

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun –Tiaret–



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et Technologie Agro-alimentaire

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

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

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie et Environnement"

Thème

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)

Présenté et soutenu publiquement par :

-OUEDRAOGO AHMEDA ASSANN

-ARRARIA ABDELKADER AMIR

Jury:

Président	Mr. AMEUR Mohammed	MAA	Université de Tiaret
Promoteur	Mr. MOUCHARA Nabil	MAA	Université de Tiaret
Examineur	Mr. SABOUA Toufik	MAA	Université de Tiaret

Année universitaire : 2017/2018

REMERCIEMENTS

Nous remercions au préalable Allah soubhana wa ta'ala de nous avoir donné la vie, la santé, le courage et la force de parvenir à bout de ce travail.

Nos remerciements sont adressés à notre encadreur Mr MOUCHARA pour son soutien, ses encouragements, sa présence, son suivi tout au long du travail et sa patience

Notre haute considération lui est dédiée pour n'avoir ménagé aucun effort dans la réalisation de cette modeste initiation à la recherche.

Nous tenons aussi à remercier la Directrice de l'Environnement de Tiaret, le responsable de Géologie du Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest, le Directeur de l'Algérienne des Eaux et Mr Mustapha B. de la Direction des Ressources en eau pour leurs précieuses aides.

Notre profonde reconnaissance et considération vont à l'encontre de tous les enseignants ayant participé à notre formation et plus particulièrement à Mr ZERARKA AEK, Mr SABOUA et Mr AMEUR.

Nos remerciements vont également à l'endroit de Mr Halim Arraria qui nous a non seulement accueillis dans son Bureau d'Etude d'Hydraulique-Et-Environnement (H2E) mais aussi pour son assistance et son aide.

A tous ceux que nous n'avons pas pu citer ici et qui de près ou de loin ont participé d'une façon à une autre à ce modeste travail, nous vous remercions et que Allah vous remplit de sa grâce.

DEDICACE

A mon père Nonguema Omar OUEDRAOGO,

A ma mère Fatoumata SALOU,

A mes frères et sœurs Rachidatou, Moussa, Adjara, Youssouf et Safietou,

Personnes en qui je trouve le courage et la force de toujours aller de l'avant,

Je vous porte au fond de mon cœur !

A tous mes amis !

A mon pays, le Burkina Faso, la terre des Hommes intègres !

Ahmeda Assann OUEDRAOGO

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à **mes parents**. Halim et Safia*

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.

A ceux qui m'ont soutenue tout au long de ce projet :

*A **mon frère** Mohamed et **ma sœur** Ikram sans oublier ma **grand-mère**,*

A Toute ma famille, et mes amis,

A mon binôme Assann et notre encadreur Mr Mouchara,

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

Je vous dis merci.

Abdelkader Amir ARRARIA

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Sommaire	
Listes des figures	
Liste d'abréviations	
Résumé	
Introduction général	06

CHAPITRE 1 : CADRE PHYSIQUE ET GEOLOGIQUE

Introduction	07
I. Cadre physique.....	07
I.1. Situation géographique	07
I.1.1. Situation de la wilaya de Tiaret	08
I.1.2. Situation de La Zone d'étude	07
I.2. Démographie et Zones naturelles.....	08
I.2.1. La population	08
I.2.2. Les zones naturelles	09
I.2.2.1. Les massifs forestiers	09
I.2.2.2. Parcours steppiques.....	09
I.3. Activités socio-économiques	10
I.3.1. L'Agriculture-L'élevage	10
I.3.2. Industrie	10
II. Relief Et Hydrographie.....	10
II.1. Aperçu générale du relief de la wilaya	10
II.2. Lèves topographique de la zone industrielle	12
II.3. Réseau hydrographique	12
II.3.1. Les bassins versants.....	12
II.3.1.1. Le Cheliff Zahrez	12
II.3.1.2. Le Bassin versant des Hauts Plateaux Oranais ou Chott Chergui	13
II.3.2. Les ressources en eau	13
II.3.2.1. Les Barrages	13
II.3.2.1.1. Le barrage de Bakhadda	13
II.3.2.1.2. Le barrage de Dahmouni	13
II.3.2.1.3. Le barrage de Bougara.....	13
II.3.2.2. Retenues collinaires	13
II.3.2.3. Les ressources en eau souterraine	14
III. Contexte géologique.....	14
III.1. Géologie régionale	14
III.1.1. Les monts de Tiaret	14
III.1.2. Le plateau de Sersou	14
III.1.3. Les monts du Nador	15
II.2. Lithologie des formations géologiques (Tiaret)	15
II.2.1. Le Jurassique inférieur-Moyen	15
II.2.2. Le Jurassique supérieur	15
II.2.3. Le Crétacé.....	16
II.2.4. Eocène (yprésien et lutétien inférieur).....	16
II.2.5. Le Miocène	16
II.2.6. Les dépôts du Plio-quaternaire	16

II.2.7. Le Quaternaire	16
II.2.8. Aperçu de la tectonique	19
Conclusion	20

CHAPITRE 2 : HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction	21
I. Paramètre des climats	21
I.1. Précipitations.....	21
I.1.1. Les Précipitations moyennes mensuelles.....	21
I.1.2. Régime saisonnier	22
I.1.3. Les variations interannuelles des précipitations.....	23
I.2. Températures.....	25
I.2.1. Les températures moyennes mensuelles	25
I.2.3. Diagramme ombrothermique	26
I.3. Humidité	27
I.4. Evaporation	27
II. Indices climatiques	27
II.1. Indice d'aridité Annuelle de DE MARTONNE (1923).....	27
II.2. Indice pluviométrique d'Emberger (1955)	29
III. Bilan hydrique	30
III.1. Paramètres du bilan	30
III.1.1. L'évapotranspiration	30
III.1.1.1. L'évapotranspiration potentielle	31
III.1.1.2. L'évapotranspiration réelle	31
III.1.1.2.1. Formule de Turc (1961)	31
III.1.1.2.2. Méthode de C.W.Thornthwaite	32
III.1.2. Le Ruissèlement	33
III.1.3. L'Infiltration.....	34
III.2. Interprétation des éléments du bilan hydrique	34
Conclusion.....	36

CHAPITRE 3 : HYDROGEOLOGIE

Introduction	37
I. Généralités	37
I.1. Zones homogènes hydrogéologiques	37
I.1.1. La zone Nord.....	37
I.1.2. La zone Ouest	37
I.1.3. La zone Est.....	37
I.1.4. La Vallée du Touil	38
I.1.5. La Vallée de la haute Mina	38
I.2. Aperçut des aquifères dans la wilaya de Tiaret.....	38
I.2.1. Les Dolomies Kimméridgiennes.....	38
I.2.2. Les Calcaires et grés du Tithonique.....	38
I.2.3. Les Grés du barrémien – Aptien – Albien	39
I.2.4. Les Grés du Miocène inférieur	39
I.2.5. Les Dépôts du plio-quaternaire	39
II. Descriptions de la zone d'étude.....	41
II.1. Description des sols	41
II.2. Sondage et corrélation	42

III. Piézométrie de la zone d'étude.....	43
III.1. Carte piézométrique	43
III.2. Interprétation	44
Conclusion.....	45

CHAPITRE 4 : POLLUTION ET HYDROCHIMIE

Introduction	46
I. Pollution des eaux souterraines.....	46
I.1. Définitions.....	46
I.2. Activités Industrielle	46
I.2.1. Domaines agropastorales	47
I.2.2. Unités de fabrications	47
I.2.3 Stockage de produits	47
I.2.4. Divers	47
I.2. Types de Pollution	47
I.2.1. Classification 1.....	47
I.2.2. Classification 2.....	48
I.4. La pollution par des hydrocarbures.....	48
I.5.Mécanisme et facteur de pollution	49
I.5.1. Source de la pollution	49
I.5.2. Evolution dans la ZNS	49
I.5.3. Propagation et Evolution.....	50
I.5.4. Persistance de la pollution	51
II. Hydrochimie	51
II.1. Matériels et méthodes	51
II.1.1. Prélèvement et conservation des échantillons	51
II.1.2. Les méthodes d'analyses	52
II.1.3. Les méthodes d'interprétation	52
II.2. Les paramètres physiques.....	52
II.2.1. Température.....	52
II.2.2. Potentiel d'Hydrogène pH	53
II.2.3. Conductivité électrique.....	54
II.2.4. La Turbidité	55
II.2.5. Le Titre Hydrométrique (TH).....	56
II.3.Les paramètres Chimiques.....	57
II.3.1. Le Phosphate (PO ₄ ⁻)	57
II.3.2. Les Nitrates (NO ₃ ⁻)	58
II.3.3. Nitrites (NO ₂ ⁻)	59
II.3.4. L'ammonium (NH ₄ ⁺).....	59
II.3.5. Les chlorures (Cl ⁻).....	60
II.3.6. La teneur en bicarbonate HCO ₃ ⁻	61
II.3.7. Le magnésium (Mg ⁺)	61
II.3.8. La Matière Organique (MO).....	62
II.3.9. Les sulfates	63
II.3.10. Le calcium	63
II.4. Diagramme de Piper	64
Conclusion.....	65

CHAPITRE 5 : VULNERABILITE

Introduction	66
I. Concept de vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution	66
I.1. Notion de vulnérabilité	66
I.2. Types de vulnérabilité.....	66
I.2.1. La vulnérabilité intrinsèque	66
I.2.2. La vulnérabilité spécifique.....	67
I.3. Les critères de vulnérabilité	67
I.3.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque	67
I.3.1.1. Critères relatifs au sol	67
I.3.1.2. Critères relatifs à la zone non saturée	67
I.3.2. Critères de vulnérabilité spécifique	68
II. Cartographie de vulnérabilité	68
II.1. Objet de cartographie.....	68
II.2. Classification des méthodes.....	68
II.3. Choix de la méthode	69
III. Méthode GOD pour l'estimation de la vulnérabilité	69
III.1. Méthode de cartographie	70
III.2. Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques.....	72
III.2.1. Paramètre « G » type de l'aquifère.....	72
III.2.2. Paramètre « O » Nature lithologique de la ZNS	73
III.2.3. Paramètre « D » profondeur à la nappe.....	74
III.3. Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon GOD.....	75
Conclusion.....	78
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	79
Bibliographie	81
Annexe	

CHAPITRE 1 : CADRE PHYSIQUE ET GEOLOGIQUE

Figure 1: Carte de localisation de la wilaya de Tiaret (DRE, 2017)	07
Figure 2: Figure 2 : Image satellite de la Zone Industrielle de Tiaret (Source : Google Earth, 2018).....	08
Figure 3: Carte Homogène de la région de Tiaret (CFT, 2014).....	11
Figure 4 : levés topographique la zone industrielle.....	12
Figure 5 : Coupe Litho stratigraphique locale de Tiaret (Bouchentouf K., 1982)	17
Figure 6: Extrait de la Carte géologique de Tiaret 1/200000 (ANRH, 2008)	17
Figure 7 : Coupe géologique de Tiaret d'après (SGA ,1972)	18

CHAPITRE 2 : HYDROCLIMATOLOGIE

Figure 9 : Régime saisonnier des précipitations de (1986-2017).....	23
Figure 10 : Répartition des Précipitations interannuelles de la région d'étude (1986-2017).....	25
Figure 11 : Variations mensuelles des températures (station Ain Bouchekif, 1986-2017).....	26
Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017)	26
Figure 13 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martonne (Station Ain Bouchekif, 1986-2017)	28
Figure 14 : Diagramme d'Emmberger avec la Station d'Ain Bouchekif (1986-2017).....	30
Figure 15 : Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif 1986-2017.....	35
Figure 16 : Récapitulatif du Bilan hydrique de la Station d'Ain Bouchekif 1986-2017	36

CHAPITRE 3 : HYDROGEOLOGIE

Figure 17 : Extrait de la carte hydrogéologique de Tiaret (ANRH, 2008).....	40
Figure 18 : Points de Sondage.....	42
Figure 19 : profil 1 (S10-S7)	42
Figure 20 : profil 2 (S11-S1)	43
Figure 21 : Carte Piézométrique de la zone industrielle de Tiaret (Nov, 2017).....	44

CHAPITRE 4 : POLLUTION ET HYDROCHIMIE

Figure 22 : Image satellitaire de la zone industrielle avec les forages pollués en rouges et les forages sains en blue (Google Earth, 2018)	48
Figure 23 : Propagation de l'Hydrocarbure à la surface de la nappe (BARES.M, CARLY.R, LALLEMAND.A 1984).....	49
Figure 24 : Contamination du sol par la fluctuation de la surface piézométrique (BARES.M, CARLY.R, LALLEMAND.A 1984).....	50
Figure 25 : Mécanisme de transport de l'huile après déversement (BARES.M, CARLY.R, LALLEMAND.A 1984).....	51

Figure 26 : Histogramme des Variations de température des eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en °C.....	53
Figure 27 : Histogramme des valeurs du potentielle Hydrométrique dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret	54
Figure 28 : Histogramme des valeurs de la conductivité dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en uS/cm.....	55
Figure 29 : Courbe des valeurs de la turbidité dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en NTU.....	56
Figure 30 : Courbe des valeurs du Titre Hydrométrique dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	57
Figure 31 : Histogramme des variations des phosphates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	58
Figure 32 : Histogramme des variations des nitrates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L.....	58
Figure 33 : Histogramme des variations des nitrites dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	59
Figure 34 : Histogramme des variations de l'ammonium dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	60
Figure 35 : Histogramme des variations des chlorures dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	60
Figure 36 : Histogramme des variations des bicarbonates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	61
Figure 37 : Histogramme des variations du magnésium dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	62
Figure 38 : Histogramme des variations de la matière organique dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L.....	62
Figure 39 : Histogramme des variations des sulfates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	63
Figure 40 : Histogramme des variations du calcium dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L	64
Figure 41 : Diagramme de Peiper des eaux souterraine de la zone industrielle de TIARET.....	65

CHAPITRE 5 : VULNERABILITE

Figure 42 : La méthode GOD, paramètres et cotations (in Valérie Murat, 2000).....	71
Figure 43 : Carte du paramètre "G" type d'aquifère de la Zone Industrielle de Tiaret (SURFER11)	73
Figure 44 : Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS de la Zone Industrielle de Tiaret	74
Figure 45 : Carte du paramètre "D" Profondeur à la nappe dans la Zone Industrielle de Tiaret	75
Figure 46 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon la méthode GOD	76
Figure 47 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution des eaux de la Zone d'étude selon la méthode GOD	77

CHAPITRE 1 : CADRE PHYSIQUE ET GEOLOGIQUE

Tableau 1 : Perspective démographique de la commune de Tiaret (PAW, 2008)	09
Tableau 2 : Répartition Générale des Terres de la wilaya de Tiaret (PAW, 2008).....	08

CHAPITRE 2 : HYDROCLIMATOLOGIE

Tableau 3 : Les caractéristiques de la station d'Ain Bouchekif.....	21
Tableau 4 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d'Ain Bouchekif entre 1986-2017.....	22
Tableau 5 : Précipitations saisonnière de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017).....	22
Tableau 6 : Précipitations interannuelles et Coefficients Pluviométrique (Cp) de la Zone d'étude (1986-2017).....	24
Tableau 7 : Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017).....	25
Tableau 8 : L'humidité relative moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013)	27
Tableau 9 : L'évaporation moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013) ..	27
Tableau 10 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimat correspondant (De Martonne in Meddour, 2010)	28
Tableau 11 : Evapotranspiration mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017).....	31
Tableau 12 : Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017).....	33

CHAPITRE 4 : POLLUTION ET HYDROCHIMIE

Tableau 13 : Types de pollution.....	47
Tableau 14 : Localisation des points de prélèvement en UTM.....	52

CHAPITRE 5 : VULNERABILITE

Tableau 15 : Indices des paramètres calculés selon la méthode GOD.....	72
Tableau 16 : Echelle de vulnérabilité hydrogéologique (MIGUEL Edilasio A. PAIM Paulo J., 2015).....	77

AD : Année déficitaire.

ADE : Algérienne Des Eaux.

AE : Année excédentaire.

AEP : Alimentation en eau potable.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique – Tiaret.

APC : L'Assemblée Populaire Communale.

BH : Bilan Hydrique.

CFT : Conservation des Forêts de la wilaya de Tiaret.

Cp : Coefficient pluviométrique.

CW : Chemin-Willaya.

Def : Déficit agricole.

DPAT : Direction des Populations et des Planifications.

DRE : Direction des Ressources en Eau.

ID : Indice de la Profondeur de la nappe.

IG : Indice du Type d'aquifère.

IGOD : Indice de GOD.

IM : Indice d'aridité de Martonne.

IO : Indice de la Lithologie de l'aquifère.

K : Coefficient de correction de la latitude.

LTPO : Laboratoire des Travaux Public de l'Ouest.

PAWT : Plan d'Aménagement de la Willaya de Tiaret.

Q : Quotient pluviométrique d'Emberger.

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

UTM : La projection universelle transverse de Mercator.

Z.N.S : Zone non saturée.

Résumé

Cette étude poursuit deux objectifs à savoir contribuer à dépolluer et d'aider à préserver les ressources en eaux à la zone industrielle de Tiaret. En premier lieu, il s'agit d'approcher les contextes hydrogéologiques et hydrochimiques en vue d'identifier des aquifères et comprendre l'hydrodynamisme de la zone d'étude. En effet, une description géologique, une corrélation des coupes de sondage, une campagne piézométrique et une analyse chimique ont été réalisés. Ces études ont mis en évidence la présence de deux nappes dont l'une est superficielle avec une lithologie de calcaire gréseux et l'autre nappe plus profonde est logée dans des calcaires fissurés. En second lieu, après une brève description du mécanisme de pollution par les hydrocarbures, l'étude hydrochimique a permis de conclure l'existence d'un faciès chloré, sulfaté, calcique et magnésien. La carte de vulnérabilité établie par la suite selon la méthode de GOD montre deux zones de vulnérabilité dont l'une est modérée et l'autre faible. Enfin, des recommandations ont été formulées afin de contribuer à la dépollution et la protection des eaux souterraines de la Zone industrielle de Tiaret.

Mots clés : Hydrogéologie-pollution industrielle-hydrocarbures-vulnérabilité.

Abstract

Remove the contamination caused by hydrocarbons and maintain water resources in the industrial area of Tiaret are the two goals of this study. Indeed, hydrogeological and hydrochemical studies are conducted to identify and characterize aquifers at the site. A geological description, a water level map, and chemical analyzes have been completed this work. These studies show the presence of two layers of groundwater, one composed geologically of calcareous-sandy layers and the second deeper than the first composed of cracked calcareous layers. Moreover, after a brief description of the accidental pollution, a vulnerability map were completed by using God's method. Finally; some recommendations have given to overcome the situation and maybe could help to solve the problem.

Keys words: Hydrogeology- industrial pollution-water-groundwater-hydrocarbon.

ملخص:

هذه الدراسة تتبع هدفين في معرفة كيفية إزالة هذا التلوث والمساعدة على المحافظة على مصادر المياه على مستوى المنطقة الصناعية لبلدية تيارت.

أولا تجب دراسة هيدروجيولوجية وهيدروكيميائية للتعرف على المياه الجوفية وحركيتها على مستوى مكان الدراسة، لهذا فان وصفا جيولوجيا ومقاطع لحفر وخريطة بيزومترية وتحاليل كيميائية قد أنجزت هذه الدراسات بينت وجود طبقتين للمياه الجوفية واحدة سطحية متكونة جيولوجيا من طبقات كلسيه -رملية والثانية أعمق من الأولى مكونة من طبقات كلسيه مشققة.

ثانيا بعد وصف قصير للتلوث الحادث. قد أنجزت خريطة هشاشة (vulnérabilité) بطريقة god. للوضع الاستعجالي للحادث توصيات قد قدمت لاستدراك الوضع للقضاء على التلوث والمحافظة على هذه المصادر للمياه.

كلمات مفتاحية :

هيدروجيولوجية -هيدروكيميائية -خريطة بيزو مترية

INTRODUCTION GENERALE

La croissance démographique dans le monde pourrait atteindre les 9 milliards en 2050. (**Éric Gilli, Christian Mangan et Jacques Mudry, 2012**). Vu que la consommation d'eau double tous les 20 ans dans le monde, il est clair que la question de l'eau revêt un intérêt capital.

Pour l'Algérie, les ressources en eau constituent l'une des principales richesses sur lesquelles repose la prospérité.

L'eau, source de vie et de développement, constitue d'une part le facteur décisif pour l'augmentation de la production agricole et d'autre part un facteur déterminant pour la croissance du développement socioéconomique.

Tiaret 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 industriels.

Le développement précipité et incontrôlé de l'industriel peut-être une cause de détérioration de la qualité de l'eau. En effet l'activité industrielle engendre des déchets polluant qui lorsqu'elles sont reversées dans l'environnement par le billet des accidents ou autres polluent les eaux et des sols.

A la zone industrielle de Tiaret, quelques forages ont été pollués par des hydrocarbures. Notre travail a pour but de comprendre le contexte hydrogéologique afin d'apporter notre pierre au processus de dépollution envisagé et d'aider à préserver les ressources souterraines dans cette zone.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons élaboré cinq chapitres :

- ✚ Dans un premier chapitre, nous essayerons de comprendre le cadre physique et géologique de la région d'étude à travers une étude bibliographique.
- ✚ Ensuite le second chapitre fera l'objet de l'étude climatologique de la région.
- ✚ Puis, au chapitre trois, l'hydrogéologie de la zone d'étude sera présenter.
- ✚ Au chapitre quatre, nous allons effectuer une étude d'hydrochimie.
- ✚ Enfin, la vulnérabilité du système aquifère fera l'objet du dernier chapitre.

CHAPITRE 1

CADRE PHYSIQUE ET GEOLOGIQUE

Introduction

Les cadres physiques et géologiques sont indispensables pour comprendre le cheminement et le comportement des eaux souterraines. Ainsi, nous allons dans ce chapitre essayer de comprendre le relief, le réseau hydrographique, les formations géologiques et les activités humaines dans la zone d'étude.

I. Cadre physique

I.1. Situation géographique

I.1.1. Situation de la wilaya de Tiaret

La wilaya de Tiaret est localisée au nord-ouest de l'Algérie à 361 km de la capital Alger. Sa superficie est 20.200km². Il est limité par les wilayas de Tissemsilt et de Relizane au nord, Laghouat et El-Bayadh au sud, Mascara et Saida à l'ouest et la wilaya de Djelfa à l'Est. Quant à la commune de Tiaret, elle est limité par les communes de Dahmouni et Oued Lili au nord, de Guertoufa et Tagdempt à l'Ouest, Ain Bouchekif a l'Est et de Mellakou au sud.

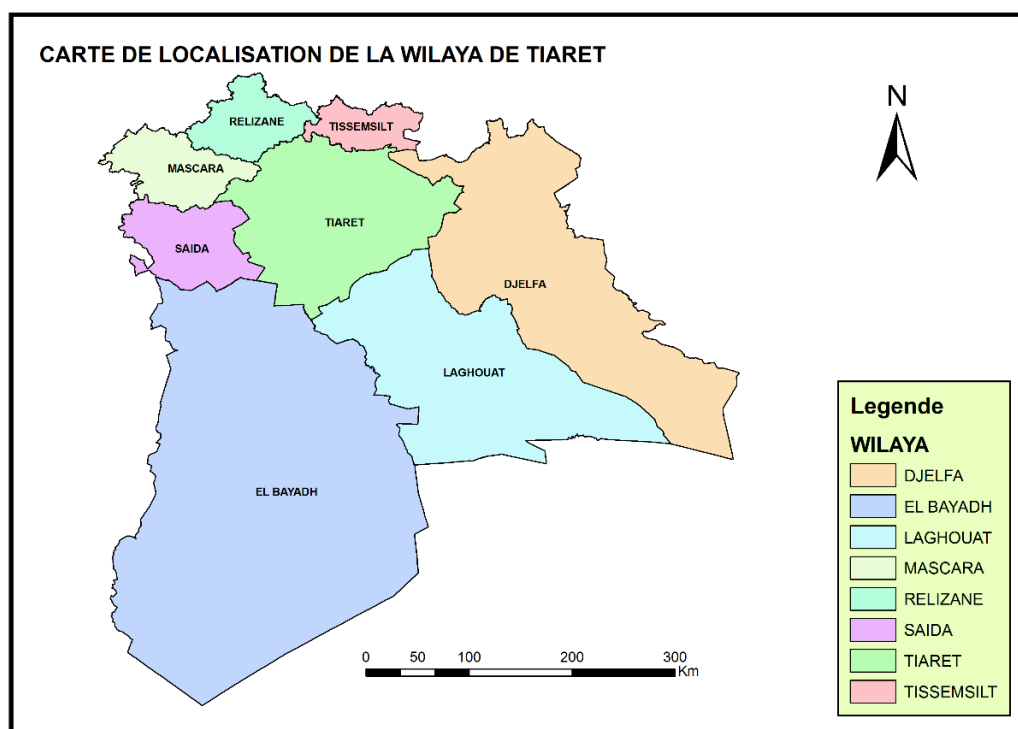


Figure 1: Carte de localisation de la wilaya de Tiaret (DRE, 2017)

I.1.2. Situation de La Zone d'étude

La ville de Tiaret constitue le point de convergence de plusieurs voies de communication nationale et régionale à savoir : La RN23, la RN14, la RN90, le CW11 et le CW7. L'extension urbaine de la ville s'est fait le long de ses axes en donnant naissance à un plan d'organisation radioconcentrique. La Zone Industrielle de Tiaret qui constitue le site d'étude est située au Sud de la ville, du côté ouest de la RN 14 et Est de la RN 90. Cette zone, en extension, couvre une superficie d'à peu près 319 ha.



Figure 2: Image satellite de la Zone Industrielle de Tiaret (Source : Google Earth, 2018).

I.2. Démographie et Zones naturelles

I.2.1. La population

La population tiaretienne a plus que doublé depuis les années soixante. Depuis, le taux de croissance annuel moyen a sensiblement diminué ; il était de 3,68 % entre 1966 -1977 pour passer à 1,44 % durant la dernière décennie (1998-2008). Une baisse de fécondité est observée : 2,63 enfants par femme en 2002, contre 7,4 en 1970. Ci-dessous la perspective de la population tiaretienne.

Tableau 1 : Perspective démographique de la commune de Tiaret (PAW, 2008)

Commune	POP	COURT	MOYEN	LONG
		2008-2013	2013-2018	2018-2028
Tiaret	194857	213046	230644	267671

I.2.2. Les zones naturelles

Les références montrent deux principales formations à savoir les massifs forestiers et les parcours steppiques.

I.2.2.1. Les massifs forestiers

Au niveau de la wilaya quatre sous zones ont été inventoriées par le Bureau national d'études pour le développement rural (B.N.E.D.E.R, 1988) et on a : le Massif forestiers de Sdams Charguis, le Massif forestiers de Sdams Gharbi-Nord, le Massif forestiers de Sdams Gharbi-Sud, le Djebel Nador.

Les formations forestières (forêt, maquis et reboisement) occupent une superficie de 154 200 has correspondant à un taux de boisement estimé à 7.5%. Du point de vue essences forestières les formations de Pin d'Alep pures sont largement dominantes et occupent une superficie de 41 487 ha soit environ 28 % des superficies forestières. (CFT, 2014).

I.2.2.2. Parcours steppiques

Les zones steppiques couvrent une superficie de 1.380.401 ha, soit 68,44% de la superficie totale de la Wilaya. En majorité, elles sont localisées dans le sous étage bioclimatique aride moyen qui est caractérisé par une végétation purement steppique et une pluviométrie variant entre les isohyètes 200 et 300 mm/an. Excepté le massif du Nador qui se localise dans l'aride supérieur, où s'y trouvent des essences forestières vestigiales associées aux espèces steppiques.

I.3. Activités socio-économiques

I.3.1. L'Agriculture-L 'élevage

La wilaya de Tiaret a un caractère agro-pastoral. Il y'a essentiellement une agriculture de céréales, des fourrages, les légumes, la pomme de terre et les oignons. Les ovins et bovins, les œufs, les laits et la laine constitue le volet principales de la production animale.

Tableau 2 : Répartition Générale des Terres de la wilaya de Tiaret (PAW, 2008)

Surface Agricole Totale S.A.T (ha)	Surface Agricole Utile S.A.U (ha)	Foret (ha)	Pacages et Parcours (ha)	Terres Incultes (ha)
7162	7112	2341.65	692	2076.35

I.3.2. L'industrie

Le tissu industriel est conséquent et permet d'énormes possibilités en matière de manufacture et de sous-traitance. La zone industrielle de Tiaret dispose des entreprises évoluant dans les domaines alimentaires (produits alimentaires, élevage avicole,..), des fabrications (Bitumes, bétons, menuiserie,) et de stockage de produits (hydrocarbure, médicaments, etc.).

II. RELIEF ET HYDROGRAPHIE

II.1. Aperçu générale du relief de la wilaya

D'une façon générale, le relief est caractérisé par des monts, des plateaux et des plaines.

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 moyennes 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.

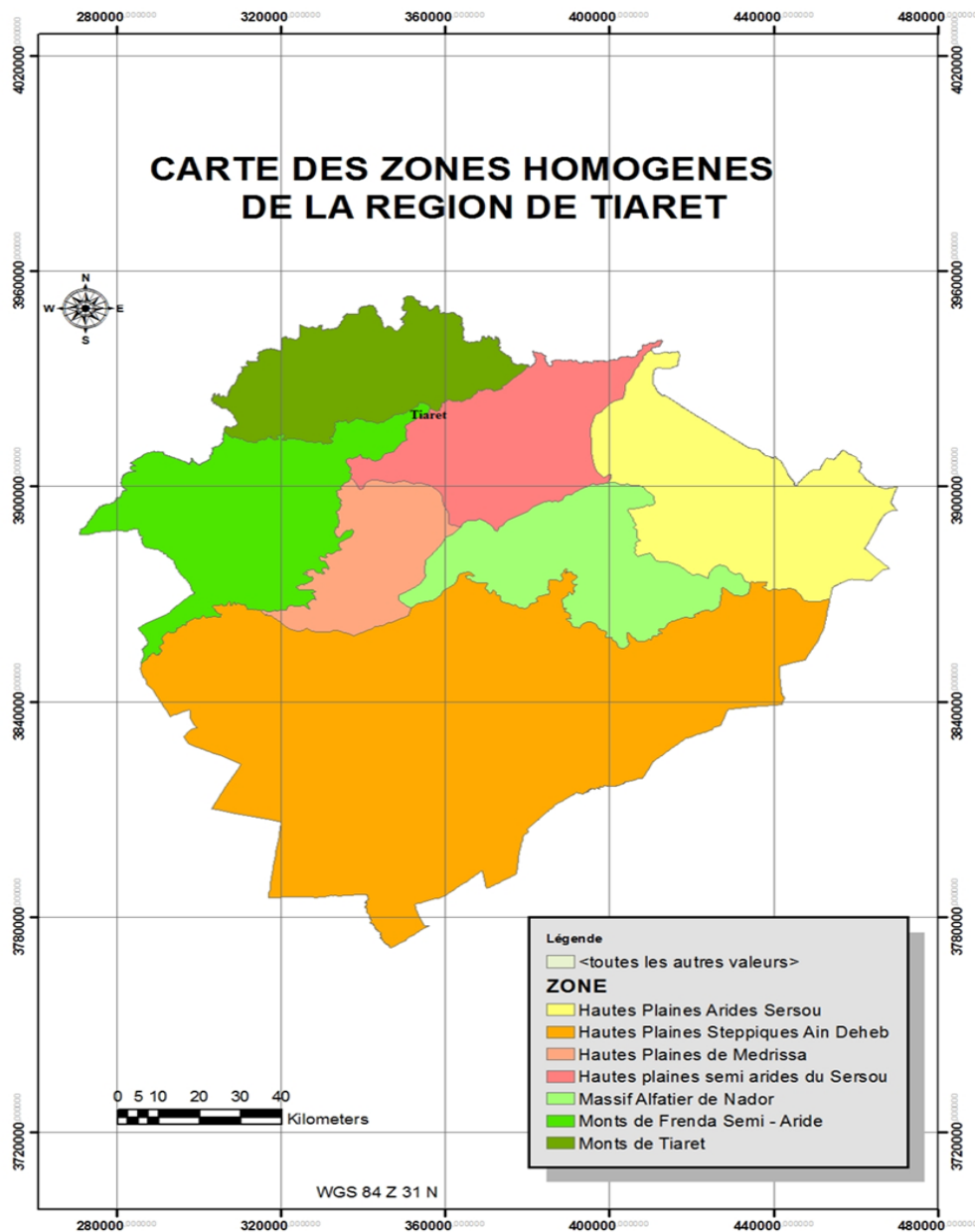


Figure 3: Carte Homogène de la région de Tiaret (CFT, 2014)

II.2. LEVES TOPOGRAPHIQUE DE LA ZONE INDUSTRIELLE

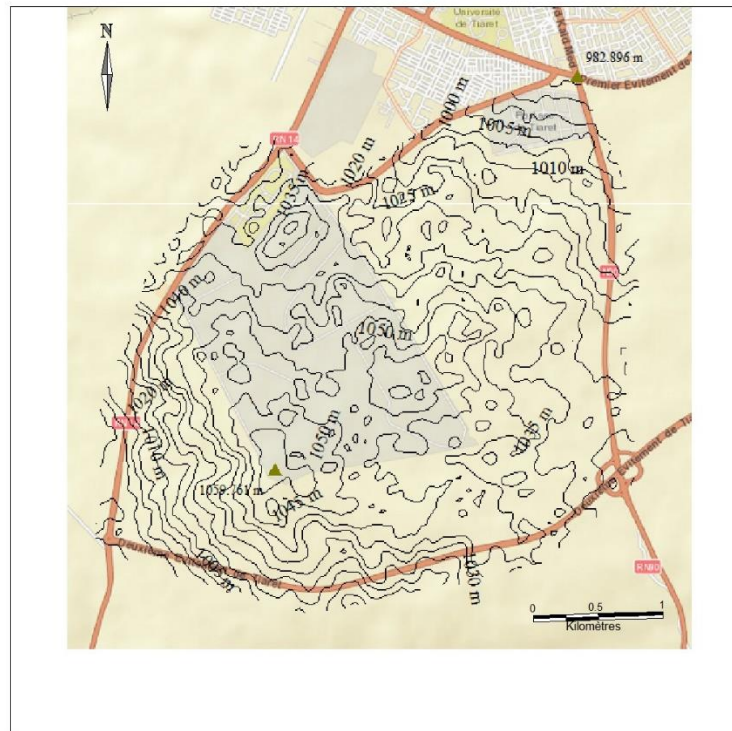


Figure 4: levés topographique la zone industrielle

II.3. Réseau hydrographique

II.3.1. Les bassins versants

La wilaya de Tiaret est intégrée à deux grands bassins versants à savoir : le Bassin Versant du Cheliff Zahrez et celui des Hauts Plateaux Oranais.

II.3.1.1. Le Cheliff Zahrez

La superficie totale est de 43750 km² et regroupe 08 wilayas. Tiaret n'occupe cependant que 14344 km² soit 33% de sa superficie totale.

II.3.1.2. Le Bassin versant des Hauts Plateaux Oranais ou Chott Chergui

Il possède une superficie est de 49704 km² et s'étend sur 5 wilayas dont El Bayadh, Naama, Saïda, Sidi Bel Abbès et Tiaret. Au niveau de cette dernière, le bassin versant de Chott Chergui occupe 7686 km² soit 15% de sa superficie totale.

II.3.2. La ressource en eau

La ressource en eau dans la wilaya de Tiaret accuse des déficits. Afin de combler ceux-ci constatés notamment en matière d'eau potable et assurer le développement futur au niveau du territoire de la wilaya de Tiaret, le recours aux transferts d'eau, aux dessalements des eaux de mer et à la réutilisation des eaux usées sont les solutions envisagées par les autorités.

II.3.2.1. Les Barrages

II.3.2.1.1. Le barrage de Bakhadda

Il est situé à l'Ouest de la wilaya dans la commune de Mechraa Sfa à une altitude de 665 mètres. Le barrage est destiné à AEP des localités de Tiaret, Rahouia, Mechraa Sfa, Djillali Ben Ammar, Kharouba, Guertoufa et Temda.

II.3.2.1.2. Le barrage de Dahmouni

Celui-ci est localisé au Nord de la wilaya dans la commune de Sebaine à une altitude de 925 mètres et permet l'irrigation du périmètre d'à peu près 4000 ha.

II.3.2.3. Le barrage de Bougara

Située à l'Est de la wilaya dans la commune de Bouguara à une altitude de 809,50 mètres, il est utilisé pour irriguer des périmètres dans la wilaya de Tiaret à l'aval sur le territoire de wilaya de Tissemsilt.

II.3.2.2. Retenues collinaires

La wilaya dispose de 18 retenues collinaires d'une capacité totale de 11,671 HM³. Dans les pays semi-arides comme le cas de la région de Tiaret, la production agricole peut être intensifiée par la création de nombreuses retenues collinaires. Ces dernières peuvent

constituer des réserves stratégiques pour l'alimentation en eau des populations et du cheptel en cas de sécheresse prolongée.

II.3.2.3. La ressource en eau souterraine

Les ressources en eau souterraines ne sont pas en reste dans la région. Elles ont une forte contribution à l'alimentation en eau potable avec 162 forages, 27 puits et 11 sources. Tout cela fournit une production journalière estimée à 96000 m³. Les nappes du Sersou, de Chott Chergui, et d'Oued Touil sont les trois importantes nappes de la wilaya.

III. Contexte géologique

La géologie est la base de toute étude hydrogéologique. En effet, elle fournit d'importants renseignements sur les formations lithologiques susceptibles de constituer les réservoirs en eaux souterraines.

III.1. Géologie régionale

L'Algérie se divise de la méditerranée au Sahara, en quatre unités géomorphologiques. On a : l'Atlas tellien, les Hauts plateaux et Hautes plaines, l'Atlas saharien, les chaînons calcaires littoraux et le Sahara.

Dans la région d'étude, plusieurs grandes structures existent. Cependant, nous feront 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.

III.1.1. 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.

III.1.2. Le plateau de Sersou

Le Plateau du Sersou se présente comme une "vaste dépression allongée Ouest-Est, comblée à la fin du Miocène et pendant le Pliocène par des dépôts fluvio-lacustres arrachés aux massifs de l'Ouarsenis et du Djebel Nador"

III.1.3. 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. Ces monts appartiennent aux domaines pré atlasique. La chaine du Nador est constituée de terrains jurassiques et laisse apparaitre un anticlinal du Trias (argile bariolée, gypse et calcaire) et du Jurassique (calcaire, dolomie et marne) (**DRE Tiaret, 2007**).

III.2. 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.

III.2. 1. Le Jurassique inferieur-Moyen

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

III.2. 2. Le Jurassique supérieur

Le 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 a une lithologie composé 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.

III.2. 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 calcaireuses 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.

III.2. 4. Eocène (yprésien et lutétien inférieur)

Ce sont des formations calcaire-marneuse localisé au niveau de l'oued salenese.

III.2. 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.

III.2. 6. Les dépôts du Plio-quaternaire

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

III.2. 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.


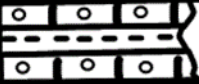






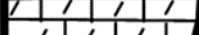
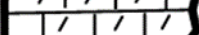
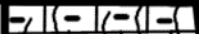

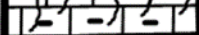
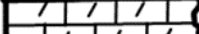
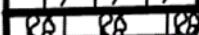
Etage	Coupe stratigraphique	Epaisseur	Lithologie
Plio Quaternaire		10 m	Alluvions
Miocène inférieur		40 m	Conglomérats+Argiles
Sénonien		35 m	Calcaires à gypse
		100 m	Dolomies cristallines
		100 m	Marno-calcaires
		50 m	Calcaires graveleux
			
Turonien		100 m	Dolomies calcaires
Cénomanién		150 m	Calcaires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

Figure 5 : Coupe Litho stratigraphique locale de Tiaret (Bouchentouf K., 1982)

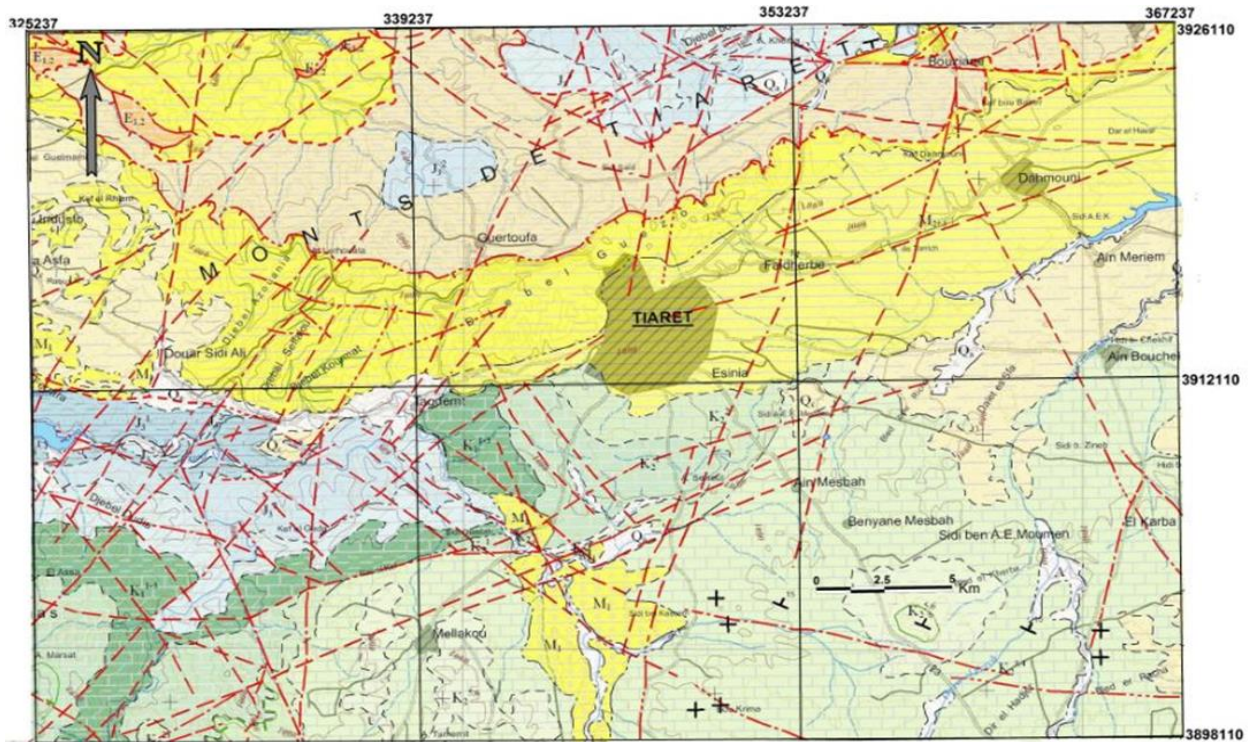


Figure 6: Extrait de la Carte géologique de Tiaret 1/200000 (ANRH, 2008)

Légende des formations litho-stratigraphiques

	Q ₂ Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piedmont (sables, graviers et argiles) et mollasses
	Q ₁ Quaternaire: Croûte calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface enroûtée
	M ₂₋₃ Miocène moyen et supérieur (Vindobonien): Grès et poudingues
	O ₁ Oligocène: Grès et passées marneuses
	K ₂ ² Crétacé supérieur (Turonien): Calcaires et marnes
	K ₂ ¹ Crétacé supérieur (Cénomaniens): Calcaires jaunes, marnes et gypse et dolomies
	K ₁ ¹⁻³ Crétacé inférieur (Berriasien-Hauteriviens): Calcaires dolomités et marnes
	J ₂ ² Jurassique supérieur (Kimmérgien): Dolomies, calcaires, grès et argiles
	J ₁ ¹ Jurassique supérieur (Oxfordien): Argilites, grès calcaires et marnes

Légende des signes conventionnels

	Limite géologique - déterminée
	Limite géologique - supposée
	Chevauchement ou contact anormal - déterminé
	Chevauchement ou contact anormal - supposé
	Faïlle déterminée
	Faïlle supposée
	Trace de stratification
	Pendage de la couche
	Verticalité
	Horizontalité
	Anticlinale
	Synclinale

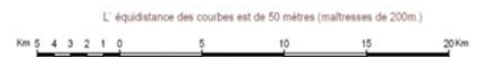
Signes topographiques

	Route		Chef-lieu de la wilaya
	Route secondaire		Villes
	Chemin		Chott et Sebkhia
	Chemin de fer		Plan d'eau
	Courbe		Point d'eau
	Oued temporaire		
	Oued permanent		

Légende des éléments linéaires - Télédétection

	Limite déterminée
	Limite supposée
	Chevauchement déterminé
	Chevauchement supposé
	Faïlle déterminée
	Faïlle supposée
	Trace de stratification
	Pendage de la couche

Echelle 1/200 000



Les amorces en bistre correspondent au quadrillage kilométrique Système Géodésique Nord Sahara 1959 Projection MTU Fuseau 31

III.3. Aperçu de la 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 apparaître le Trias. Au Nord, l'anticlinal de Tiaret fait sortir 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**).

Des formations souples viennent s'ajouter à la tectonique en écaillés cassantes où l'ensemble des plissements Jurassiques et Crétacés présente une orientation générale SW-NE qui se noie sous les formations Tertiaires du Nord.

CONCLUSION

Région à vocation agropastorale, la wilaya de Tiaret s'inscrit dans un espace naturel très vaste et repose sur un relief limité par l'Atlas Tellien au nord, l'Atlas saharien au Sud, le massif de Frenda au Nord-Ouest et le reste représenté par les hauts plateaux.

La wilaya fait partie du bassin de Cheliff et du bassin des Hauts Plateaux Oranais. L'approvisionnement en eau pour les activités sont assurés par les barrages (Bakhadda, Dahmouni et Bougara), les retenues collinaires (18), les forages et les puits.

L'étude Géologique montrent des formations lithostratigraphiques le plus souvent sédimentaires qui vont du Trias au quaternaires. Les éléments tectoniques (failles, anticlinaux et synclinaux) sont présentes et comme la plus part des grandes structures du pays, ces formations sont orienté Sud-ouest et Nord-est. Au prochain chapitre, nous essayerons de comprendre le climat qui règne dans la région.

CHAPITRE 2

HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction

La connaissance des conditions climatiques est indispensable pour toute étude hydrogéologique. Le climat joue un rôle majeur dans le comportement des aquifères. Les précipitations lorsqu'elles sont efficaces permettent le remplissage des aquifères alors que la température, l'évapotranspiration et les vents jouent un rôle opposé.

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

Tableau 1: Les caractéristiques de la station d'Ain Bouchekif

Station	Coordonnées en UTM		Altitude (z)	code	Période d'observation
	Zone 31N				
Ain Bouchekif	X (UTM)	Y (UTM)	970 m	010904	1986-2017
	361514.01	3912160.19			

I. Paramètre des climats

I.1. PRECIPITATIONS

Les précipitations sont l'ensemble des eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre. Elles peuvent arriver sous une forme liquide (bruine, pluie, averse), solide (neige, grésil, grêle) ou se déposées (rosée, gelée blanche, givre,...). Les précipitations se caractérisent par une variabilité dans l'espace et dans le temps.

I.1.1. Les Précipitations moyennes mensuelles

Sur une période de 31 ans, le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec 63.64 mm de précipitation, et le mois de juillet comme le mois le plus sec avec 1.43 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 Bouchekif.

Tableau 2 : Les précipitations moyennes mensuelles (mm) de la station d'Ain Bouchekif entre 1986-2017.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
P_{moy}	35.05	33.45	35.89	35.98	63.64	48	49.49	17.52	24.53	20.4	1.43	6.18

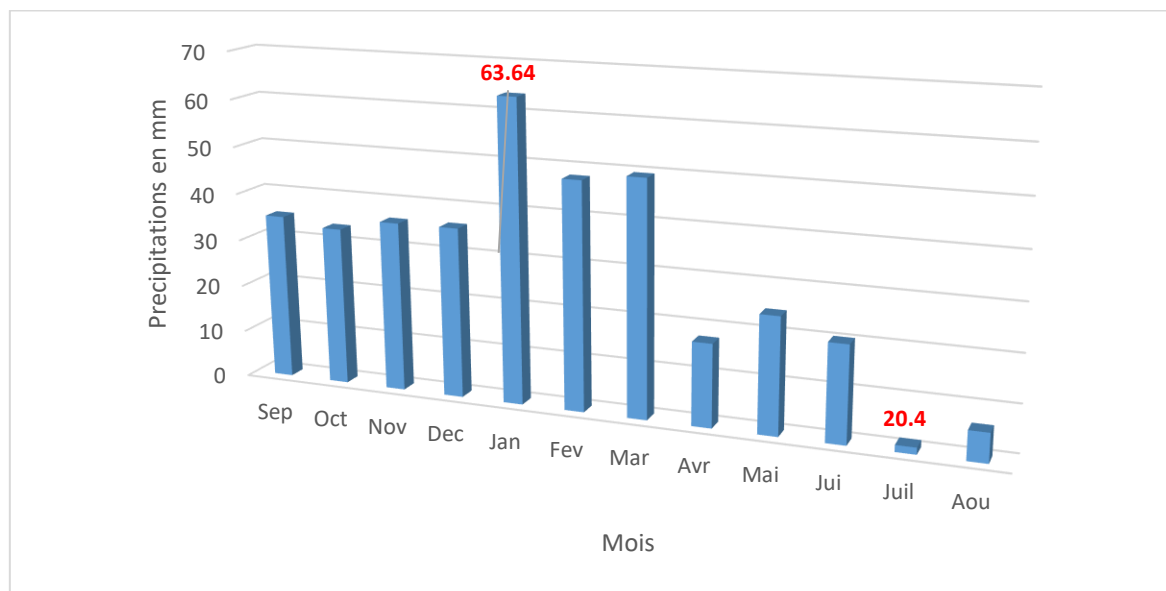


Figure 8 : Répartition mensuelle des précipitations (station Ain Bouchekif, 1986-2017)

I.1.2. Régime saisonnier

Les précipitations sont réparties de façon inégale durant les saisons. Les précipitations les plus significatives sont celles qui tombent en hiver et en automne. Cependant, les autres saisons printemps et été constituent un apport non négligeable.

Tableau 3 : Précipitations saisonnière de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017)

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été
Précipitations saisonnière (mm)	104.39mm	147.62mm	91.54	28.01
Pourcentage	28%	50%	25%	7%

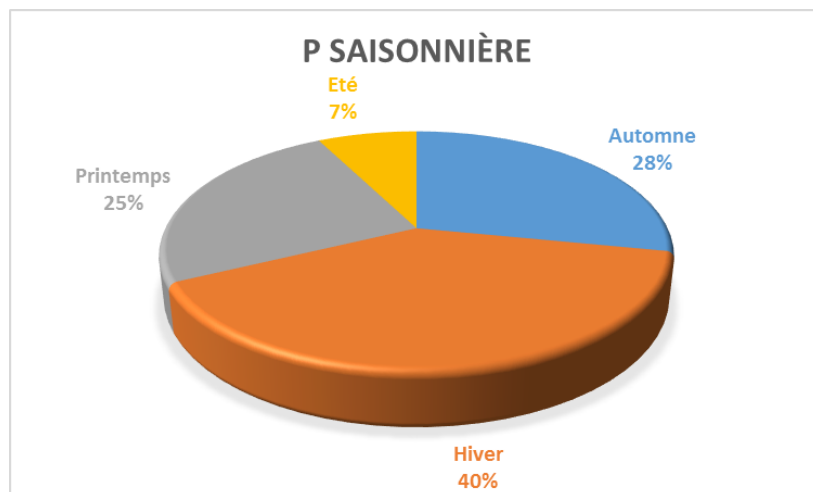


Figure 9 : Régime saisonnier des précipitations de (1986-2017)

I.1.3. Les variations interannuelles des précipitations

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)).

Proportionnelle à la pluviométrie, il s'obtient par le rapport de la pluviométrie d'une année à la pluviométrie moyenne de toute la série d'observation.

Le Coefficient pluviométrique s'exprime comme suit :

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

- ✚ CP : Coefficients pluviométrique.
- ✚ Pan : Précipitation annuelle.
- ✚ P_{moy} : Précipitation moyenne interannuelle.

Tableau 4 : Précipitations interannuelles et Coefficients Pluviométrique (Cp) de la Zone d'étude (1986-2017)

Année	Lame précipitée P (mm)	Cp	Obs	Année	Lame précipitée P (mm)	Cp	Obs
1986/1987	360.3	0.97	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	0.93	AD	2004/2005	272.5	0.73	AD
1989/1990	254.8	0.69	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	0.67	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	1.10	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	0.95	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	Pmoy (mm)	371.69		

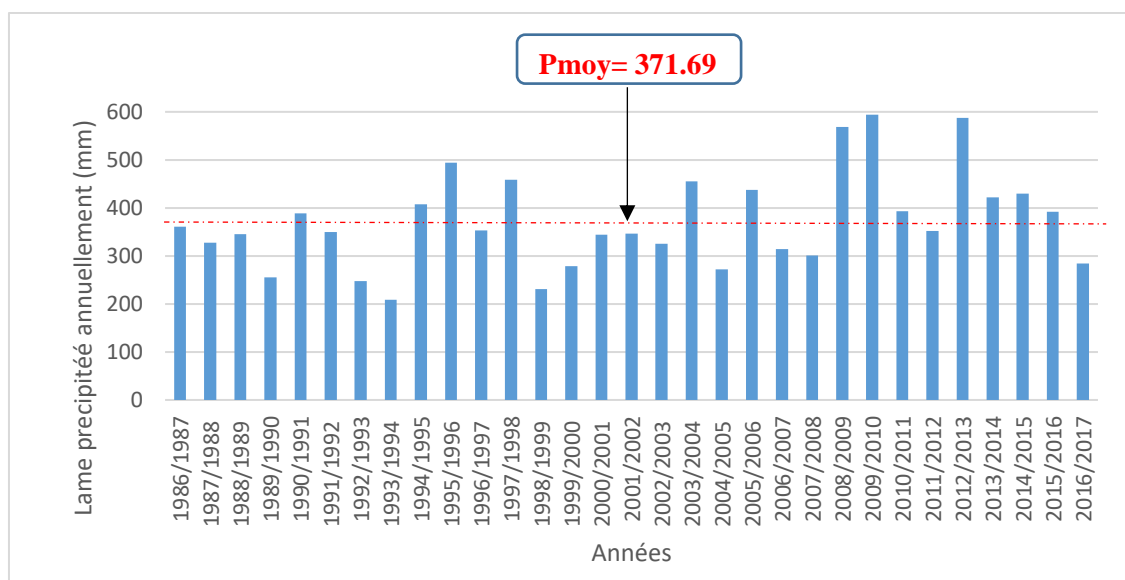


Figure 10 : Répartition des Précipitations interannuelles de la région d'étude (1986-2017)

Dans la période 1986-2017 (31 ans), l'analyse des précipitations interannuelles 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 interannuelle est de 371.69 mm. L'on constate aussi que treize années (13 ans) furent excédentaires alors que les dix-huit autres années (18 ans) était déficitaire.

I.2. Températures

I.2. 1. Les températures moyennes mensuelles

La Température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration. A Tiaret, les températures minimales sont enregistrées en hiver (7.4°C en décembre et janvier) et celles maximales en été (28.7 °C en juillet). Ci-dessous, les températures moyennes mensuelles de la station d'étude.

Tableau 5 : Les températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017)

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	MOY
T moy	22.7	18.0	11.3	7.4	7.4	8.6	11.0	15.1	20.5	24.3	28.7	28.1	16.9

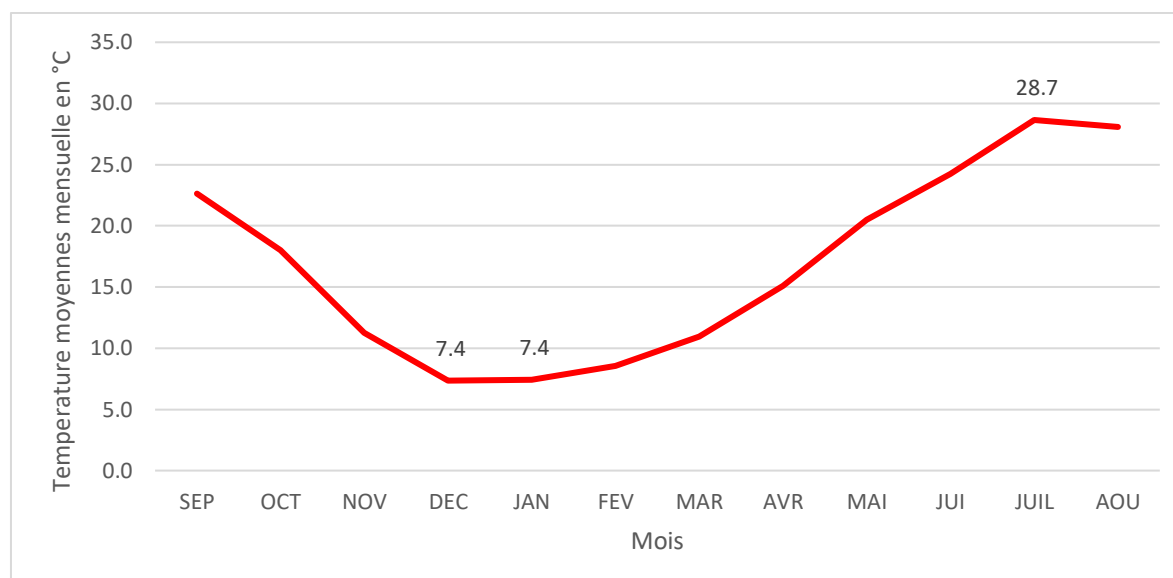


Figure 11 : Variations mensuelles des températures (station Ain Bouchekif, 1986-2017)

I.2. 3. Diagramme ombrothermique

Aussi appelé Diagramme de **F. Bagnouls et Gaussen**, le diagramme pluvio-thermique permet d'identifier les périodes sèches et humides. Ainsi, la saison sèche est celle où le total moyen des précipitations du mois est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P < 2T$) et vice versa, sur ce principe le diagramme est établis en portant les précipitations et les températures en fonction des mois de l'année, tout en prenant en considération que sur l'échelle des ordonnées $P=2T$.

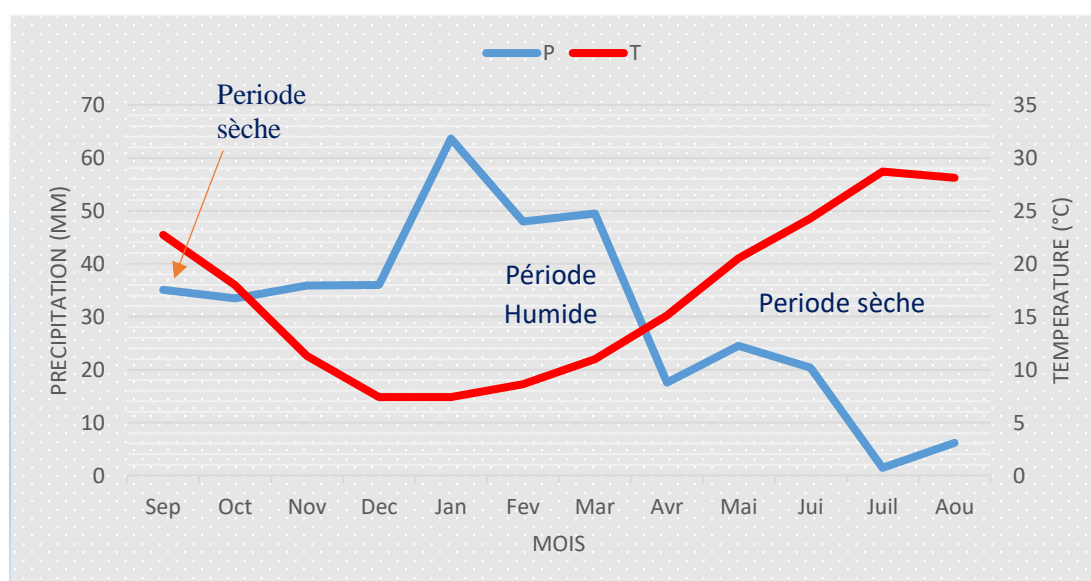


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017)

La période humide s'étale d'Octobre à Avril et la saison sèche va d'Avril à octobre.

I.3. Humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. La valeur maximum de l'humidité est enregistrée le mois de Janvier (79%) et le minimum en aout (39%). Les données d'humidité relative moyenne à la station d'Ain Bouchekif durant la période d'observation allant de l'année 1986 à 2013 sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : L'humidité relative moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
Humidité (%)	53	62	72	77	79	77	67	64	58	44	36	39

I.4. Evaporation

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur. Elle est un paramètre très essentiel du fait de représenter une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrologique d'une région donnée. Ce paramètre dépend de plusieurs facteurs qui sont variables tels que la température, les précipitations, la vitesse des vents, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation. Les mesures de l'évaporation à la station d'Ain Bouchekif sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 7: L'évaporation moyenne mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2013)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	Total
Evaporation en mm	54	38	21	15	18	18	25	29	43	64	96	88	509

II. Indices climatiques

II.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 suivant :

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

Où :

- ✚ IM : est l'indice d'aridité annuelle.
- ✚ P : est le total annuel des pluies en mm.
- ✚ T : est la moyenne thermique annuelle (en °C).

Tableau 8 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimat correspondant (De Martonne in Meddour, 2010)

Valeur de l'Indice	0-5	5-10	10-20	20-30	30-55	>55
Type de Bioclimat	Hyperaride	Aride	Semi-aride	subhumide	Humide	hyper humide

En appliquant ce principe à nos données, on a :

P=371.56 ; T = 16.9 et IM=13,81

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

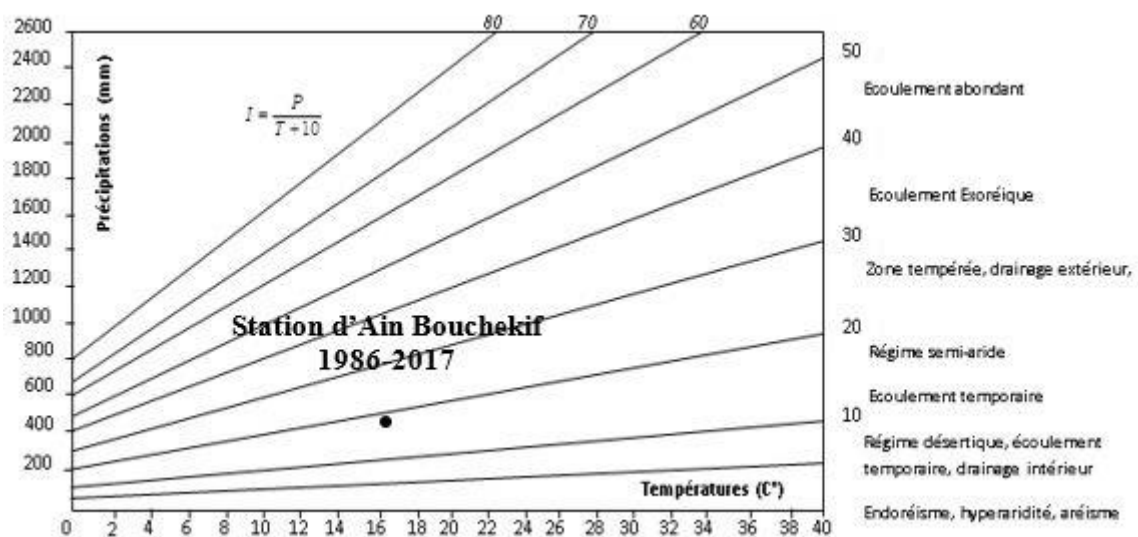


Figure 13 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martonne (Station Ain Bouchekif, 1986-2017)

II.2. Indice pluviométrique d'Emberger (1955)

Encore appelé quotient d'Emberger, il permet de situer une station dans un diagramme sur lequel sont définis les domaines (aride, semi-aride, subhumide, humide ou hyper humide) et sous domaines bioclimatiques (à Hiver froid, frais, doux ou chaud).

Cet indice s'exprime par :

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Où :

- ✚ **Q** : est le quotient pluviométrique.
- ✚ **P** : est le total pluviométrique annuel en mm.
- ✚ **M** : est la moyenne thermique des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (kelvin).
- ✚ **m** : est la moyenne thermique des minima du mois le plus froid, en degré absolu (kelvin).

Pour la station d'Ain Bouchekif, nous avons les données suivantes :

$$P = 371.56 \text{ mm}$$

$$M = 28.7 \text{ °C} = 301.17 \text{ °K}$$

$$m = 7.4 \text{ °C} = 280.4 \text{ °K}$$

$$M^2 - m^2 = 12079.2089$$

$$Q = 61.52$$

On en déduit à partir de la figure 13 que Tiaret a un climat semi-aride avec un Hiver dit doux.

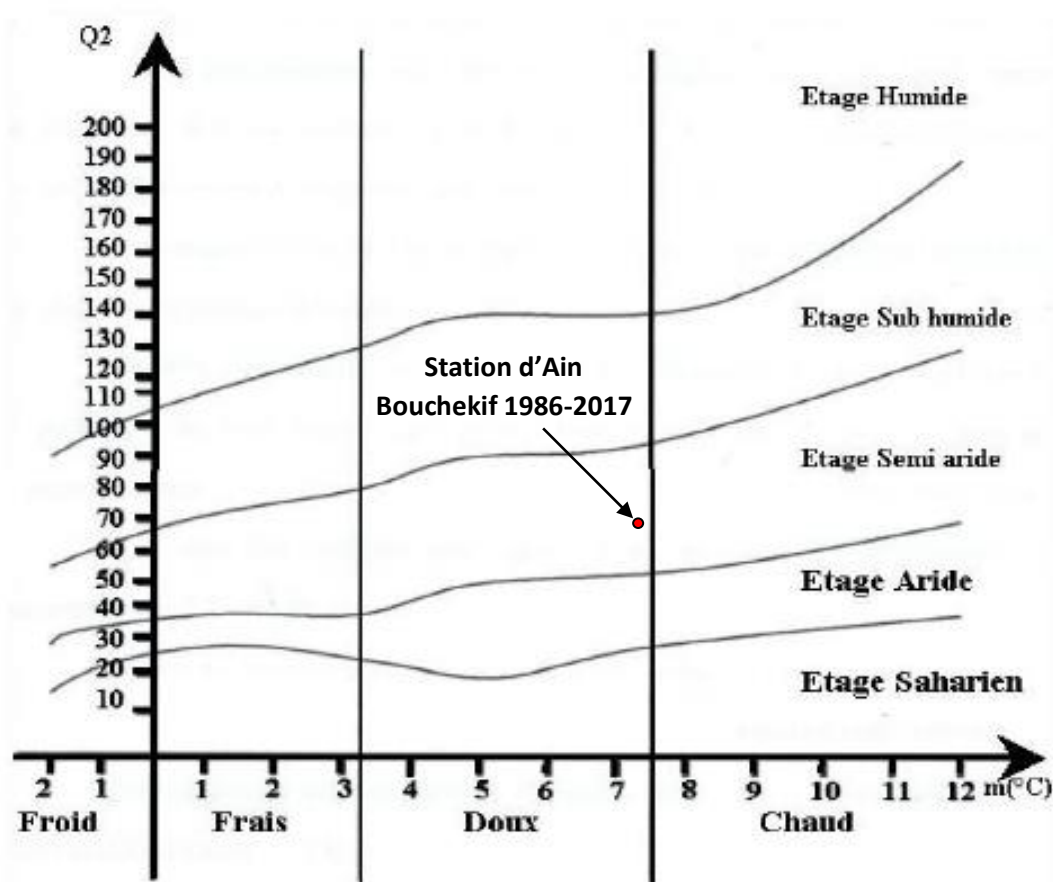


Figure 14 : Diagramme d'Emmberger avec la Station d'Ain Bouchekif (1986-2017)

III. Bilan hydrique

III.1. Paramètres du bilan

III.1.1. 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).

De nombreuses formules (Thornthwaite, Turc, Primault, Penman, FAO-Penman-Monteith...) permettent l'évaluation de ces paramètres.

III.1.1.1. 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 n'a :

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

$$I = \sum_1^{12} i; i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}; a = 0.016 I + 0.5$$

Et :

- ✚ ETP : évapotranspiration potentielle du mois (en mm).
- ✚ T : température moyenne mensuelle de la période (en °C).
- ✚ I : indice thermique annuel qui représente la somme des indices mensuels (i).
- ✚ K : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

En appliquant cette méthode de calcul à nos données, on obtient le tableau suivant

Tableau 9 : Evapotranspiration mensuelle de la station d'Ain Bouchekif (1986-2017)

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	Total
Tmoy	22.7	18.0	11.3	7.4	7.4	8.6	11.0	15.1	20.5	24.3	28.7	28.1	/
ETP	104.2	64.5	24.6	10.8	11.6	14.8	28.1	53.2	101.8	139.6	191.7	172.6	917.4

III.1.1. 2. L'évapotranspiration réelle

III.1.1. 2.1. Formule de Turc (1961)

La méthode dite de Turc résulte d'une recherche de corrélation entre les précipitations, les températures et les débits à l'exutoire de 254 bassins versants, aux caractéristiques hydro-climatiques variées et situés de par le monde (**Mouelhi, 2011**). Cette méthode offre une

estimation de l'évapotranspiration réelle connaissant les précipitations annuelles (P) et la température moyenne annuelle (T) à l'aide de l'équation suivante :

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

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

La formule de Turc associée aux données de la station d'Ain Bouchekif donne les résultats suivants : $L = 300 + 25 \times 16.9 + 0.05 \times (16.9)^3$; $L = 963.84$

ETR = 362.84 mm

III.1.1. 2.2. 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 :

- ✚ P > ETP donc ETR = ETP.
- ✚ P < ETP et alors ETR = P + RFU.
- ✚ P < ETP et la RFU = 0 et ETR = P.

**Tableau 10 : Le bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif
(1986-2017)**

MOIS	T	I	K	ETP	P	BH	RFU	ETR	DA	EXD
SEP	22.7	9.88	1.03	104.17	35.05	-69.12	0	35.05	69.12	0
OCT	18	6.95	0.97	64.46	33.45	-31.01	0	33.45	31.01	0
NOV	11.3	3.44	0.86	24.61	35.89	11.28	11.28	24.61	0	0
DEC	7.4	1.81	0.81	10.77	35.98	25.21	36.49	10.77	0	0
JAN	7.4	1.81	0.87	11.57	63.64	52.07	50	11.57	0	38.56
FEV	8.6	2.27	0.85	14.84	48	33.16	50	14.84	0	33.16
MAR	11	3.3	1.03	28.07	49.49	21.42	50	28.07	0	21.42
AVR	15.1	5.33	1.1	53.19	17.52	-35.67	14.33	53.19	0	0
MAI	20.5	8.47	1.21	101.76	24.53	-77.23	0	38.86	62.9	0
JUI	24.3	10.95	1.22	139.58	20.4	-119.18	0	20.4	119.18	0
JUIL	28.7	14.09	1.24	191.73	1.43	-190.3	0	1.43	190.3	0
AOU	28.1	13.65	1.16	172.63	6.18	-166.45	0	6.18	166.45	0
Total		I=81.95	-	917.38	371.56	-545.82	-	278.42	638.96	93.14

III.1.2. Le Ruissèlement

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

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2}$$

Avec :

✚ **R : Ruissellement en (m).**

✚ **P : Précipitation moyenne annuelle en (m).**

✚ **ETP : Evapotranspiration potentielle en (m).**

Pour la station d'Ain Bouchekif :

$$R = \frac{371.56^3}{3(917.4)^2};$$

$$R = 20.316 \text{ mm}$$

III.1.3. L'Infiltration

Ce paramètre est très important dans la mesure où elle donne une idée de la quantité d'eau susceptible de participer à la recharge des nappes superficielles. La recharge d'un aquifère peut être définie comme le flux d'eau qui percole au travers du sol et de la zone non saturée pour atteindre l'aquifère et constituer un apport au stock d'eau souterraine qu'il contient (De Vires et Simmers, 2002). Afin d'évaluer l'infiltration de manière globale dans la région de Tiaret, on n'a la formule du bilan :

$$P = R + I + ETR$$

$$I = P - (R + ETR)$$

$$I = 371.56 - (20.316 + 278.42)$$

$$I = 72.824 \text{ mm}$$

III.2. Interprétation des éléments du bilan hydrique

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

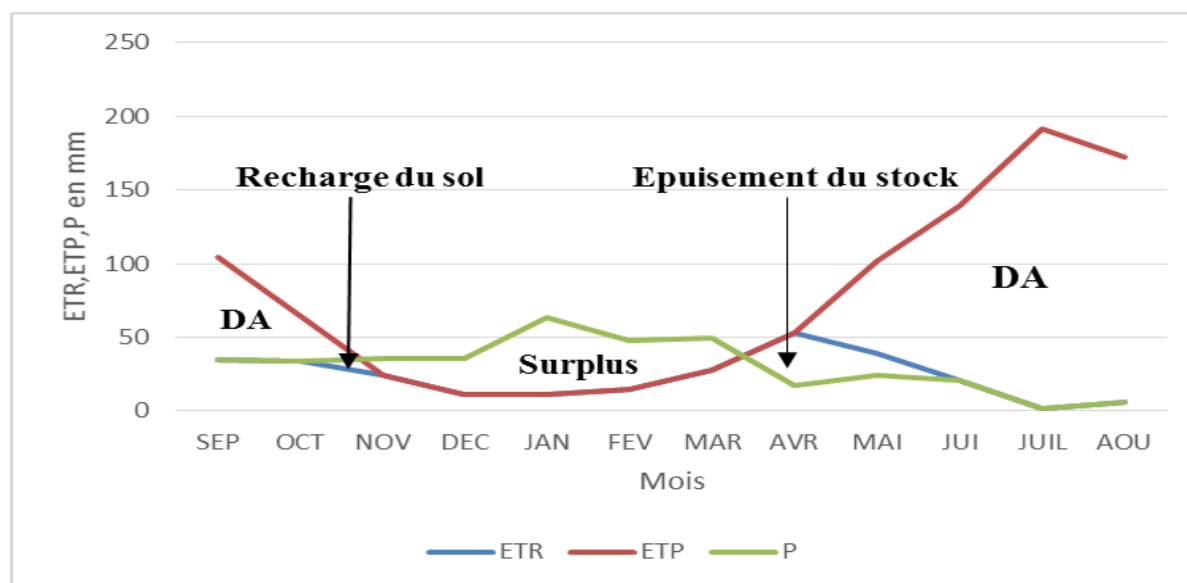


Figure 15 : Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif 1986-2017

La wilaya de Tiaret reçoit des précipitations moyennes annuelles de 371.56 mm et une température moyenne annuelle de 16.9°C. Le maximum et le minimum de l'évapotranspiration potentielle (ETP) sont respectivement atteints en juillet avec 191,73 mm et en décembre avec 10.77 mm. L'ETP annuelle est estimée à 917.38 mm alors que l'ETR totale est de 278.42 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 de avril-mai jusqu' au mois d'octobre avec une moyenne annuelle évaluée à 638.96 mm.

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 93.14 mm.

CHAPITRE 3

HYDROGEOLOGIE

Introduction

Afin d'exploiter l'eau souterraine dans les meilleures conditions, il est indispensable d'identifier les horizons aquifères. Un aquifère est alors un « corps » (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée (ensemble de milieu solide et de l'eau contenue) suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère peut comporter une zone non saturée. (De Marsily G. 2004).

Dans ce chapitre, nous allons d'une part présenter les principaux aquifères déjà identifiés dans la wilaya de Tiaret et d'autre part, nous étudierons les caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques des eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret.

I. Généralités

I.1. 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).

I.1.1. 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.

I.1.2. 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.

I.1.3. 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 Ouerk, à l'Ouest par la remontée des marnes miocènes dans la région de Sdi el-haoues.

I.1.4. La Vallée du Touil

L'aquifère principal est le continental intercalaire.

I.1.5. 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.

I.1.6. La Vallée de la haute Mina

Elle joue le rôle de drain naturel des terrains marno-calcaires du Jurassique supérieur et du Crétacé qui forme son bassin versant.

I.2. Aperçut des aquifères dans la wilaya de Tiaret

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, l'on pourrait résumer les principaux aquifères de la manière suivante :

I.2.1. 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 300 m 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.

I.2.2. Les Calcaires et grés du Tithonique

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

I.2.3. 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.

I.2.4. Les Grés du barrémien – Aptien – Albien

Il représente éventuellement un aquifère intéressant dans les fonds de synclinaux ou son épaisseur peut être importante.

I.2.5. Les Grés du Miocène inférieur

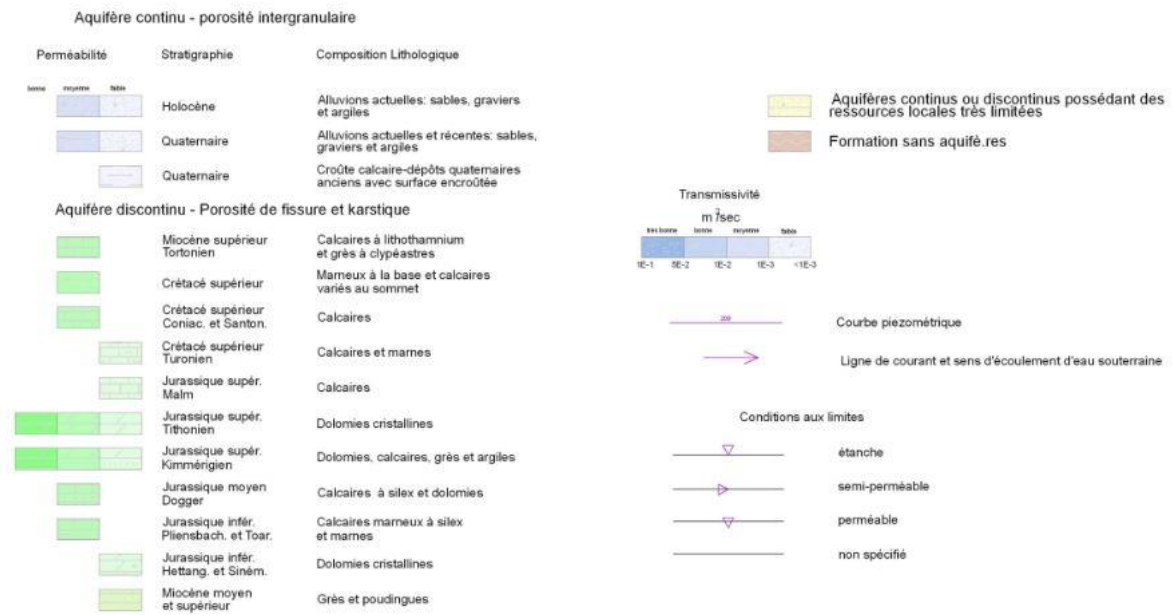
Les grés miocènes sont reconnus par de nombreux forages et puits dans la partie Nord du plateau de Sersou. Ils alimentent une série de sources, le long de la vallée de l'Oued Nahar Ouassal (Débit de 0.005 à 1.5 l/s) et ont une perméabilité dite médiocre.

I.2.6. Les Dépôts du plio-quadernaire

Les dépôts grossiers de recouvrement plio-quadernaire constituent un aquifère peu profond. Ces sables, poudingues et conglomérats peuvent atteindre 70 à 100 m. Ils sont atteints par un grand nombre de puits et forages et reposent parfois sur les marnes imperméables du Miocène. Cependant du fait de la discordance sur les formations antérieures, ils peuvent se trouver en liaison directe avec les grés barrémiens – albiens.

Légende

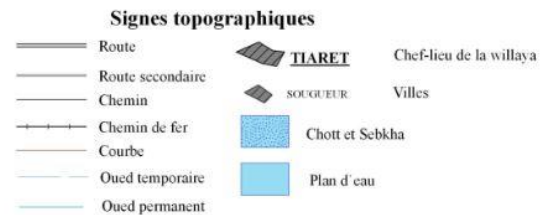
Aquifères Monocouches



Systèmes Aquifères Multicouches

Aquifères continus et aquifères discontinus profonds

	Holocène	Alluvions actuelles: sables, graviers et argiles
	Quaternaire	Alluvions actuelles et récentes: sables, graviers et argiles
	Quaternaire	Croûte calcaire-dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée



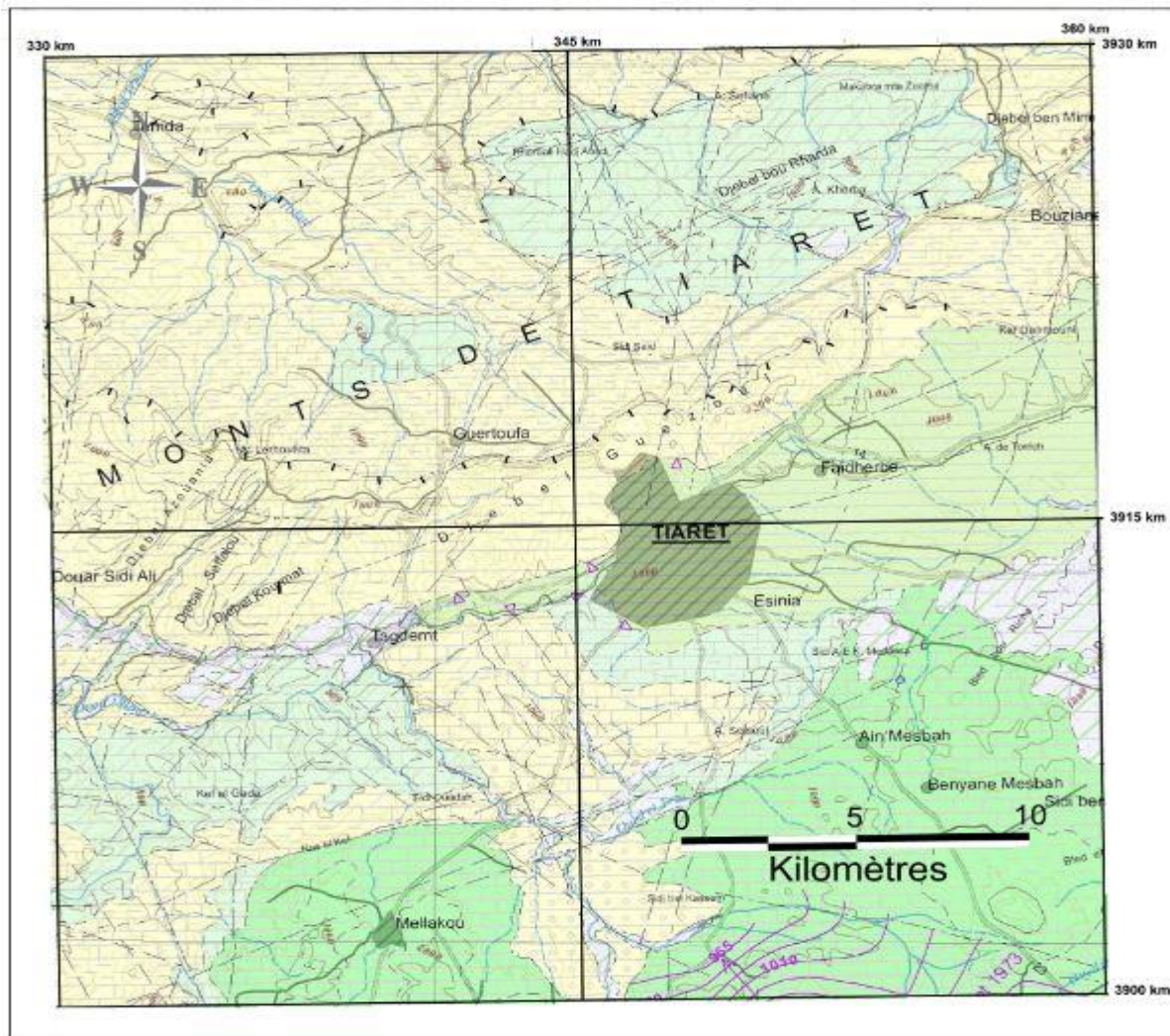


Figure 17 : Extrait de la carte hydrogéologique de Tiaret (ANRH, 2008)

II. Descriptions de la zone d'étude

II.1. Description des sols

En se basant sur les études de sols faites dans cette région et sur les sondages réalisés au niveau de la zone (moins de 10 m), nous pouvons dire que le sous-sol est homogène, formé essentiellement de calcaire lumachellique, grisâtre, dur, surmonté par des argiles sableuses jaunes et verdâtres le tout recouvert par un sol remanié d'une profondeur 0.90 à 1.00 mètres (LTPO).

II.2. Sondage et corrélation

Des sondages ont été réalisés dans la ville de Tiaret à fin de connaître la lithologie des formations géologiques. Ainsi nous essayer de réaliser la corrélation suivant deux profils.



Figure 18 : Points de Sondage

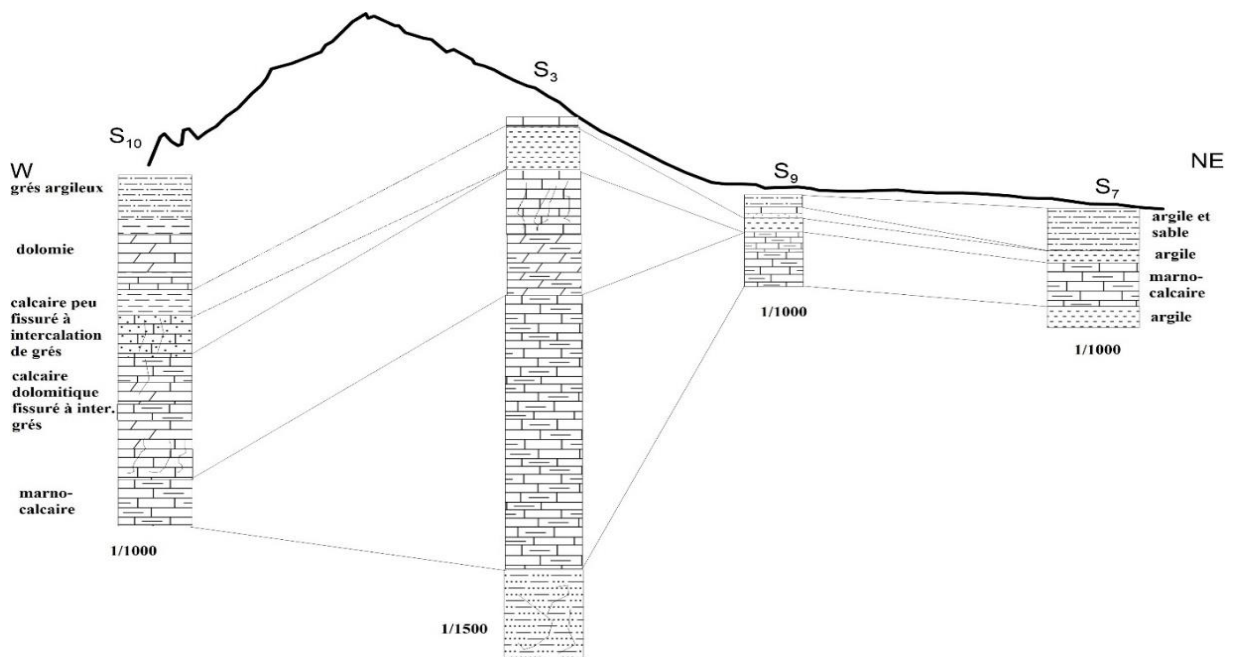


Figure 19 : profil 1 (S10-S7)

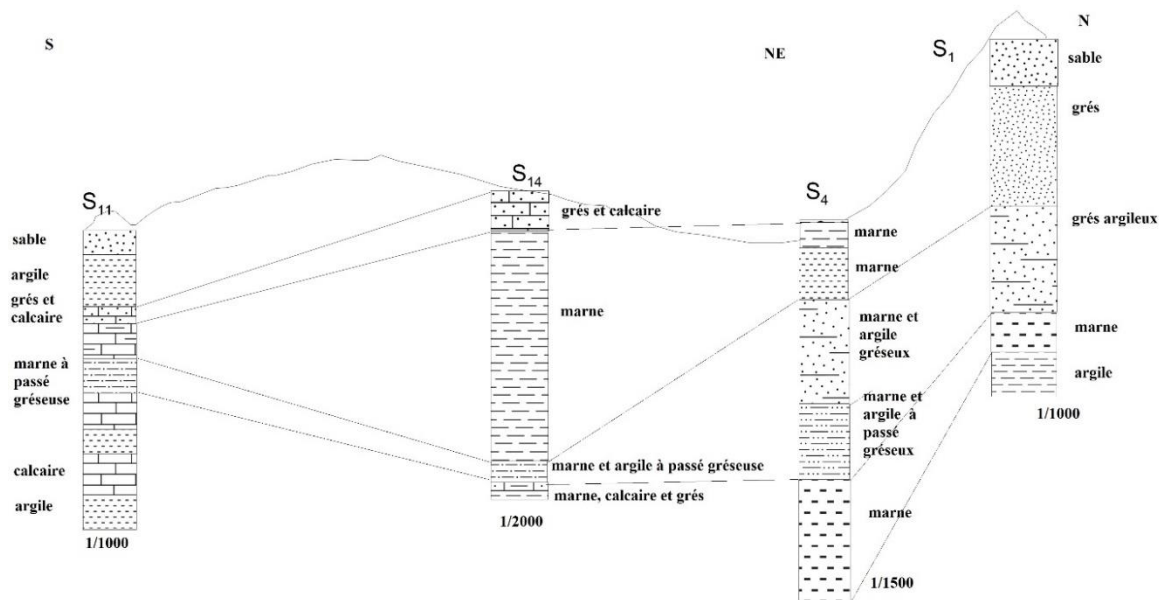


Figure 20 : profil 2 (S11-S1)

Ces deux coupes illustrent une zone pauvre en eaux souterraines en ce sens que les marnes et les argiles dominent la région. Cependant, il est possible de supposer l'existence de petites formations intéressantes à faible extension et qui peuvent être hydrogéologiquement favorables. Il s'agit des calcaires gréseux superficiels et des calcaires fissurés en profondeur.

D'un point de vue géologique, en combinant les données recueillies des coupes et des cartes, la zone industrielle est recouverte par des formations du Crétacé dominées par des marnes, des argiles et des calcaires. Sur une épaisseur d'à peu près 200 m, on a une intercalation entre des couches perméables représentées par des calcaires et grès et des couches imperméables représentées par des marnes et argiles. Les grès, les calcaires durs, parfois grisâtres et fracturés renferment de petites nappes à faible débit dont le substratum est représenté par les marnes et les argiles.

NB : Cette tentative de corrélation a pour but d'avoir un aperçu de la géologie de la zone. Celle-ci ne prend aucunement en compte l'âge des formations par manque d'information.

III. Piézométrie de la zone d'étude

III.1. Carte piézométrique

La carte piézométrique est outil indispensable pour comprendre les eaux souterraines. Après avoir interdit le pompage pendant trois jours successifs, une campagne piézométrique

fut organisée en collaboration avec les différents organismes publics en vue d'établir la carte piézométrique de la zone industrielle représentée ci-dessous.

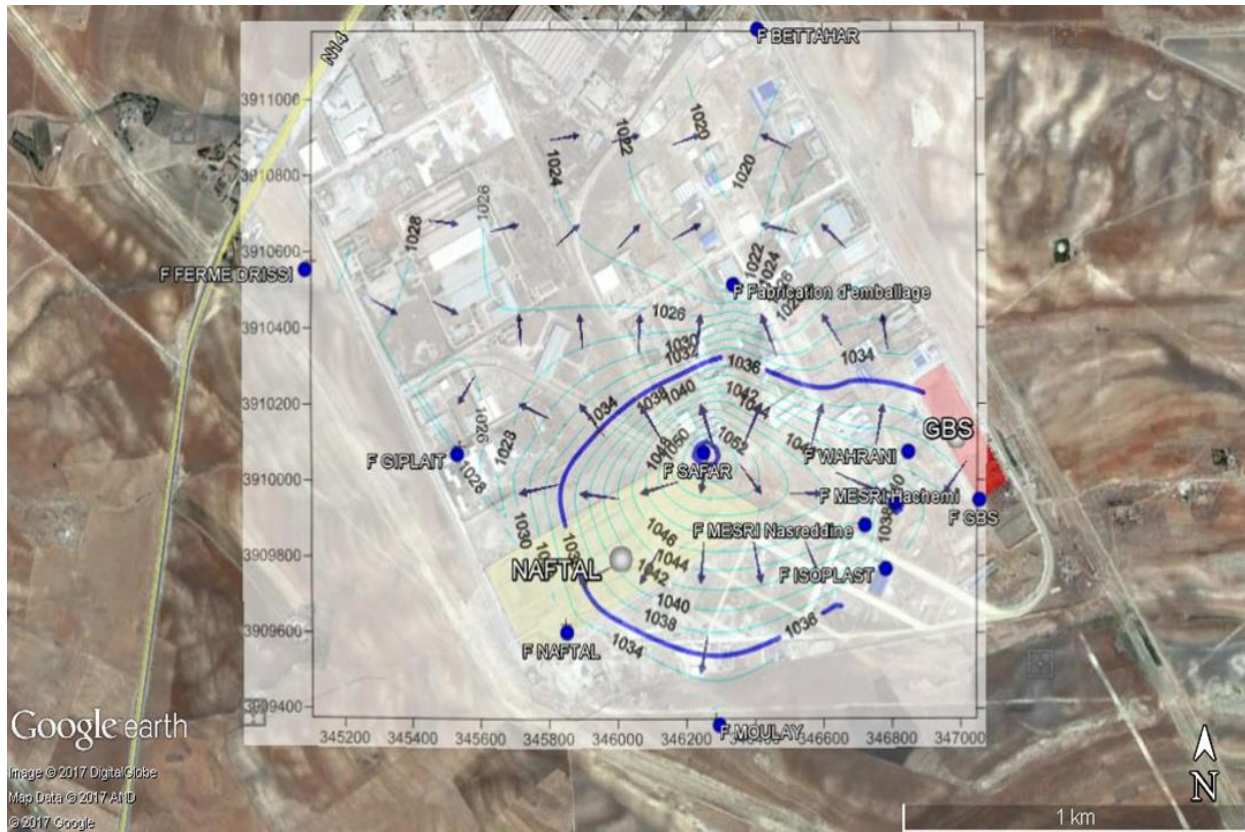


Figure 21 : Carte Piézométrique de la zone industrielle de Tiaret (Nov, 2017)

III.2. Interprétation

D'une façon générale, l'écoulement des se fait vers le Nord. De la ferme Drissi vers la ferme de l'université ou encore de l'usine SAFAR à l'usine de fabrication des emballages.

Le lieu de partage des eaux est localisé au niveau de l'usine SAFAR dont la cote piézométrique est 1058 m.

Ainsi, l'écoulement est rapide de l'usine SAFAR à l'usine de Fabrication des Emballages car les courbes iso-pièzes sont serrés avec un gradient hydraulique évalué à 0.074.

Quant à la grande partie nord, l'écoulement est lent et le gradient hydraulique faible est estimé à 0.001. Il faut ajouter qu'ici, la topographie n'est pas le seul facteur de l'écoulement rapide car en profondeur, la nappe semble fissurée.

La recharge de ces nappes à faibles extension de la zone industrielle est principalement assurée par les eaux atmosphériques (eaux de pluies et neige).

On note la présence d'une source au sud de la zone industrielle.

Conclusion

Les différentes études ont permis de diviser la région de Tiaret en zone hydrogéologique homogène et d'identifier les grands aquifères. Les horizons aquifères de la région sont alimentés à partir du mont de Djebel Ghezoul.

La commune de Tiaret est pauvre en eau souterraine. Sur le plan hydrogéologique, la zone d'étude comporte deux nappes aquifères ; l'une superficielle constitué des calcaires gréseux et l'autre semi-captive profonde matérialisé par des calcaires fissurés. Ainsi par la suite, nous essayerons de voir la Chimie des eaux souterraines à la Zone Industrielle de Tiaret.

CHAPITRE 4

POLLUTION ET HYDROCHIMIE

Introduction

L'eau dans son parcours, garde en elle le souvenir de toutes les formations qu'elle traverse et de tous les rejets qu'elle reçoit ; c'est le chimisme qui détermine sa qualité et son fasciés. Le but principal de l'hydrochimie était de comprendre le facies chimique de l'eau afin de s'assurer des types de nappe. Cependant, face aux difficultés, nous n'avons fait que le minimum dans l'étude hydro chimique. Nous avons pu déterminer certaines caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. Ainsi les contraintes fut nombreuses. Il s'agit :

- ✚ Du manque d'équipements pour l'évaluer la quantité et le type d'Hydrocarbure.
- ✚ Du manque de réactifs pour l'estimation de certains paramètres.
- ✚ Des réticences de certains acteurs à collaborer.
- ✚ De l'accès difficile au site.

C'est dans ces conditions que nous essayerons de faire une analyse hydrochimique à partir des différentes données à notre disposition.

I. Pollution des eaux souterraines

I.1. Définitions

Pour (CASTANY G. 1992), la pollution de l'eau souterraine est le risque permanent de limitation de la ressource en eau dans un proche avenir. Elle résulte de l'activité humaine et il faut donc exclure la détérioration naturelle sous l'action des agents géologiques.

Ainsi, l'eau est polluée lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire une demande d'utilisation ou qu'elle présente un problème pour l'environnement.

Le polluant peut quant à lui être défini comme un agent physique, chimique ou biologique issus des activités anthropiques et capable de détériorer la qualité de l'eau à une certaine concentration.

I.2. Activités Industrielle

La zone industrielle de Tiaret est en pleine extension et plusieurs grands travaux sont en cours. Cependant, plusieurs entreprises y sont implantées. On distingue selon le domaine, trois types d'industrie.

I.2.1. Domaines agropastorales

La laiterie, les fermes IDRISSE et de l'université Ibn Khaldoun, les Moulins de BAB SAHRA sont les principales unités présentes à la zone industrielle.

I.2.2. Unités de fabrications

Ce sont le bitume, les bétons et les activités de menuiserie qui dominent. Les entreprises dans ce domaine sont SAFAR, OUAHRANI, unité de fabrication de carrelage et l'unité de fabrication d'emballage, et l'usine de fabrication du treillis soude.

I.2.3. Stockage de produits

Il existe des entreprises de stockage des produits pétroliers (NAFTAL et GBS) et des unités de stockage pharmaceutiques.

I.2.4. Divers

Diverses activités autres activités y sont menées. On cite entre autre la plateforme logistique d'une capacité de 15000 m³ et des parcs d'entreprise. (Voir annexe pour plus de détails).

I.3. Types de Pollution

I.3.1. Classification 1

Les différents types de pollution peuvent être caractérisés selon la toxicité et la source. La classification ci-dessus est inspiré de celui **CASTANY G. 1982**.

Tableau 13 : Types de pollution

Types de Pollution	Selon la toxicité	Selon le foyer
Exemples	Polluants physiques, chimiques, organiques et biologiques	Pollution domestique, urbaines, agricole et industrielle

I.3.2. Classification 2

La pollution peut aussi être caractérisée de deux types :

- ✚ Les pollutions dites diffusent proviennent d'épandage de produits solides ou liquides à la surface du sol sur des superficies importantes.
- ✚ Les pollutions ponctuelles, par contre proviennent d'une surface limitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface, et définie dans un espace géographique. Elles sont qualifiées quelquefois d'accidentelles, mais elles ont le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves. La nature des produits polluants peut être fortement variée, mais les plus fréquemment rencontrées sont les hydrocarbures (Ce sont les liquides autres que l'eau les plus largement distribuées).

I.4. La pollution par des hydrocarbures

Le déversement accidentel d'hydrocarbure (Fuites, accidents, dépôts clandestins des résidus pétrolier) est un risque pour la qualité des eaux souterraines. En effet, du fait de leur pouvoir de dilution, ils sont très pernicieux à des doses très faibles.

Ainsi des concentrations de 1/10000 à 1/100000 en volume donnent un gout désagréable à l'eau. Des études montre que 1 litre d'essence suffit pour dégrader entre 1000 m³ et 5000 m³. (CASTANY G. 1982)

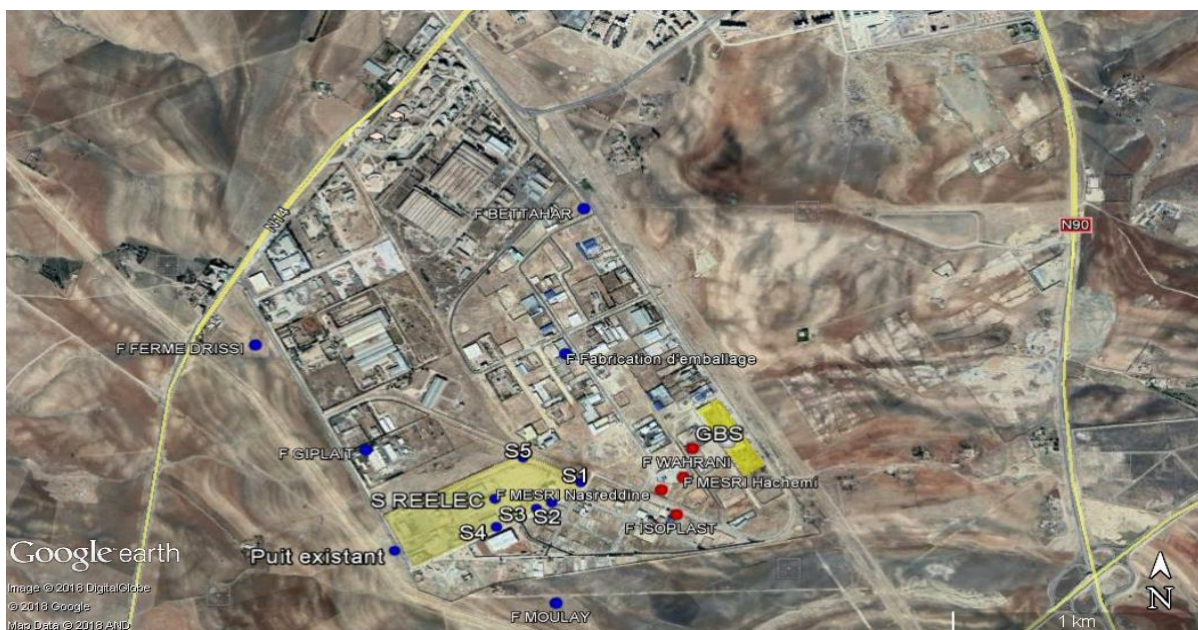


Figure 22 : Image satellitaire de la zone industrielle avec les forages pollués en rouges et les forages sains en blue (Google Earth, 2018).

I.5. Mécanisme et facteur de pollution

L'hydrocarbure déverser à la surface du sol va s'étendre en surface et s'infiltrer en profondeur. La profondeur de pénétration va dépendre de la nature des sols, du type et de la quantité d'hydrocarbure. Pour notre cas, il s'agit probablement d'une fuite de stockage souterrain et donc le polluant était en contact direct avec la zone non saturé.

I.5.1. Source de la pollution

Il est clair que la pollution est faite par des hydrocarbures. Moins dense que l'eau, ces polluants flottent à la surface et peuvent-être perçu facilement. L'analyse pour déterminer exactement les proportions et la nature des hydrocarbures n'ont pas été possible. Cependant, toute usine ou entreprise possédant des réservoirs de stockage d'hydrocarbure sont naturellement concerné par cette pollution. Les forages pollués sont indiqués sur la carte (sud-est).

I.5.2. Evolution dans la ZNS

L'huile qui atteint la nappe peut s'étaler sur celle-ci et constitué une galette d'huile se déplaçant selon la direction de l'écoulement des eaux souterraines. En principe, cette zone se devait de consister un rempart pour défendre la nappe.

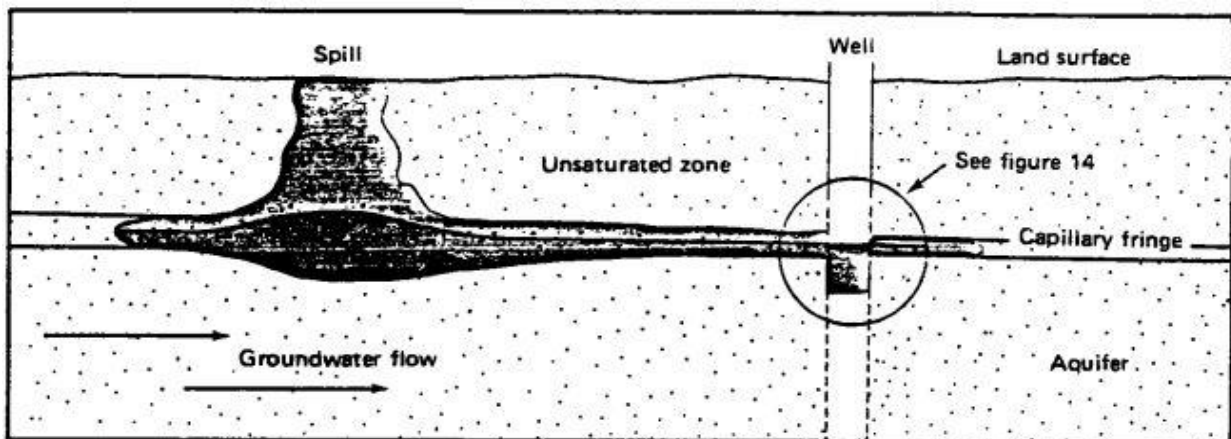


Figure 23 : propagation de l'Hydrocarbure à la surface de la nappe (BARES.M, CARLY.R, LALLEMAND.A 1984)

I.5.3. Propagation et Evolution

L'arrivée du polluant à la nappe peut être conçue selon plusieurs cas :

- ✚ Le **polluant** n'atteint pas la nappe, l'eau qui percole dans le sol va dissoudre certains composant de l'hydrocarbure dans la ZNS et ainsi effectué le transport dans la nappe.
- ✚ Le **contaminant** pénètre dans la nappe.
- ✚ La **fluctuation du niveau piézométrique**, une partie de l'huile reste dans la zone de saturation. Et c'est ainsi que le polluant atteint la nappe ou pollue le sol si elle était dore et déjà contaminé.

Après cela, il se peut que le polluant évolue suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines. Dans ce genre de situation, il est probable que le polluant mis en cause a pénétré directement dans la nappe dès le début de la fuite. Les forages situés dans la zone précitée (sud-est) furent les premiers contaminés et le sont jusqu'à présent. Mis à part cette partie de la zone industrielle, le reste des forages sont sains.

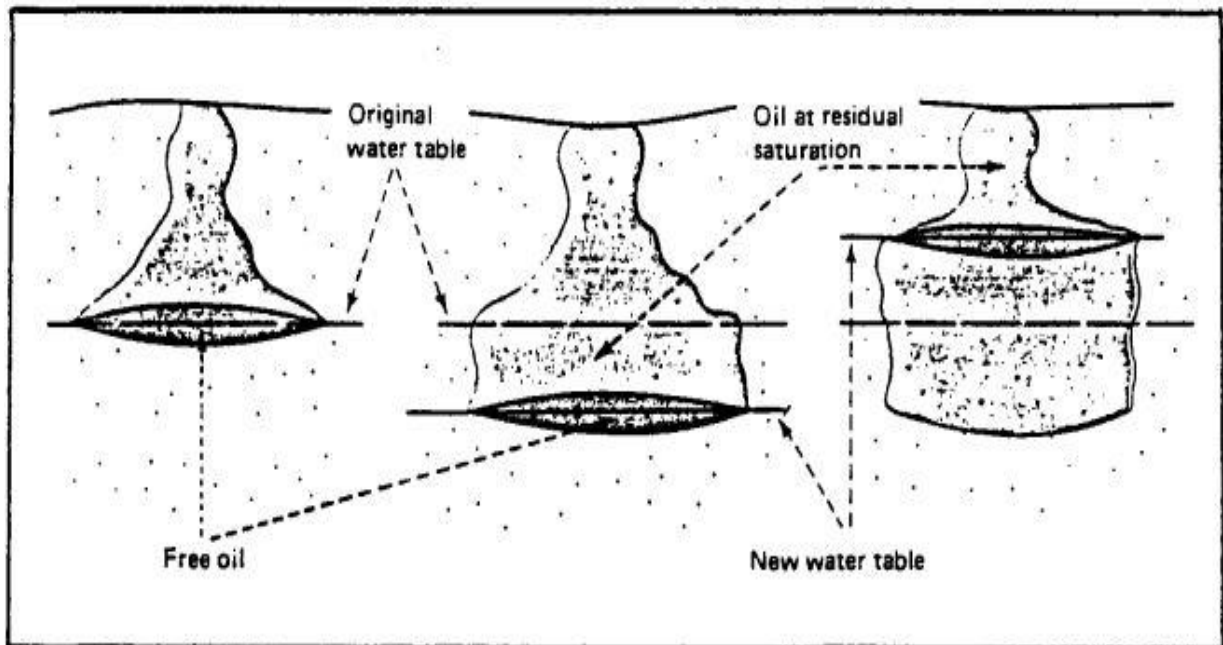


Figure 24 : Contamination du sol par la fluctuation de la surface piézométrique (BARES.M, CARLY.R, LALLEMAND.A 1984).

I.5.4. Persistance de la pollution

Le système de défense naturelle était incapable de lutter contre celle-ci. Vu que ce sont probablement des calcaires fissurés, le pouvoir épurateurs de l'aquifère est faible. Jusqu'à présent, cette pollution persiste toujours. Si rien n'est fait d'ici l'hiver, l'on doute qu'elle ne se propage au-delà de la zone industrielle.

Certains acteurs ont entrepris des actions manuelles afin de procéder à une dépollution mais la pollution persiste toujours. Il est indispensable de penser à des solutions concrètes afin de remédier à ce problème.

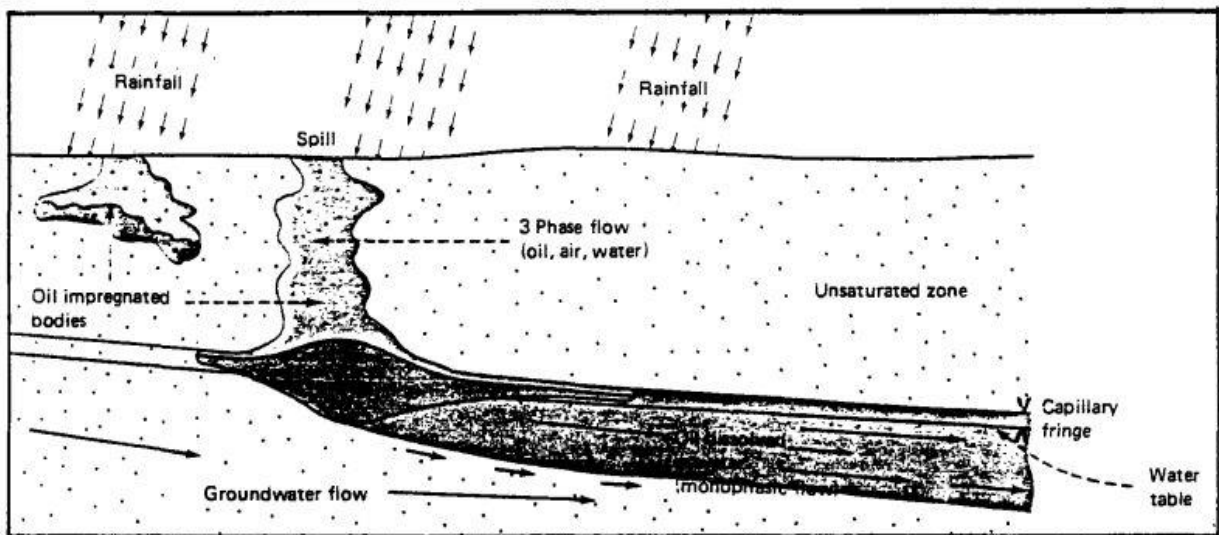


Figure 25 : Mécanisme de transport de l'huile après déversement (BARES.M, CARLY.R, LALLEMAND.A 1984).

II. Hydrochimie

II.1. Matériels et méthodes

II.1.1. Prélèvement et conservation des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification de ses caractéristiques physico-chimiques, raison pour laquelle le préleveur doit avoir une connaissance précise des conditions du prélèvement très importantes pour la qualité des résultats des analyses (Rodier J. 2009).

Pour l'étude hydrochimique de la zone industrielle, une campagne de terrain a été réalisée le 12/06/2018. Six points d'eau bien répartis sur le terrain ont été choisis et dont les

coordonnées ont été déterminé à l'aide d'un GPS. Au cours de cette campagne, les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des bouteilles en plastiques, préalablement rincés avec de l'eau de la nappe, puis bouchonnés.

Tableau 14 : Localisation des points de prélèvement en UTM

Points	X	Y	Z	NP	Odeur
P1	347050	3909945	1051	7.5	très présente
P2	346802	3909942	1047	8.5	présente
P5	346839	3910077	1054	12.8	présente
P6	346760	3909779	1075	3.7	présente
P8	346243	3910094	1043	1.75	absence
P9	346993	3910106	1050	12.4	Peu présente

II.1.2. Les méthodes d'analyses

Les paramètres physico-chimiques caractéristiques ont été mesurés pour tous les prélèvements et les analyses ont été faites au sein du laboratoire de chimie des eaux de l'ADE de Tiaret (Juin 2018). Le dosage des différents ions a été fait par deux méthodes d'analyses :

✚ Titrimétrie.

✚ Spectrophotométrie.

II.1.3. Les méthodes d'interprétation

L'interprétation des analyses chimiques a pour but d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques et d'identifier d'éventuels problèmes de pollutions. Dans cette étude pour l'interprétation des résultats d'analyses, nous avons fait recours aux représentations graphiques de l'évolution des paramètres chimiques au niveau des points d'eau.

II.2. Les paramètres physiques

II.2.1. Température

La température de l'eau [°C] est un d'une grande utilité en hydrogéologie. Elle influence grandement les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence (ions, molécules non dissociées, gaz, solides). Des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, son origine et la

présence d'éventuelles pollutions ou influences humaines peuvent être déduite avec cet paramètre.

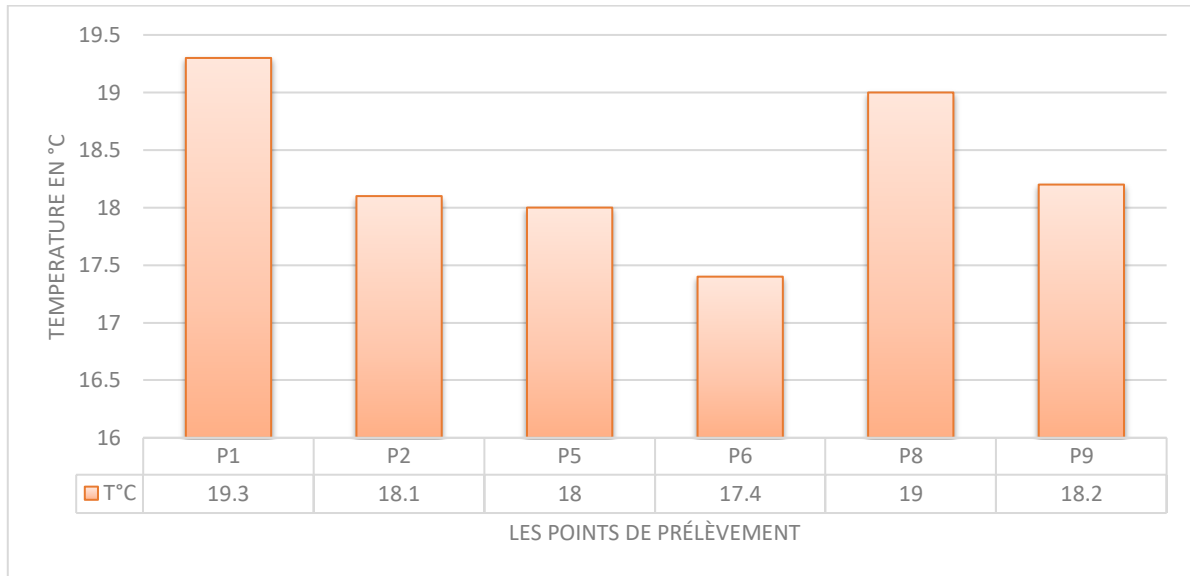


Figure 26 : Histogramme des Variations de température des eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en °C.

Durant les deux campagnes de prélèvements La température mesurée dans les échantillons d'eau de la zone industrielle de Tiaret varie entre 17.4 et 19,3°C.

Ces valeurs, inférieurs à 25°C, sont en accords avec les normes algériennes.

II.2.2. Potentiel d'Hydrogène pH

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Rodier J.). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes il est entre 5 et 9 (Rodier J. 2009).

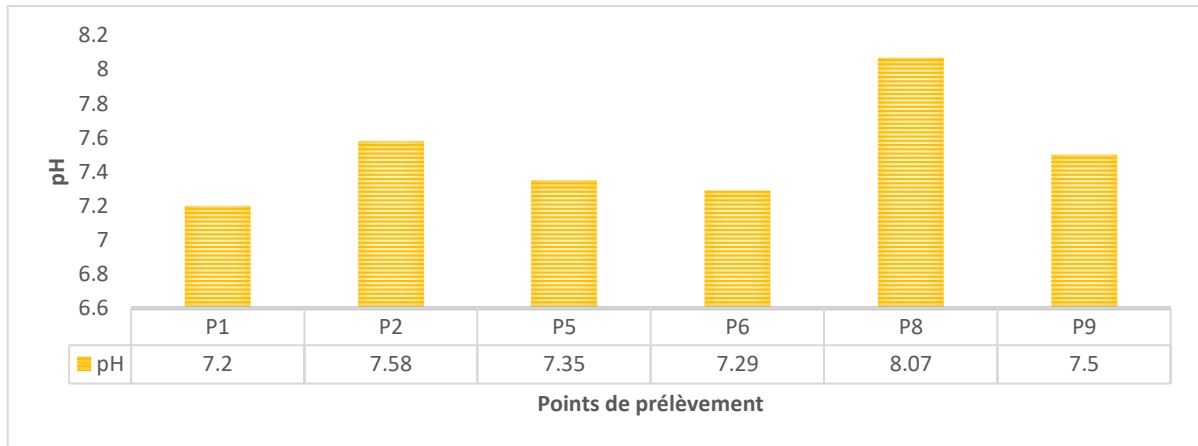


Figure 27 : Histogramme des valeurs du potentiel Hydrométrique dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret

L'acidité de l'eau ne pose en soi aucun problème vis-à-vis de la santé du consommateur. Les normes édictées par la réglementation locale de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 9. Lors des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude, il ressort que leur pH est normal étant donné qu'ils sont compris entre 7.29 et 8.07.

II.2.3. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique [$\mu\text{S}/\text{cm}$] à une température de référence] permet d'évaluer la minéralisation globale d'une eau du fait que les ions présents rendent celle-ci électriquement conductrice. La conductivité dépend de la température et doit toujours être corrigée par rapport à une température de référence.

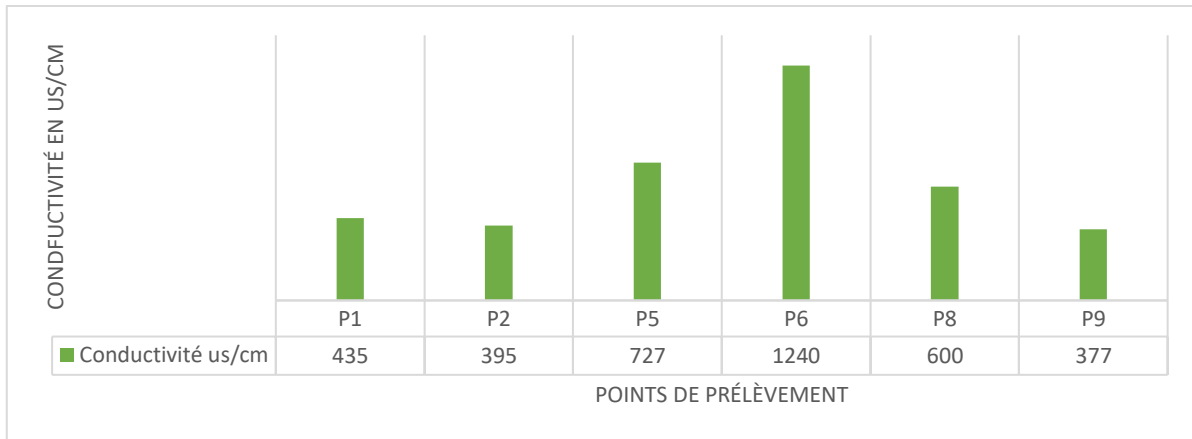


Figure 28 : Histogramme des valeurs de la conductivité dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en uS/cm

La conductivité des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment.

L'eau étudiée présente des valeurs comprises entre 377 et 1240 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui implique une conformité à la norme algérienne indiquant une valeur limite de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans certains puits.

II.2.4. La Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée de la teneur en matières en suspension.

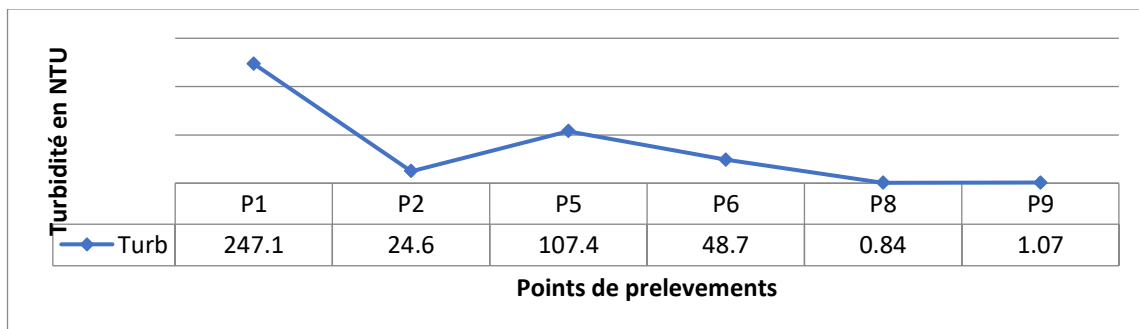


Figure 29 : Courbe des valeurs de la turbidité dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en NTU

. La turbidité est faible dans le point d'eau non contaminés (P8 à 0.84 NTU). Aussi plus cette turbidité augmente, plus la présence de l'odeur est intense. Le point P1 a le maximum de turbidité 247.1 NTU et une présence très forte des hydrocarbures. Pour une eau de boisson, la turbidité reste inférieure à 5 NTU.

II.2.5. Le Titre Hydrométrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium.

La qualité d'une eau est caractérisée par sa dureté rapportée à la teneur en carbonate de calcium.

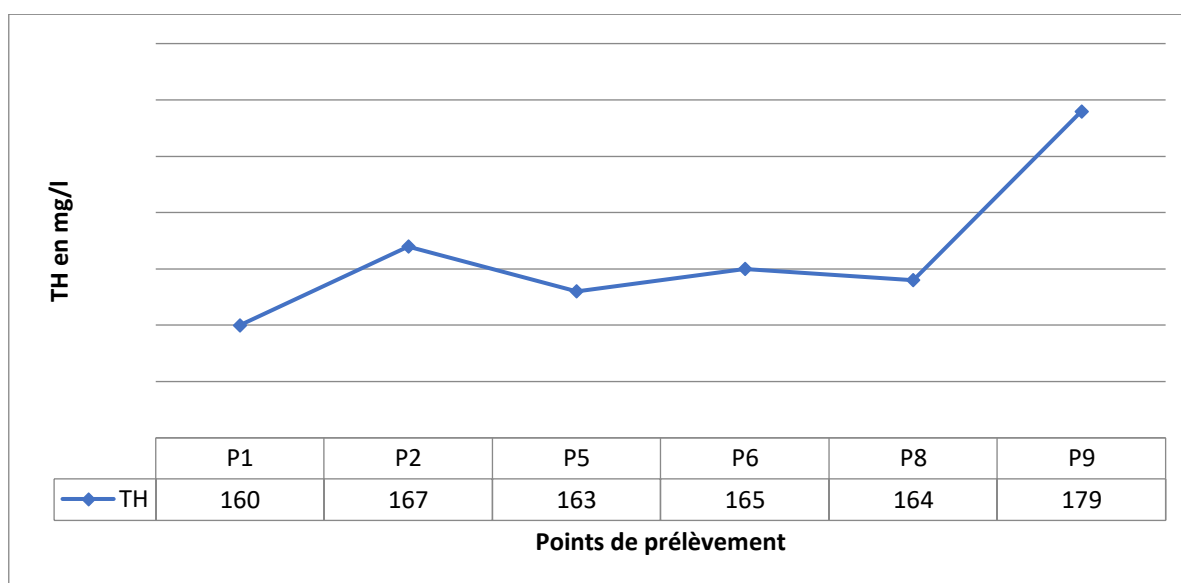


Figure 30 : Courbe des valeurs du Titre Hydrométrique dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Les valeurs de la dureté des eaux de la zone étudiée ont été calculées et sont exprimées en mg/L. Pour les puits de la zone industrielle, le maximum est 179 mg/L au point P9 et le minimum est enregistré au point P1 à 160 mg/. Ces échantillons sont en accord avec normes de potabilité en l'Algérie établissant la limite maximum du titre hydrotimétrique à 500 mg/l.

II.3. Les paramètres Chimiques

II.3.1. Le Phosphate (PO_4^-)

L'origine des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK).

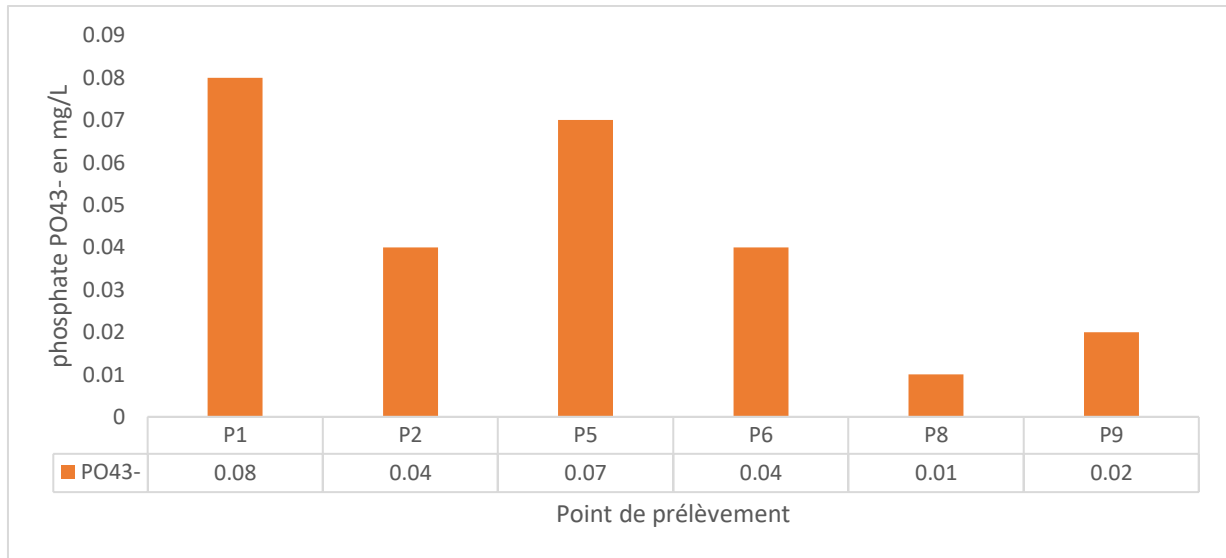


Figure 31 : Histogramme des variations des phosphates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Dans les eaux souterraines la variation de la teneur reste faible en dessous de la norme de potabilité 5 mg/L (OMS, 2004). Tous les échantillons respectent les normes.

II.3.2. Les Nitrates (NO₃⁻)

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation, l'origine artificielle des nitrates sont les contaminations par des engrais et les rejets domestiques.

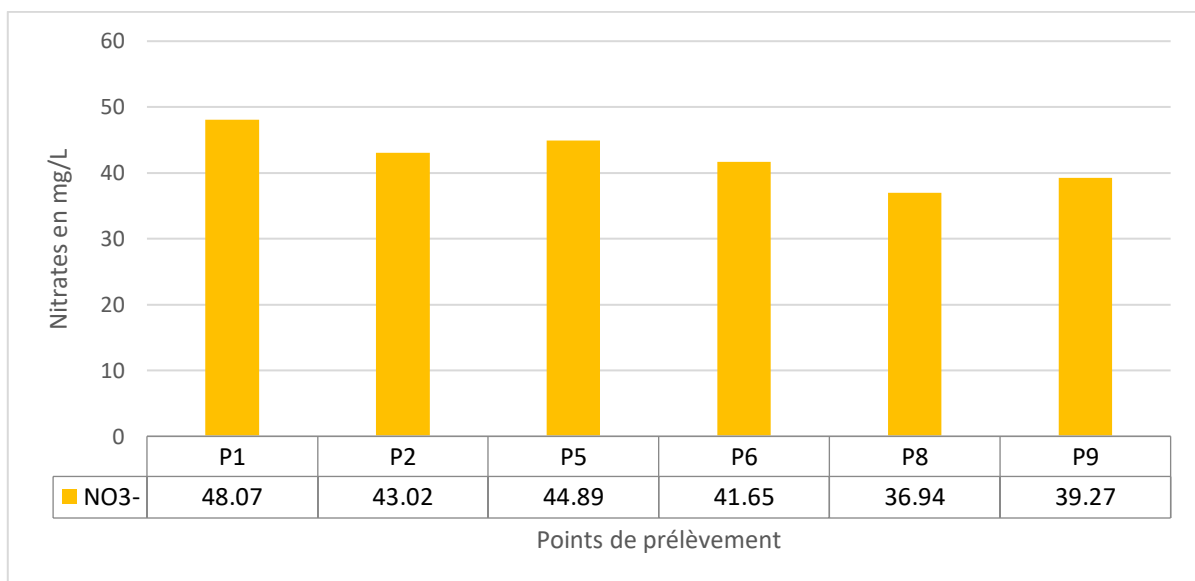


Figure 32 : Histogramme des variations des nitrates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Les concentrations des nitrates sont élevées, elle varie de 39.27 mg /l au forage F9 à 48.07 mg/l au forage P1. La valeur limite dans les normes algériennes est 50 mg/L.

II.3.3. Nitrites (NO₂⁻)

Considéré comme un élément toxique, le nitrite est la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Il est issu de la réduction de l'ammonium NH₄. Son origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels.

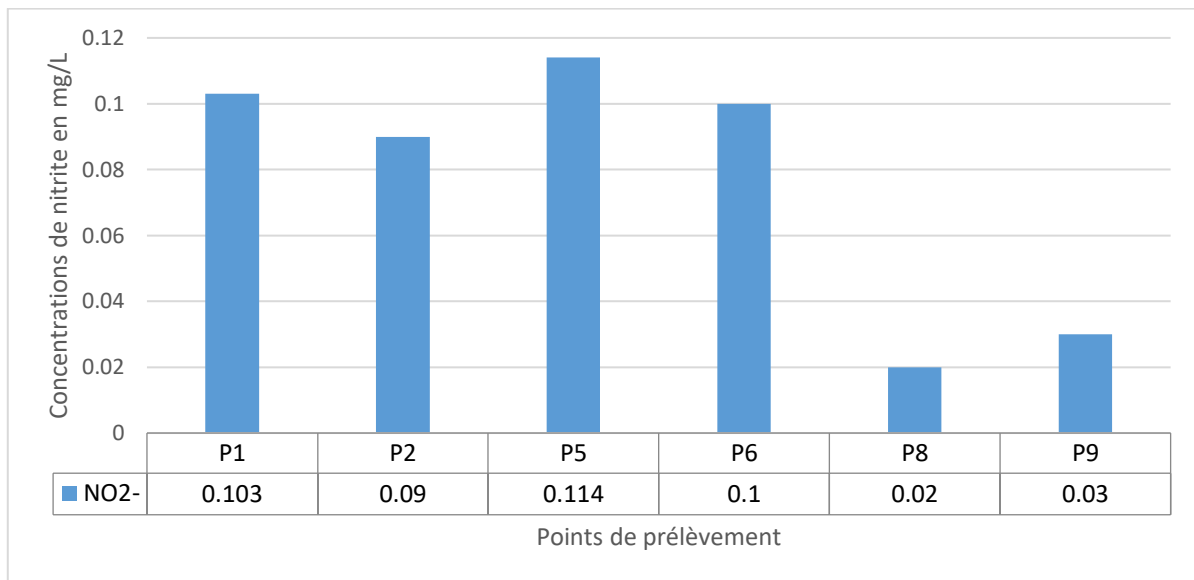


Figure 33 : Histogramme des variations des nitrites dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Les forages P1 et P5 ont des concentrations dont les valeurs sont respectivement 0.103 et 0.114 au-dessus de la norme qui est 0.1 mg/L. Ces deux valeurs peuvent être expliquées par les activités industrielles.

II.3.4. L'ammonium (NH₄⁺)

L'Ammonium est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée à une contamination urbaine ou industrielle.

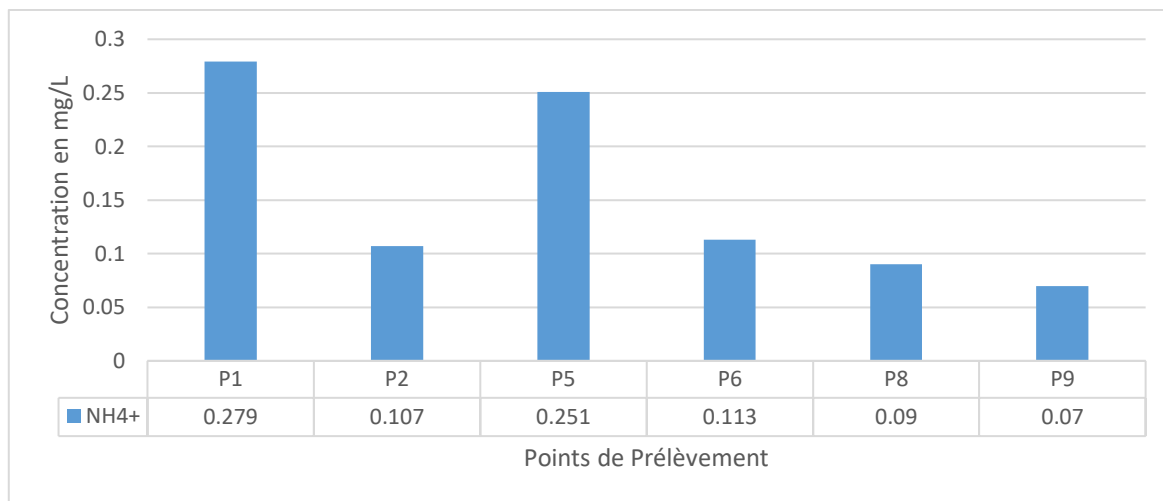


Figure 34 : Histogramme des variations de l'ammonium dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Les teneurs en ammonium dans les eaux souterraines de la zone d'étude sont inférieures à 0.279 mg/l et supérieure à 0.07. Les normes Algérienne impose une limite de 0.5 mg/L pour l'eau potable.

II.3.5. Les chlorures (Cl⁻)

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau souterraine résulte de la dissolution des sels naturels par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl).

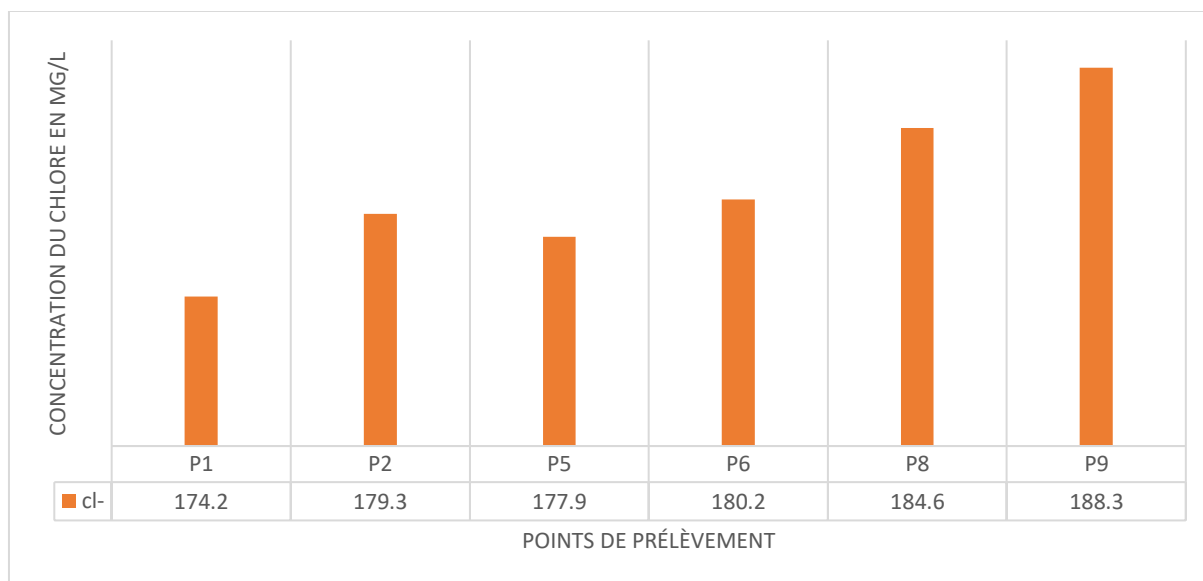


Figure 35 : Histogramme des variations des chlorures dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Les teneurs en chlorures varient de 174.2 mg /l au puits P1 à 174 mg/l au forage P9 à 188.3.

II.3.6. La teneur en bicarbonate HCO_3^-

L'origine des bicarbonates est attribuée elle aussi à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire). Les teneurs en bicarbonates dans les eaux de la zone d'étude varient de 89.7 au point P1 à 97.9 mg/l à la source P9

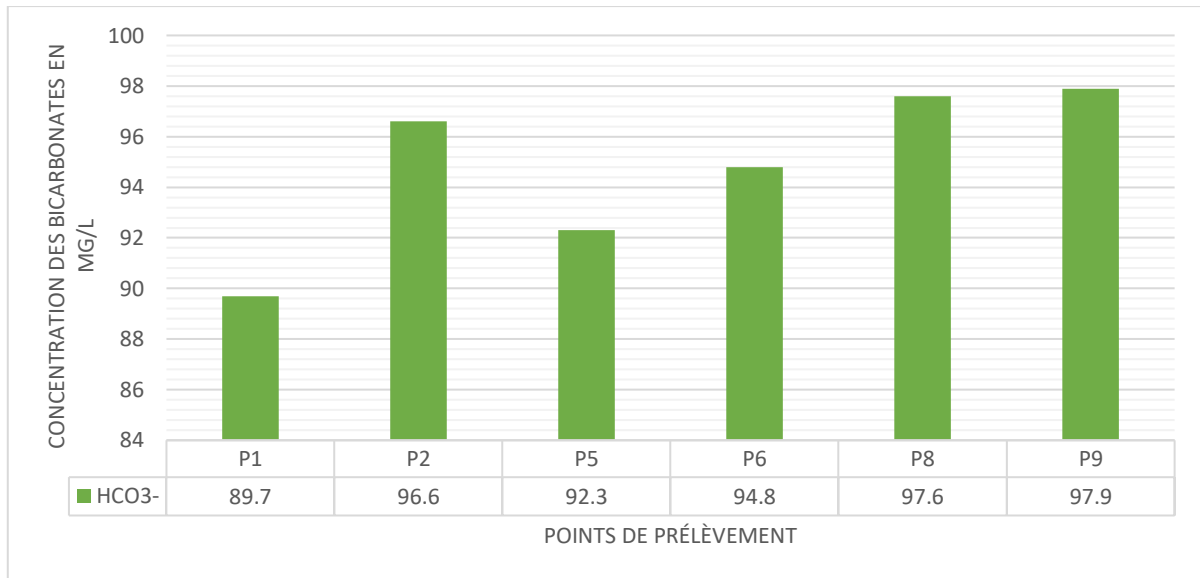


Figure 36 : Histogramme des variations des bicarbonates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

II.3.7. Le magnésium (Mg^{+})

Présents dans l'eau, les cations Mg^{2+} ont la même provenance que ceux du Ca^{2+} (dissolution des formations carbonatées riches en Mg).

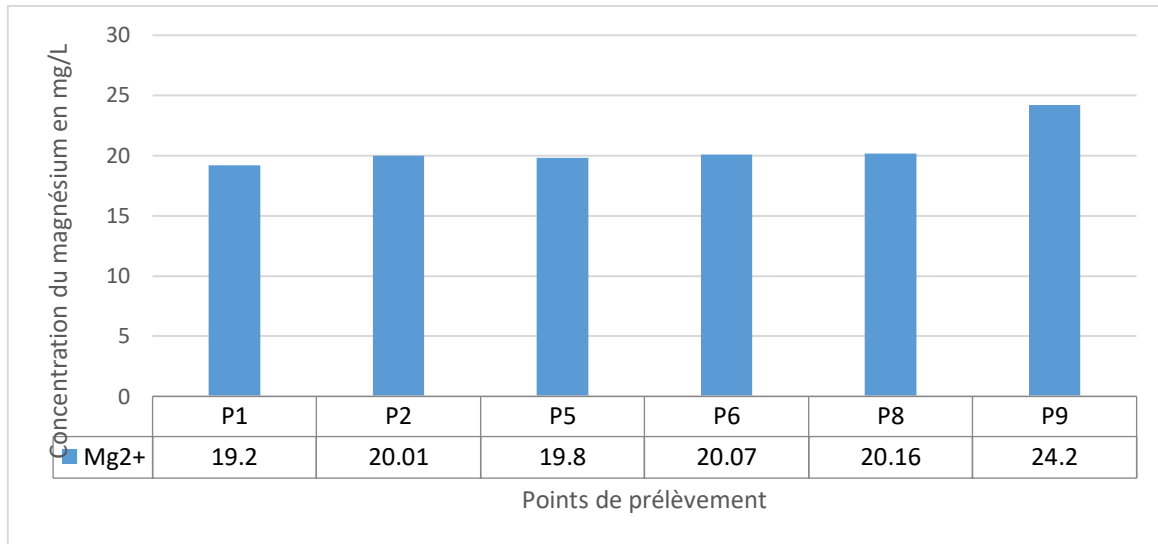


Figure 37 : Histogramme des variations du magnésium dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

II.3.8. La Matière Organique (MO)

La matière organique est généralement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes. Il est possible de donner des valeurs moyennes de concentrations de MO rencontrées dans les eaux . La matière organique est à l'origine de la dégradations de la qualité de l'eau, ainsi elle influence directement les propriétés organoleptiques de l'eau (odeur et goût).

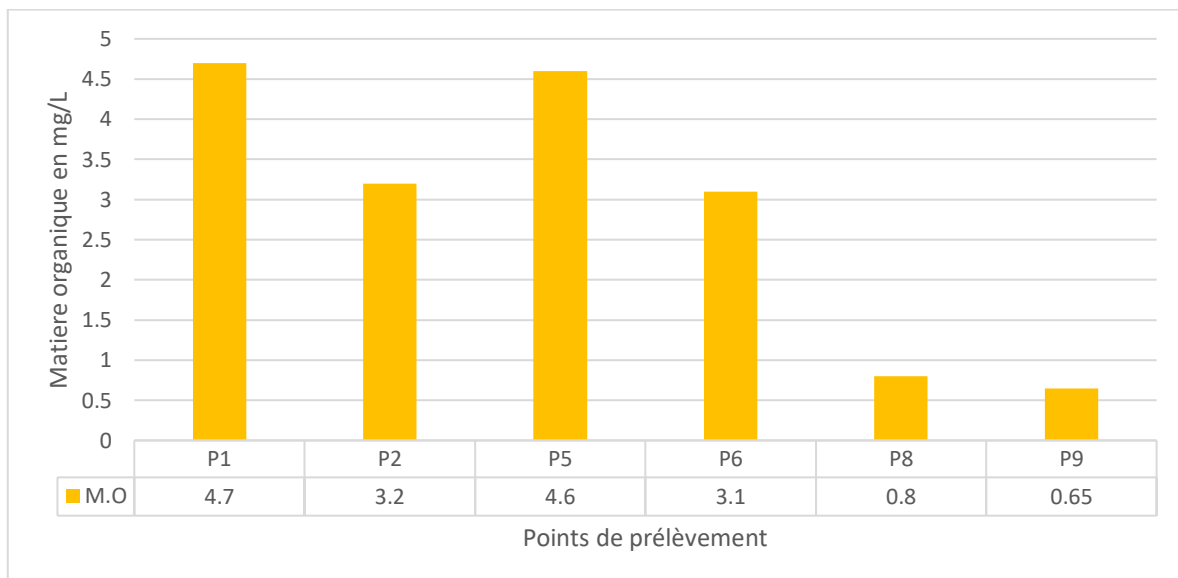


Figure 38 : Histogramme des variations de la matière organique dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

D'après le graphe les concentrations de la MO variés entre 0.065 en P9 et 4.7 au P1. On remarque les forages contenant les hydrocarbures ont des quantités élevés de matière organique.

II.3.9. Les sulfates

La présence des sulfates dans les eaux peut avoir pour origine la dissolution des formations gypseuses.

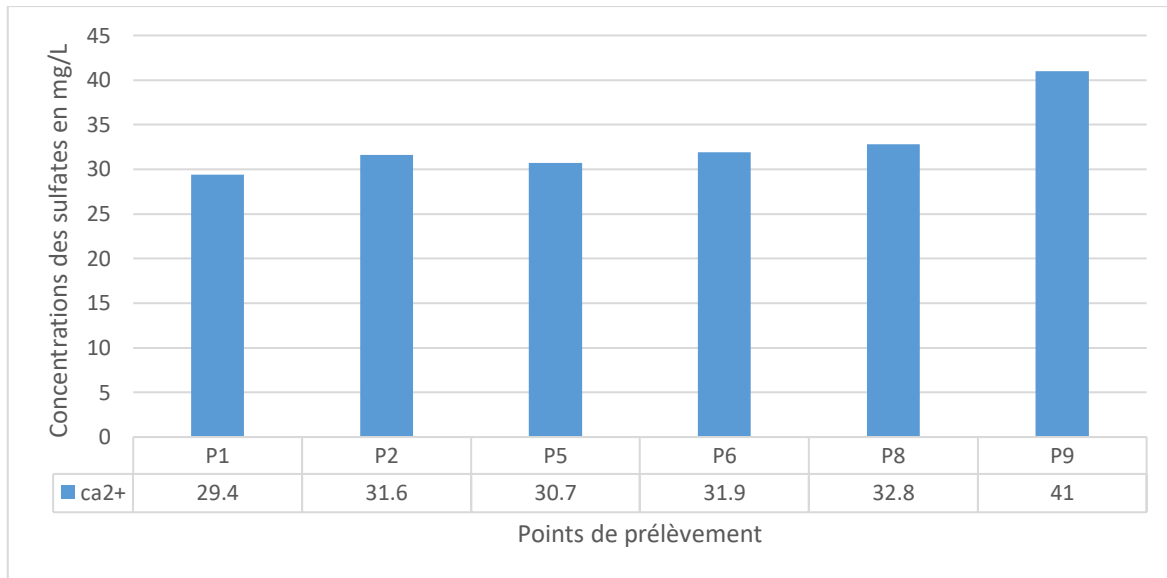


Figure 39 : Histogramme des variations des sulfates dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

Présent à des faibles concentrations dans les trois types d'eau, cet élément est en dessous des normes de potabilité (250 mg/l), la concentration la plus élevée est de 41 mg/l dans le forage P9, et la plus faible est 29.4 mg/l.

II.3.10. Le calcium

L'existence de cet élément dans les eaux a pour origine la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

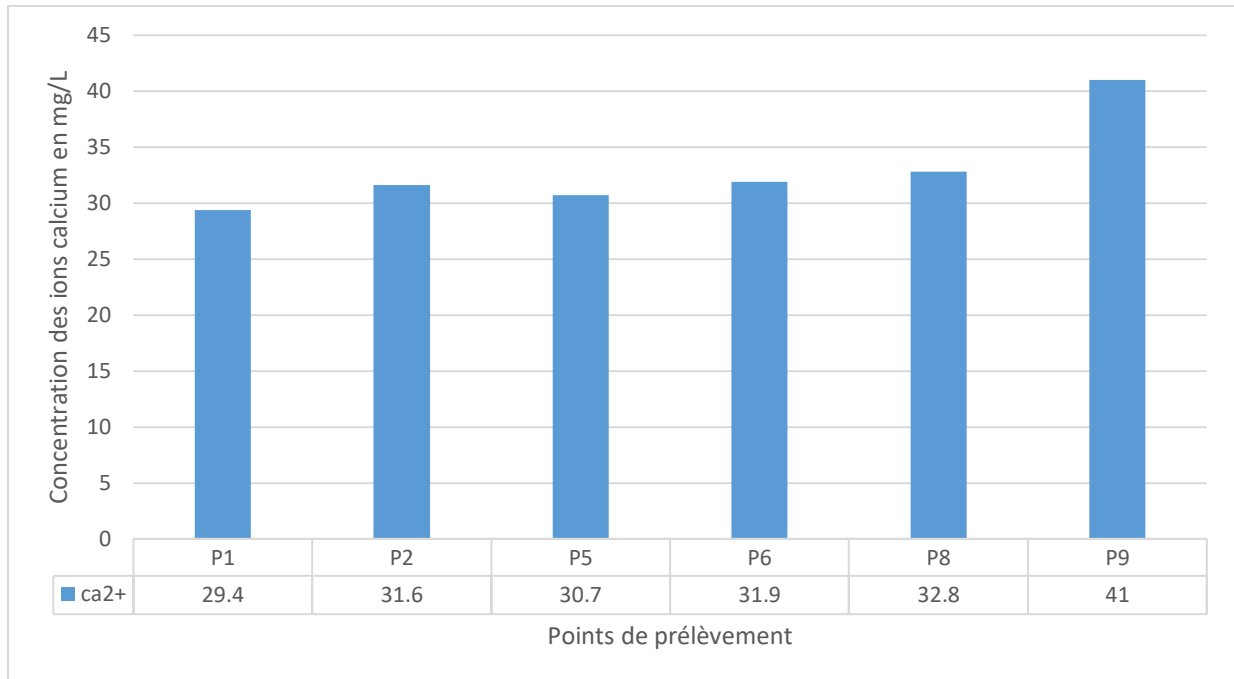


Figure 40 : Histogramme des variations du calcium dans les eaux souterraines de la zone industrielle de Tiaret en mg/L

La teneur en calcium dans les eaux profondes respecte la norme de potabilité (100 mg/l) avec un maximum dans le forage P9 (41 mg/l).

II.4. Diagramme de Piper

La question qui se pose est de caractériser le type d'eau. Si l'on dispose de plusieurs analyses d'une région, on a intérêt à définir un certain nombre de famille d'eau en utilisant le diagramme trilinéaire de Piper. En utilisant le diagramme de Piper sur le logiciel développé par le Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (DIAGRAMME), on n'a :

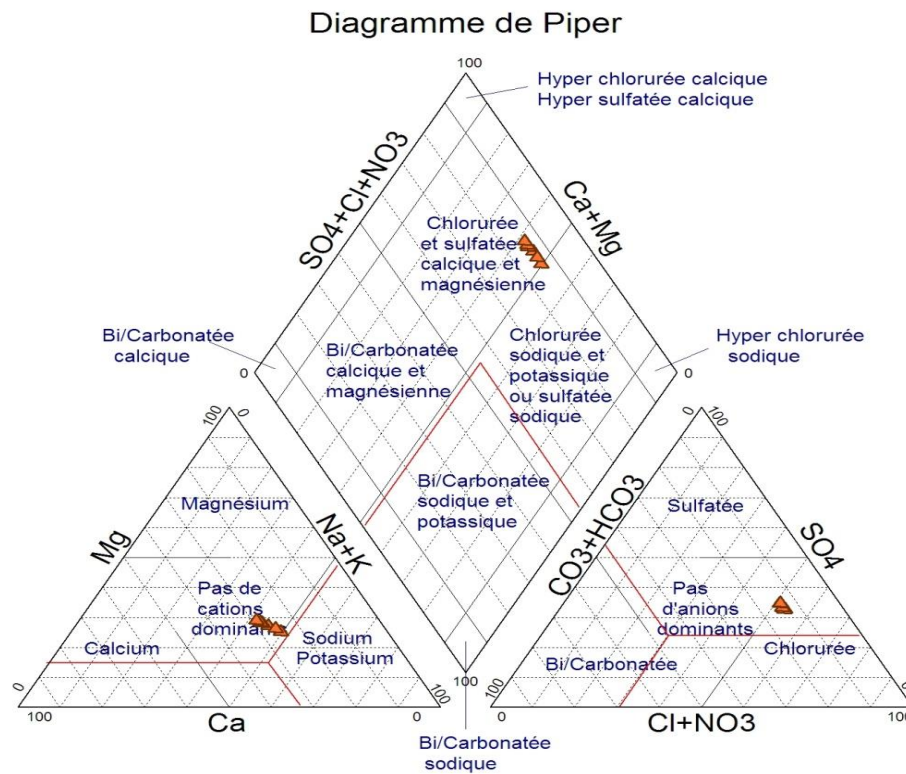


Figure 41 : Diagramme de Peiper des eaux souterraine de la zone industrielle de TIARET

Le faciés dominant est chloré et sulfatée calcique et magnésienne.

CONCLUSION

L'eau souterraine est une ressource difficilement renouvelable. Lorsqu'elle est soumise à des facteurs dégradants, sa dépollution reste difficile surtout lorsqu'il y'a des pénétrations tels que les hydrocarbures dans la nappe. Ce phénomène réduit son usage et est susceptible d'engendrer des bouleversements écologiques. Malgré le fait que la pollution à Zaaroura est d'une faible extension, il est judicieux de procéder immédiatement à sa réhabilitation avant qu'elles ne se propagent en suivant le sens d'écoulement des eaux. L'étude hydrochimique réalisé a permis la caractérisation des paramètres chimiques de l'eau et de déterminer par la même occasion le faciés dominant qui est chlorée sulfaté calcique et magnésienne.

CHAPITRE 5

VULNERABILITE

Introduction

Le terme vulnérabilité date des années 1960 et permettait de sensibiliser le public au fait que même si la notion d'eau souterraine est associée à une image de pureté, cette ressource n'en reste pas moins sensible aux agents extérieurs et susceptible d'être polluée. Selon la nature et la structure des sols et aquifères le concept de vulnérabilité pourra prendre des formes et des degrés variés de manière à mettre en évidence les capacités de résistances naturelles diverses des milieux (**Margat, 1991**). Dans ce chapitre, nous allons d'une part présenter le concept de vulnérabilité des eaux souterraines puis nous essayerons d'appliquer une méthode de vulnérabilité à notre zone d'étude.

I. Concept de vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution

I.1. Notion de vulnérabilité

Le concept de vulnérabilité peut se définir à 3 niveaux :

- ✚ Aptitude d'un système d'eaux souterraines à être contaminé.
- ✚ Intégration de l'aptitude des eaux souterraines à propager et à conserver la contamination.
- ✚ Prise en considération des caractéristiques polluantes du contaminant ce qui fait appel aux concepts de normes et de seuils de toxicité. (**Lafrance et al. 1989**).

Ainsi, on peut dire que la vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Selon une approche déterministe «**Source-Transfert-Récepteur**», la vulnérabilité correspondrait au module «Transfert» en représentant le transport d'un contaminant depuis la source jusqu'au milieu récepteur. Le module «Source» représente la répartition spatiale de la charge de contaminant à la surface du sol et le module «Récepteur» est l'eau souterraine.

I.2. Types de vulnérabilité

I.2.1. La vulnérabilité intrinsèque

La vulnérabilité intrinsèque est la facilité qu'offre un terrain jusqu'à la nappe d'eau souterraine, d'une contamination provenant de la surface du sol. Cette notion ne fait intervenir que des conditions hydrogéologiques du site sans tenir compte des propriétés d'un éventuel contaminant (**Aubre, 1992**).

I.2.2. La vulnérabilité spécifique

Est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque. La «vulnérabilité spécifique» comme décrivant les impacts potentiels dus à l'utilisation du sol et des contaminants présents. Parfois la charge de contaminant au sol est considérée comme un paramètre dans l'évaluation de la vulnérabilité. Elle peut en être également distincte quand l'approche de type «étude de risque» est utilisée. (In Murat V. 2000)

I.3. Les critères de vulnérabilité

La vulnérabilité d'une nappe dépend de plusieurs facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. Les critères de vulnérabilité rencontrés dans la littérature peuvent être exposés comme ci-dessous.

I.3.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque

I.3.1.1. Critères relatifs au sol

Le sol représente la partie supérieure de la zone non saturée et est le siège d'une activité biologique significative. La capacité à réduire et faire migrer le contaminant change en fonction du type de sol. Ainsi le ruissellement et l'infiltration efficace (quantité d'eau s'infiltrant jusqu'à la nappe) sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie, la nature des sols, la texture, la teneur en argiles et en matière organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur).

I.3.1.2. Critères relatifs à la zone non saturée

La zone vadose est définie comme la zone au-dessus de la surface libre qui n'est pas saturée entièrement, et de manière continue. On na :

- ✚ **Profondeur de la nappe libre** : L'épaisseur de la Zone Non Saturée conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant).
- ✚ **Amplitude de rabattement de nappe** : Elle peut devenir un critère de vulnérabilité dans la mesure où elle est significative (l'amplitude de battement de la nappe, conditionne L'épaisseur du recouvrement de la nappe).

- ✚ **Perméabilité verticale de la zone non saturée** : Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe.

I.3.2. Critères de vulnérabilité spécifique

Les principaux critères de vulnérabilités sont :

- ✚ **Capacités dispersives et épuratoires des sols.**
- ✚ **Qualité du réseau hydrographique.**
- ✚ **Typologie de l'occupation du sol.**

II. Cartographie de vulnérabilité

II.1. Objet de cartographie

La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la zone non saturé ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc.). Pour **Albinet et Margat (1970)**, les cartes de vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine servent à montrer quelles sont les possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les aquifères en tenant compte de la nature des terrains rencontrés en surface et les conditions hydrogéologiques.

II.2. Classification des méthodes

Il existe diverses classifications des méthodes de vulnérabilité. Divers auteurs ont proposé leur classement cependant dans cette étude, nous vous proposons celle de **Vrba et Zaporozec (1994)** classant les méthodes en méthodes intrinsèques et spécifiques. Les types de méthodes de vulnérabilité sont classés en fonction des procédures :

- ✚ Les **méthodes contextuelles ou cartographiques** qui évaluent la vulnérabilité des eaux souterraines par les contextes hydrogéologiques présents, ceux-ci étant pris comme représentatifs des conditions de vulnérabilité.
- ✚ Les **méthodes des systèmes paramétriques** utilisent également les caractéristiques du milieu comme paramètres, mais à chacun d'eux est assignée une valeur numérique. L'introduction d'un système de **cotation numérique** pour chaque classe de paramètre permet d'évaluer les variations de la vulnérabilité (DRASTIC, GOD).

- ✚ Les méthodes **analytiques** et de **modélisation numérique** qui permettent de simuler le transport et l'écoulement de fluides vers et dans l'eau souterraine à l'aide d'équations mathématiques (**EV ARISK, SEEPW**).

II.3. Choix de la méthode

Le choix des méthodes d'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution s'est avéré moins aisé étant donné leur nombre. Cependant, il a été guidé par divers éléments (**Valérie Murat, 2000**). Nous résumons ces éléments comme suit :

- ✚ Le but de l'évaluation de la vulnérabilité (étude régionale ou étude de caractérisation plus pointue).
- ✚ les conditions d'utilisation de la méthode doivent être respectées.
- ✚ La quantité d'information disponible et le nombre de paramètres utilisés. Le choix d'une méthode lors de l'évaluation de la vulnérabilité se doit prendre en compte la disponibilité des informations de base.
- ✚ Les facteurs limitatifs divers, d'ordres monétaires, effectifs humains ou matériels (accessibilité à des supports informatiques).

Pour notre étude, la méthode GOD fut retenue. Vu le manque de données hydrogéologique et la faible extension de la zone d'étude, cette méthode était bien adaptée dans le sens où elle nécessite peu de paramètres.

III. Méthode GOD pour l'estimation de la vulnérabilité

Développé par Foster en 1987, cette méthode présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée, il se base sur de trois paramètres qui sont le type de **nappe, d'aquifère** et la **profondeur de la nappe**. L'appellation GOD provient d'un acronyme: **Groundwater occurrence** (Type d'aquifère), **Overallaquifer Class** (caractéristiques de l'aquifère en terme de lithologie et porosité), **Depth to water table** (profondeur à la nappe).

III.1. Méthode de cartographie

La méthode GOD qui est une méthode de système paramétrique se fait par le calcul d'Indice. La formule est :

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

Avec :

- ✚ **IG** : Type d'aquifère.
- ✚ **IO** : Lithologie de l'aquifère.
- ✚ **ID** : Profondeur à la nappe.

Les différentes plages de l'**Indice GOD** obtenues ont été mises en parallèle avec les classes de vulnérabilité. Les valeurs sont comprises entre " 0 " et " 1 " et généralement groupées en cinq classes de vulnérabilité allant du "très faible" à "extrême".

Remarque : Les activités humaine telle que la surexploitation qui influence le degré de confinement de l'aquifère n'est pas prise en compte dans le schéma proposé.

Tableau 1 : Critères d'évaluation de la vulnérabilité selon la méthode GOD (Murat et al. 2003)

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

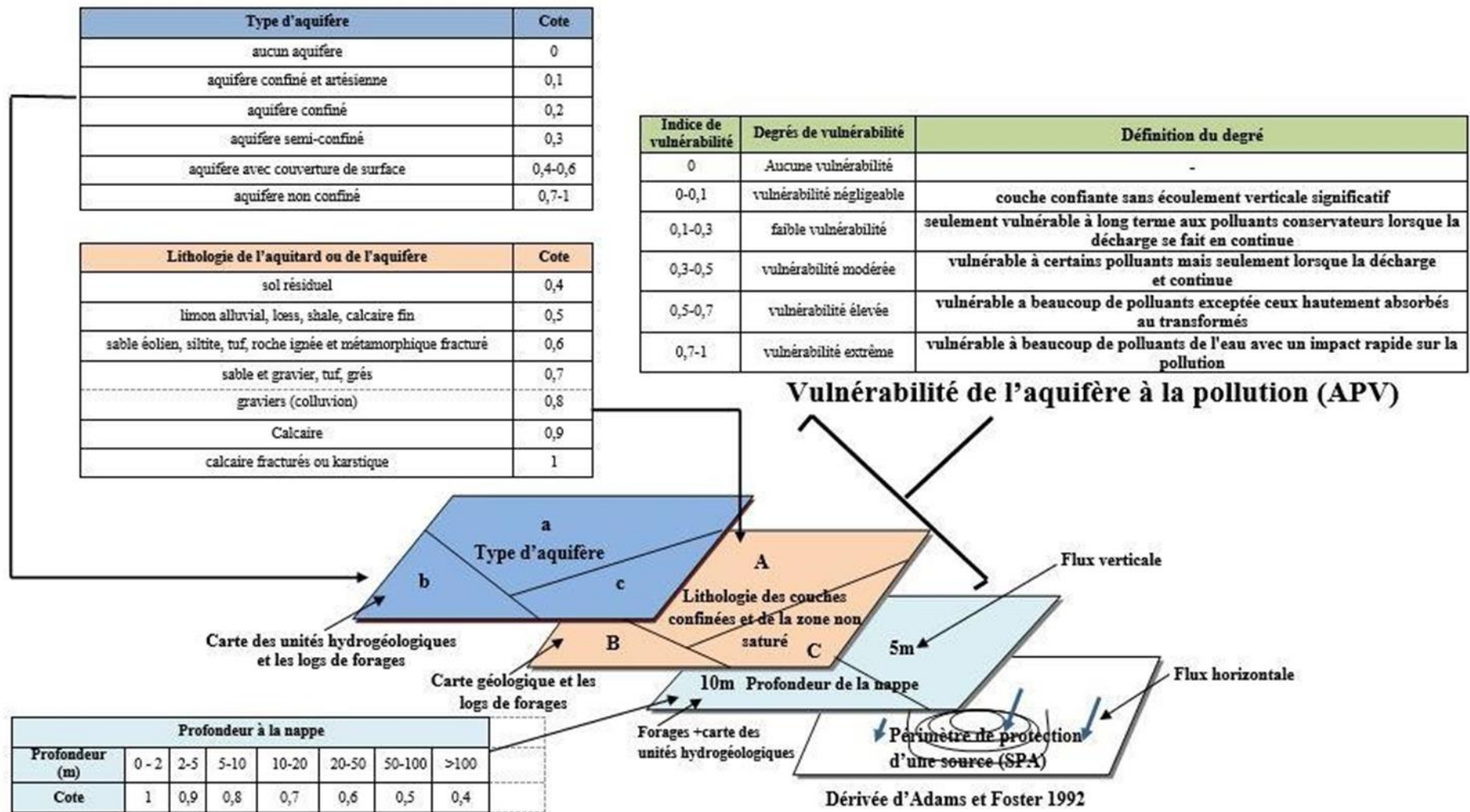


Figure 42 : La méthode GOD, paramètres et cotations (in Valérie Murat, 2000)

III.2. 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 15 : Indices des paramètres calculés selon la méthode GOD

Notation	X	Y	NS (m)	Lithologie	Aquifère	IG	IO	ID	IGOD
P1	346426	3911180	2.35	Calcaire et grés	superficielle	0.6	0.8	0.9	0.432
F1	346343	3910514	19.6	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.7	0.21
F2	346802	3909942	12.2	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.7	0.21
F3	347046	3909946	11.8	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.7	0.21
F4	346841	3910074	17.6	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.7	0.21
F5	346773	3909771	7	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.8	0.24
F6	346714	3909886	7.8	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.8	0.24
F7	346250	3910080	4	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.9	0.27
F8	345848	3909622	5.2	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.8	0.24
F9	346112	3909446	4.8	Calcaire et grés	superficielle	0.6	0.8	0.9	0.432
F10	346285	3909375	27.6	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.6	0.18
F11	345537	3910088	12.2	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.7	0.21
F12	345101	3910576	4.8	Calcaire fissuré	semi-confinée	0.3	1	0.9	0.27
P2	344929	3910657	7.8	Calcaire et grés	superficielle	0.6	0.8	0.8	0.384
P3	346642	3911436	4.5	Calcaire et grés	superficielle	0.6	0.8	0.9	0.432
P4	346677	3911430	2.2	Calcaire et grés	superficielle	0.6	0.8	0.9	0.432

III.2.1. Paramètre « G » type de l'aquifère

Les quelques études que nous avons eu à faire dans la Zone Industrielle nous ont permis de distinguer deux types de nappes, l'une libre (superficielle) s'étendue au et l'autre semi captive couvrant presque toute la zone d'étude. Les valeurs d'indice sont 0.3 et 0.6.

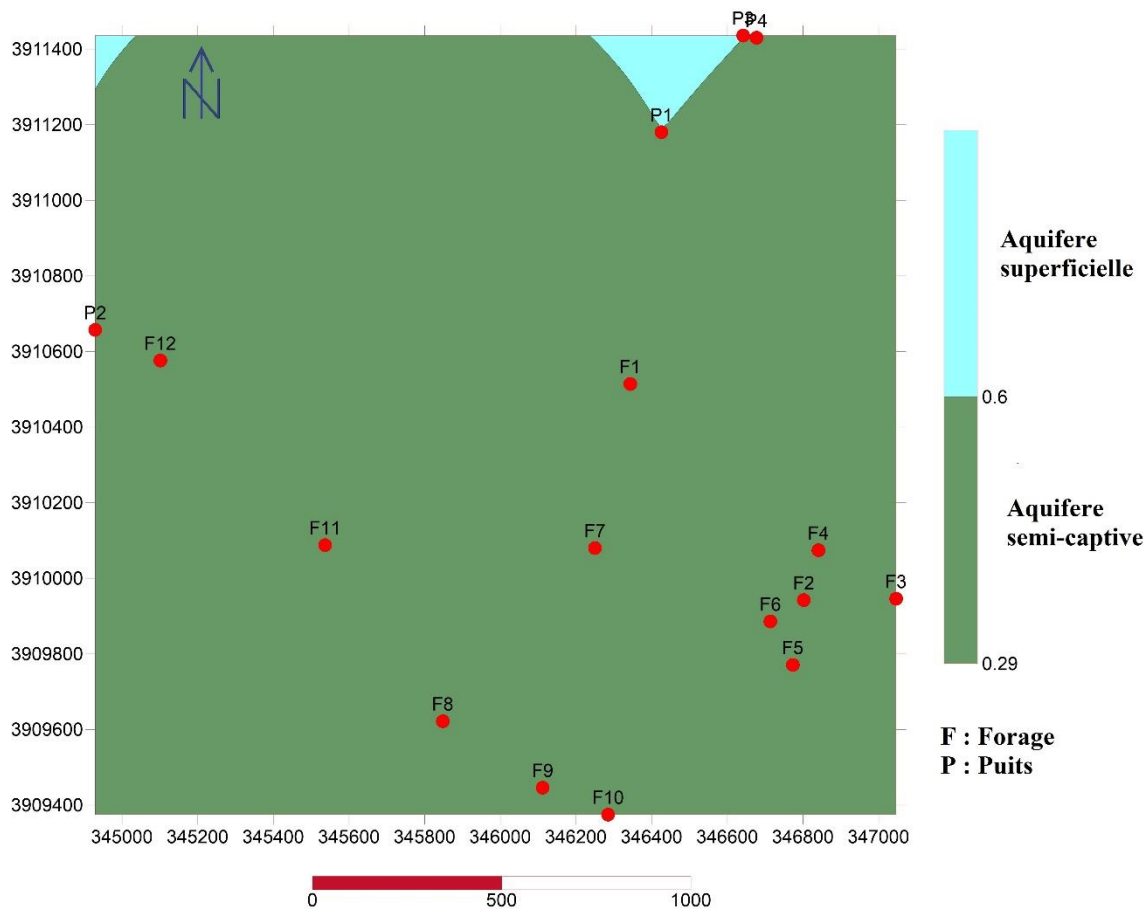


Figure 43 : Carte du paramètre "G" type d'aquifère de la Zone Industrielle de Tiaret (SURFER 11)

III.2.2. Paramètre « O » Nature lithologique de la ZNS

La carte de la lithologie de la zone non saturé (ZNS) montre deux formations lithostratigraphiques :

- ✚ La première superficielle présente des calcaires occupant la presque totalité de la zone d'étude.
- ✚ La deuxième représentant les formations de calcaire fissuré localisé au centre et sud-est de la Zone Industrielle.

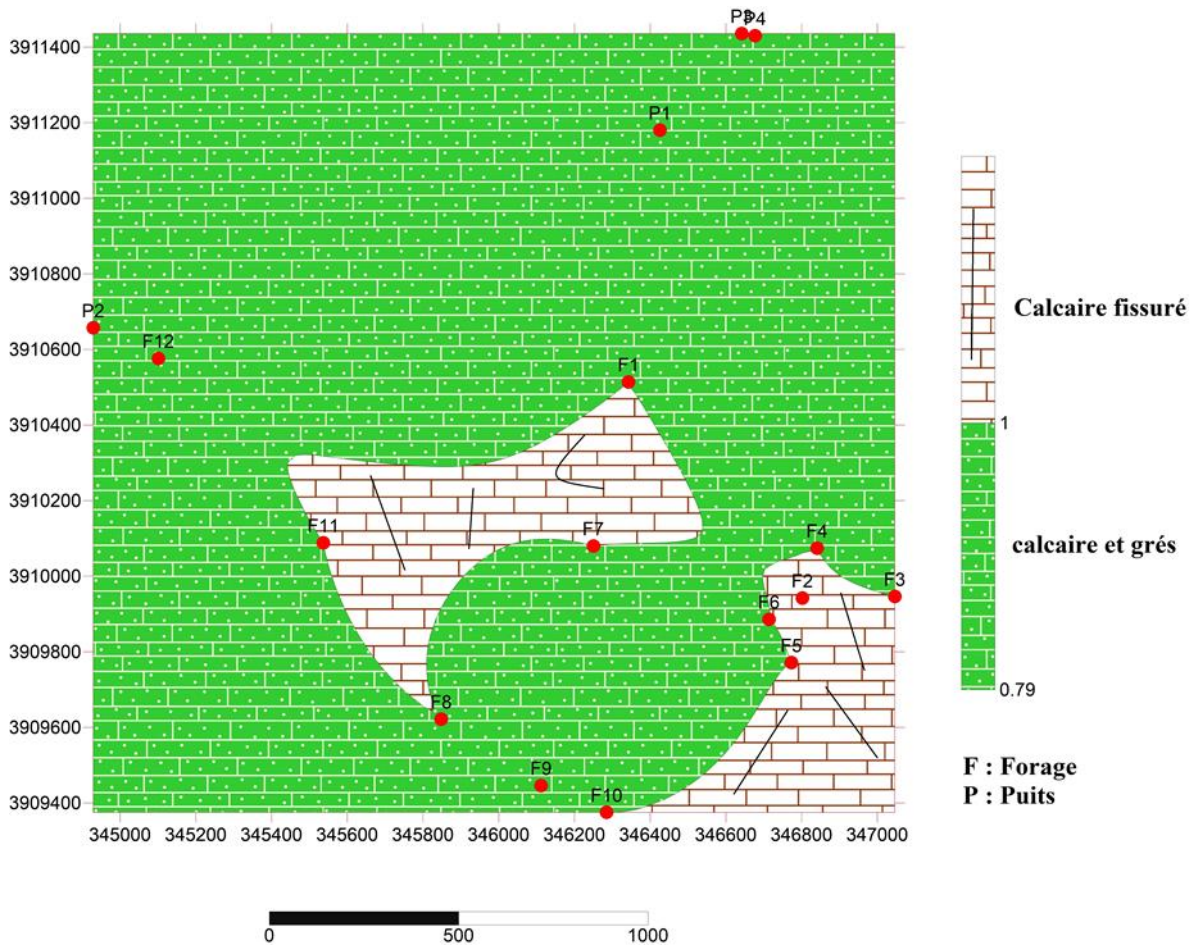


Figure 44 : Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS de la Zone Industrielle de Tiaret

III.2.3. Paramètre « D » profondeur à la nappe

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

- **Classe1** : Cette classe occupe la partie nord-est au niveau des Fermes de l'Université Ibn Khaldoun avec une profondeur allant de 2 à 5 m (ID = 0.9).
- **Classe 2** : Elle présente des profondeurs allant de 5m à 10m avec un indice ID = 0.8.
- **Classe 3** : Les profondeurs sont comprises entre 10 à 20m avec un indice ID= 0.7.
- **Classe 4** : Les profondeurs sont de 20 m à 50 m avec un indice ID=0.6. Cette classe occupe une faible surface et se locale au sud-ouest de la zone d'étude.

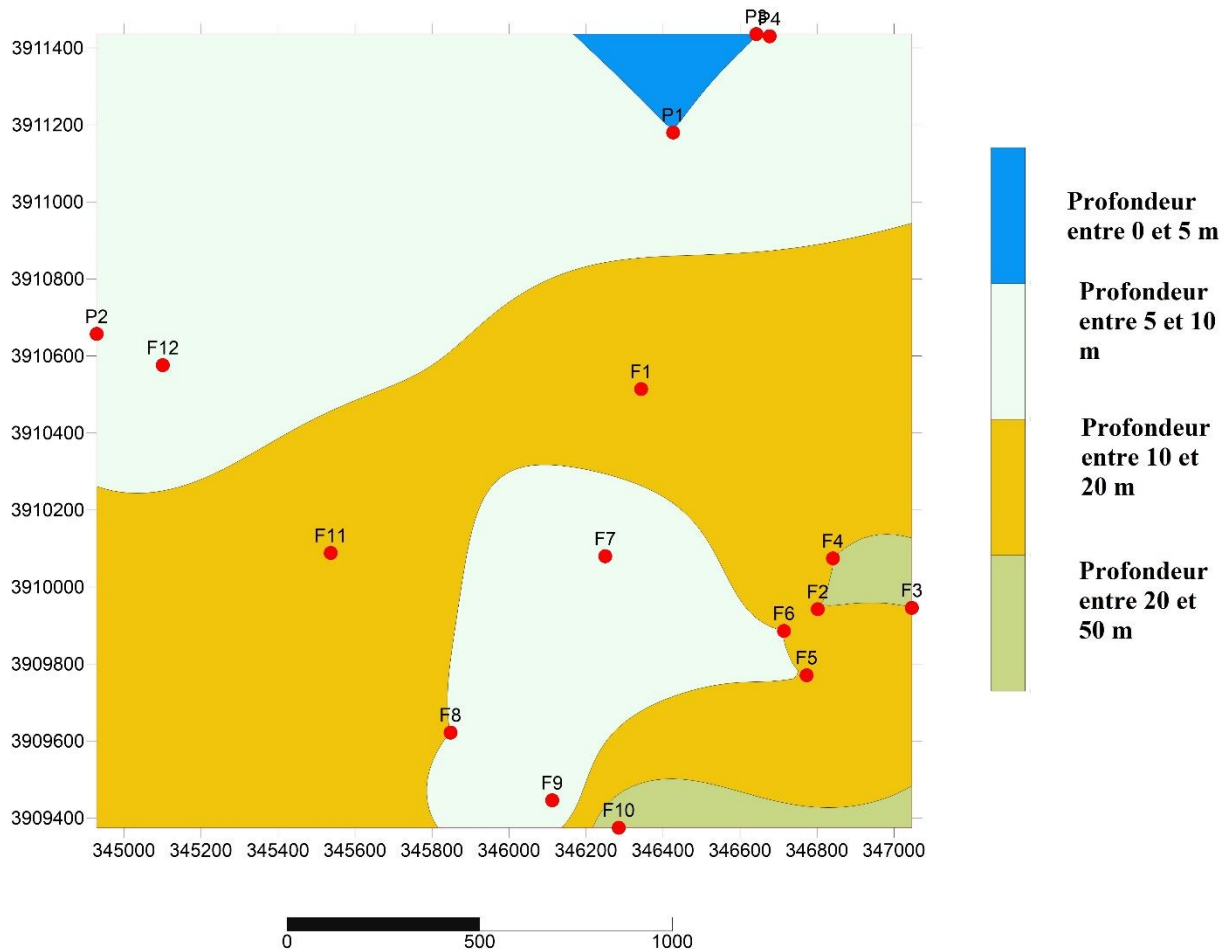


Figure 45 : Carte du paramètre "D" Profondeur à la nappe dans la Zone Industrielle de Tiaret

III.3. Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon GOD

Les zones de vulnérabilité faible et modérée ont été mises en évidence par la méthode GOD et traduisent le degré de vulnérabilité auquel est soumis le système aquifère à la zone industrielle de Tiaret. Cette vulnérabilité croît de façon générale du sud vers nord et l'analyse de ces zones révèle deux principales classes de vulnérabilité à la pollution.

- + **La classe " Faible "** : Cette classe s'observe dans le sud de la zone d'étude et indique une pollution moins sévère en cas de contamination de la nappe. Elle représente environ plus de la moitié de la zone d'étude et est caractérisé d'un point de vue géologique par les calcaires superficielle et quelque peu fissuré lorsqu'on va vers la profondeur. Ce résultat pourrait être expliqué par la nature de la nappe qui est semi-confiné. Ce groupe peut se diviser en deux à savoir la partie de la zone qui présente un indice de 0.1 à 0.2 (extrême sud) et le reste de 0.2 à 0.3.

✚ La classe " Modéré " : Moins répandue que la précédente, elle se trouve dans la partie nord de la Zone Industrielle. La distribution spatiale de cette classe s'expliquerait par la faible profondeur à la nappe et par la nature lithologique du terrain (calcaire). Deux sous-groupe se dégage dans cette classe : les zones avec un indice de 0.3-0.4 et ceux supérieur à 0.4. Ainsi, cette zone serait vulnérable à certains polluants mais seulement lorsque la décharge est continue.

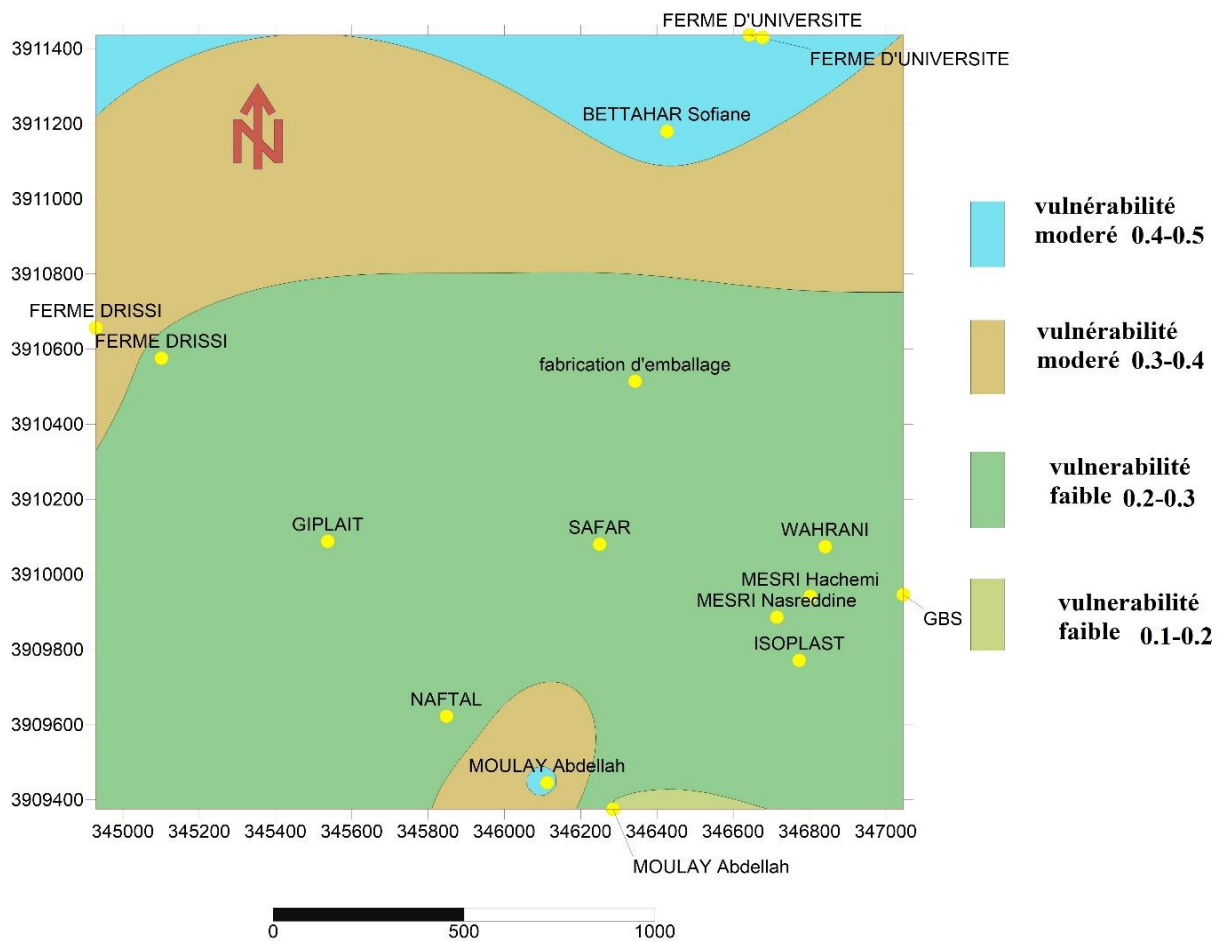


Figure 46 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines selon la méthode GOD

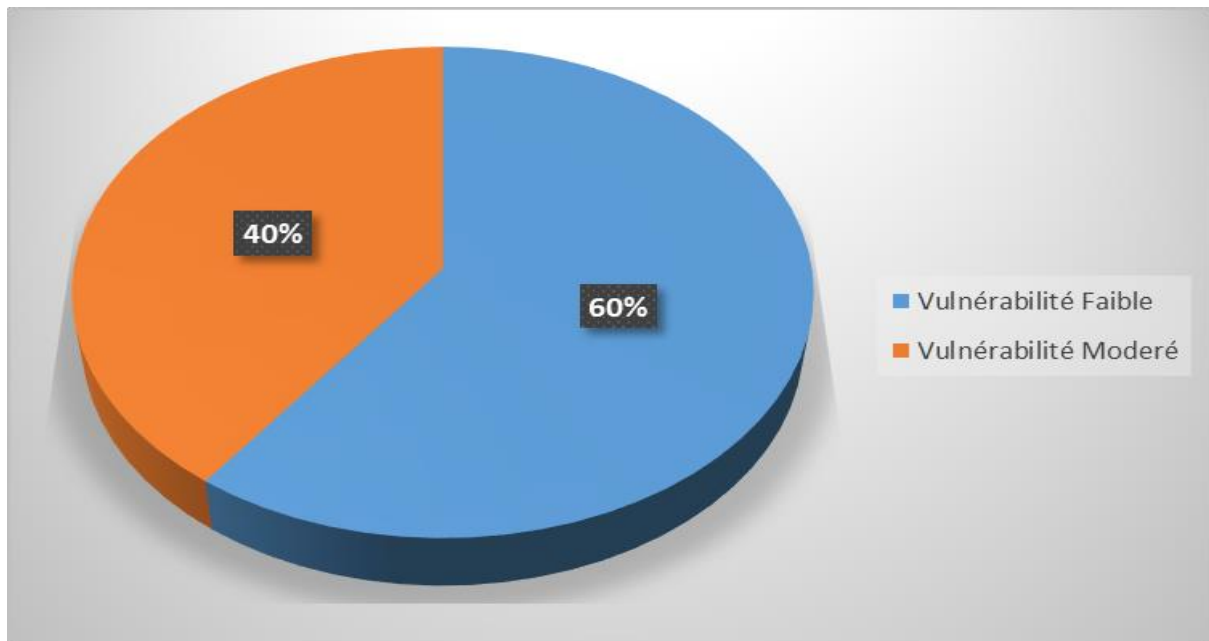


Figure 47 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution des eaux de la Zone d'étude selon la méthode GOD

N.B : Une nouvelle approche développée par le Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec en 1995 consiste à diviser en trois catégories l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique (0 à 100 %).

Tableau 16 : Echelle de vulnérabilité hydrogéologique.

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

En se basant sur cette classification, on constate que la Zone Industrielle est placée dans la catégorie 2 indiquant une protection hydrogéologique incertaine.

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 Zone industrielle de Tiaret, les cartes révèlent deux zones de vulnérabilité différente. Ainsi, on distingue une zone de vulnérabilité faible occupant la grande partie avec 60%, et une autre à vulnérabilité modéré (31.44%) occupant le reste de cette surface. Cependant, nous tenons à préciser que cette étude offre une vue de l'état des eaux souterraine dans cette partie de Tiaret 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.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

A l'issu de cette étude, des résultats ont été obtenu et l'on pourrait tenter de proposer des mesures pour contribuer à la dépollution des eaux de la zone industriel de Tiaret.

La zone industrielle est situé au sud de la ville et est caractérisé d'un point de vue géologique par des formations litho stratigraphique allant du jurassique au quaternaire. Les marnes, les argiles, les calcaires et les grés sont les roches les plus fréquentes. L'aquifère dans cette zone est constitué d'alternance de calcaire et des grés en surface puis des calcaires fissurés en profondeur. L'étude hydrochimique a permis d'évaluer la quantité des éléments chimiques dans l'eau et de conclure que le fasciés dominant est chloré et sulfaté calcique magnésienne.

L'étude de la vulnérabilité qui prends en compte trois paramètres dont la nature lithologique, le type de nappe et la profondeur confirme une vulnérabilité modéré et faible.

De nombreuses propositions existent et peuvent permettre un retour à la normale des ressources en eaux dans la zone industrielle. Ainsi, il faudra :

- ✚ **Disposer des moyens financiers, humains et matériels ;**
- ✚ **Impliquer les acteurs au niveau de la zone industrielle ;**
- ✚ **Eviter de trop tarder :** Ceci pourrait favoriser la contamination d'autres écosystèmes ou simplement rendre la dépollution encore plus difficile voire impossible
- ✚ **Procéder à l'Identification et à la localisation de la fuite ;**
- ✚ **Trouver exactement la localisation et circonscrire la Zone polluée :** La pollution sous le sol, l'étendue de la couche d'huile sur la nappe et l'épaisseur se doivent d'être évaluer ;
- ✚ **Identifier la nature du terrain :** Comprendre le cadre géologique et la lithologique du terrain sont très important. Effectué des sondages autour de la zone polluer afin de mieux cerner la lithologie ;
- ✚ **Caractériser la nappe polluée :** Il s'agit des pompages d'essais pour l'évaluation les caractéristiques de l'aquifère, de la piézométrie pour trouver la direction des eaux

souterraines et des analyses chimiques afin de voir la proportion et le type des hydrocarbures ;

- ✚ **Mettre en place des dispositifs afin de récupérer les hydrocarbures** : trouver la méthode qui de dépollution adapté au site (pompages puits ou en rangée de puits). La méthode de récupération dépendra des étapes précédentes ;
- ✚ **Prévoir un système de séparation de l'eau, de l'huile et l'endroit de rejet de l'eau** ;
- ✚ **Contrôler à travers les analyses sur prélèvement d'échantillon d'eau, la teneur de l'hydrocarbure pendant plusieurs années** ;
- ✚ **Lutter contre les forages et puits illégaux** ;
- ✚ **Appliquer strictement les lois établies sur la protection des eaux souterraines : périmètres de protections.**

BIBLIOGRAPHIE

A.N.A.T. (1994) : Agence nationale de l'Aménagement du Territoire.

ADE : Algérienne des Eaux

Albinet et Margat (1970) : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines-Bull. BRGM, 2^e série 1970

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique – Tiaret.

Aubre ,1992 : Développement d'une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraine au Québec.

BAGNAULS et GAUSSEN (1953) : Saison sèche et indice xéothermique. Bull. Soc. Hist. p29.

BNEDR : Bureau national d'études pour le développement rural.

Bouchentouf K. 1994 : Les bilans d'eau vus à travers les paramètres physico-chimiques et hydrodynamiques : cas du bassin versant de la haute Mina (Tiaret, Algérie). Thèse de Magister, Institut d'hydraulique, Centre Universitaire de Chlef, p.192.

Castany G. (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod Université Bordas,

CFT, (2014) : Conservation des forêts de la wilaya de Tiaret-Service de cartographie et Service D'évaluation et protection De la ressource en eau dans la wilaya de Tiaret des statistiques.

Vrba et Zaporozec, (1995) : Guide sur la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines, Hanovre, Association internationale des hydrogéologues. Contributions internationales à Hydrogeology, Verlag Heinz Heise, v. 16, p. 1-131, 1994.

De Marsily G.2004 : Hydrogéologie quantitative, Masson Paris, 1981.

DE MARTONNE E., (1926) : Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité La météo.31-32p.

De Vries et Simmers, 2002: Groundwater recharge: an overview of processes and challenges, Hydrogeology Journal, 2002-Springer.

DPAT-Tiaret : Direction des Populations et de l'Aménagement Territoriale-Tiaret.

DRE : Direction des ressources en eau.

Éric Gilli, Christian Mangan et Jacques Mudry, 2012 : Hydrogéologie. Objets, méthodes, application PARIS.

Foster (1987) et Foster et Hirata (1991) In Draoui et al, (2007) : Une étude comparative de quatre méthodes de cartographie de la vulnérabilité dans un aquifère détritique dans des conditions climatiques méditerranéennes, Environ Géol. 54 : 455463.

In BELHAKEM A. et SALAH A. 2015 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de Tiaret, mémoire de master en vue de l'Obtention du Master académique, université Ibn Khaldoun de Tiaret.

LTPO : Laboratoire des Travaux Public de l'Ouest-Tiaret.

ONM (2017) : Office National de la Météorologie – Les données météorologiques de la station de Bouchekif (Tiaret).

PAW : Plan d'Aménagement de la Wilaya de Tiaret, 2008

Rodier J. (2005) : l'Analyse de l'Eau 9^e Édition, Dunod, Paris 1579 p.

SGA (1972) : Service géologique de l'Algérie

Murat V. 2000 : Etude comparative des méthodes d'évaluation de la Vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution : Application aux aquifères granulaires du piémont Laurentien, novembre 2000.62p.

ANNEXES

Tableau des données hydrochimiques

Points	P1	P2	P5	P6	P8	P9
X	347050	346802	346839	346760	346243	346993
Y	3909945	3909942	3910077	3909779	3910094	3910106
Z	1051	1047	1054	1075	1043	1050
NP	7.5	8.5	12.8	3.7	1.75	12.4
T°C	19.3	18.1	18	17.4	19	18.2
pH	7.2	7.58	7.35	7.29	8.07	7.5
Conductivité us/cm	435	395	727	1240	600	377
Odeur	très présente	présente	présente	présente	absence	peu présente
ph2	7.21	7.43	7.26	7.41	7.51	7.44
conductivité 2	1124	1151	1139	1153	1175	1206
Turbidité	247.1	24.6	107.4	48.7	0.84	1.07
TH	160	167	163	165	164	179
TA	0	0	0	0	0	0
TAC	89.7	96.6	92.3	94.8	97.6	97.9
ca2+	29.4	31,6	30.7	31.9	32.8	41
Mg2+	19.2	20.01	19.8	20.07	20.16	24.2
cl-	174.2	179.3	177.9	180.2	184.6	188.3
SO4	167.5	174.1	168.6	175.09	187.8	194
HCO3-	89.7	96.6	92.3	94.8	97.6	97.9
NO3-	48.07	43.02	44.89	41.65	36.94	39.27
NO2-	0.103	0.09	0.114	0.1	0.02	0.03
NH4+	0.279	0.107	0.251	0.113	0.09	0.07
PO43-	0.08	0.04	0.07	0.04	0.01	0.02
M.O	4.7	3.2	4.6	3.1	0.8	0.65
Na+	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6
K+	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42

Tableau des données de piézométrie

N°	Notation	Nom	X	Y	Z	NS	NP
1	P	BETTAHAR Sofiane	346426	3911180	1020	2.35	1017.65
2	F	fabrication d'emballage	346343	3910514	1040	19.6	1020.4
3	F	MESRI Hachemi	346802	3909942	1047	12.2	1034.8
4	F	GBS	347046	3909946	1053	11.8	1041.2
5	F	WAHRANI	346841	3910074	1060	17.6	1042.4
6	F	ISOPLAST	346773	3909771	1044	7	1037
7	F	MESRI Nasreddine	346714	3909886	1054	7.8	1046.2
8	F	SAFAR	346250	3910080	1062	4	1058
9	F	NAFTAL	345848	3909622	1038	5.2	1032.8
10	P	MOULAY Abdellah	346112	3909446	1054	4.8	1049.2
11	F	MOULAY Abdellah	346285	3909375	1059	27.6	1031.4
12	F	GIPLAIT	345537	3910088	1036	12.2	1023.8
13	F	FERME DRISSI	345101	3910576	1036	4.8	1031.2
14	P	FERME DRISSI	344929	3910657	1037	7.8	1029.2
15	P	FERME D'UNIVERSITE	346642	3911436	1027	4.5	1022.5
16	P	FERME D'UNIVERSITE	346677	3911430	1025	2.2	1022.8