

Indice de vulnérabilité	Degrés de vulnérabilité	Définition du degré
0	Aucune vulnérabilité	-
0-0,1	vulnérabilité négligeable	couche confinante sans écoulement verticale significatif
0,1-0,3	faible vulnérabilité	seulement vulnérable a long terme aux polluants conservateurs lorsque la décharge se fait en continue
0,3-0,5	vulnérabilité modérée	vulnérable a certains polluants mais seulement lorsque la décharge et continue
0,5-0,7	vulnérabilité élevée	vulnérable a beaucoup de polluants exceptée ceux hautement absorbés au transformés
0,7-1	vulnérabilité extrême	vulnérable a beaucoup de polluants de l'eau avec un impact rapide sur la pollution

Vulnérabilité de l'aquifère à la pollution (APV)



Profondeur de la nappe							
Profondeur (m)	0 - 2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	>100
Cote	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Figure N 19° : La méthode GOD, paramètres et cotations (In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z., 2017)

5.7.1. Profondeur de la nappe :

La profondeur de la nappe est un paramètre important, qui constitue un facteur déterminant de la vulnérabilité. Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met de temps à atteindre la surface piézométrique. Le calcul des indices pour ce paramètre a été fait selon le tableau n°19.

Tableau N°19 : Indices des paramètres calculés selon la méthode GOD

DENOMINATION	XUTM	YUTM	Prof (m)	Niveau statique (m)	formation captée	ID	IG	IO	IGOD	N	Type de nappe
KHEMISTI FERADJA	403628,89	3952572,53	980	9,5	Alluvions, sables, argiles et calcaires gréseux	0,8	0,4	0,5	0,16	F1	LIBRE
KHEMISTI F4	403317,03	3948623,15	970	7,93	Argiles, calcaires et marnes	0,8	0,4	0,7	0,224	F2	LIBRE
KHEMISTI F5	404567,11	3948619,41	937	00	Grès	1	0,1	0,7	0,07	F3	CAPTIVE
SALMANA B16	417682,46	3936779,57	870	56	calcaires	0,5	0,4	0,9	0,18	F4	LIBRE
SALMANA D14-Bis	419686,54	3934773,53	867	47	calcaires	0,6	0,3	0,8	0,144	F5	SEMI-CAPTIVE

5.7.2. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques :

a. Paramètre « D » profondeur de la nappe :

La profondeur de la nappe représente la distance verticale traversée par un polluant depuis la surface du sol pour atteindre l'aquifère. Généralement, la protection potentielle de l'aquifère augmente avec la profondeur de la surface supérieure de l'eau.

D'après la carte de la Figure n° 20 cinq classes ont été remarquées :

- Classe 1** : cette classe occupe la Partie sud-est de la zone d'étude avec une profondeur allant de 50m à 100m avec un indice ID = 0.5.
- Classe 2** : présente des profondeurs allant de 20m à 50m avec un indice ID = 0.6, cette classe est située dans la partie nord-est vers le sud-ouest de la zone d'étude.
- Classe 3** : elle caractérise la partie sud-ouest et une partie de nord-est de la zone d'étude, la profondeur de cette classe est comprise entre 10 à 20m avec un indice ID= 0.7.
- Classe 4**: présente des profondeurs allant de 5 m à 10 m avec un indice ID=0.8 occupe la partie nord-ouest de la zone d'étude.
- Classe 5**: présente des profondeurs allant de 0m à 2m avec un indice ID = 1, cette classe est située dans la partie centrale de la zone d'étude.

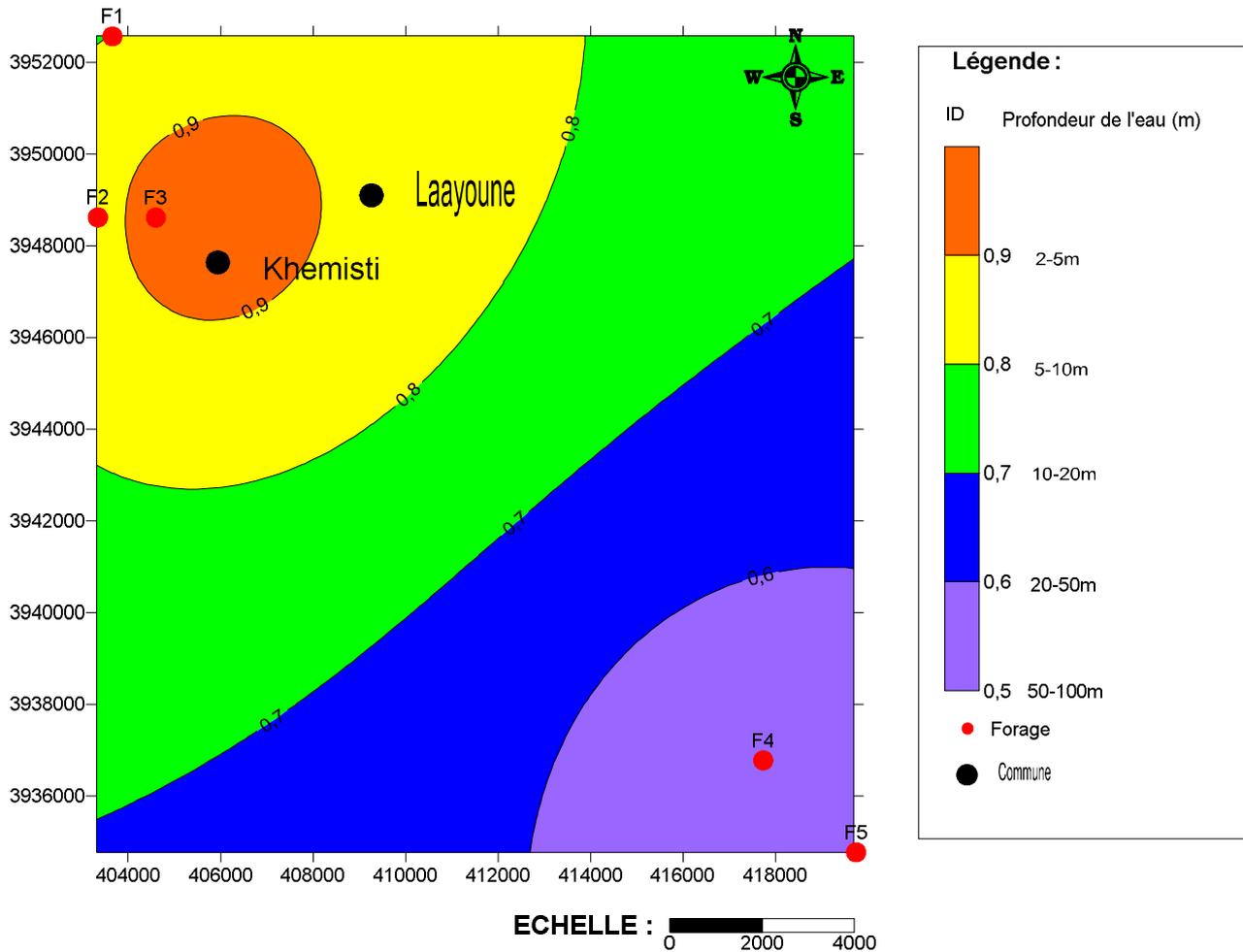


Figure N°20 : Carte du paramètre "D" type de profondeur de nappe de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018).

b. Paramètre « O » Nature lithologique de la ZNS :

1. La première présente des formations argile et marne occupant la partie nord-ouest de la commune de Khemisti et Laayoune, avec un indice de 0.5.
2. La deuxième représentant les formations Marne et grés, couvrant une partie au nord, avec un indice de 0.6.
3. La troisième classe présente les formations gravier, couvrant une partie au sud-ouest vers ouest de la zone d'étude et une partie au nord -est vers est, occupe la plupart de la surface avec un indice de 0.7.
4. La dernière classe identifiant la formation calcaire couvre une partie d'est vers sud-ouest de la zone d'étude avec un indice de 0.9.

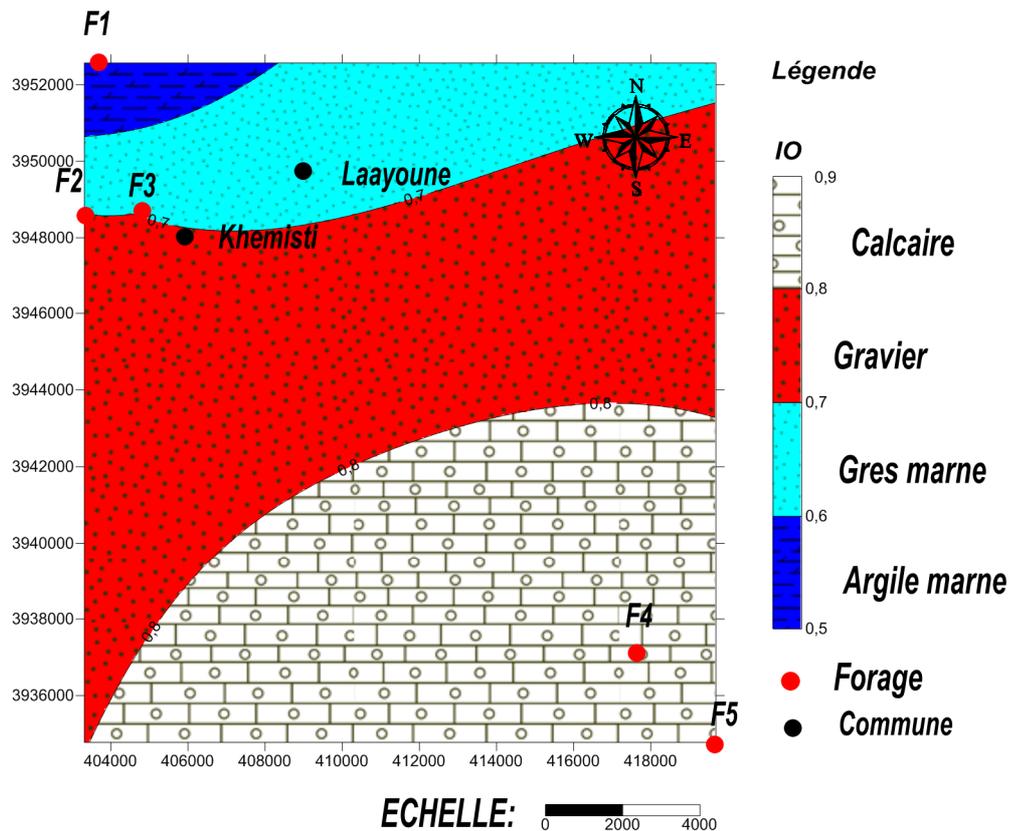


Figure N°21 : Carte du paramètre "O" type de lithologie de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018).

c. Paramètre « G » type d'aquifère :

D'après les logs des forages, on observe qu'il existe Trois types de nappes, l'une libre (superficielle) s'étendue au sud-ouest de la zone de Khemisti et Laayoune, et l'autre semi captive, captive couvre toute la zone d'étude. De cette configuration on distingue quatre types d'indice :

-l'un de l'ordre de 0.1 ,0.2 et de 0.3 observé très limité au niveau de la nappe captive au centre et sud-est de la commune de Khemisti et Laayoune, et l'autre de l'ordre de 0.4 occupant presque la totalité de la plaine.

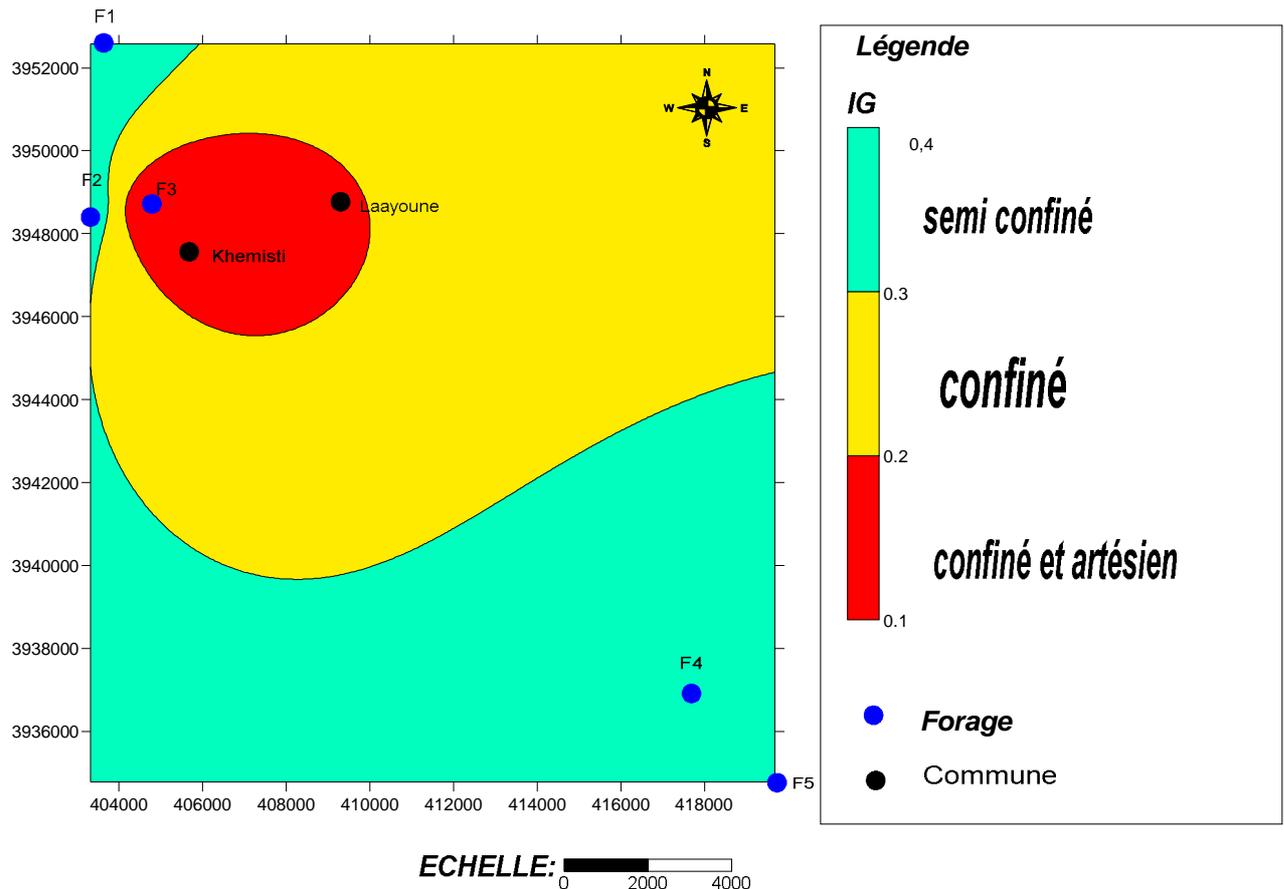


Figure N°22 : Carte du paramètre "G" type d'aquifère de la région de Tissemsilt
(Tracé par surfer 9,2018).

d. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d'étude selon GOD :

Les zones de vulnérabilité négligeable et faible ont été mises en évidence par la méthode GOD et traduisent le degré de vulnérabilité auquel est soumis le système aquifère de la région de Tissemsilt. L'analyse de ces zones révèle deux classes de vulnérabilité à la pollution (**Fig n°23**).

-la classe "négligeable " : Cette classe s'observe au centre de la zone d'étude et affirme une pollution moins sévère en cas de contamination de la nappe. Elle représente environ (29,8%) de la zone d'étude. Formée essentiellement par des grés et marnes .Elle serait due au type de nappe libre et aux profondeurs de la nappe qui sont >5 m.

-la classe "faible " : Cette classe se rencontre la totalité de la zone d'étude avec une proportion plus importante que la classe négligeable, soit de l'ordre de (70,2%). Elle serait due

également à des profondeurs de la nappe comprises entre $>50\text{m}$. Occupe presque la totalité de la nappe de la région.

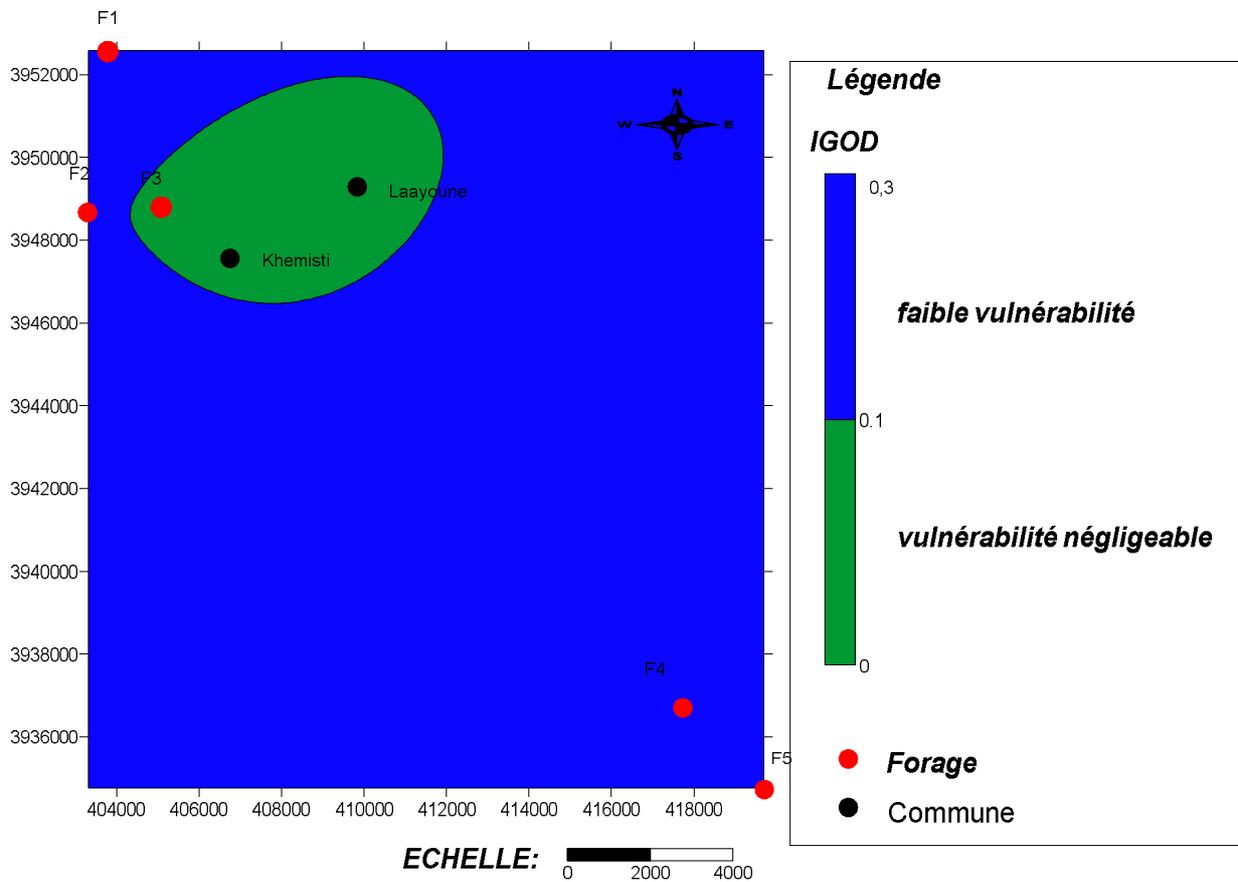


Figure N°23 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon la méthode **GOD** de la région de Tissemsilt (Tracé par surfer 9,2018).

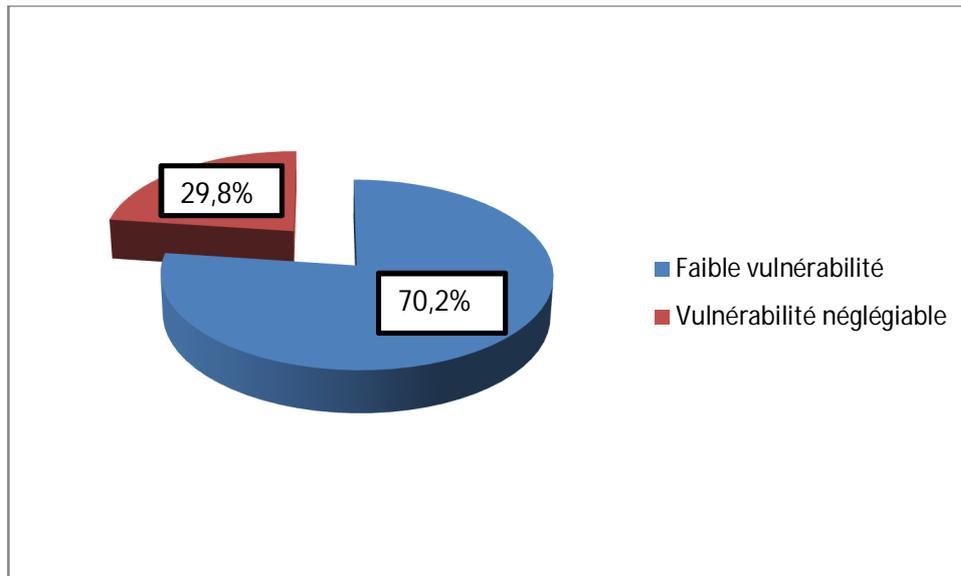


Figure N°24 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution des eaux de la région d'étude selon la méthode **GOD**.

Remarque : Une nouvelle approche développée par le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec en 1995 (**Anonyme, 2007**) consiste à diviser en trois catégories l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique (0 à 100 %). (**In Aichouch F et Moulayat K et Didane Z., 2017**)

Tableau N°20 : Echelle de vulnérabilité hydrogéologique

Catégorie	Indice de vulnérabilité en %	Conclusion
catégorie1	0 à 35 %	Assurément bien protégé
catégorie2	Compris entre 35 et 75%	protection hydrogéologique incertaine
catégorie3	75 à 100%	Assurément vulnérable

(**In Cherikh M., 2014-2015**)

En se basant sur cette classification on peut dire, que la classe négligeable correspond à la catégorie1 qui correspond à une zone assurément bien protégé (nappe semi-captive et captive. La classe faible correspond à la catégorie2 qui correspond à une zone protection hydrogéologique incertaine.

6. 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. L'originalité de ce travail réside dans la réalisation d'une cartographie de la vulnérabilité de la Zone d'étude et cela en utilisant un indice de vulnérabilité récemment introduit . D'autres études doivent être suivies afin d'élaborer des cartes plus précises et tenant compte d'un nombre important de données. La cartographie des zones de vulnérabilité de la nappe a révélé deux zones de vulnérabilité différente. Les zones de vulnérabilité faible occupent la majorité de la surface totale de la plaine avec (70,2%), alors que les zones à vulnérabilité négligeable (29,8%) occupent le reste de cette surface.

Conclusion générale et Recommandations

**Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère
de la région de Tissemsilt.**

Conclusion générale :

Les eaux souterraines jouent un rôle fondamental dans la stabilité des populations rurales dans la région de Tissemsilt. Elles sont exploitées par des puits, des forages ; drainées par différentes techniques traditionnelles et modernes utilisées pour extraire les eaux des nappes pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

L'étude des facteurs climatiques révèle un climat semi-aride avec un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Ce climat influe sur le bilan hydrique qui montre des valeurs très élevées de l'évapotranspiration 877,27mm favorisant l'accumulation des sels, avec un précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 513,27mm, température moyenne annuelle est de 16,9°C, L'ETR ou déficit d'écoulement qui est égale à 365,73mm et le ruissellement et l'infiltration 144,90mm.

L'étude géologique permet d'identifier les diverses formations qui constituent le terrain notamment, elle est caractérisée par un relief accidenté, couvert par des formations argileuses ou marno-schisteuses, ce qui lui confère une pauvreté en ressources en eau souterraine.

La région d'étude est caractérisée par des formations sédimentaires, dont l'âge le plus ancien est le crétacé supérieur jusqu'à l'Plio-Quaternaire, constituées généralement par des gés, des marnes, des argiles et des conglomérats.

. Dans cette étude, il ressort que ces unités hydrogéologiques sont occupées par des matériaux alluvionnaire hétérogène fin formé essentiellement par les sables et Calcaire blanche et argile, des grés durs et des marnes.

Sur le plan hydrogéologique, la région d'étude présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Plio-Quaternaire, comportant deux systèmes de nappes aquifères, l'une monocouche superficielle est la nappe multicouche profonde.

La recharge des nappes aquifères est due par plusieurs facteurs qui sont la formation de l'aquifère, la profondeur et la perméabilité de la zone non saturée.

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la majorité de la nappe de la zone d'étude a une vulnérabilité faible (**70,8%**). La zone à vulnérabilité négligeable (**29,2**) occupent une faible superficie de la surface totale du terrain étudié et cela est dû à plusieurs facteurs qu'on cite : type de nappe, lithologie de la zone non saturée (pouvoir filtrant) et la profondeur de la nappe.

Cette méthode reste limitée car elle n'inclue pas ou ne prends pas en considération l'existence de failles longitudinales et transversales au niveau de la zone d'étude qui constituent un moyen d'accès direct des polluants vers le système aquifère de la région d'étude (la nappe libre et la nappe profonde captive à semi captive)

Recommandations :

Les recommandations aux quelles nous sommes arrivés se résument comme suit :

- ✓ Veiller a une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux forages et puits implantés.
- ✓ Effectuer des campagnes piézométriques et des prélèvements des eaux pour les analyses chimiques pendant les deux périodes (hautes et basses eaux) afin d'estimer les réserves régulatrices de la nappe et suivre l'évolution chimiques des eaux.
- ✓ Eviter le déversement direct des eaux des égouts dans les chotts et cours d'eau sans traitement préalable.
- ✓ Utilisation rationnelle des engrais avec une exploitation rationnelle des sols cultivant.
- ✓ Gérer d'une façon rationnelle les ressources en eau.
- ✓ Il faut opter une politique de gestion adéquate basé sur le suivi, le contrôle et la protection de tous les points de captages (puits, forages) répartis de façon disproportionné sur l'ensemble de la zone.

Enfin pour remédier au risque de contamination de la nappe, il faut mettre en place des périmètres de protection qualitative dans les zones sensibles (décharges publiques, centre d'enfouissement techniques, puits manuels non contrôlés, zone à densité de population élevée etc...).

Références Bibliographiques

Vulnérabilité et protection des ressources en eau souterraines du système aquifère de la région de Tissemsilt.

Références bibliographiques

ANRH (2018): Agence Nationale des Ressources Hydraulique – Tiaret.

KOFFI EDMONDPHILIPPE DJAMA (2016): Vulnérabilité et protection des ressources en eaux du système aquifère de la région d'Abidjan (Cote d'Ivoire) Thèse de master hydrogéologie et environnement Université Ibn Khaldoun Tiaret.

HACHEMI MISSOUM (2017): Contribution à l'étude hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du système aquifère du plateau Sersou Thèse de master hydrogéologie et environnement Université Ibn Khaldoun Tiaret.

ABHCZ (2002): Agence de Bassin Hydrographie Chleff Zahrez.

LADJAL RABAH (2013) : Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul) Thèse de magister en Hydraulique Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen

BETA CONSULT : Etude géophysique par prospection électrique dans la région nord et nord ouest deTissemsilt (2014 ,35p)

CHERIKH MESSAOUDA (2015) : Estimation et cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines en milieu aride : application à la cuvette de Ouargla Thèse de magister.

AICHOUC FATIMA ZOHRA et MOLAYATE KHADIDJA et DIDANE ZINEB (2017) : Vulnérabilité et protection du ressources en eaux souterraine : Application sur un système aquifère dans une zone semi-aride : Cas de la région de Dahmouni Thèse de master Université Ibn Khaldoun Tiaret.

DRE (2004): Direction des ressources en eau.

HEMIDI LOTFI (2014) : Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution Thèse de magister Université Kasdi Merbah Ouaregla

Résumé :

L'eau est une matière de grande importance pour la survie des êtres humains et de leur environnement. L'accroissement démographique et le développement agricole dans la région d'étude nécessite un besoin d'eau souterraine de plus en plus croissant.

L'étude réalisée sur la région de Laayoune et khemisti dans la wilaya de Tissemsilt, nous a permis de préciser les caractéristiques géologiques, climatiques et hydrogéologiques, liés à l'origine des écoulements des eaux souterraines.

Le présent travail se propose de répondre à une éventuelle question qui semble essentielle : à quel degré, les ressources en eau de la région de Laayoune et khemisti sont-elles vulnérables à la pollution ?

L'examen de la carte de vulnérabilité (méthode de GOD) montre que la majorité de la nappe de la zone d'étude a une vulnérabilité faible (70,2%). Les zones à vulnérabilité négligeable (29,8%) occupent une faible superficie de la surface totale du terrain étudié et cela est dû à plusieurs facteurs qu'on cite : type de nappe, lithologie de la zone non saturée (pouvoir filtrant) et la profondeur de la nappe.

Mots clés : Eaux souterraines, vulnérabilité, aquifère, GOD, protection et la région de Tissemsilt.

Summary:

Water is a matter of great importance for the survival of human beings and their environment. Population growth and agricultural development in the study area necessitate an increasing need for groundwater.

The study carried out on the Laayoune and khemisti region in the wilaya of Tissemsilt allowed us to specify the geological, climatic and hydrogeological characteristics related to the origin of groundwater flows.

The present work proposes to answer a question which seems to be essential: to what extent are the water resources of the Laayoune and khemisti area vulnerable to pollution?

Examination of the vulnerability map (GOD method) shows that the majority of the aquifer in the study area has a low vulnerability (70, 2%). Negligible (29, 8%) occupy a small area of the total area of the study area and this is due to several factors: type of groundwater, unsaturated zone lithology (Filter) and the depth of groundwater.

Key words: Groundwater, vulnerability, aquifer, GOD, protection and Tissemsilt region.

ملخص:

إن المياه مسألة ذات أهمية كبيرة لبقاء البشر وبيئتهم. ويتطلب تزايد عدد السكان والتنمية الفلاحية في منطقة الدراسة حاجة متزايدة للمياه الجوفية.

وقد سمحت لنا الدراسة التي أجريت على منطقة العيون و خميستي بولاية تيسمسيلت بتحديد الخصائص الجيولوجية , المناخية والهيدروجيولوجية ذات الصلة بأصل تدفقات المياه الجوفية.

يقترح هذا العمل الإجابة على سؤال يبدو ضروريا: إلى أي مدى تكون الموارد المائية لمنطقة العيون و خميستي عرضة للتلوث؟

ويظهر فحص خريطة الضعف (طريقة GOD) أن الغالبية من النظام المائي لمنطقة الدراسة لديها ضعف المنخفض اتجاه التلوث (70,2%). المناطق مع ضعف كبير (92,8%) تحتل مساحة صغيرة من المساحة الكلية المدروسة وهذا يرجع إلى العديد من العوامل منها: نوع الطبقة المائية، والخصائص الصخرية في المنطقة غير المشبعة (قدرة التصفية) وعمق المياه.

الكلمات المفتاحية : المياه الجوفية، الضعف، الحوض المائي، GOD ، الحماية و منطقة تيسمسيلت.