

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun–Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Présenté par :

FLINDE TROH FRANCK HERMANN

DJAFAR AYOUB MOHAMED BENAOUA

Thème

VULNERABILITE ET RISQUE DE POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA
REGION DE TOUSNINA ET IDENTIFICATION DES SITES D'ENFOUISSEMENT DES
DECHETS

Soutenu publiquement le 04/07/2019

Jury:

Président : A.M.Berayah M.

Encadreur : M.MOUCHARA N.

Co-encadreur : M.MEBARKI K.

Examineur : M.SABBOUA T.

Grade

MAA

MAA

MCB

MAA

Année universitaire : 2018/2019

REMERCIEMENTS

*Tout d'abord nous remercions **ALLAH**, le tout puissant de nous avoir aidés pour réaliser ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent à **M. M. MOUCHARA N.** qui a accepté d'être Notre encadreur et **M. MEBARKI K** pour ses efforts déployés, ses encouragements et sa patience.*

*Nous tenons à remercier : **A.M.Berayah M** d'avoir accepté de présider de jury.*

*Comme nous remercions vivement **M. SABBOUA T.** qui a accepté d'examiner Notre travail.*

Nous remercions également le service DRE de la wilaya de Tiaret.

Nos profondes reconnaissances et nos vifs remerciements vont à tous les

Enseignants ayant participé à notre formation tout au long de notre cursus universitaire.

Enfin, nos immenses remerciements vont à tous nos amis de la promotion

2^{-ème} année Master STU spécialité Hydrogéologie et Environnement au titre de cette année universitaire 2018-2019

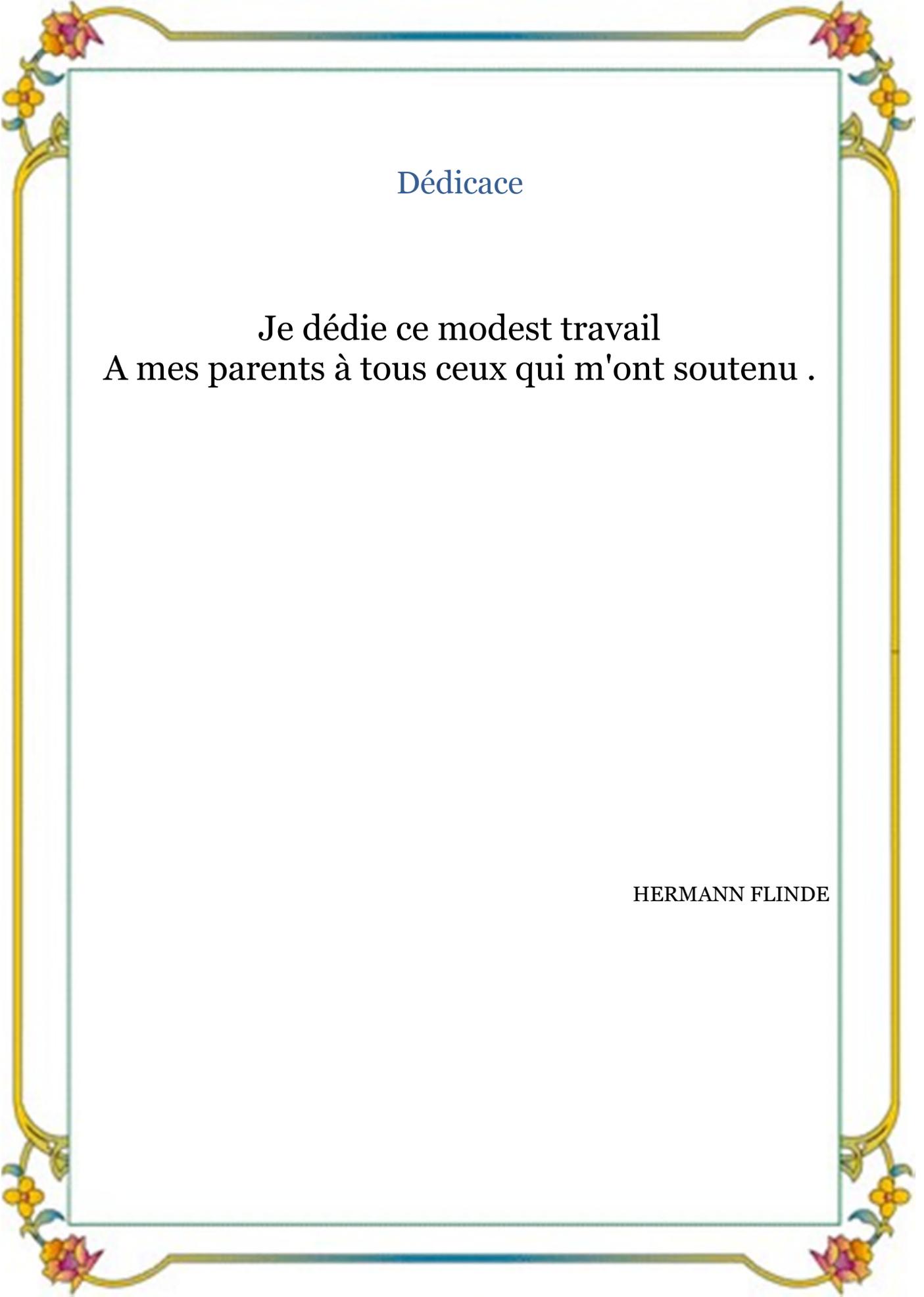
Dédicace

Je dédie ce modest travail à:
A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être
à la hauteur de
l'amour Dont ils ne cessent de me combler.
Que dieu leur procure
bonne santé et longue vie.

Dédicace A mes frères ghoulame et Kamel, sans
oublier la petite layane et l'épouse de mon
frère

Dédicace a tous ma famille, et mes amis,
Fouad, chemssou, Mohamed, kadiro, Taher,
Hakim, Mohamed kadhi, Mustapha, Bouaza.
A mon binôme flindi et tout la famille djafar.
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de
loin pour que ce
Projet soit possible, je vous dis merci.

AYOUB DJAFAR

A decorative border with a gold-colored frame and floral motifs in purple, yellow, and green at the corners.

Dédicace

Je dédie ce modest travail
A mes parents à tous ceux qui m'ont soutenu .

HERMANN FLINDE

TABLE DES MATIERES

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| 1.1. Introduction | 2 |
| 1.1.2. Cadre géographique | 2 |
| 1.3. Le réseau hydrographique | 5 |
| 1.3.1. Sol et végétation | 5 |
| 1.3.2. Aperçu géomorphologie | 6 |
| 1.4. Géologie régionale:..... | 7 |
| 1.4.1. Les monts de Tiaret..... | 7 |
| 1.4.2. Le plateau de Sersou..... | 8 |
| 1.4.3. Les monts du Nador | 8 |
| 1. 5. Lithologie des formations géologiques (Tiaret) | 8 |
| 1.5.1. Le Jurassique inférieur-Moyen..... | 9 |
| 1.5.2. Le Jurassique supérieur..... | 9 |
| 1.5.3. Le Crétacé..... | 9 |
| 1.5.4. Eocène (yprésien et lutétien inférieur)..... | 9 |
| 1.5.5. Le Miocène..... | 9 |
| 1. 5.6. Les dépôts du Plio-quadernaire | 9 |
| 1.5.7. Le Quadernaire | 9 |
| 1.6.1. Aperçu générale du relief de la wilaya | 10 |
| 1.6.2. Aperçu tectonique | 11 |
| 1.7. Conclusion..... | 12 |
| 2.1. Introduction :..... | - 14 - |
| 2.2. Les précipitations : | - 14 - |
| 2.2.1. Les Précipitations moyennes mensuelle : | - 14 - |
| 2.2.2. Régime saisonnier des précipitations : | - 15 - |
| 2.2.3. Précipitations moyennes inter-annuelles et Coefficient pluviométrique (Cp) : | - 16 - |
| 2.3. Températures : | - 18 - |
| 2.3.1. Les températures moyennes mensuelles : | - 18 - |
| 2.4. Diagramme ombrothermique | - 19 - |
| 2.4.1. Indice d'aridité Annuelle de DE MARTONNE (1923) :..... | - 20 - |
| Bilan hydrique: | - 21 - |
| L'évapotranspiration : | - 21 - |
| 2.5.2. L'évapotranspiration potentielle :..... | - 21 - |
| 2.5.3. Évapotranspiration réelle (ETR) | 22 |
| 2.5.4. La formule de Turc (1961)..... | 22 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|--------|
| 2.5.5. Méthode de C.W.Thornthwaite:..... | 22 |
| 2.6. Le ruissellement | 23 |
| 2.7. L’Infiltration..... | 24 |
| 2.8. Conclusion..... | 26 |
| 3.1. Introduction :..... | - 27 - |
| 3.2. Généralités : | - 27 - |
| 3.2.1. La zone Nord : | - 27 - |
| 3.2.2. La zone Ouest :..... | - 27 - |
| 3.2.3. La zone Est : | - 27 - |
| 3.2.4. Les Monts de Chellala :..... | - 27 - |
| 3.3. Aperçu des aquifères de la commune de Tousnina (Haute Mina) : | - 28 - |
| 3.3.1. Les Dolomies Kimméridgiennes : | - 28 - |
| 3.3.2. Les Calcaires et grés du Tithonique: | - 28 - |
| 3.3.4. Les Grés du Barrémien– Aptien– Albien :..... | - 28 - |
| 3.3.5. Les Grés du Miocène inférieur : | - 28 - |
| 3.3.6. Les Dépôts du Plio-Quaternaire : | - 28 - |
| 3.4. Contexte hydrogéologique local : | - 28 - |
| 3.5. Corrélation | 32 |
| 3.6. Les Nappes de la commune de Tousnina (haute Mina)..... | 34 |
| 3.6.1. La Nappe Superficielle (Alluviale) du Plio-Quaternaire..... | 34 |
| 3.6.2. La Nappe Profonde | 34 |
| 3.7. Conclusion..... | 36 |
| 4.1. Introduction | - 38 - |
| 4.2. Définition de vulnérabilité : | - 38 - |
| 4.2.1 Les types de vulnérabilité : | - 38 - |
| 4.2.2. La vulnérabilité intrinsèque :..... | - 39 - |
| 4.2.3. La vulnérabilité spécifique :..... | - 39 - |
| 4.3. Les critères de vulnérabilité : | - 39 - |
| 4.4. Pollution des eaux : | - 39 - |
| 4.4.1. Définition de la pollution : | - 39 - |
| 4.4.2. Types de pollutions : | - 39 - |
| 4.4.2.1. La pollution physique :..... | - 39 - |
| 4.4.2.3. La pollution organique : | - 39 - |
| 4.4.2.4. La pollution bactériologique : | - 40 - |
| 4.5. Les sources de contamination des eaux souterraines : | - 40 - |
| 4.5.1. Sources ponctuelles : | - 40 - |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 4.5.2. Sources non ponctuelles (diffuses) : | - 40 - |
| 4.6. Quelques exemples de contaminations des eaux souterraines :..... | - 40 - |
| 4.6.1. Invasion d'eau salée : | - 40 - |
| 4.6.2. Fuites de réservoirs de stockage souterrains et des conduites :..... | - 40 - |
| 4.6.3. Pollution par une décharge : | - 41 - |
| 4.7. La vulnérabilité des nappes :..... | - 41 - |
| 4.8. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité : | - 41 - |
| 4.8.1. Méthode DRASTIC :..... | - 41 - |
| 4.8.2. Méthode RISK :..... | - 42 - |
| 4.8.3. Méthode SI : | - 42 - |
| 4.8.4. Méthode GOD : | - 42 - |
| 4.9. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques : | - 47 - |
| 4.9.1. Paramètre « IG » type de l'aquifère :..... | - 48 - |
| 4.9.2. Paramètre « IO » Nature lithologique de la ZNS : | - 48 - |
| 4.9.3. Paramètre «ID » profondeur de la nappe : | - 49 - |
| 4.10. Conclusion : | - 52 - |
| 5.1. Introduction :..... | - 54 - |
| 5.2. Le centre d'enfouissement technique (C.E.T) : | - 54 - |
| 5.3.les paramètres à fournir par un CET :..... | - 55 - |
| 5.2. LES REGLES ET LES NORMES D'UN C.E.T: | - 55 - |
| 5.2.1. L'aménagement du casier : | - 55 - |
| 5.2.2. La constitution des casiers et alvéoles : | - 56 - |
| 5.2.3. Barrière de sécurité passive :..... | - 56 - |
| 5.2.4. Barrière de sécurité active : | - 56 - |
| Conclusion générale | - 59 - |
| Recommandations : | - 60 - |

Liste des abréviations

ABH-CZ : Agence Du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez.

AEP: Alimentation En Eau Potable

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques.

BNEDER: Bureau National D'études Pour Le Développement Rural

CFT: Conservation Des Forets Tiaret

HPO: Hydro Projet Ouest

IFN: Inventaire Forestier National

SDRE: Subdivision Des Ressource En Eau.

SDG : Sous-Direction De Géologie.

CET : centre d'enfouissement technique

Introduction générale

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les eaux souterraines sont considérées comme l'une des sources les plus importantes pour l'approvisionnement en eau potable du fait de leur grande capacité de stockage ainsi que de leur faible exposition aux polluants contrairement aux eaux de surface. Cependant, Certaines sources de pollution diffuse provenant des activités anthropiques (pratiques agricoles, exploitations des décharges incontrôlées et des systèmes d'assainissement sauvages) menacent ces ressources (In MIGUEL Edilasio A. et PAIMPaulo J., 2015).

Pour leur meilleure gestion la prévention contre ces polluants apparaît primordiale, les méthodes de vulnérabilité à la pollution du fait de leurs performances dans la délimitation des périmètres de protection se présentent comme les méthodes les plus appropriées.

Tousnina est l'une des régions Algérienne à vocation agro-pastorale qui connaît une hausse de sa population et de son urbanisme entraînant de ce fait une croissance des activités L'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes permet une meilleure gestion des eaux souterraines et des interventions convenables dans le cas de contamination. Elle permet aussi de préciser les zones sollicitées à être contaminées suite à des activités anthropiques. Une fois identifiées, ces régions peuvent être visées avec prudence par les planificateurs et les utilisateurs de la terre. Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future.

Notre travail a pour but de de terminer la vulnérabilité et les risques de pollution des eaux souterraines de la région de Tousnina pour identifier les sites d'enfouissement des déchets.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons structuré notre étude en cinq chapitres :

Dans le **premier chapitre**, nous essayerons de comprendre le cadre physique et géologique de la région d'étude à travers une étude bibliographique.

Dans le **deuxième chapitre** fera l'objet de l'étude hydroclimatologique de la région.

Au **troisième chapitre** nous allons présenter le chapitre hydrogéologie.

Puis au **quatrième chapitre** il sera question de la vulnérabilité des systèmes aquifère de la région de Tousnina. à la fin dans le **cinquième chapitre** nous allons donner un sur aperçu des sites d'enfouissement des déchets.

Chapitre01 :

Cadre physique et géologique

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets (wilaya de Tiaret)

1.1. Introduction :

Le cadre physique et géologique sont primordiales pour comprendre le cheminement et le comportement des eaux souterraines. Ainsi, dans ce chapitre nous allons essayer de comprendre, le réseau hydrographique, les formations géologiques, le relief et les activités humaines dans la zone d'étude.

1.1.2. Cadre géographique :

1.1.3-Situation de la wilaya de Tiaret :

La wilaya de Tiaret Située à l'ouest de l'Algérie et fait partie des hauts plateaux, elle s'étend sur une superficie de 20 050,05 Km².

La position géographique de la Wilaya de Tiaret apparait comme un centre de liaison important entre plusieurs wilayas et une zone de contact entre le Sud et le Nord. Elle est limitée :

Au Nord, par les wilayas de Tissemsilt et Relizane; au Sud, par les wilayas de Laghouat et d'El Bayadh; à l'Ouest par les wilayas de Mascara et Saida; à l'Est, par la wilaya de Djelfa.

Son étendue confère à son espace un caractère hétérogène caractérisé par une zone montagneuse au Nord, des hautes plaines au centre et par des espaces semi-arides au Sud ce qui montre la diversité des paysages et du relief. (**Fig 1.1**)

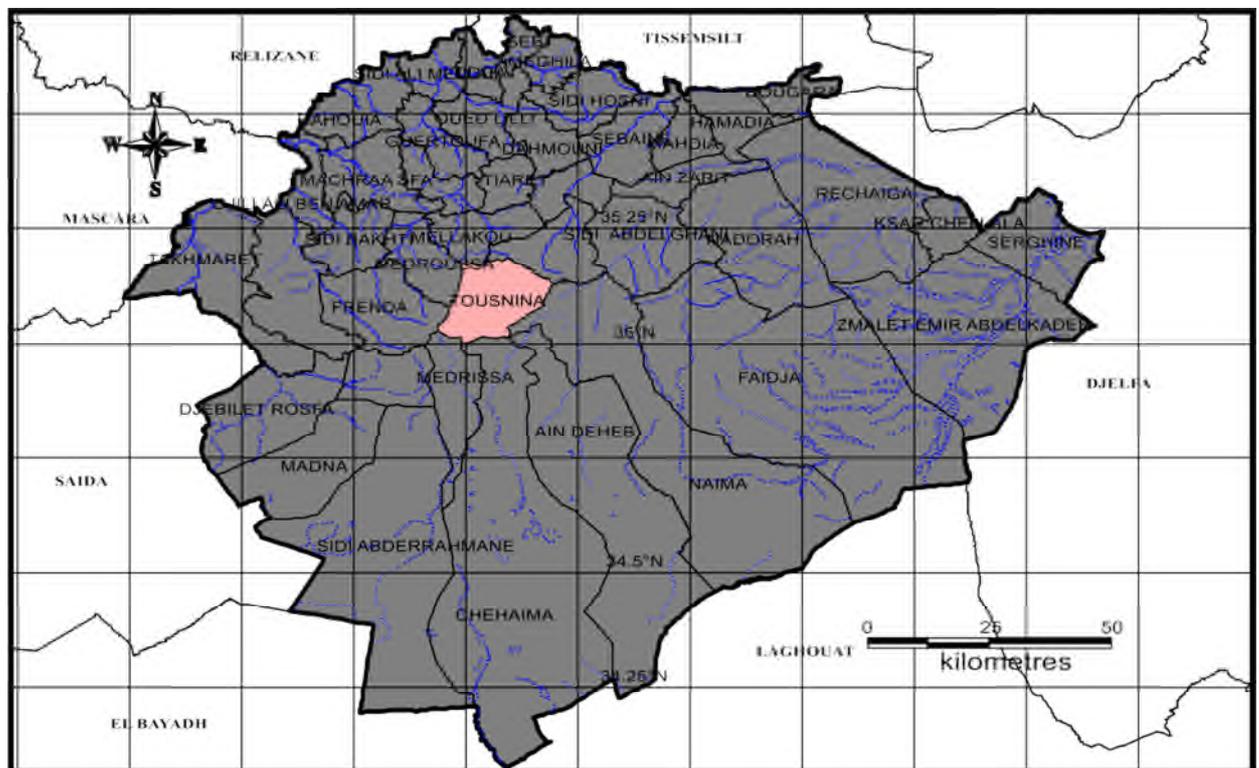


Fig 1.1: Carte de situation géographique de la wilaya de Tiaret

1. 2. Situation géographique de la zone d'étude :

La commune de Tousnina relève de la wilaya de Tiaret. Elle est localisée dans la région Nord-Ouest de l'Algérie à une altitude moyenne de 1100_m à la latitude Nord de Longitude min : 1.1874° et Longitude max : 1.4425°, Latitude min : 35.0005° et Latitude max : 35.1845°

La région de Tousnina est limitée au Nord par les villes de Melakou et Sougueur , à l'Ouest par les villes Medroussa et Frenda, au Sud par Medressa et Chahaima et à l'Est par les villes de Naima et Ain Deheb (**Fig. 1.2**)

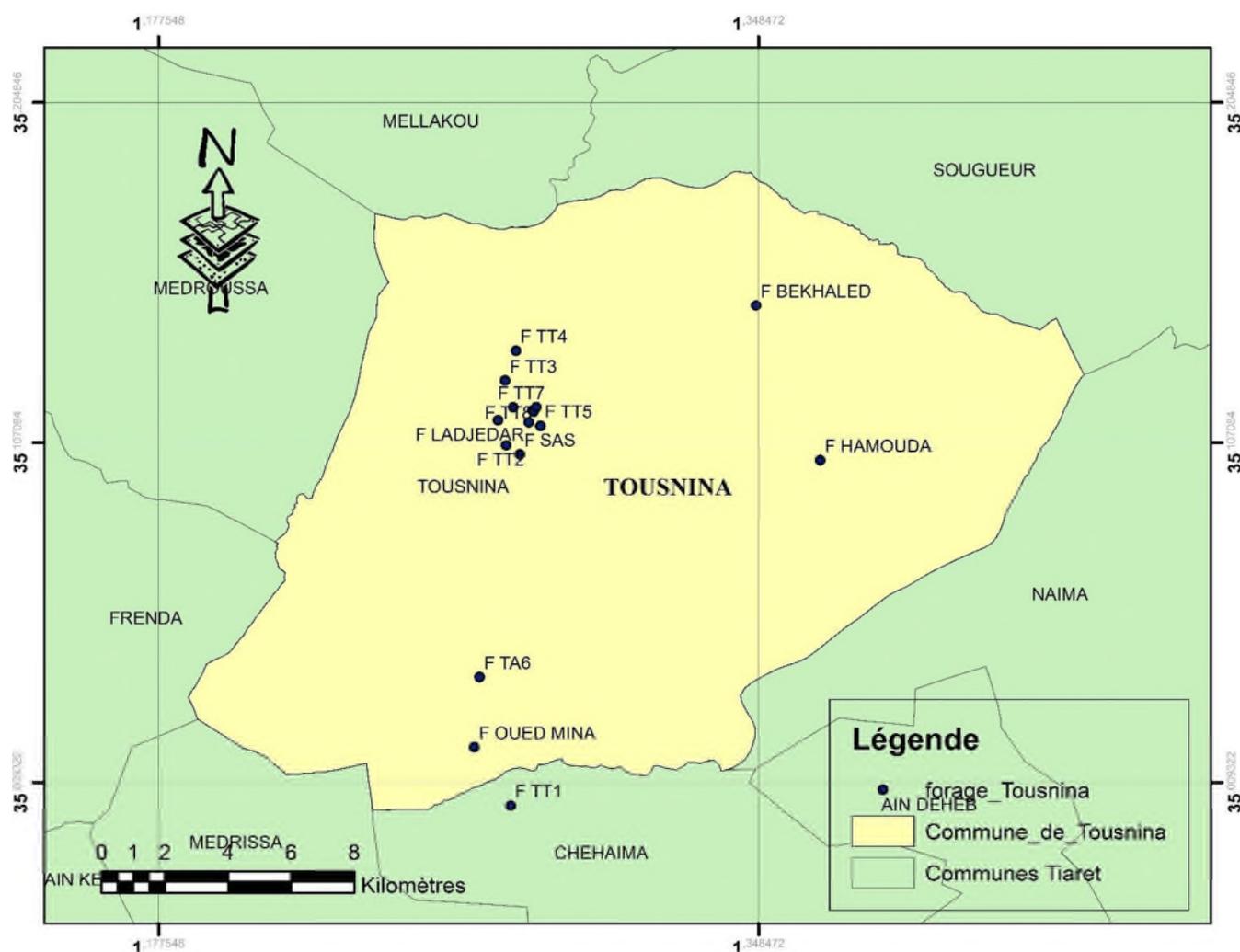


Fig1.2 : La carte de situation géographique de la région de Tousnina

1.2.1. Evolution de la population :

Par sa position et sa superficie, la ville de Tounina est une petite ville de la wilaya de Tiaret. Elle a connu une croissance rapide de sa population depuis l'indépendance ou elle atteint actuellement plus de 14000 habitants, dont les besoins en eau de cette dernière (AEP,) est sans cesse croissante.

Tableau 1.1 : Population de la commune de Tounina (RPGH, 2018)

| Commune | RGPH (2008) | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tounina | 12419 | 13247 | 13419 | 13549 | 13784 | 13977 | 14173 |

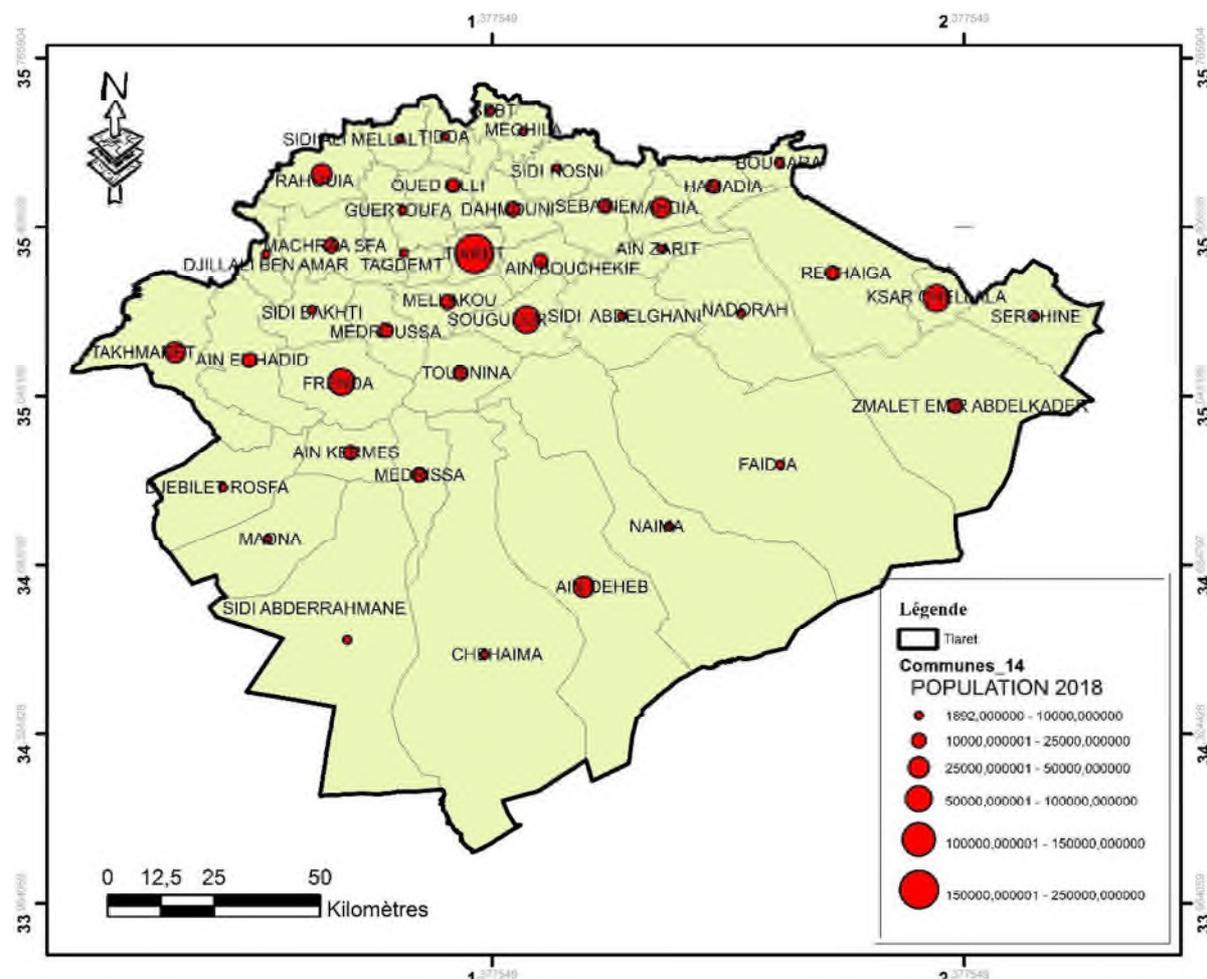


Fig. 1.3: Carte de répartition de la population de la wilaya de Tiaret par communes de l'année 2018.

1.3. Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de notre zone d'étude est moyennement dense. Il est composé de "Oued mina". (Fig. 1.4)

Cet oued, qui draine les eaux pluviales vers Oued Touil, est alimenté par des chevelus hydrographiques composés de petits oueds par exemple Oued el Houaria, et de quelques affluents importants (Chaabat el Maleh et Chaabat el Matmar).

La surface du sol peut être unie pour une grande partie du secteur d'étude mais elle est entaillée par de petites incisions linéaires lorsque le ruissellement se concentre avec une pente plus forte et des débits plus importants.

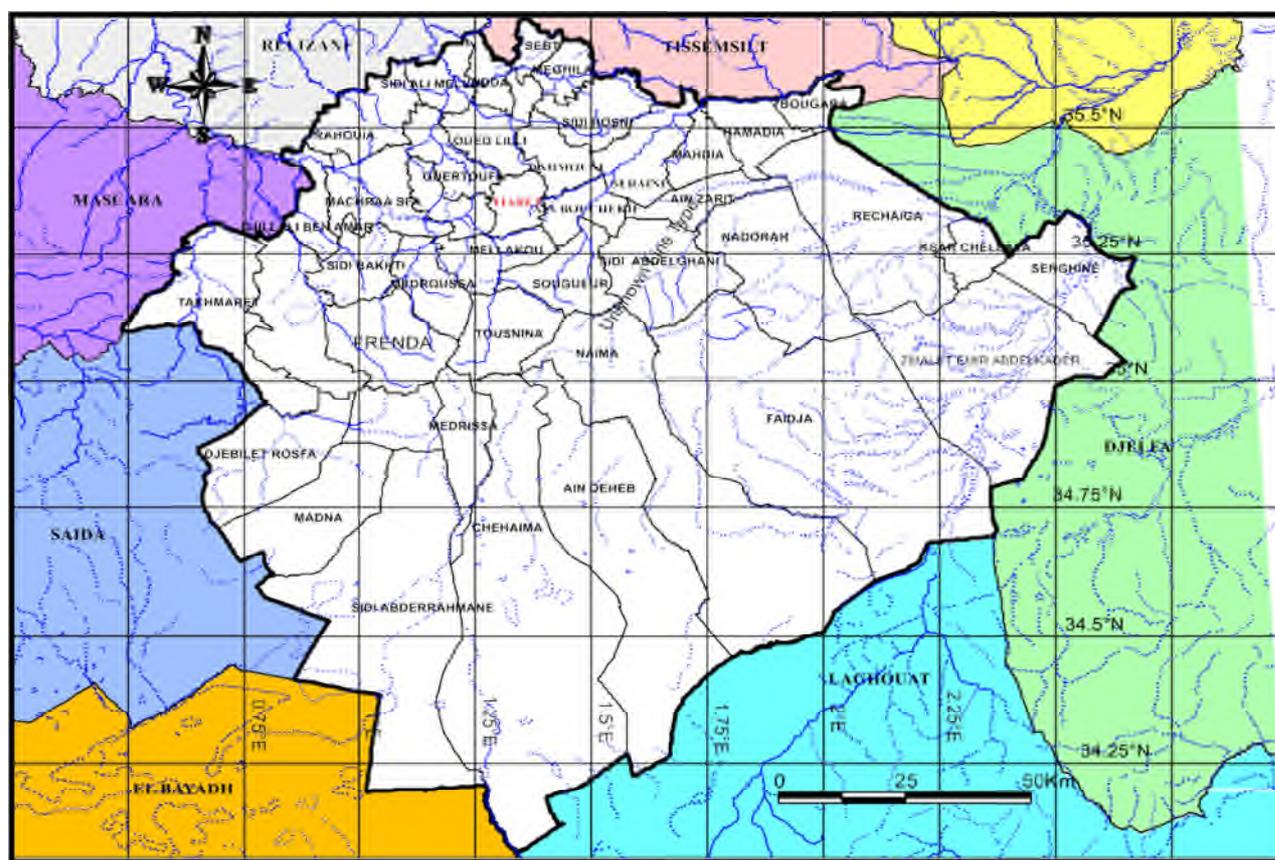


Fig1.4 : La carte du réseau hydrographique de la wilaya de Tiaret

1.3.1. Sol et végétation :

Le découpage du territoire de la wilaya de Tiaret fait ressortir 07 zones et 20 sous zones homogènes qui se répartissent sur une superficie de 2.022.234 Ha dont 8% sont à typologie forestière.

Au Nord de la commune les sols sont très peu évolués et de faible profondeur, les terres de moindre importance sont constituées essentiellement d'éléments grossiers (conglomérats, graviers) avec des affleurements d'épaisses croûtes calcaire-gréseuses.

Au Sud de la commune de Tousnina les terrains s'étendent sur des alluvions anciennes formées d'éléments plus fins (argiles, limons et sables) qui constituent des sols relativement bons à structure équilibrée.

Ces différentes caractéristiques morphologiques et topographiques expliquent la diversité dans l'utilisation et l'occupation du sol quant au couvert végétal, il s'identifie à la nature et la lithologie des sols, le paysage naturel de la commune de Tousnina se caractérise par une végétation moins dense et un bassin versant étendu. La couverture forestière s'étend sur une superficie de 2342 ha, soit 19 % de la superficie totale de la zone. Constituée principalement de pin d'HALEP de chêne vert et de chêne liège, ce patrimoine forestier se localise principalement au nord de la commune. **(HPO, 2012)**.

Le reste des sous zones est constituées de vallées et de plaines agricoles, qui sont à typologie agricole, agro-pastorale et agro- sylvo-pastorale **(BNEDER, 2006)**.

1.3.2. Aperçu géomorphologie :

La zone d'étude s'étale sur deux domaines naturels bien distincts, les plaines au Nord et les hautes plaines au Sud et Sud-est. Dans ce contexte, la région est délimitée sur le plan naturel au Nord et Nord-est par le plateau du Sersou **(Fig. 1.5)**. À l'Ouest par les hautes plaines de Sougueur. Au Sud, Ce territoire n'a donc pas de caractère homogène : il se caractérise par une alternance de milieux très contrastés dont les grands ensembles sont au nombre de deux : **(Ouedraogo H. et Arraria A., 2017)**

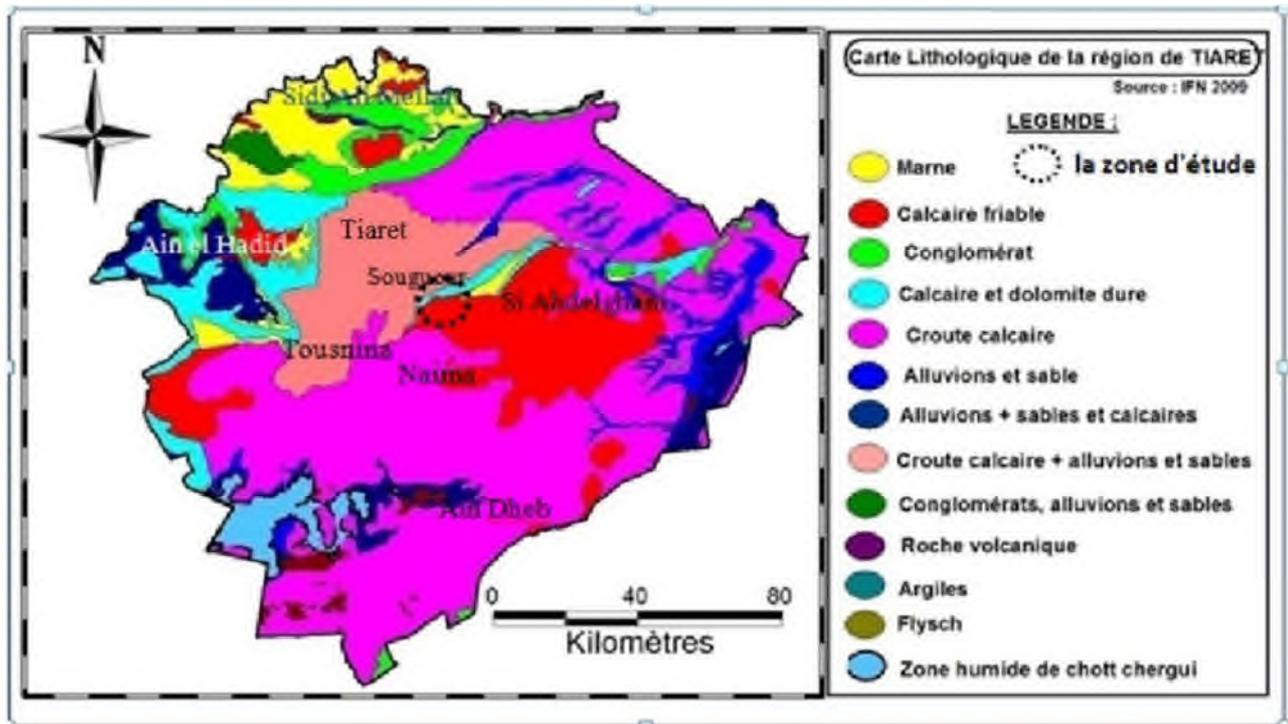


Fig. 1.4: Carte lithologique de la wilaya de Tiaret (CFT, 2009)

1.4. Géologie régionale:

L'Algérie est divisée de la méditerranée au Sahara, en quatre unités géomorphologiques et structurales, qui sont du Nord au Sud :

Le domaine tello-rifain, qui fait partie de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord ;

Le domaine Méssitien est représenté par les Hautes Plateaux (appelés aussi Meseta Oranaise ou Hautes Plaines oranaises) qui se terminent en « V » vers l'Est, entre le domaine tellien et l'Atlas saharien ;

Le domaine Atlasique dont la limite méridionale est représentée par un accident tectonique nommé (la flexure sud atlasique) ;

Le domaine Saharien : Dans la région d'étude, plusieurs grandes structures existent. Cependant, nous ferons une brève description des plus importants qui entrent en relation avec notre travail. Ainsi, on peut distinguer les monts de Tiaret, le Plateau de Sersou et les monts du Nador.

1.4.1. Les monts de Tiaret :

Ils font partie de la limite méridionale Ouest du massif de l'Ouarsenis. Ces monts sont formés entre autres par les djebels Mahamou, Sidi Maarouf, Bechtout, Ghezoul qui appartiennent déjà à la bordure Sud tellienne, qu'entaillent des oueds tels le Rhiou, le

Tiguigest et le Tamda. Sur ces montagnes apparaissent les formations de miocène, de l'oligocène et du Jurassique.

1.4.2. Le plateau de Sersou:

Le Plateau du Sers ou se présente comme une "vaste dépression allongée Ouest- Est, comblée à la fin du Miocène et pendant le Plion-Quaternaire par des dépôts fluvio- lacustres arrachés aux massifs de l'Ouarsenis et du Djebel Nador" (**Grenet, 1966**). À l'exception de modestes reliefs entre Tiaret et Sougueur, le paysage est plat avec une légère pente SO-NE près des principaux cours d'eau.

1.4.3. Les monts du Nador :

A environ 40 km au Sud -Est de Tiaret, les monts du Nador forment un alignement des reliefs orientés SW-NE qui culmine à 1508 m au Djebel Chemeur. Ils s'étendent sur 45km environ depuis le Djebel En Nador à l'Ouest jusqu'au Djebel Goudjila à l'Est. Ils se développent dans une zone de transition située entre les Hautes Plaines oranaises au sud et le plateau du Sersou au Nord (**Atrops et Benest, 1981**). Ces monts appartiennent aux domaines pré atlasique (**Caratini, 1970 ; Guiraud, 1973 ; Elmi, 1978-1984 ; Doues Bengoudira, 2012**).

La chaîne du Nador, est subdivisée en trois grands ensembles de chaînons, allongés selon trois directions principales :

Un chaînon occidental de « Beloulid » : Il s'allonge sur environ 20 km et il contient plusieurs sommets tel que (Djebel En Nador, Djebel Ben en N'sour et Djebel Rekbet Er Retem) ;

Un chaînon médian de « Harmela » : Il contient sur une direction SSW-NNE les sommets suivants (Djebel Harchaou Occidental, Djebel Es Safeh et Djebel Sekouma) ;

Un chaînon oriental de « Bezzez » : Il comprend sur une direction de WSW-ENE les reliefs de (Djebel El Medloum, Djebel Chemour, Djebel Harchaou oriental et Djebel Goudjila)

La chaîne du Nador est constituée de terrains jurassiques et laisse apparaître un anticlinal du Trias (argiles bariolées, gypses et calcaires) et du Jurassique (calcaires, dolomies et marnes) (**DRE Tiaret, 2007**).

1. 5. Lithologie des formations géologiques (Tiaret) :

D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs géologues et en particulier par **Ficheur, 1970**, la région d'étude est représentée par la succession de terrains allant du Jurassique au Quaternaire. Le terrain constituant la structure du Djebel Guezoul

est une superposition de bancs de grés tendres du Miocène surmontant en concordance une assise argileuse de la même formation.

1.5.1. Le Jurassique inférieur-Moyen :

Le Jurassique inférieur et moyen est caractérisé par des calcaires marneux à silex, des marnes, des dolomies cristallines et du calcaire massif et localement dolomitique.

1.5.2. Le Jurassique supérieur :

Jurassique supérieur affleure dans les monts de Tiaret au Djebel Bou Rharda (1000m), au Djebel Louza et Djebel Oudia avec des couches subhorizontales.

Le Malm est à une lithologie composée des argiles, des grés, du calcaire et des marnes. Egalement, le Kimméridgien présente des dolomies calcaires et des argiles. Enfin, au Tithonien on a des dolomies cristallines, des calcaires et des marnes.

1.5.3. Le Crétacé :

Le crétacé supérieur est caractérisé par une alternance de dépôts marins et continentaux. Il est observé au sud de Tiaret et dans d'autres communes (Mellakou, Medroussa, etc.) avec des formations calcaires et des marnes.

Après la régression du crétacé supérieur, il est à nouveau submergé, par les dépôts Eocènes et Oligocènes marins. Les formations continentales Nummulitiques sont représentées par des calcaires lacustres, des grès et des conglomérats.

1.5.4. Eocène (yprésien et lutétien inférieur) :

Ce sont des formations calcaire-marneuse localisé au niveau de l'Oued Salenese.

1.5.5. Le Miocène :

Le Miocène supérieur et moyen est constitué par des formations gréseuses correspondant à la région Mechraa Sfa.

Le Miocène Inférieure est représenté par le Burdigalien où l'on a toujours des formations gréseuses puis du conglomérat et des marnes.

1. 5.6. Les dépôts du Plio-quaternaire :

Ils sont constitués de cailloutis (grés et conglomérats) et marne.

1.5.7. Le Quaternaire :

De l'Holocène, on assiste à des dépôts continentaux tels des alluvions récentes, des alluvions des terrasses anciennes, des dépôts de daïas et des croutes de calcaires au plateau de Sersou. Ces dépôts de formation récente proviennent de la désagrégation de la roche mère et sont composés de divers éléments (sables, galets et cailloutis) de taille grossière. L'épaisseur de ceux-ci varie en fonction de la topographie du terrain.

| Etage | Coupe stratigraphique | Epaisseur | Lithologie |
|----------------------|-----------------------|-----------|----------------------------|
| Plio Quaternaire | | 10 m | Alluvions |
| Miocène inférieur | | 40 m | Conglomérats+Argiles |
| Sénonien | | 35 m | Calcaires à gypse |
| | | 100 m | Dolomies cristallines |
| | | 100 m | Marno-calcaires |
| | | 50 m | Calcaires graveleux |
| Turonien | | 100 m | Dolomies calcaires |
| Cénomanién | | 150 m | Calcaires marneux fissurés |
| | | 30 m | Dolomies+ calcaires |
| | | 10 m | Lumachelles |
| | | 150 m | Argiles gréseuses |
| Crétacé inférieur | | 100 m | Grés |
| Jurassique supérieur | | 20 m | Dolomies cristallisées |

Fig. 1.4 : Coupe Litho stratigraphique locale de Tiaret (Bouchentouf K., 1982)

1.6.1. Aperçu générale du relief de la wilaya :

Située dans le Nord-Ouest algérien, la région de Tiaret comprend les Monts de Tiaret, les Monts de Frenda, les Monts du Nador, les Monts de Chellala, le plateau de Sersou et le plateau d'Ain Taga.

Le Nord qui coïncide en gros avec l'ensemble tellien, regroupe la vallée de la Mina et les monts de Tiaret. Ces monts constituent une zone collinaire et montagneuse dont le plus important est le Djebel Guezoul qui culmine à plus de 1200 m et s'oriente suivant la direction Sud-Ouest Nord-Est. Le relief est accidenté, avec des versants raides et fortement entaillés par de profonds ravins ;

A cela s'ajoute à l'Est, le plateau de Sersou qui est une bande étroite plus ou moins tabulaire marquant une transition vers le domaine steppique. L'altitude moyenne est de 950m et il se caractérise par une succession de cônes de déjection, de pentes moyenne à faibles .

Le sud correspond aux zones steppiques avec des sous espaces : le massif du Nador, le secteur oued Sousslem, Rechaiga, la vallée d'oued Mina avec ses affluents, la zone des

expérimentations d'aménagement de la steppe, la sous zone périphérique du Chott Chergui abritant le périmètre aménagé d'Ain Skhouna et les sebkhas.

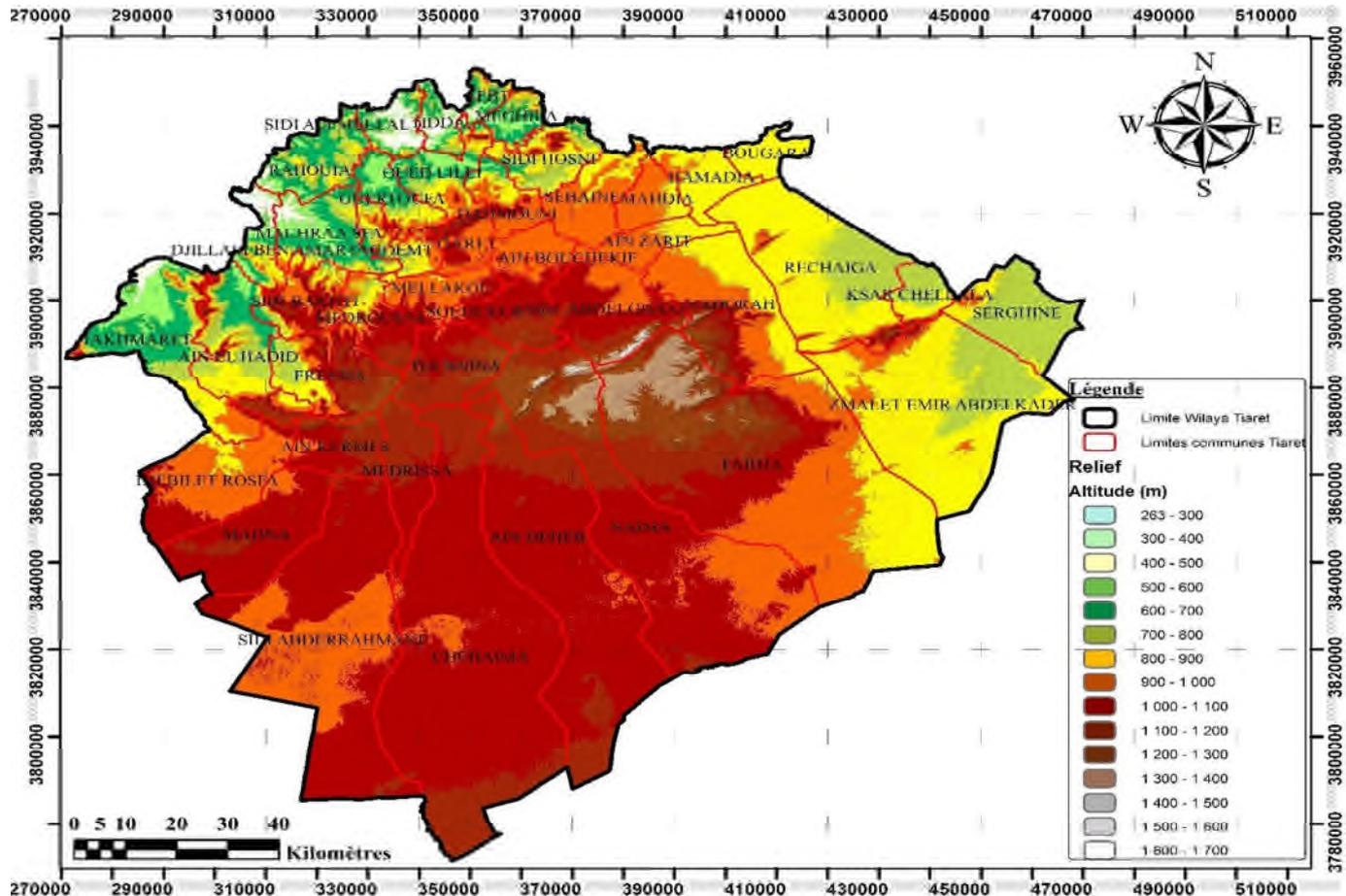


Fig1.5: Carte altimétrique de la wilaya de Tiaret

1.6.2. Aperçu tectonique

Les grandes lignes tectoniques de la région sont situées au niveau des monts de Tiaret, du Djebel Nador et sont régies par des faciès du Secondaire et Tertiaire. Le plateau du Sersou qui correspond à un vaste synclinal, est comblé par des dépôts Tertiaires à continentaux. Il est Limité au Sud par le vaste anticlinal du Nador où le Centre est marqué par un accident tectonique majeur de direction SW-NE faisant apparaitre le Trias. Au Nord, l'anticlinal de Tiaret fait sortie un socle rigide formé de roches volcaniques, mise à jour à la faveur de faille de direction Est-Ouest. (In Belhakem A. et Salah A., 2015)

1.7. Conclusion :

La zone d'étude fait partie de l'Oued Mina caractérisée par des ensembles géomorphologiques variées. De point de vue topographique elle est caractérisée par une surface relativement plane à une altitude moyenne de 1100 m, avec une altitude minimale de 980m au niveau de Sidi Nahel.

La reconnaissance géologique de la zone d'étude a été effectuée sur la base des observations des affleurements lors de notre visite sur terrain ainsi que par l'exploitation des études et des essais faits dans la région.

Certaines formations géologiques sont suffisamment poreuses ou fissurées pour contenir de l'eau selon la nature géologique des terrains c'est le cas de notre zone constituée généralement par des calcaires, des grés et des alluvions.

Chapitre 02 : **Etude hydroclimatologique**

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets (wilaya de Tiaret)

2.1. Introduction :

L'étude hydroclimatique est primordiale pour toute l'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.

Pour mener à bien cette étude du climat, nous disposons des données de précipitations et de températures de la station météorologique d'Ain Bouchékif situé à 20km de la ville de Tiaret.

Tab. 2.1: Les caractéristiques de la station d'Ain Bouchékif

| Station | Coordonnées en UTM Zone 31N | | Altitude (z) | code | Période d'observation |
|--------------------------|--------------------------------|------------|--------------|--------|--------------------------|
| | X (UTM) | Y (UTM) | | | |
| Ain Bouchekif | 361514.01 | 3912160.19 | 970 m | 010904 | 1986-2018 |

2.2. Les précipitations :

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes d'eaux souterraines.

2.2.1. Les Précipitations moyennes mensuelle :

Sur une période de 32 ans, le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec 46.55 mm de précipitation, et le mois de juillet comme le mois le plus sec avec 4.43 mm. La moyenne mensuelle est de l'ordre de 30,96 mm.

Ci-dessous est mentionnée la moyenne mensuelle des précipitations mesurée à la station d'Ain Bouchékif. (Ouedraogo A .et Arraria A, 2018)

Tab.2.2 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

| Mois | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jun | Jul | aout |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| P moy | 28,25 | 34,62 | 40,74 | 38,21 | 46,55 | 43,0 | 42,34 | 41,99 | 31,34 | 12,63 | 4,43 | 11,44 |

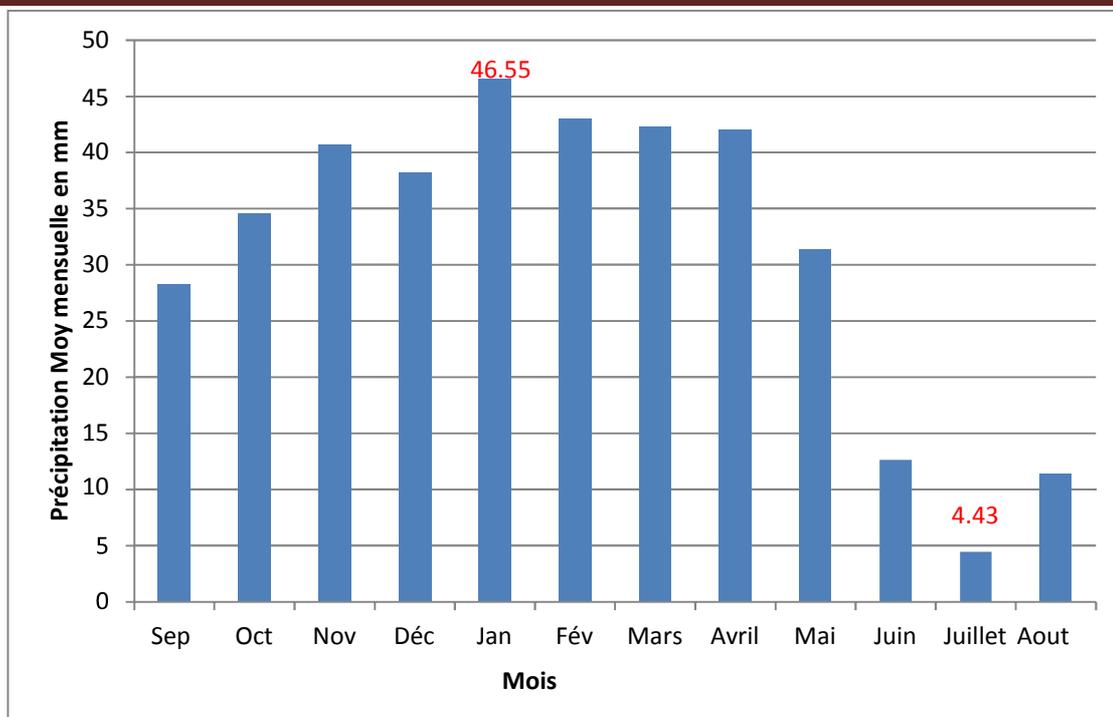


Fig. 2.1. : Les précipitations moyennes mensuelles (en mm) de la station d’Ain Bouchékif (1986-2018)

L’histogramme de la figure 2.1, donne un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans la région d’étude. Une période pluvieuse constituée par les mois les plus arrosés, se situe entre Octobre et Juin ou en trouve le mois de Janvier est le mois le plus pluvieux ou on a enregistré un maximum de l’ordre de 46.55mm. Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux auquel on marque un minimum de l’ordre de 4.43mm seulement.

2.2.2. Régime saisonnier des précipitations :

La répartition des précipitations selon les saisons sont représentées sur le tableau suivant :

Tab. 2.3 : Précipitations saisonnières de la station d’Ain Bouchékif (1986-2018)

| Station | Automne Sep-Oct-Nov | | Hiver Déc-Jan- Fév. | | Printemps Mar-Avr-Mai | | Été Juin-Juill-Aout | |
|----------------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|--------------------------|---------------|------------------------|--------------|
| | P (mm) | P(%) | P (mm) | P (%) | P (mm) | P (%) | P (mm) | P (%) |
| Ain Bouchékif | 102,39 | 27,29% | 146,72 | 39,11% | 97,58 | 26,01% | 28,45 | 7,58% |

Une période plus pluvieuse allant du mois Septembre au mois de Mai, c'est-à dire pendant les trois saisons (Automne, Hiver et Printemps) avec une moyenne maximale de 146.72 mm (en hiver).

Une période moins pluvieuse qui correspond aux mois de juin, juillet et aout avec une précipitation moyenne de l'ordre de 28.45 mm (en été).

Il en découle que près de $\frac{3}{4}$ des précipitations tombent en une période plus pluvieuse avec un Maximum de pluviométrie de 39.11% en hiver et un minimum en Automne soit **27.29%**.

La moyenne de précipitation annuelle de 32ans (1986-2018) c'est la somme des précipitations saisonnière soit **375.54mm**.

2.2.3. Précipitations moyennes inter-annuelles et Coefficient pluviométrique (Cp) :

Afin de caractériser la variation des données des précipitations mensuelles, on utilise le « coefficient pluviométrique » qui permet de distinguer les années excédentaires (CP > 1 année excédentaire (AE)) de celles déficitaires (CP < 1 année déficitaire (AD)).

Il est déterminé par la formule suivante :

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

Cp : coefficient pluviométrique.

P : Précipitation annuelle.

P moy : Précipitation interannuelle.

Tab 2.4. : Précipitations inter-annuelles et coefficients pluviométriques (Cp) de la zone d'étude (1986-2018)

| Année | Lame précipitée P (mm) | CP | Obs | Année | Lame précipitée P (mm) | CP | Obs |
|-----------|------------------------|------|-----|--------------|------------------------|------|-----|
| 1986/1987 | 360.3 | 0.96 | AD | 2002/2003 | 325 | 0.87 | AD |
| 1987/1988 | 327.2 | 0.88 | AD | 2003/2004 | 455.5 | 1.23 | AE |
| 1988/1989 | 344.8 | 0.92 | AD | 2004/2005 | 272.5 | 0.73 | AD |
| 1989/1990 | 254.8 | 0.68 | AD | 2005/2006 | 437.3 | 1.18 | AE |
| 1990/1991 | 388.1 | 1.04 | AE | 2006/2007 | 314.3 | 0.85 | AD |
| 1991/1992 | 350 | 0.94 | AD | 2007/2008 | 300.5 | 0.81 | AD |
| 1992/1993 | 247.8 | 0.66 | AD | 2008/2009 | 568.2 | 1.53 | AE |
| 1993/1994 | 208.7 | 0.56 | AD | 2009/2010 | 594.6 | 1.60 | AE |
| 1994/1995 | 407.8 | 1.09 | AE | 2010/2011 | 393.3 | 1.06 | AE |
| 1995/1996 | 494.5 | 1.33 | AE | 2011/2012 | 351.6 | 0.95 | AD |
| 1996/1997 | 353.2 | 0.94 | AD | 2012/2013 | 587.4 | 1.58 | AE |
| 1997/1998 | 458.1 | 1.23 | AE | 2013/2014 | 421.4 | 1.13 | AE |
| 1998/1999 | 230.4 | 0.62 | AD | 2014/2015 | 429.8 | 1.16 | AE |
| 1999/2000 | 278.3 | 0.75 | AD | 2015/2016 | 392.5 | 1.06 | AE |
| 2000/2001 | 343.7 | 0.92 | AD | 2016/2017 | 284.2 | 0.76 | AD |
| 2001/2002 | 346.6 | 0.93 | AD | 2017/2018 | 495 | 2.02 | AE |
| | | | | MOY P | 375.54mm | | |

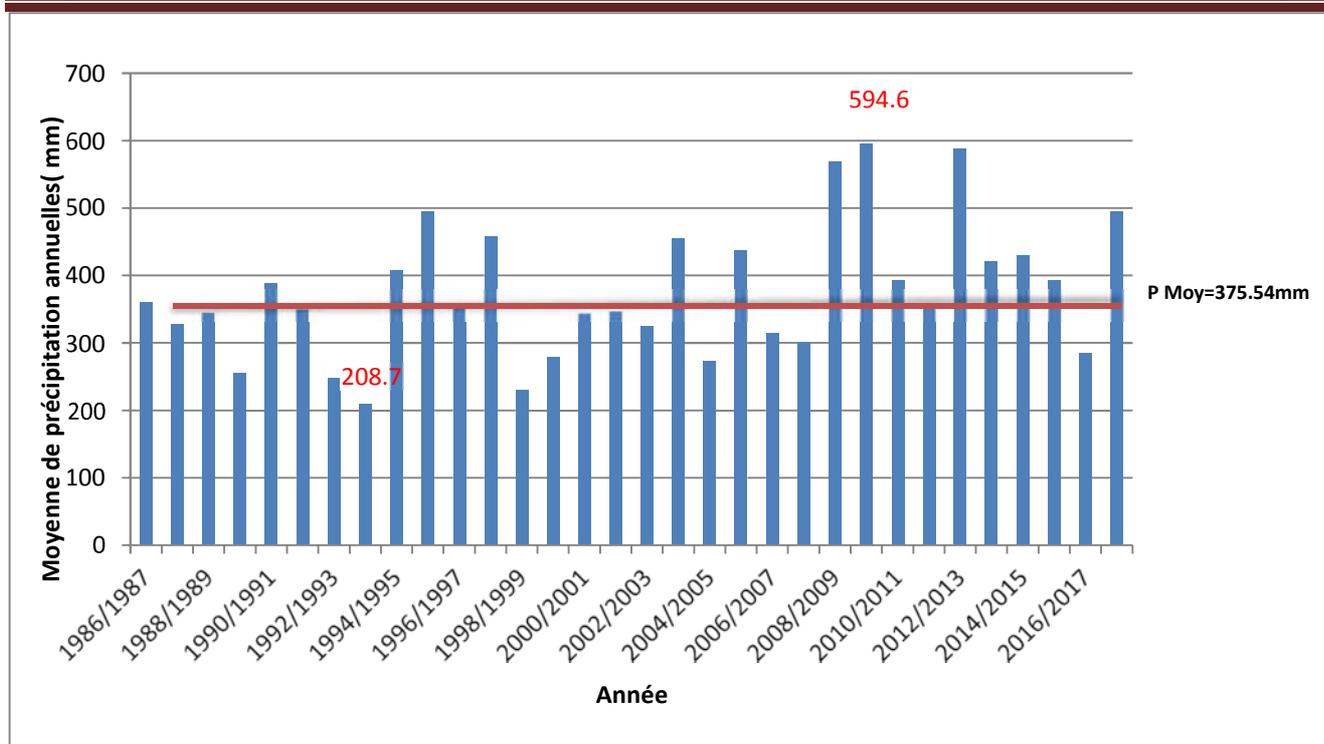


Fig. 2.4 : Répartition des précipitations inter-annuelles de la région d'étude (1986-2018)

Dans la période 1986-2018 (32 ans), l'analyse des précipitations inter-annuelles montre que l'année 2009/2010 est l'année la plus arrosée avec 594.6 mm/an alors que l'année 1993/1994 est la plus sèche avec 208.7 mm/an. La moyenne des précipitations inter-annuelles est de 374.754 mm. On constate aussi que quatorze années (14 ans) furent excédentaires alors que les dix-huit autres années (18 ans) étaient déficitaires.

2.3. Températures :

2.3.1. Les températures moyennes mensuelles :

La Température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration, cette dernière est aussi un paramètre indispensable pour l'estimation du bilan hydrologique.

Tab. 2.5 : Les températures moyennes mensuelles (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aou | Moy |
|-----------|-------|-------|-------|------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tmoy (°C) | 22.67 | 18.03 | 11.28 | 7.41 | 7.39 | 8.5 | 10.95 | 15.02 | 20.30 | 24.18 | 28.65 | 27.97 | 16.87 |

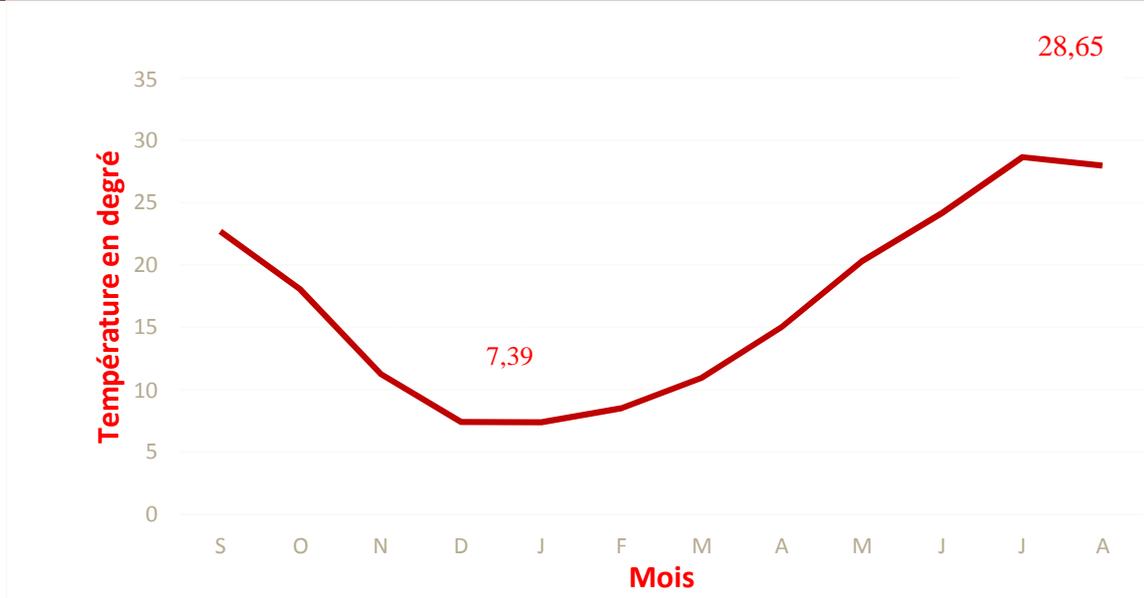


Fig. 2.5 : Variations mensuelles des températures (°C) de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018).

La température atteint le minimum au mois janvier avec 7.39° et le maximum au mois de juillet 28.65° degrés

2.4. Diagramme ombrothermique

Bagnouls et Gausson en 1953, ont établi un diagramme qui permet de dégager la durée de la période sèche en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles des températures en °C avec celles des précipitations en mm ;on admettant que le mois est sec lorsque « P est inférieur ou égal à 2T ». (In Aichouch F., Moulayat K. et Didane Z., 2017)

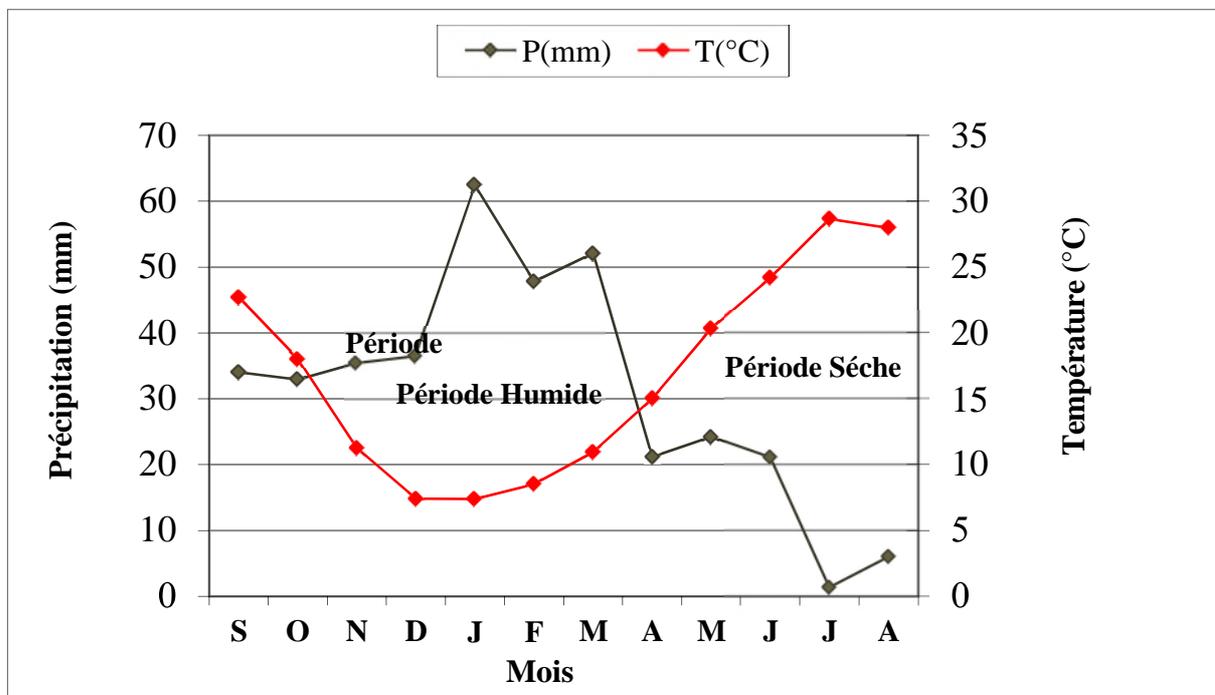


Fig. 2.6: Diagramme ombro-thermique de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

D'après la figure 2.5 on peut distinguer deux périodes : Une période sèche qui s'étale du mois de mars jusqu'au mois de novembre et une période humide qui débute le mois d'Avril et termine le mois

d'Octobre.

2.4.1. Indice d'aridité Annuelle de DE MARTONNE (1923) :

L'indice d'aridité annuelle de **De Martonne** permet de calculer le degré d'aridité annuelle d'une station quelconque. Sa formule s'écrit de la manière suivante :

$$I = P / (T+10)$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Il est d'autant plus grand que le climat est humide. Le tableau suivant montre la classification des étages bioclimatiques en fonction de la valeur d'indice d'aridité.

Tab. 2.6 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et le type de bioclimat correspondant (De Martonne in Meddour, 2010)

| Valeur de l'indice | Type de bioclimat | Valeur de l'indice | Type de bioclimat |
|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 0-5 | Hyper-aride | 20-30 | Sub-humide |
| 5-10 | Aride | 30-55 | Humide |
| 10-20 | Semi-aride | >55 | Hyper-humide |

P=375.54; T = 16.86 donc I=18.5

La région d'étude se trouve dans une zone semi-aride à écoulement temporaire.

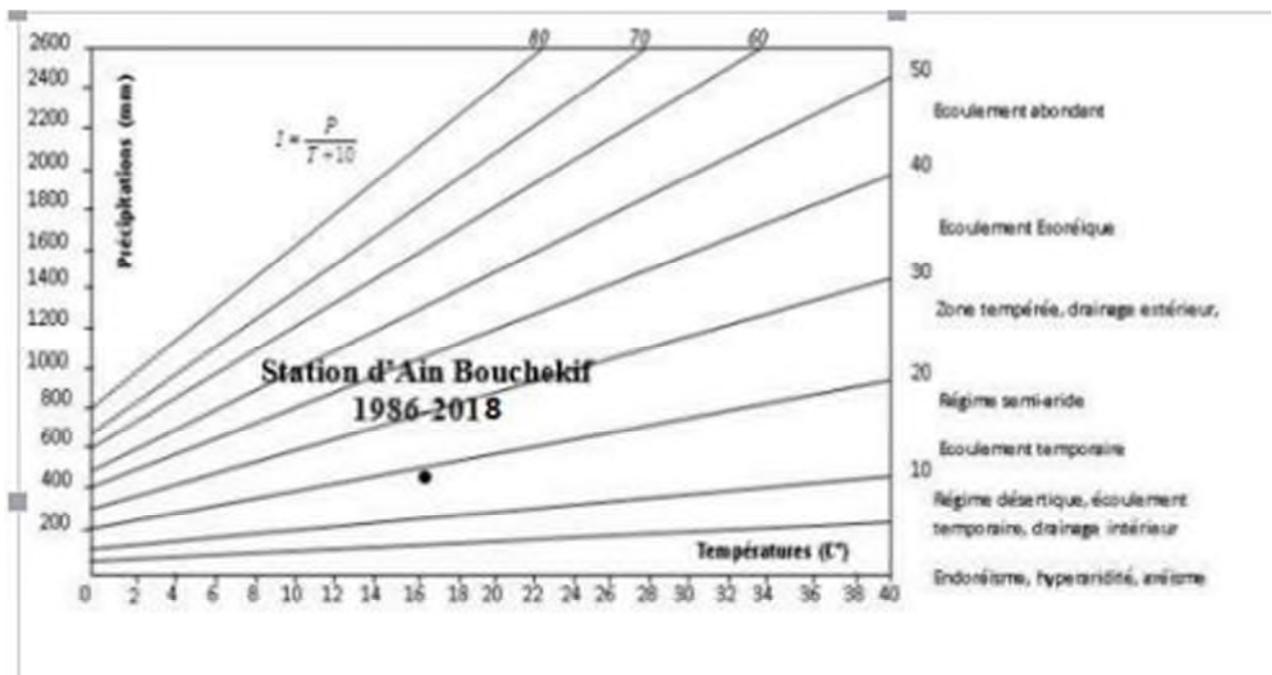


Fig 2.7 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martonne de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

2.5. Bilan hydrique:

Le bilan hydrique exprime le processus que suit une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation ou neige avant de se retourner à l'atmosphère.

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

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm), I : Infiltration(mm), P : Précipitation(mm), R : Ruissellement(mm).

2.5.1. L'évapotranspiration :

Des différentes parties du cycle de l'eau, l'évapotranspiration est le point le plus délicat à évaluer. Il convient de différencier l'évapotranspiration potentielle ETP, qui est la quantité d'eau théoriquement évaporable par une surface d'eau libre, et l'évapotranspiration réelle ETR, qui est la quantité d'eau réellement évaporée et qui dépend des conditions naturelles (végétation, nature du sol...) et de la quantité d'eau disponible dans le sol aussi appelée réserve utile (RU). (**Éric Gilli, Christian Mangan et Jacques Mudry, 2012**)

2.5.2. L'évapotranspiration potentielle :

L'ETP est calculée par la formule de C.W. **Thornthwaite (1948)**, qui utilise la température de l'air et la latitude de la station. On a:

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

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

$$I = \sum i$$

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

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.

Tab. 2.8: Evapotranspiration mensuelle calculée de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

| Mois | Sep | Oct | Nov | Dec | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Jul | Aou | Total |
|-----------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Tmoy (°C) | 22.67 | 18.03 | 11.28 | 7.41 | 7.39 | 8.50 | 10.95 | 15.02 | 20.30 | 24.18 | 28.65 | 27.97 | 16.87 |
| ETP (mm) | 100.85 | 60.81 | 22.01 | 9.29 | 9.93 | 12.67 | 24.91 | 48.65 | 95.14 | 133.98 | 188.28 | 168.23 | 874.77 |

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.

2.5.3. 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.

2.5.4. La formule de Turc (1961):

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

Avec : $L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$

La formule de Turc associée aux données de la station d'Ain Bouchékif donne les résultats suivants : $L = 300 + 25 \times 16.86 + 0.05 \times (16.86)^3$; $L = 724.02$ donc : **ETR=395.70mm**

2.5.5. Méthode de C.W.Thornthwaite:

La méthode de Thornthwaite se base sur la notion de réserve facilement utilisable appelée RFU. On admet ainsi que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau qui peut être reprise par l'évapotranspiration par l'intermédiaire des plantes. Aussi la satisfaction de l'ETP est prioritaire sur

l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il y ait écoulement il faut d'abord satisfaire le pouvoir évaporant. Trois cas peuvent se présenter (**Ouadraogo A. et Arraria A., 2018**):

$P > ETP$ donc $ETR = ETP$.

$P < ETP$ et alors $ETR = P + RFU$.

$P < ETP$ et la $RFU = 0$ et $ETR = P$.

Tab. 2.10. Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

| MOIS | T | I | K | ETP | P | BH | RFU | ETR | DA | EXD |
|-------|-------|-------|------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|-------|
| SEP | 22,67 | 9,86 | 1,03 | 100,01 | 28,25 | -71,76 | 0,00 | 28,25 | 71,76 | 0,00 |
| OCT | 18,03 | 6,97 | 0,97 | 60,81 | 34,62 | -26,19 | 0,00 | 34,62 | 26,19 | 0,00 |
| NOV | 11,28 | 3,43 | 0,86 | 22,01 | 40,74 | 18,73 | 18,73 | 22,01 | 0,00 | 0,00 |
| DEC | 7,41 | 1,81 | 0,81 | 9,29 | 38,21 | 28,92 | 47,64 | 9,29 | 0,00 | 0,00 |
| JAN | 7,39 | 1,81 | 0,87 | 9,93 | 46,55 | 36,62 | 50,00 | 9,93 | 0,00 | 34,27 |
| FEV | 8,5 | 2,23 | 0,85 | 12,67 | 43 | 30,33 | 50,00 | 12,67 | 0,00 | 30,33 |
| MAR | 10,95 | 3,28 | 1,03 | 24,91 | 42,34 | 17,43 | 50,00 | 24,91 | 0,00 | 17,43 |
| AVR | 15,02 | 5,29 | 1,10 | 48,65 | 41,99 | -6,66 | 43,34 | 48,65 | 0,00 | 0,00 |
| MAI | 20,3 | 8,34 | 1,21 | 95,14 | 31,34 | -63,80 | 0,00 | 74,68 | 20,47 | 0,00 |
| JUI | 24,18 | 10,87 | 1,22 | 133,98 | 12,63 | -121,35 | 0,00 | 12,63 | 121,35 | 0,00 |
| JUIL | 28,65 | 14,06 | 1,24 | 188,28 | 4,43 | -183,85 | 0,00 | 4,43 | 183,85 | 0,00 |
| AOU | 27,97 | 13,55 | 1,16 | 168,23 | 11,44 | -156,79 | 0,00 | 11,44 | 156,79 | 0,00 |
| Total | 16,86 | 81,50 | | 873,93 | 375,54 | -498,39 | | 293,52 | 580,41 | 82,02 |

2.6. Le ruissellement :

Le ruissellement de surface est la quantité d'eau, qui au cours d'une précipitation échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. Il est défini avec la formule de « **Tixeront- Berkaloff** »

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

Car : $P < 600\text{mm}$.

Avec :

R : Ruissellement en (m).

P : Précipitation moyenne annuelle en (m). ETP :

Evapotranspiration potentielle en (m).

Pour la station d'Ain Bouchékif :

A.N:

$$R = (375.54)^3 / 3(873.193)^2$$

$$R = 23.11 \text{ mm}$$

2.7. L'Infiltration :

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

$$I = 375.54 - 293.52 - 23.11 = 58.91 \text{ mm}$$

2.7.1. Interprétation des éléments du bilan hydrique :

Les éléments du bilan hydrique (Précipitation, Température, Evapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle) peuvent être représentés dans un même graphique pour mieux visualiser les différents paramètres sur toute l'année.

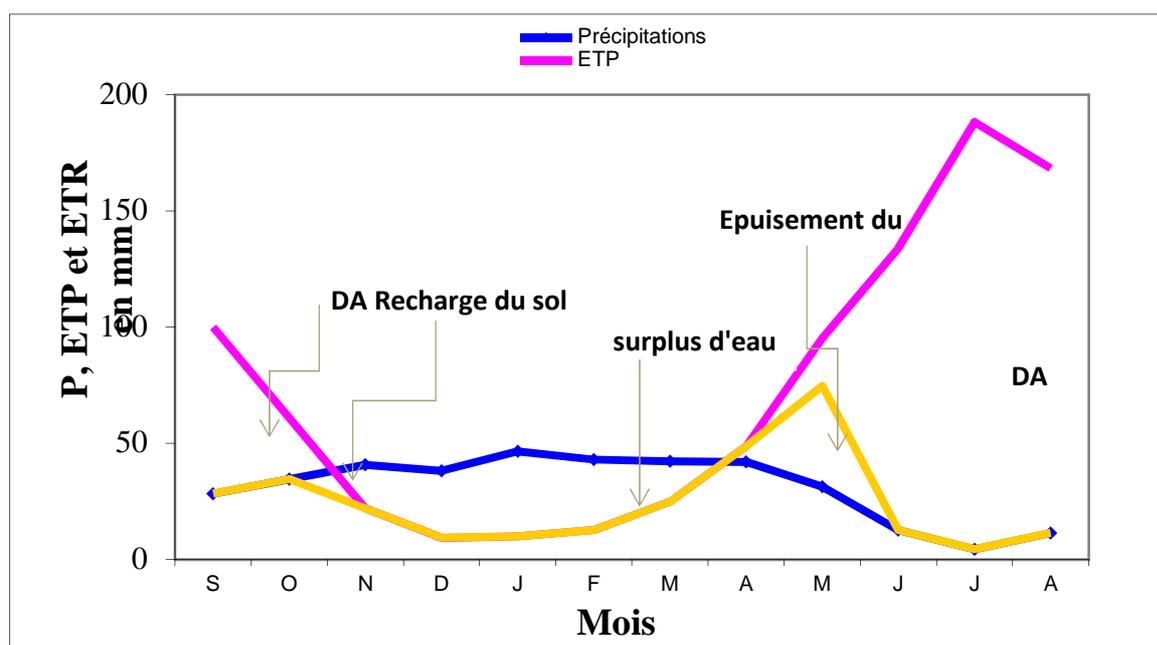


Fig. 2.8: Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchékif (1986-2018)

La région de Tousnina reçoit des précipitations moyennes annuelles de 375.54 mm et une température moyenne annuelle de 16.86°C. Le maximum et le minimum de l'évapotranspiration potentielle (ETP) sont respectivement atteints en juillet avec 188.28mm et en décembre avec 9.29 mm. L'ETP annuelle est estimée à 873.93 mm alors que l'ETR totale est de 293.52 mm l'année.

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus qui participe au ruissellement puis démunie pour se vider et provoquer un épuisement du stock conduisant à un déficit agricole s'étalant du mois d'avril jusqu' au mois d'octobre avec une moyenne annuelle évaluée à 580.41mm.

La reconstitution de RFU atteint son maximum (saturation 50 mm) au mois de janvier et reste ainsi jusqu' au mois de mars puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois d'avril- mai. L'écoulement débute après le remplissage de la RFU (50mm) au mois de janvier et se termine à la fin du mois de mars. L'excédent annuel (ruissellement et infiltration) est égal à 82.02 mm.

2.8. Conclusion :

Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec.

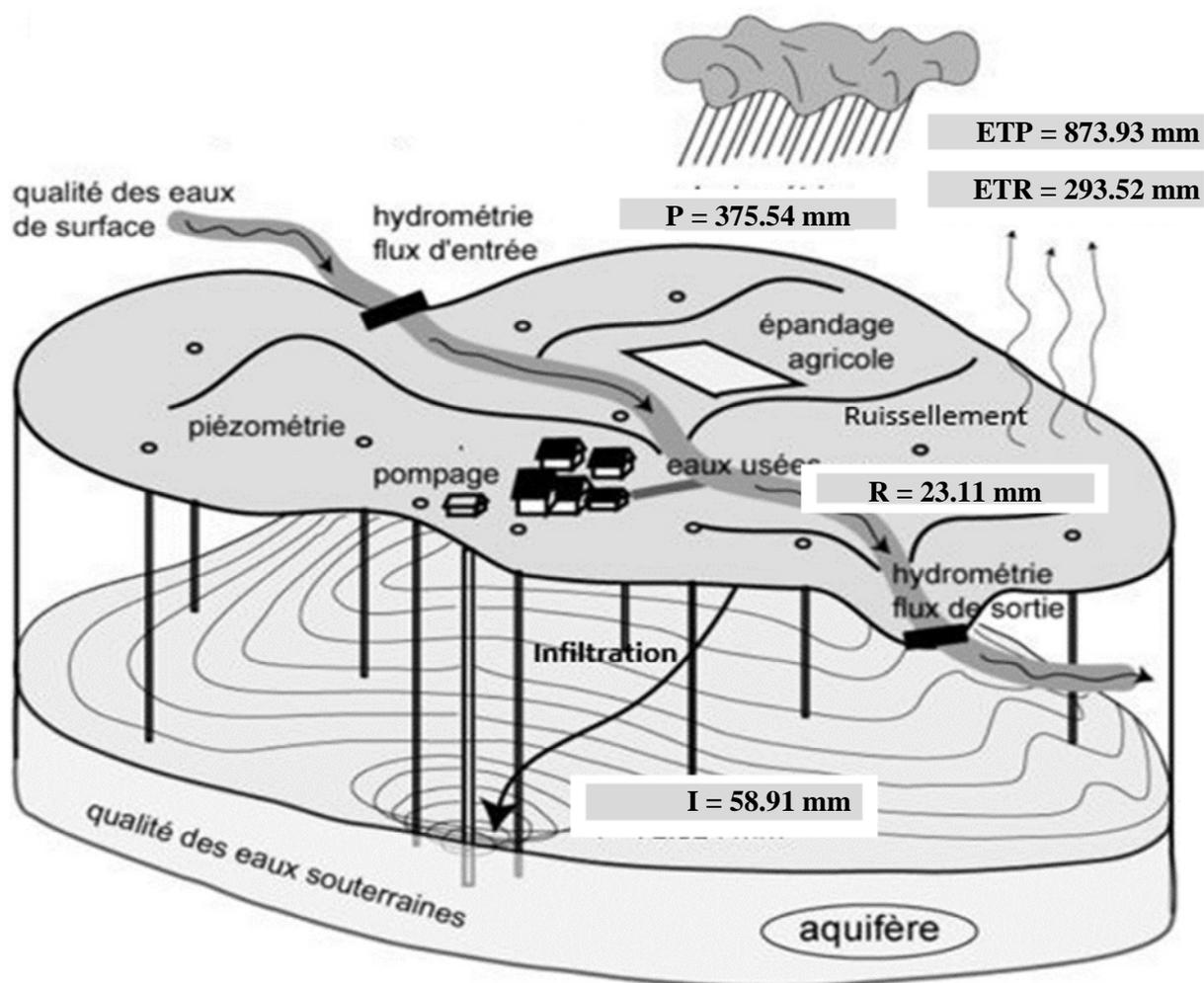
Le secteur appartient à une zone peu pluvieuse, avec une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 375.54 mm.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de : 16.86 C°.

L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle moyenne sont respectivement de 873.93mm, soit 232.17 % des précipitations et 293.52 mm, soit 78.15 % des précipitations.

Le déficit agricole estimé est de 580.41 mm étalé sur la période allant d'Avril jusqu'à Octobre, soit 178.08 % des précipitations.

Le ruissellement et l'infiltration représentent respectivement 6.15 % et 15.68 % des précipitations.



Chapitre 03 :

Etude hydrogéologique

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets (wilaya de Tiaret)

3.1. Introduction :

L'étude hydrogéologique est prépondérante à la compréhension des processus d'alimentation des aquifères d'une part, et la reconnaissance des sens d'écoulement d'autre part, ainsi que la variation du gradient hydraulique, les caractéristiques hydrodynamiques, et la détermination des conditions aux limites du système aquifère et enfin la détermination de la géométrie des nappes.

Dans un stade de connaître le régime hydrodynamique du réservoir en cernant finalement les zones de fortes transmissivités d'une part, et d'autre part les zones de fortes perméabilités. Dans ce chapitre, ces descriptions vont pouvoir nous aider à mieux comprendre la vulnérabilité de la nappe aux différents polluants.

3.2. Généralités :

Zones homogènes hydrogéologiques

La région de Tiaret peut être découpée en plusieurs zones relativement homogènes d'un point de vue des caractéristiques hydrogéologique. (**DRE-Tiaret, 2007**).

3.2.1. La zone Nord :

Elle constituée par le cœur du massif de l'Ouarsenis ; son piedmont Sud sont les monts de Tiaret et de la vallée de la Mina qui se trouvent à l'aval du Barrage Bakhadda. La limite Sud est matérialisée par l'oued Nahr Ouassel, à l'Est de Tiaret et de l'oued Mina de Tagdempt.

3.2.2. La zone Ouest :

Elle comporte les bassins de l'oued Taht, oued Abd et le versant Nord du Chott Chergui. Les terrains aquifères de cette zone sont les dolomies et les calcaires du Jurassique moyen et inférieur.

3.2.3. La zone Est :

Elle comprend le plateau du Sersou et la plaine de Ksar Chellala. Elle est limitée au Nord par la vallée de l'oued Nahr-Ouassel, à l'Est par les oueds Touil et Ouerk, à l'Ouest par la remontée des marnes Miocènes dans la région de Sid El-Haoues. La Vallée du Touil l'aquifère principal est le Continental Intercalaire.

3.2.4. Les Monts de Chellala :

Ils se localisent entre la plaine de Ksar Chellala au Nord, et la Vallée de l'Oued Touil au Sud. Ils correspondent à un horst formé de terrain Jurassique essentiellement des calcaires et des dolomies du Kimméridgien et du Portlandien-Tithonique

3.3. Aperçu des aquifères de la commune de Tousnina (Haute Mina) :

Les nombreuses études hydrogéologiques (géologiques, géophysiques, etc.) et les informations obtenues à travers les ouvrages de mobilisation (forages, puits, source...) ont permis l'identification de la grande majorité des aquifères de la région. Ainsi, on pourrait résumer les principaux aquifères de la manière suivante

3.3.1. Les Dolomies Kimméridgiennes :

Les dolomies du Kimméridgien sont parmi les meilleurs aquifères de la région du fait de leur bonne perméabilité. L'épaisseur de l'aquifère varie de 200 à 300m et peut présenter un changement de facies et passer à des marnes en profondeur. Le Djebel Nador est composé par sa grande partie de dolomies du Kimméridgien et elles se prolongent jusqu'à Rechaiga à l'Est ou elles se mêlent au calcaire du Jurassique supérieur.

3.3.2. Les Calcaires et grés du Tithonique:

Il s'agit d'un aquifère de perméabilité irrégulière mais étant donnée son extension, elle constitue une réserve importante.

3.3.4. Les Grés du Barrémien– Aptien– Albien :

Cet ensemble est vraisemblablement l'aquifère profond le plus intéressant et le plus directement exploitable dans la majeure partie de la région étudiée sous le recouvrement Miocène. (Zerrouki 2005 et. Bouchentouf K.)

3.3.5. Les Grés du Miocène inférieur :

Les grés Miocènes sont reconnus par de nombreux forages et puits dans la partie Nord du plateau de Sersou. Ils alimentent une série de sources, le long de la vallée de l'Oued Nahr Ouassal (Débit de 0.005 à 1.5 l/s) et ont une perméabilité dite médiocre.

3.3.6. Les Dépôts du Plio-Quaternaire :

Les dépôts grossiers de recouvrement Plio-Quaternaire constituent un aquifère peu profond. Ces sables, poudingues et conglomérats peuvent atteindre 70 à 100m. Ils sont atteints par un grand nombre de puits et forages et reposent parfois sur les marnes imperméables du Miocène. Ce pendant du fait de la discordance sur les formations antérieures, ils peuvent se trouver en liaison directe avec les grés Barrémiens – Albiens. (Bouchnafa.N)

3.4. Contexte hydrogéologique local :

L'Etude hydrogéologique L'oued Mina est un affluent méridional du Cheliff, parcourt 130 Km avec une largeur moyenne de 160mètres et va se jeter dans la mer à un point situé à égal distance du Cap Levi de Mostaganem. Le réseau hydrographique dans la wilaya de Tiaret est dense. Il est à caractère endoréique, les cours d'eau présentent un écoulement superficiel très irrégulier en fonction de la pluviométrie. Ces cours d'eau drainent la zone vers deux axes principaux : Oued Nahr-Ouassel à l'Est et oued Mina à l'Ouest.

L'effet géomorphologique des eaux fait apparaître de larges vallées dans les argiles et les marnes cénomaniennes. On note qu'au niveau des terres où la couverture de grès et de calcaire Tertiaire persiste de nombreuses sources surgissent (ANRH, 2010).

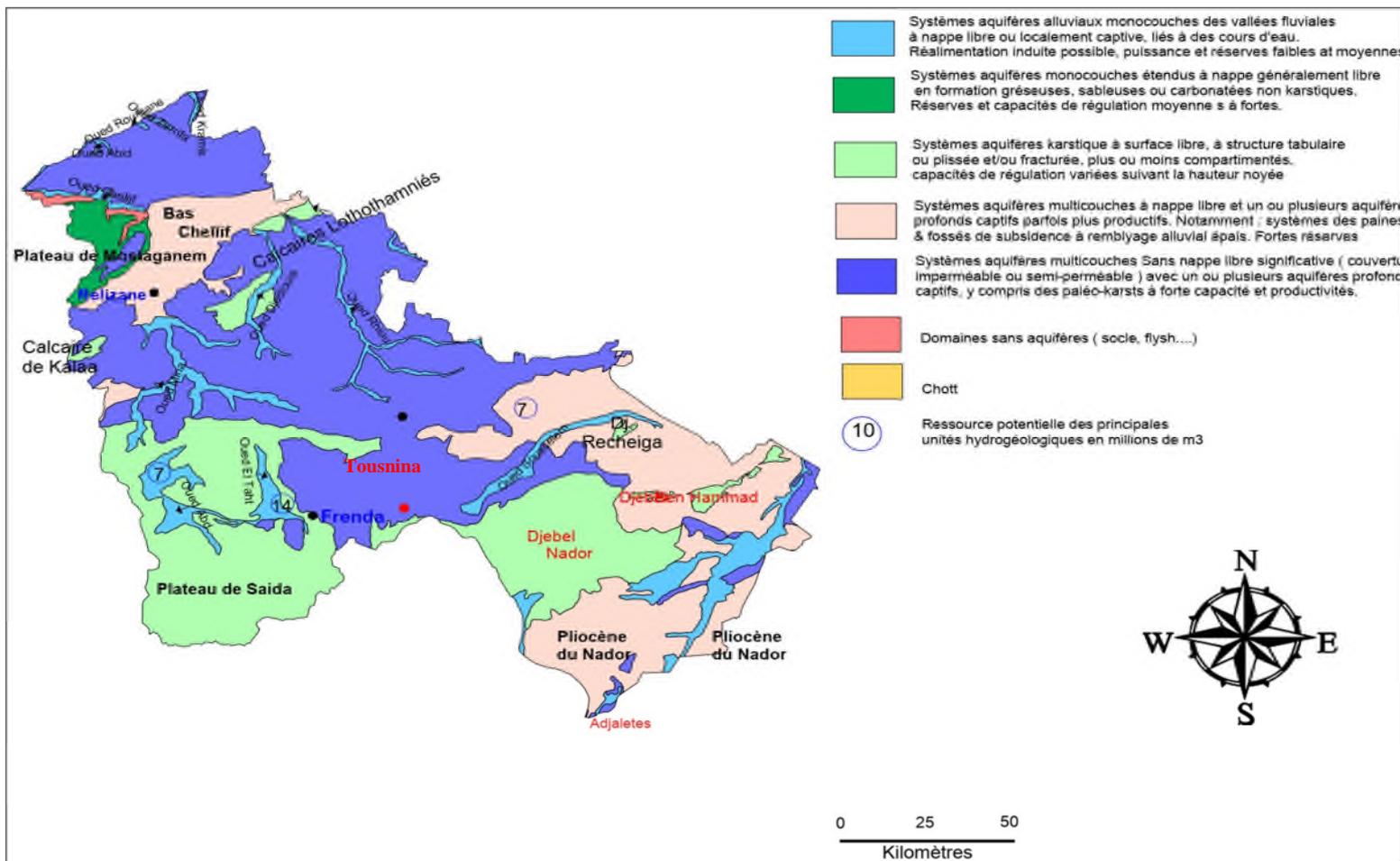


Fig.3.1 : Les ressources en eau souterraine dans le bassin versant Chellif-Zahrez (ABHCZ, 2013)

Tableau.3.1. La répartition des forages de la zone d'étude

| Dénomination | X UTM | Y UTM | Prof(m) |
|--------------|-----------|------------|---------|
| F TA5 | 343634,09 | 3887286,71 | 200 |
| F TA5BIS | 343658,99 | 3887246,63 | 175 |
| F TT3 | 342936,56 | 3888238,75 | 150 |
| F TT4 | 343239,18 | 3889188,09 | 194 |
| F TT2 | 342931,01 | 3886188,43 | 150 |
| F TT5 | 343832,77 | 3886786,09 | 200 |
| F TT6 | 343533,05 | 3886906,92 | 180 |
| F TT8 | 343734,38 | 3887386,45 | 125 |
| F TT7 | 343134,29 | 3887388,08 | 200 |
| F SAS | 343280,25 | 3885887,44 | 180 |
| F LADJEDAR | 342733,14 | 3886989,10 | 125 |
| F TT5 | 343832,77 | 3886786,09 | 200 |
| F BEKHALED | 349493,80 | 3890521,28 | 42 |
| F TT1 | 342850,21 | 3874691,95 | 93 |
| F TA6 | 342111,02 | 3878789,49 | 168 |
| F HAMOUDA | 351080,52 | 3885566,26 | 100 |
| F OUED MINA | 341934,05 | 3876559,64 | 230,4 |

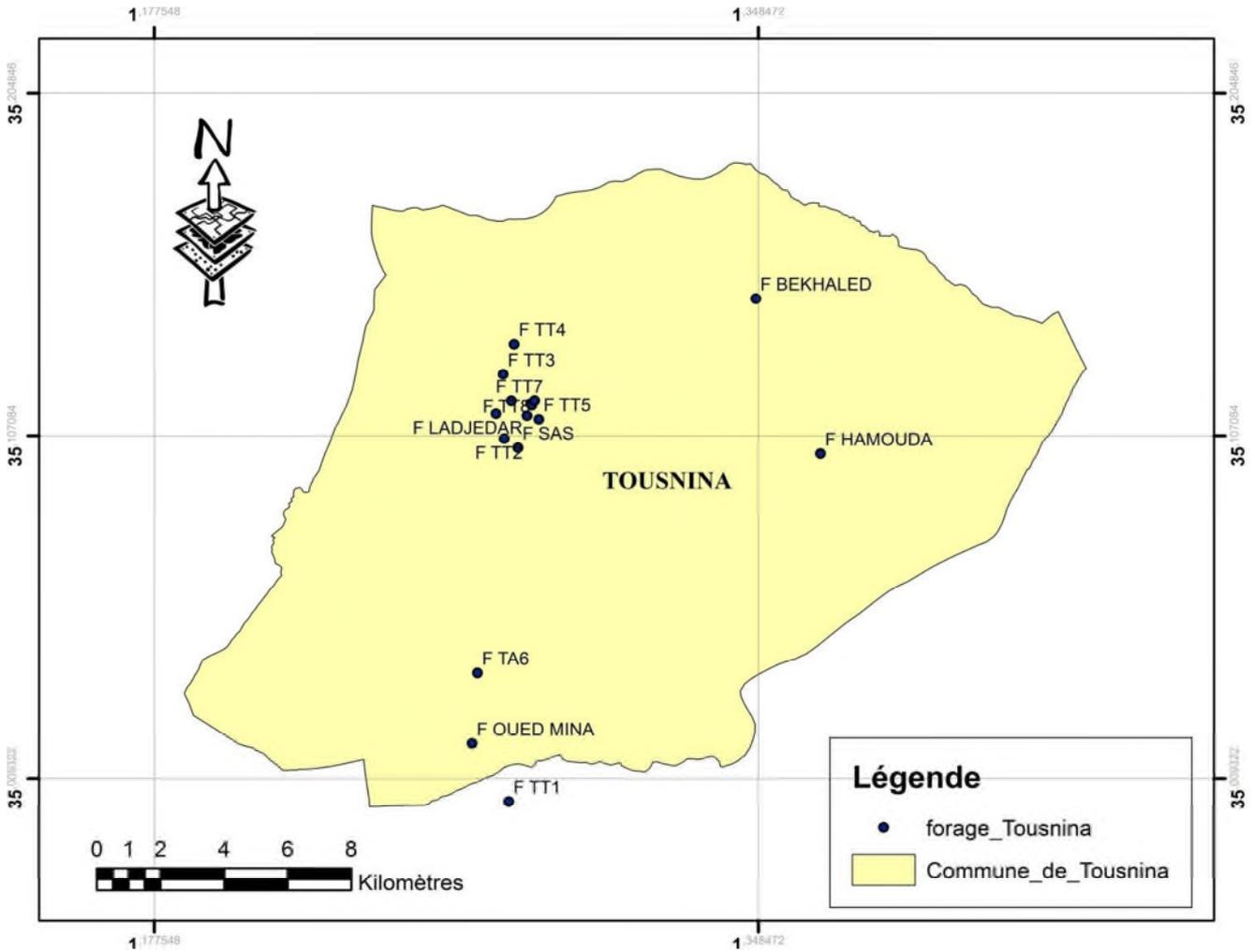


Fig .3.2. Carte de la répartition des forages dans dans la zone d'étude

3.5. Corrélation :

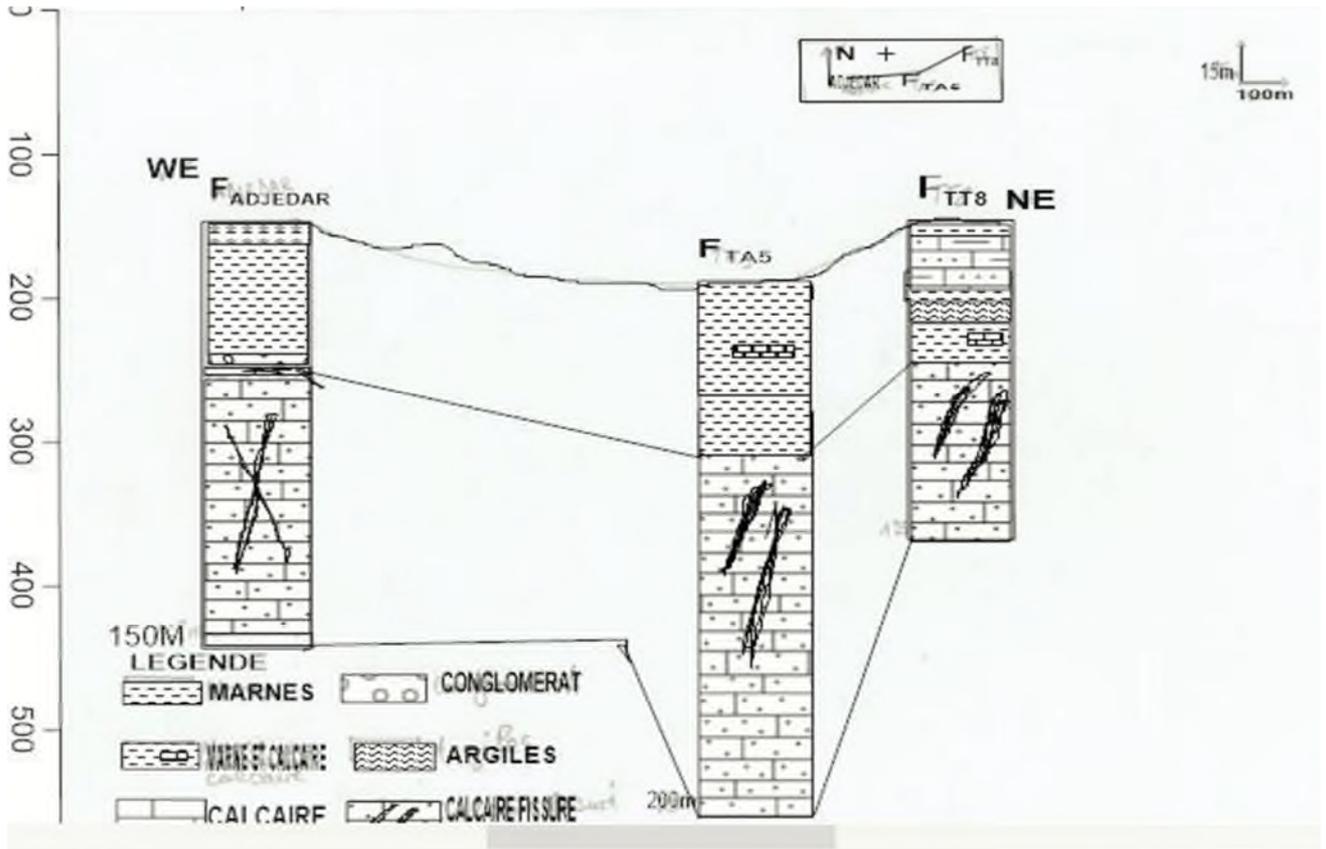


Fig3.1.: Coupe schématique de corrélation des forages de la région de Tousnina

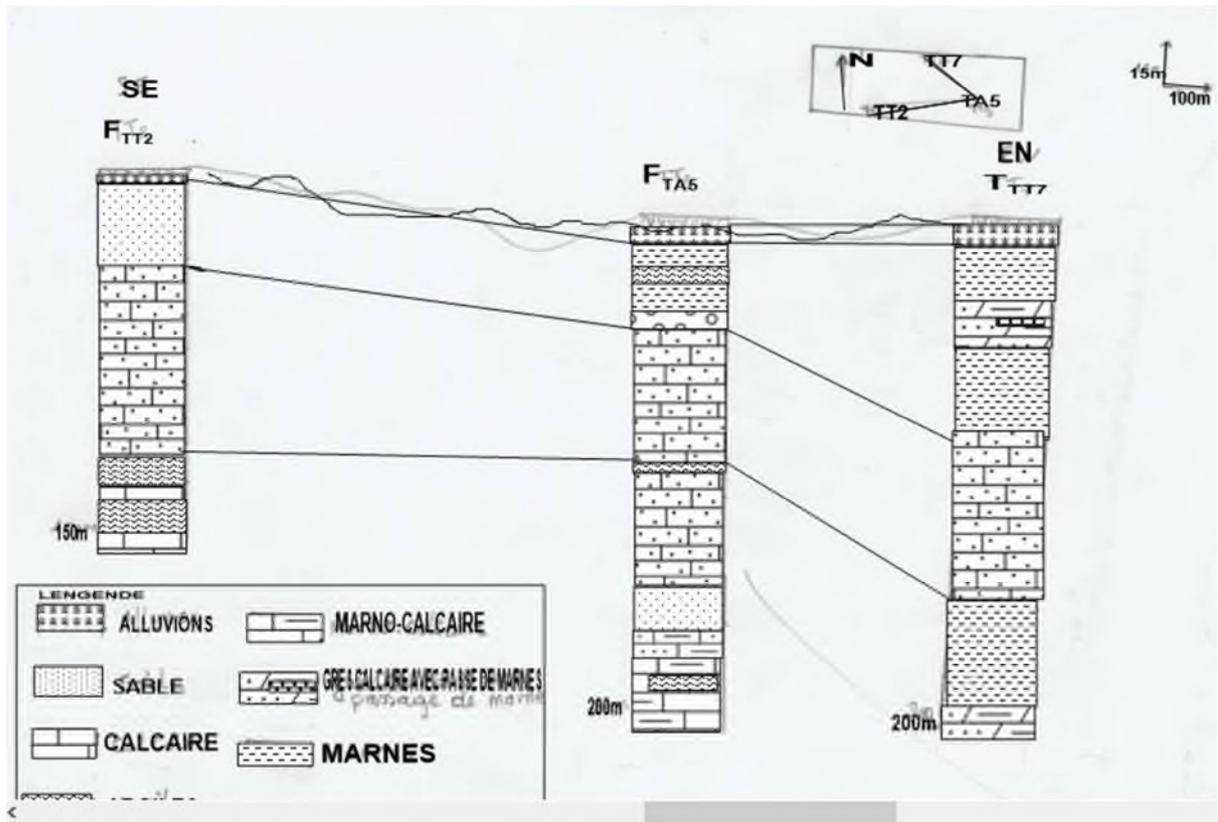


Fig.3.2. : Coupe schématique de corrélation des forages de la région de Tounina

Tab.3.1: Log hydrogéologique de la zone d'étude (Tousnina)

| Stratigraphie | Lithologie | Hydrogéologie |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Plio-Quaternaire | Sables limoneux et Craie Calcaire | Bonne perméabilité |
| Miocène Inférieur | Grès et Conglomérat | Bonne perméabilité |
| Sénonien | Grès, Conglomérat, Calcaires et Marnes crayeux et Dolomies | Semi-perméable |
| Turonien | Dolomies gréseuses, des Grès et des Calcaires | Semi-perméable |
| Cénomaniens | Marnes, Argilites, Calcaires et Dolomies | Perméabilité faible |
| Tithonien - Berriasien- Valangini | Dolomies et Marnes Dolomitisées | Imperméable |
| Kimméridgien | Dolomies, des Grès et des Argiles | Semi-perméable |

A partir de cette analyse hydrogéologique de la commune de Tousnina et ces environnants permet de constater qu'on a deux nappes :

- L'une superficielle : qui est le Plio-Quaternaire. (Nappe libre)
- L'autre profonde : qui est du Crétacé Supérieure. (Nappe captive artésienne)

3.6. Les Nappes de la commune de Tousnina (haute Mina) :

3.6.1. La Nappe Superficielle (Alluviale) du Plio-Quaternaire :

La nappe superficielle circule dans les Alluvions du Plio-Quaternaires (sables et graviers), et les calcaires.

La puissance de la nappe varie de 5 à 35m.

La nappe est dans l'ensemble de la vallée peu profonde et se situe à 15 mètres. Elles sont captées essentiellement par des puits. L'eau de cette nappe est chargée en sels.

3.6.2. La Nappe Profonde :

On appelle nappes profondes tous les aquifères contenus dans les formations

grossières du Kimméridgien-Tithonien - Berriasien-Valanginien. (Zerrouki, 2005)

Ces nappes superposées sur des profondeurs qui atteignent 100 m et plus, circulent dans des calcaires, grés et sables, séparées par des couches d'argile, et marnes.

L'inventaire sur terrain montre que ces nappes profondes sont captées par une dizaine de forages dont la profondeur varie de 60 à 200 m. Leur aire d'alimentation se situe au Sud-Ouest de la haute Mina.

Les ouvrages de captages possèdent de bons débits qui varient de 3 l/s à 30 l/s. Le meilleur forage captant cette nappe est celui de Tousnina (F TA5) au Sud de la commune, a recoupé sur 200 mètres des formations de calcaires fissurés, avec un débit de 80 l/s.

3.7. Conclusion :

Les principales ressources hydriques disponibles dans notre zone d'étude sont les eaux souterraines, se produisent dans les différents horizons aquifères de la région qui sont alimentés à partir du Oued Mina.

Les aquifères de la vallée d'Oued Mina, Sont contenus dans des formations de nature différente. Dans cette étude, il ressort que ces unités hydrogéologiques sont occupées par des matériaux alluvionnaire hétérogène fin formée essentiellement par les sables limoneux et des argiles, Calcaire, des grés poudingues et des calcaires fissuré et marnes.

Sur le plan hydrogéologique, la zone d'étude comporte deux nappes aquifères ; l'une superficielle constitué des calcaires gréseux et nappe captive Artésien profonde matérialisé par des calcaires et calcaires fissurés par endroit.

Chapitre 04 : **Vulnérabilité et risque de pollution des** **eaux souterraines.**

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets (wilaya de Tiaret)

4.1. Introduction

La qualité naturelle 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 traitement préalable. Des caractéristiques naturelles peuvent la rendre impropre à certains usages mais ne doivent pas être le prétexte pour devenir l'exutoire de rejets polluants. La qualité naturelle d'une nappe peut être dégradée par des pollutions de diverses origines : industrielle, urbaine ou agricole. Compte tenu de l'inertie des nappes, le retour à la qualité d'origine nécessite plusieurs années et peut même s'avérer impossible. Afin de prévenir les atteintes à la qualité des eaux, des instruments réglementaires ont été mis en place (notamment la loi sur l'eau de 2005 et ses décrets d'application) : périmètre de protection des captages et leurs servitudes, seuils limites de rejets polluants, délimitation des zones vulnérables, ... La lutte contre les pollutions diffuses d'origine agricole est une préoccupation essentielle de l'Etat et des Agences de l'Eau.

4.2. Définition de vulnérabilité :

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par **Margat** dans les années 60. Il est défini et utilisé de manière très diverse (**Gogu et Dassargues 1998 ; Lallemand Barres, 1994 ; Lallemand barres et Roux 1989**). Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères ; d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface (**Amharref M., Bernoussi A., 2007**).

Ainsi, elle matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle, etc., ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides) (**El warititi M. et al, 2007**).

Alors, la vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables : les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique, Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles : le sol, la zone non saturée, la zone saturée (**El warititi M. et al, 2007**). A ces trois milieux peut se rajouter l'infiltration qui rentre en compte dans la migration des polluants (**Cazaux M., 2007**).

4.2.1 Les types de vulnérabilité :

Le concept de vulnérabilité englobe deux notions différentes ou deux types de vulnérabilité intrinsèque et spécifique.

4.2.2. 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 (**B.R.G.M., 2008**).

4.2.3. 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 (**B.R.G.M., 2008**).

La distinction des deux types de vulnérabilité est nécessaire car, d'une façon générale, elles ne se placent pas sur la même échelle d'investigation : la vulnérabilité intrinsèque peut être considérée comme invariante dans le temps alors que la vulnérabilité spécifique (directement liée aux polluants éventuels) est évolutive et ne caractérise qu'un instant précis (**B.R.G.M., 2008**).

4.3. Les critères de vulnérabilité :

La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration, soit sur son temps de transfert. Elle est évaluée en prenant en compte les caractéristiques du sol, de la zone saturée et de la zone non saturée qui contrôlent le comportement des polluants. Un certain nombre de critères sont disponibles, ils sont associés aux ensembles souterrains (le sol, la zone saturée, la zone non saturée); sont récapitulés dans le tableau suivant:

4.4. Pollution des eaux :**4.4.1. Définition de la pollution :**

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, à travers des effets directs ou indirects altérant les critères des radiations de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles en eaux et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques (**Ramade F., 2000**).

4.4.2. Types de pollutions :**4.4.2.1. La pollution physique :**

Altération de la transparence de l'eau (présence de matières en suspension) ou de sa température.

4.4.2.2. La pollution chimique : présence de substances chimiques indésirables ou toxiques, comme par exemple les nitrates ou les métaux qui provoquent des déséquilibres biologiques.

4.4.2.3. 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.

4.4.2.4. La pollution bactériologique :

présence de microorganismes dont certains sont pathogènes susceptibles de provoquer des maladies.

4.5. Les sources de contamination des eaux souterraines :

Selon **Aymen Daboussi en 2009**, les sources de contamination sont :

4.5.1. Sources ponctuelles :

- ✓ Fuites de réservoirs ou de pipelines contenant des produits pétroliers.
- ✓ Pertes ou déversements de produits chimiques industriels aux installations de fabrication.
- ✓ Puits d'injection souterrains (déchets industriels).
- ✓ Déchets d'élevage du bétail Fuites de réseau d'égouts.
- ✓ Résidus de zones minières.
- ✓ Zones d'élimination des boues dans les raffineries de pétrole.
- ✓ Puits pour l'élimination des déchets liquides.
- ✓ Ruissellement du sel et d'autres produits chimiques sur les routes et autoroutes.
- ✓ Déversements liés aux accidents routiers ou ferroviaires.

4.5.2. Sources non ponctuelles (diffuses) :

- ✓ Engrais sur les terres agricoles.
- ✓ Invasion marine.
- ✓ Pesticides sur les terres agricoles et les forêts.
- ✓ Contaminants dans les retombées sous forme de précipitations, de neige et de dépôts atmosphériques secs.

4.6. Quelques exemples de contaminations des eaux souterraines :**4.6.1. Invasion d'eau salée :**

L'invasion d'eau salée peut poser un problème dans les régions côtières où les taux de pompage des eaux souterraines sont assez élevés pour entraîner une invasion d'eau salée dans des aquifères d'eau douce.

4.6.2. Fuites de réservoirs de stockage souterrains et des conduites :

Les cas de fuites de produits pétroliers ont vu leur nombre augmenter au cours des deux dernières décennies par suite de la corrosion des réservoirs souterrains en acier, installés en grand nombre dans les années 1950 et 1960. Avant 1980, la plupart des réservoirs souterrains étaient en acier. Sans une protection adéquate contre la corrosion, jusqu'à la moitié d'entre eux présentent des fuites après 15 ans de vie utile. L'eau souterraine dissoute de nombreux composés divers, et la plupart de ces substances peuvent contaminer de grandes quantités d'eau. Par exemple, un litre

Chapitre 04: Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine

d'essence peut contaminer un million de litres d'eau souterraine. Ce problème est particulièrement grave dans les provinces de l'Atlantique où l'on fait grand usage de cette eau. Dans de nombreux cas, le problème est cerné bien après que l'aquifère ait été contaminé, par exemple, lorsque les consommateurs commencent à déceler un goût ou une odeur d'essence

4.6.3. Pollution par une décharge :

Des forages d'eau implantés à proximités d'une décharge non contrôlée (base non étanche) ou une rivière peuvent être contaminés par lixiviats issus de cette dernière.

4.7. 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 du réservoir.
- La vitesse d'écoulement des eaux souterraines.
- La nature du réservoir (captif ou libre).

4.8. 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 :

4.8.1. Méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC, est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale intrinsèque à la pollution des aquifères, par systèmes. Développée par Aller et al. (1987) (**In Hamza et al., 2007**) sous l'égide de l'Agence américaine de protection de l'environnement USEPA.

Paramétrique ; le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité.

Chaque paramètre est subdivisé en intervalles de valeurs significatives et est affecté d'une cotation numérique croissante, en fonction de son importance dans la vulnérabilité.

L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité :

(D) Depth to water : Profondeur du plan d'eau ;

(R) net Recharge : Recharge efficace de l'aquifère ;

(A) Aquifer media : Lithologie de l'aquifère ;

(S) Soil media : Type de sol ;

(T) Topography : Pente topographique du terrain ;

(I) Impact of vadose zone : Impact de la zone vadose (zone non saturée) ;

(C) hydraulic Conductivity of the aquifer : Conductivité hydraulique de l'aquifère.

4.8.2. 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.

4 critères caractéristiques du fonctionnement et de la structure des aquifères karstiques

Ont été retenus :

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

4.8.3. Méthode SI :

La méthode SI prend en considération cinq paramètres. Les cotes correspondantes aux différentes classes des paramètres dans la méthode DRASTIC ont été également conservées pour les paramètres similaires.

D : la profondeur de la nappe,

R : la recharge efficace de l'aquifère,

A : la lithologie de l'aquifère,

T : la topographie.

Le cinquième paramètre est l'occupation des sols (OS). Les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres varient de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable.

Quant aux poids attribués aux paramètres SI, ils varient de 0 à 1 selon

L'importance du paramètre dans la vulnérabilité.

L'indice de vulnérabilité (ISI) est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants (**in Ewodo Mboudou G. et al.2016**):

$$I = D \times D + R \times R + A \times A + S \times S + T \times T + OS \times OS$$

4.8.4. 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. Cette méthode basée sur trois paramètres, le premier réside dans l'identification de type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (C_i), le deuxième correspond à la profondeur de la nappe (C_p) et le troisième est défini par la lithologie de l'aquifère (C_a) (**Foster, 1987**).

L'indice de vulnérabilité (IGOD) est obtenu par la multiplication des indices de chacun de ces trois paramètres :

$$IGOD = ID * IG * IO$$

Avec :

IG : Type d'aquifère ;

IO : Lithologie de l'aquifère ;

ID : Profondeur de la nappe.

L'indice GOD a une valeur minimum de "0" et "1" comme valeur maximum. (Foster 1987) Dans notre cas d'étude, les indices GOD sont répartis en deux classes de vulnérabilité très faible et faible. Le degré de vulnérabilité augmente avec l'indice GOD (IG) (Murat et al. 2000).

Tableau 4.1 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité selon la méthode GOD (Murat et al. 2003) (In Ake et al. 2009).

| 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 | 0,7-1,0 |

Tableau 4.2: Type d'aquifère

| Type d'aquifère | cote |
|-------------------------------------|---------|
| aucun aquifère | 0 |
| aquifère confiné et artésien | 0,1 |
| aquifère confiné et artésien | 0,2 |
| aquifère semi-confiné | 0,3 |
| aquifère avec couverture de surface | 0,4-0,6 |
| Aquifère non confiné | 0,7-1 |

Tableau 4.3: La lithologie de l'aquifère

| Lithologie de l'aquitard et de l'aquiperme | Cote |
|------------------------------------------------------------|------|
| Sol résiduel | 0,4 |
| Limon alluvial ; loess ; shale ; calcaire fin | 0,5 |
| Sable éolien ; tuf ; roche ignée et métamorphique fracturé | 0,6 |
| Sable et gravie ; grés ; tuf | 0,7 |
| Gravier (colluvion) | 0,8 |
| Calcaire | 0,9 |
| Calcaire fracturé ou karstique | 1 |

Tableau 4.4: La profondeur de la nappe

| Profondeur de la nappe | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Profondeur en m | 0-2 | 2,0-5,0 | 5,0-10,0 | 10,0-20,0 | 20,0-50,0 | 50,0-100 | 100< |
| Cote | 1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |

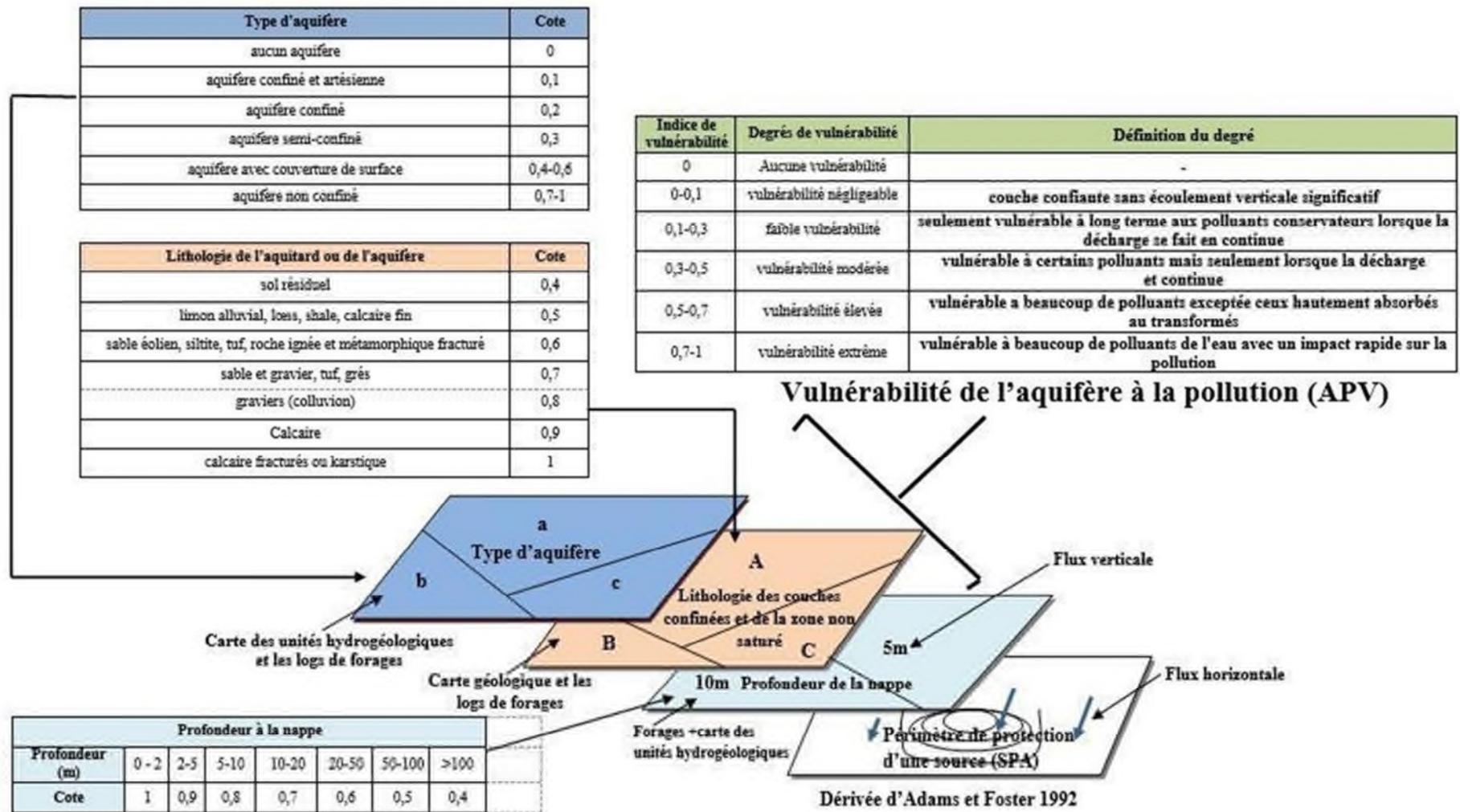


Figure 4.2 : La méthode GOD, paramètres et cotations (in Valérie Murat, 2000)

4. 9. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques :

Le tableau ci-dessous représente l'ensemble des résultats obtenue à l'issus de l'application de nos données à la méthode de GOD.

Tableau 4.5 : Indices des paramètres de vulnérabilité calculés de la région de Tousnina selon la méthode GOD

| Dénonimation | X UTM | Y UTM | Prof(m) | Niveau statique | Formation captée | ID | IG | IO | IGOD | Type de nappe |
|--------------|-----------|------------|---------|-----------------|--------------------|-----|-----|-----|------|---------------|
| F TA5 | 343634,09 | 3887286,71 | 200 | Artésien | Calcaires fissurés | 1 | 0,1 | 1 | 0,1 | Nappe captive |
| F TA5BIS | 343658,99 | 3887246,63 | 175 | Artésien | Calcaires | 1 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT3 | 342936,56 | 3888238,75 | 150 | Artésien | Grés | 1 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT4 | 343239,18 | 3889188,09 | 194 | Artésien | Calcaires + Grés | 1 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT2 | 342931,01 | 3886188,43 | 150 | 8 | Calcaire marneux | 0,8 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT5 | 343832,77 | 3886786,09 | 200 | 13 | Calcaires | 0,7 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT6 | 343533,05 | 3886906,92 | 180 | Artésien | Calcaires | 1 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT8 | 343734,38 | 3887386,45 | 125 | 18,5 | Calcaires fissurés | 0,7 | 0,1 | 1 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT7 | 343134,29 | 3887388,08 | 200 | 11 | Calcaires | 0,7 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F SAS | 343280,25 | 3885887,44 | 180 | 5 | Calcaires | 0,9 | 0,2 | 0,9 | 0,2 | Nappe captive |
| F LADJEDAR | 342733,14 | 3886989,10 | 125 | 16,2 | Calcaires fissurés | 0,7 | 0,2 | 1 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT5 | 343832,77 | 3886786,09 | 200 | 13 | Calcaires maneux | 0,7 | 0,2 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F BEKHALED | 349493,80 | 3890521,28 | 42 | Artésien | Calcaires | 1 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F TT1 | 342850,21 | 3874691,95 | 93 | Artésien | Calcaires | 1 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F TA6 | 342111,02 | 3878789,49 | 168 | Artésien | Grés | 1 | 0,1 | 0,7 | 0,1 | Nappe captive |
| F HAMOUDA | 351080,52 | 3885566,26 | 100 | 4 | Calcaires | 0,9 | 0,1 | 0,9 | 0,1 | Nappe captive |
| F OUED MINA | 341934,05 | 3876559,64 | 230,4 | 8 | Calcaires + Grés | 0,9 | 0,2 | 0,9 | 0,2 | Nappe captive |

4.9.1. Paramètre « IG » type de l'aquifère :

Les études géologiques et hydrogéologiques réalisées dans la région de Tousnina nous ont permis de distinguer deux types de nappes : L'une captive et artésienne et l'autre une nappe captive. Les valeurs sont comprises alors entre **0.1** et **0.2** (D'après Tab. 4.2)

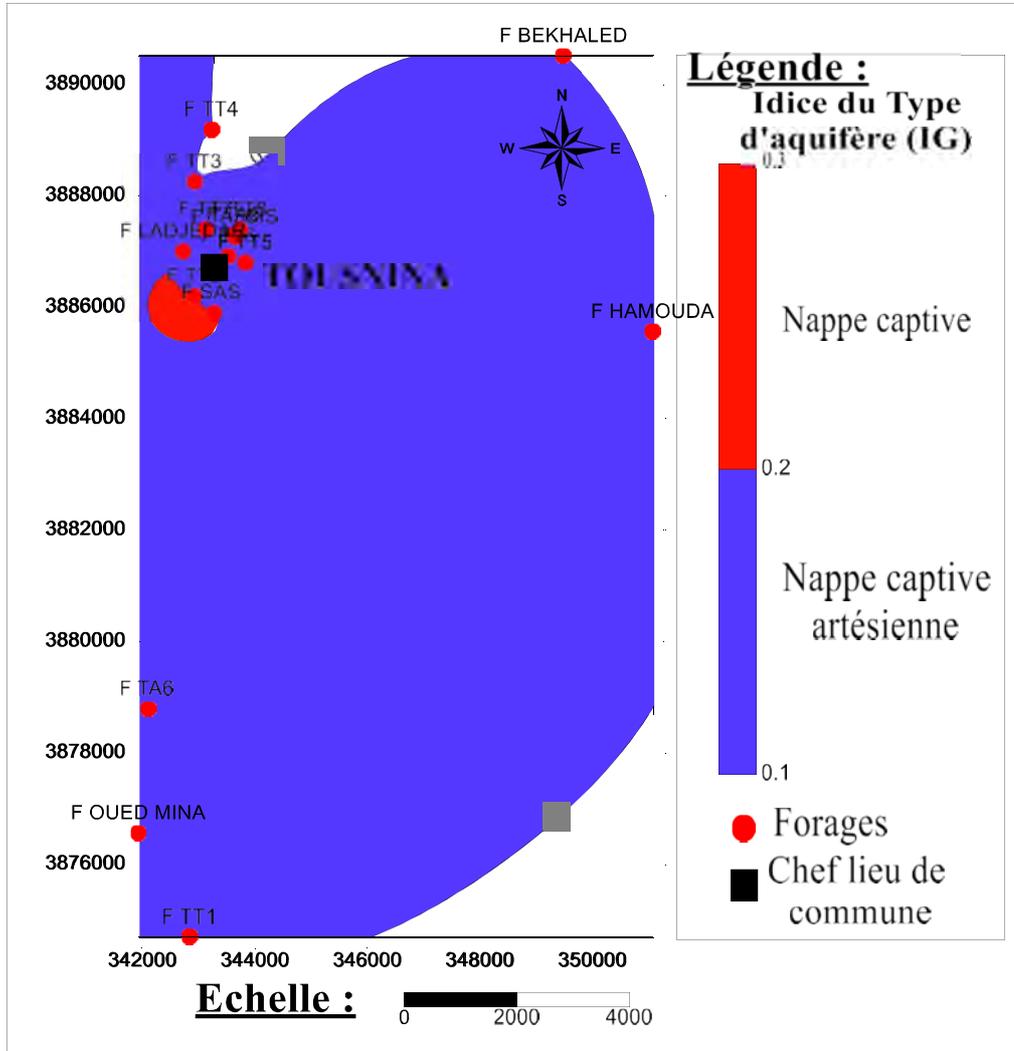


Fig. 4.1: Carte du paramètre "IG" type d'aquifère de la région de Tousnina selon la méthode GOD

4.9.2 : Paramètre « IO » Nature lithologique de la ZNS :

La carte de la lithologie de notre zone non saturé (ZNS) montre quatre formations lithostratigraphiques

1. La première formation constituée essentiellement par des calcaires fissurés
2. La deuxième présente une formation de calcaires qui occupe presque toute la partie de notre zone d'étude
3. La troisième formation sont des graviers localisés à l'Est de notre zone d'étude
4. La dernière formation est composée par des Grés

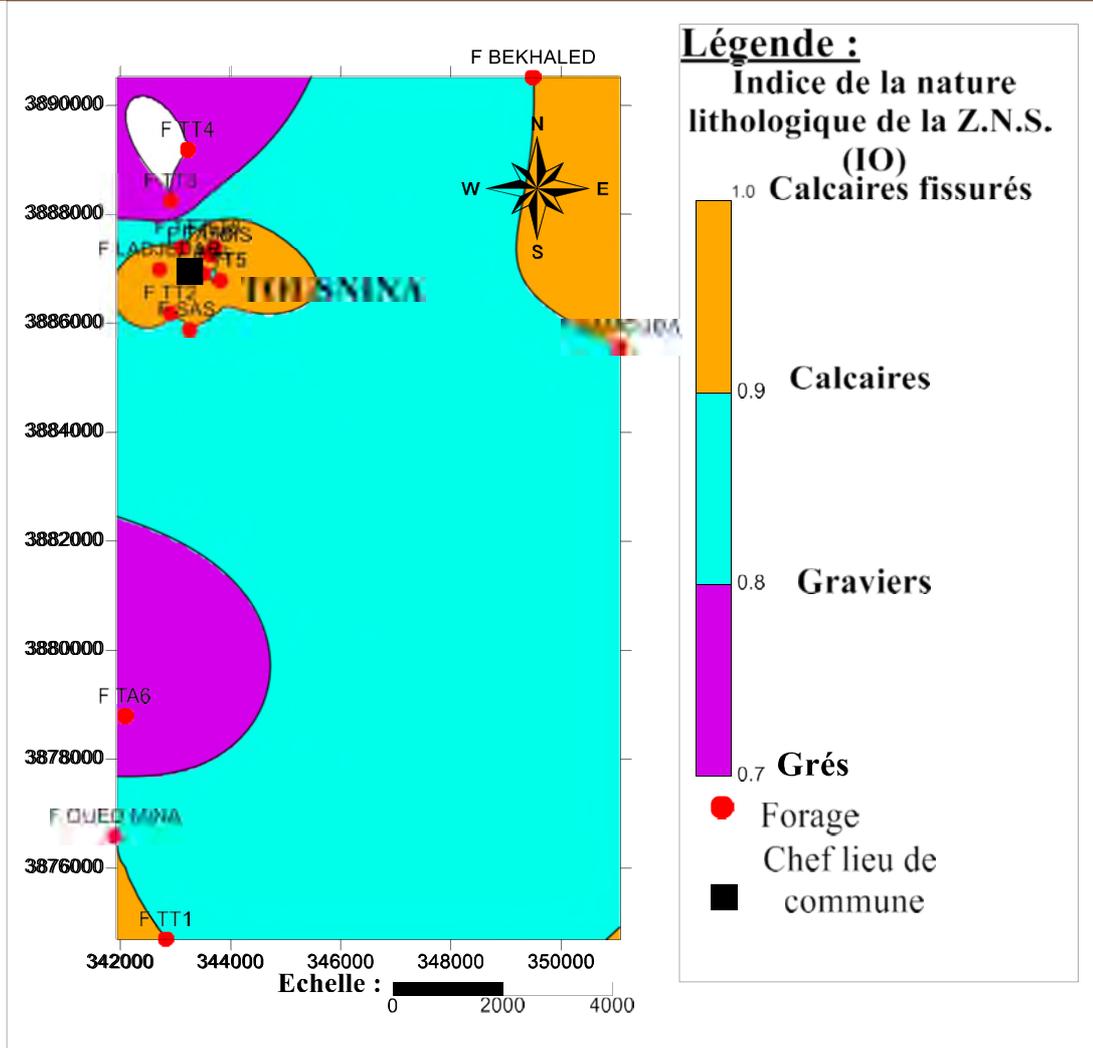


Fig. 4.2: Carte du paramètre "IO" la nature lithologique de la ZNS de la région de Toussina selon la méthode GOD

4.9.3. Paramètre «ID » profondeur de la nappe :

L'analyse du paramètre « D » profondeur à la nappe permet d'identifier six classes :

- **Classe 1 :** Cette classe occupe la partie nord-est avec une profondeur allant de 0 à 2 m (ID=1).
- **Classe 2 :** Elle présente des profondeurs allant de 2m à 5m avec un indice ID = 0.9.
- **Classe 3 :** Les profondeurs sont comprises entre 5 à 10m avec un indice ID= 0.8.
- **Classe 4 :** Les profondeurs sont de 10 m à 20 m avec un indice ID=0.7m Cette classe occupe une faible surface et se locale au nord de la zone d'étude.
- **Classe 5:** Les profondeurs sont de 20m à 50m avec une indice ID=0.6
- **Classe 6:** Les profondeurs sont de 50 à 100m avec une indice ID=0.5

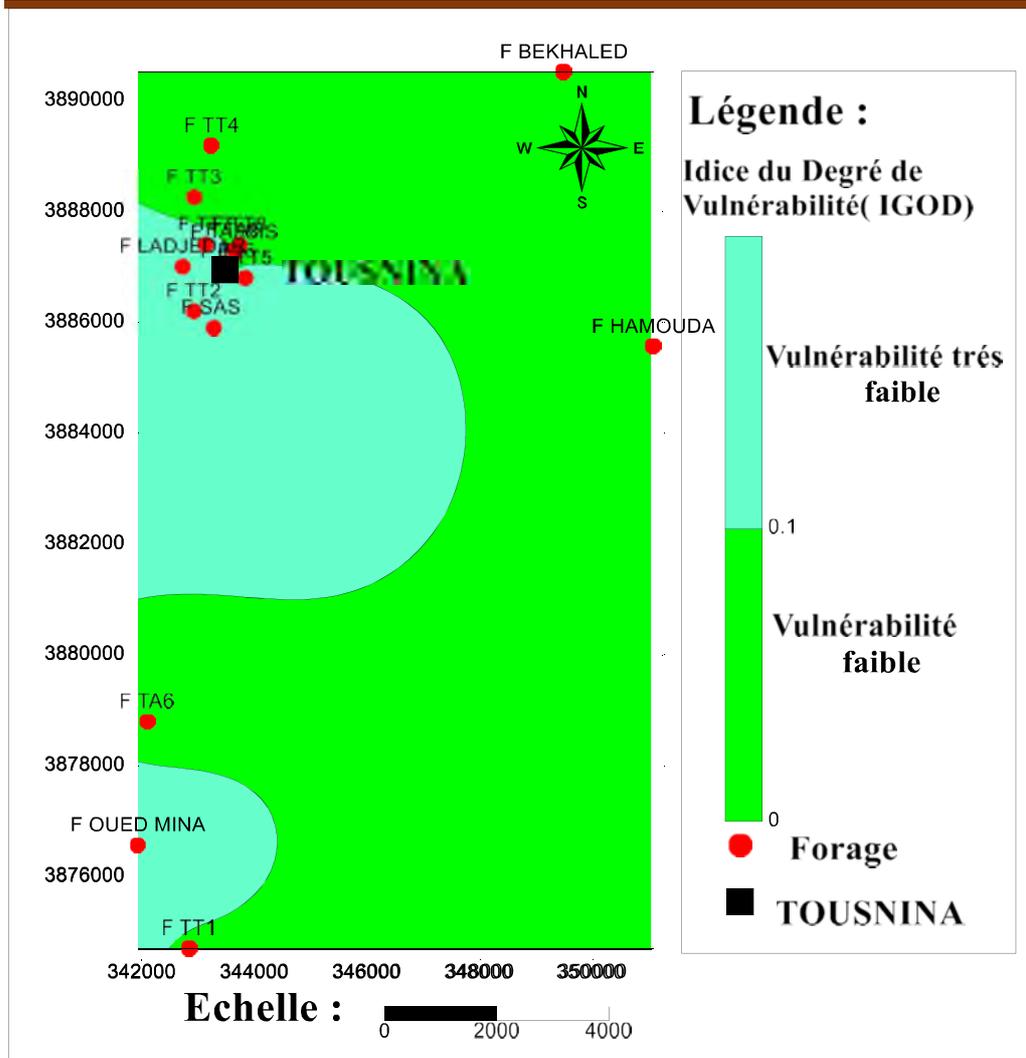


Fig 4.4 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Toussnina selon la méthode GOD

4.10. Conclusion :

Les cartes de Vulnérabilité sont de nos jours indispensables pour une bonne gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines. Elles permettent d'identifier facilement des zones sensibles à des pollutions potentielles et d'orienter l'aménagement du territoire.

A la région de Tousnina, les cartes révèlent deux zones de vulnérabilité différente. Ainsi on distingue une zone de vulnérabilité très faible qui occupe presque le 1/4 de la zone d'étude et une autre à vulnérabilité faible qui occupe les 3/4 de cette surface. Cette surface. Ce qui fait d'elle une zone protégée contre la pollution. Cependant, nous tenons à préciser que cette étude offre une vue de l'état des eaux souterraine dans cette zone d'étude et que d'autres études doivent être poursuivies afin d'élaborer des cartes plus précises et tenant compte d'un nombre important de données. Les futures études pourront tenir compte des activités humaines (industrie, élevage, agriculture) et des paramètres hydrodynamiques.

CHAPITRE05 :

Centre d'enfouissements techniques des déchets

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets(wilaya de Tiaret)

5.1. Introduction :

L'évolution socio-économique et les multiples avantages que nous lui connaissons, a amené son part de problèmes dont l'accroissement continue de la quantité de déchets ménagers et des déchets industriels toxiques. Cette véritable rançon payée pour améliorer nos conditions d'existence s'accompagne d'un sérieux danger pour la santé publique, les écosystèmes, le cadre de vie et l'économie. Au sens de la loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit :

« **Déchets** : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.»

Cette définition est très formelle en ce sens qu'elle s'attache à un comportement et à une intention et ne s'appuie pas sur les lois de l'économie et des mécanismes de marché. En fait selon sa nature, sa situation géographique et son environnement un déchet peut avoir une valeur négative, positive ou nulle.

Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement.

5.2. Le centre d'enfouissement technique (C.E.T) :

Le centre d'enfouissement technique reçoit les déchets ménagers pour les enfouir dans des fosses. Il existe actuellement trois types de CET qui réceptionnent trois catégories différentes de déchets :

CET de classe 1 : Pour déchets dangereux, toxiques (déchets industriels spéciaux traités et stabilisés, les cendres volantes des usines d'incinération, etc..).

CET de classe 2 : Pour déchets ménagers et assimilés (ordures ménagères, encombrants, déchets verts, déchets industriels banals, etc.)

CET de classe 3 : Pour les déchets inertes (déchets, déblais, gravats, etc....) issus d'entreprises du bâtiment et des travaux publics et de travaux de bricolage de particuliers.

En règle générale, le centre d'enfouissement technique (CET) est réalisé pour une population de 100 000 habitants et plus.

La durée de vie d'un centre d'enfouissement technique est au moins 20 ans. Il est donc impératif de disposer de la surface de terrain nécessaire et de planifier l'exploitation du site sur la durée de

vie minimale suscitée.

La conception d'un CET ou d'une décharge contrôlée devra pouvoir fournir (dès le départ)

5.3.les paramètres à fournir par un CET :

- ✓ Planning d'exploitation (procédure d'acceptation des déchets, mode de tri, mode de fermeture de chaque casier, mode d'exploitation et contrôle de la station de traitement des lixiviats, captage et évacuation des biogaz, calendrier d'exploitation).
- ✓ Equipements nécessaires au fonctionnement de chaque élément duprojet.
- ✓ Durée de vie du CET (durée de vie unitaire pour chaque casier prévu, et cumulée pour l'ensemble dusite).
- ✓ Programme de fermeture du CET et son intégration dans son environnement.
- ✓ Programme de contrôle du CET après sa fermeture (contrôle des étanchéités et du fonctionnement des systèmes de drainage, contrôle des biogaz, contrôles de la stabilité des ouvrages...etc.), de bentonite ; argile grise.

5.2. LES REGLES ET LES NORMES D'UN C.E.T:

Un C.E.T des déchets doit répondre aux exigences élémentaires en matière d'hygiène et de protection de l'environnement.

5.2.1. L'aménagement du casier :

La plus importante partie est le fond du casier qui est constitué de différentes couches qui sont de bas en haut ; pour éviter de polluer le sol et la nappe phréatique, il faudrait veiller à ne retenir pour l'aménagement de nouveaux C.E.T que des sites où la migration des polluants dans le milieu s'effectue lentement. Un tel sous- sol présentant de telles propriétés dans l'emplacement d'un C.E.T est nommée barrière géologique. Au fond du casier on a :

- Une couche drainante sous-étanchéité constituée de granulats 20-40 mm surmontée d'un géotextile anti-contaminant.
- Une étanchéité minérale d'argile compactée constituée de 4 couches de 25 cm d'épaisseur +/- 5 cm plus 5 mm minimum de bentonite.
- Une géomembrane de 2 mm d'épaisseur ; ou 700 grammes par mètre carré.
- Un géotextile anti-perforation pour protéger la géomembrane de 1400 gramme par mètre carré.
- Une couche drainante de 50 cm de granulats de grès parcourus par des collecteurs à lixiviat pour les cellules exploitées ou eaux pluviales pour les cellules non exploitées ;
- Une couche anti-contaminante (géotextile ou géo-grille) pour éviter que les déchets ne

➤ Colmatent la couche drainante.

5.2.2. La constitution des casiers et alvéoles :

La zone du CET est divisée en : trois casiers, dénommés zones 1, 2 et 3, pour le stockage des déchets ménagers et assimilés.

Le volume et la structure des casiers doivent contribuer à limiter les risques de nuisances et de pollution des eaux souterraines et de surface. La hauteur des déchets dans un casier doit être déterminée de façon à ne pas dépasser la limite de stabilité des digues et à ne pas altérer l'efficacité du système drainant défini.

Les casiers ont une superficie maximale ouverte d'environ 55 000 m², les alvéoles de 11 000 m². Les casiers 1 et 2 sont implantés au niveau du terrain naturel ou dessus. Le casier n°3 est implanté à -17,5 mètres en dessous du terrain naturel. Les talus et les digues de pied ont une pente de 2 pour 1. Le fond des casiers présente une pente supérieure ou égale à 3%.

5.2.3. Barrière de sécurité passive :

Dans le casier n°3, le cas échéant, dans l'objectif de renforcer la perméabilité naturelle propre au contexte géologique du site, l'exploitant met en place un niveau de protection supplémentaire approprié, visant à atteindre, de haut en bas, une perméabilité inférieure à 1.10⁻⁹ m/s sur au moins 1 mètre et inférieure à 1.10⁻⁶ m/s sur au moins 5 mètres.

5.2.4. Barrière de sécurité active :

Sur le fond et les flancs de chaque casier, une barrière de sécurité active assure son indépendance hydraulique, le drainage et la collecte des lixiviats et évite ainsi la sollicitation de la barrière de sécurité passive, qui est constituée par le substratum du site.

La barrière de sécurité active est normalement constituée, du bas vers le haut, par une géo-membrane, ou tout dispositif équivalent, surmontée d'une couche de drainage.

La géo-membrane ou le dispositif équivalent doit être étanche, compatible avec les déchets stockés et mécaniquement acceptable au regard de la géotechnique du projet. Sa mise en place doit en particulier conduire à limiter autant que possible toute sollicitation mécanique en traction et en compression dans le plan de pose, notamment après stockage des déchets. Elle doit être protégée des contraintes mécaniques liées à l'exploitation du site (poids, poussée, frottements induits par les déchets et les engins etc...). La réception de la géo-membrane ou du dispositif équivalent, comprenant notamment la vérification des soudures, fait l'objet d'un rapport de contrôle par un organisme tiers qualifié. Ce rapport est adressé à l'inspecteur des installations classées.

La géo-membrane ou le dispositif équivalent est protégée par un géotextile anti-poinçonnement.

L'ensemble de l'installation de drainage et de collecte des lixiviats est conçu pour limiter la charge hydraulique à 30 cm en fond de site et permettre l'entretien et l'inspection des drains. La

couche de drainage est constituée de bas en haut :

- D'un réseau de drains permettant l'évacuation des lixiviats vers un collecteur principal.
- D'une couche drainante composée de matériaux d'une perméabilité supérieure à 1.10^{-4} m/s.
- D'une épaisseur minimale de 50 cm par rapport à la perpendiculaire de la géo-membrane ou du dispositif équivalent.

Conclusion générale et recommandations

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets (wilaya de Tiaret)

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale

L'étude de la vulnérabilité et le risque de pollution des eaux souterraines de la région Tousnina (wilaya de Tiaret) nous à permet d'arriver aux conclusions suivantes :

L'analyse géomorphologiques de la région de Tousnina souligne la complexité des interactions structures géologiques-structures géomorphologiques ainsi que celles des caractéristiques et paramètres morphométriques du réseau hydrographique.

- L'étude géologique a révélé la présence de Quatre (04) grandes formations différentes à citer : Le Plio-Quaternaire, le Miocène Inférieur, le Crétacé Supérieur, et le Jurassique Supérieur).
- La zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, où les variations interannuelles sont très importantes, dont la moyenne des précipitations annuelles pour la période (1986-2018) est de l'ordre de 375.54 mm.
- Les valeurs de températures et de précipitations enregistrées pour notre zone d'étude, montrent une succession de périodes humides et sèches. Ces dernières, s'étalent sur de longues durées et peuvent atteindre sept (07) mois de l'année.
- Les connaissances hydrogéologiques de la région d'étude ont mis en exergue deux formations aquifères majeures : Les calcaires du crétacé Supérieur (Sénonien) du qui sont considérés comme étant l'aquifère le plus important de la région, et les formations récentes du Plio-Quaternaire (Dépôts alluviaux) qui recèlent une nappe superficielle Alluviale, cette nappe présente un intérêt de moindre importance du point de vue qualitatif et quantitatif.

L'étude de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Tousnina nous à permet de constater qu'il on a deux (02) classes de vulnérabilité (très faible et faible) qui sont réparties comme suit :

- Au niveau de la nappe captive nous avons une vulnérabilité très faible qui occupe 1/4 de la surface de zone d'étude.
- Au niveau de la nappe captive Artésienne nous avons les deux classes de vulnérabilité qui occupent 3/4 de notre zone d'étude.

Conclusion générale et recommandations

Recommandations :

Dans le but de protéger efficacement les ressources en eaux souterraines de la région de Tousnina des mesures importantes doivent être prises :

- Il s'agira dans un premier temps d'actualiser les données relatives aux caractéristiques hydrodynamiques des nappes, aux paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau (dans l'aquifère mais aussi au "robinet") et de définir la situation réelle actuelle de cette ressource au niveau de cette région.
- Dans un deuxième temps, il faut opter pour une politique de gestion adéquate basé sur le suivi, le contrôle et la protection de tous les points de captages (puits, forages et sources) répartis de façon disproportionnée sur l'ensemble de la zone.
- Appliquer strictement les lois établies sur la protection des eaux souterraines avec les périmètres de protections.

Références bibliographiques

Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraine de la région de Tousnina et identification des sites d'enfouissement des déchets (wilaya de Tiaret)

Références bibliographiques

1. **Aller et al (1987)** : DRASTIC: A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic.
2. **Aussenac G & Boulangeat C., (1980)**: Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus silvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco); In Annales des Sciences forestières (Vol. 37, No. 2, pp. 91-107). EDP Sciences.
3. **Arraria N. et Khelifa K., (2015)** : Etude hydrogéologique et caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines de la Région de Sougueur (Wilaya de Tiaret). Mémoire de master, université de Tiaret, 56p.
4. **BNEDER, (2006)** : Bureau national d'études pour le développement rural, Schéma régional d'aménagement du territoire de la région des hauts plateaux centre et ouest.
5. **DAJOZ R., (1985)** : Précis d'écologie. Éd. Dunod, Paris, 505 p **HPO, (2012)** : Hydro Projet Ouest, Etude de protection de la ville de Tiaret contre les eaux pluviales.
6. **FEGHOUL A, (1987)** : Etude Hydrogéologique du Bassin Versant d'Oued Sousselem. Mémoire d'ingénieur d'état, Université d'ORAN. 130 p.
7. **Foster, S., (1987)**: Fundamental Concept in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy," In: W. Van Duijvenbooden and H. G. Van Waegeningh, Eds., Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutions. Committee on Hydrogeological Research, Hague, 69-86.
8. **OUEDRAOGO A. ARRARIA A.2017** impact de la zone industrielle de Tiaret sur la qualité du système aquifère exploité (contribution à l'étude d'un cas de pollution accidentelle par des hydrocarbures)
9. **AICHOUCHE F. MOULAYAT K. DIDANE Z 2017** Vulnérabilité et protection des eaux souterraines Application : sur un système aquifère dans une zone semi-aride : Cas de la région de Tiaret.
10. **Valérie Murat, 2000** : étude intrinsèque des aquifères au Laurentien, novembre 2000. 62p. Comparative des méthodes d'évaluation de la Vulnérabilité pollution : Application aux aquifères granulaires du piémont
11. **ONM (2017)** : Office National de la Météorologie – Les données météorologiques de la station de Bouchekif (Tiaret).
12. **Bouchenafa. N THESE DE DOCTORAT 2001** Etude biogéochimie et du sous bassin versant De l'OUED MINA (région de Tiaret)

Résumé :

La présente étude traite la vulnérabilité et les risques de pollution des eaux souterraines de la région de Tousnina (wilaya de Tiaret), menacée par de nombreux foyers de pollution (urbanisations, industrie, élevages, décharges sauvages, etc.), qui se sont multipliés dans la région en dehors de toute mesure de protection de l'environnement, et en particulier des ressources en eau. Celles-ci sont exposées à des risques potentiels d'altération continue ou épisodique, et seront menacées davantage dans l'avenir par l'insuffisance des volumes de recharge (climat semi-aride et leur surexploitation). La méthode utilisée pour entreprendre cette étude repose sur le recensement des causes de pollutions potentielles ou réelles en tenant compte de plusieurs facteurs, tels que la lithologie, la piézométrie. L'analyse des cartes de vulnérabilité par la méthode GOD a permis de distinguer deux zones de degrés de vulnérabilité différents. On n'a la très vulnérabilité qui occupe 25% de la superficie de notre zone d'étude et la vulnérabilité faible qui elle occupe 75% la superficie de la zone d'étude.

Mots clés : vulnérabilité, pollution, nappe, eaux souterraines, méthode GOD et Tousnina

Abstract:

This study addresses the vulnerability and risk of groundwater pollution in the Tousnina region (Tiaret wilaya), threatened by numerous pollution outbreaks (urbanization, industry, livestock, wild landfills.), which have become multi-state bent in the region outside of any environmental protection measures, and in particular water resources. These are exposed to potential risks of continuous or episodic alteration, and will be further threatened in the future by insufficient recharge volumes (semi-arid climate and overexploitation). The method used to undertake this study is based on the identification of the causes of potential or actual pollution taking into account several factors, such as lithology, piezometry. The GOD analysis of vulnerability maps made it possible to distinguish two different areas of vulnerability. We do have the very vulnerability that occupies 25% of the area of our study area and the low vulnerability that it occupies 75% the area of the study area.

Key words: vulnerability, pollution, groundwater, groundwater, GOD method and Tousnina.

موجز:

، المهددة بتفشي العديد من التلوث (ولاية تيارت) تتناول هذه الدراسة مدى ضعف وخطر تلوث المياه الجوفية في منطقة توسنينا ، التي مضروبة في المنطقة خارج أي تدابير لحماية (التحضر، والصناعة، والثروة الحيوانية، ومدافن القمامة البرية، وما إلى ذلك) وتتعرض هذه الأخطار للمخاطر المحتملة للتغير المستمر أو العرضي، كما أنها ستتعرض لمزيد من البيئة، ولا سيما الموارد المائية وتستخدم الطريقة المستخدمة لإجراء هذه (المناخ شبه القاحل والاستغلال المفرط) التهديد في المستقبل بسبب عدم كفاية أحجام التغذية وقد جعل تحليل الله. الدراسة إلى تحديد أسباب التلوث المحتمل أو الفعلي مع مراعاة عدة عوامل، مثل علم اللطي، والقياس الحراري % من مساحة الدراسة 25 لدينا الضعف الذي يحتل. لخراط الضعف من الممكن التمييز بين مجالين مختلفين من مجالات الضعف % من منطقة الدراسة 75 لدينا وانخفاض الضعف الذي يحتل.
الكلمات الرئيسية: الضعف، والتلوث، والمياه الجوفية، وطريقة الله و: الكلمات الرئيسية