



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT: Ecologie et Environnement

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière: Sciences écologiques

Specialité: Protection des écosystèmes

Thème

**QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA
PLAINE DE REMILA
(La wilaya de Khenchela)**

Présenté par

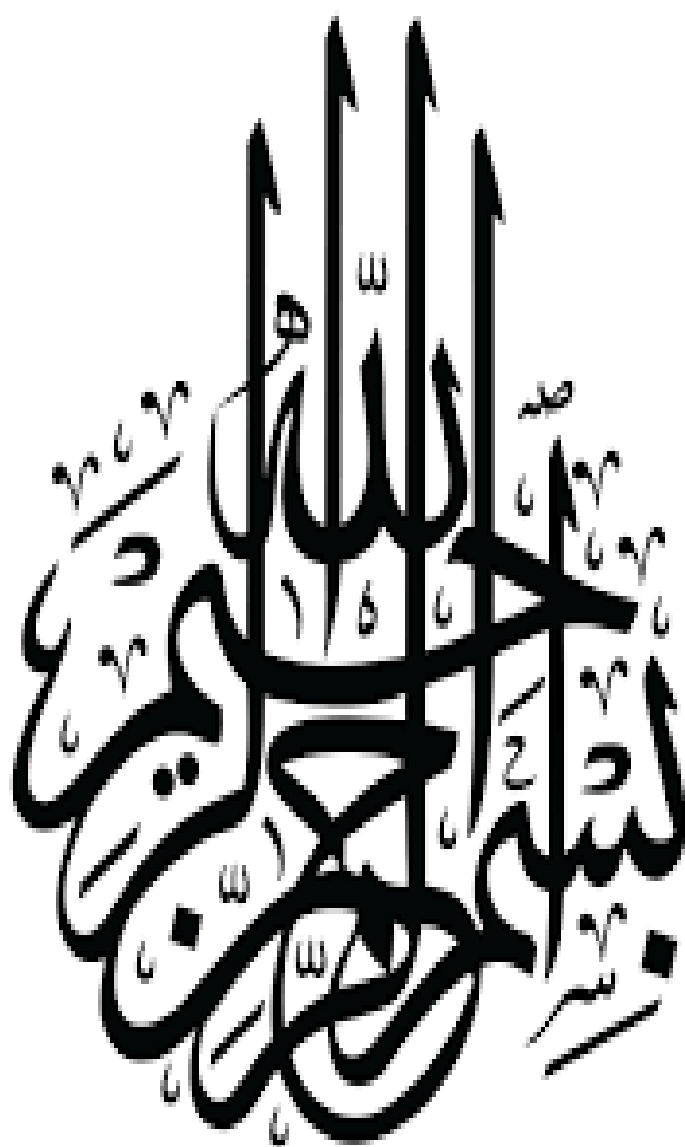
MERKICHE Sihem

MESSAI Khaoula

Jury de soutenance

BOUCHAMA Khaled	MAA	Université de Khenchela	Président
OUANES Miyada	MAA	Université de Khenchela	Rapporteur
MEZHOUD Amel	MAA	Université de Khenchela	Examinatrice

Promotion: Juin 2018



Résumé

L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. L'augmentation des besoins en eau et la disponibilité de l'eau de bonne qualité demeure un challenge d'actualité, particulièrement pour la wilaya de Khenchela. L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eau souterraine. La plaine de Remila de la wilaya de khenchela couvre 250 km² dans une cuvette synclinale à remplissage Mio-Plio-Quaternaire où la nappe du Plio-Quaternaire constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole.

L'objectif de notre travail est de déterminer la qualité des eaux souterraine de la plaine de Remila. Cette étude a envisagé d'effectuer des analyses physicochimiques en vue de caractériser le milieu et mettre en évidence les paramètres qui déterminent la qualité de l'eau à savoir : la température, le Potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la turbidité, la dureté (DHT), la matière organique (MO), Nitrite (NO₂⁻), Nitrate (NO₃⁻), Chlorure (Cl⁻), Bicarbonate (HCO₃⁻²), Sulfate (SO₄⁻²), Phosphore (PO₄⁻³), Calcium (Ca⁺²), Magnésium (Mg⁺²), Sodium (Na⁺). L'hydrochimie a permis de faire une classification de l'eau en utilisant les diagrammes de Piper, Schoeler-Berkaloff, Wilcox. L'interprétation des différents résultats réalisés a été faite en les comparant aux les normes de l'OMS.

Mots-clés : Qualité des eaux, La plaine de Remila, analyses physico-chimiques, normesOMS

ملخص

الماء، جزيء بسيط، لا غنى عنه لاستمرارية كل أنواع الحياة وتطور السكان. لا تزال الزيادة في الاحتياجات المائية وتوفر المياه ذات النوعية الجيدة تمثل تحديًا حاليًا ، خاصة بالنسبة لولاية خنشلة. يعتمد إمداد المياه للسكان بشكل أساسي على موارد المياه الجوفية. سهل الرميطة يغطي مساحة قدرها 250 كم² ، وهو حوض مملوء بترسبات تكونت في العصر الحديث كونترنار حيث أن المياه الجوفية هي المصدر الرئيسي للري الزراعي وكذا لتمويل المناطق العمرانية بالمياه الشروب .

الهدف من عملنا هو تحديد نوعية المياه الجوفية لسهل الرميطة ، تتوخى هذه الدراسة إجراء تحاليل فيزيائية كيميائية من أجل ، توصيف البيئة وإبراز العوامل التي تحدد جودة المياه، وهي: درجة الحرارة، درجة الحموضة (pH) والتوصيل الكهربائي (EC)، التعكر، الصلابة (DHT)، المادة العضوية (MO)، النترت (NH₂⁻)، النترات (NH₃⁻)، الكلور (Cl⁻)، البيكربونات (HCO₃⁻²)، الكبريتات (SO₄⁻²)، الفسفور (PO₄)، الكالسيوم (Ca⁺²)، المغنيسيوم (Mg⁺²)، الصوديوم (Na⁺) . الهيدروكيمياء تسمح بتصنيف المياه ، استعملنا عدة رسومات تخطيطية منها بيبر ، شولر باركلوف ، ويلكوكس ، وتحليل مختلف النتائج المتحصل عليها ومقارنتها بمعايير المنظمة العالمية للصحة (OMS)

الكلمات المفتاحية : جودة المياه ، سهل الرميطة ، التحليل الفيزيائي الكيميائي ، معايير منظمة الصحة العلمية

Abstract

Water is a simple molecule, essential for the continuity of any kind of life and it is important for the development of populations. The increase of water demand and the availability of a water quality present a current challenge, especially for Khenchela wilaya. The water supply for the population depends mainly on groundwater resources. The Remila plain covers 250 km² in a Mio-Plio-Quaternary synclinal basin where the Plio-Quaternary water table is the main source of drinking water supply and agricultural irrigation.

The objective of our work is to determine the groundwater quality of the Remila Plain. This study planned to carry out physicochemical analysis in order to characterize the area and to highlight the parameters, which determine water quality namely: Temperature, Hydrogen Potential (pH), Electrical Conductivity (EC), Turbidity, Hardness (DHT), Organic Matter (OM), Nitrite (NO₂⁻), Nitrate (NO₃⁻), Chloride (Cl⁻), Bicarbonate (HCO₃⁻²), Sulfate (SO₄⁻²), Phosphorus (PO₄⁻³), Calcium (Ca^{+ 2}), Magnesium (Mg^{+ 2}), Sodium (Na⁺). The hydrochemistry helps us to classify water using diagrams such as Piper Diagrams, Schoeler-Berkaloff, and Wilcox). The interpretation of the different results has been made by comparing them with WHO standards.

Keywords: Water quality, Remila plain, physico-chemical analyzes, WHO standards



DÉDICACE

Avec L'aide D'ALLAH, J'ai Pu Réaliser Ce Modeste Travail Que Je Dédie

A ceux qui ont dessiné les plus belles images de ma vie, qui me poussent aujourd'hui vers l'avant et rassurent mes pas, qui m'ont tant appris et ont fait de moi ce que je suis, que Dieu les garde, joie de ma vie:

Mon Père MERKICHE LAZHER et ma Mère SAKAOUI FADHILA

A mes frères : CHARIF ET SAID Pour leur soutient et leur amour

A mes sœurs : SOUMIA ET BESMA Pour leur soutien moral et pour leur amour et soins.

A mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines et toute la famille.

A mon chère binôme : KHAOULA

A mes fidèles amies : AMANI, AYA, AMEL, KHADIJA, AMINA, ROMAÏSSA, AHLAM, AFAF, SAMIA, SARA, SAMIRA, SOUHILA, NAFISSA, WIDAD, AMIRA, MERJEM, HABIBA, NADIA

*A tous mes collègues de la promotion avec qui j'ai partagé les joies et les
Difficultés durant ces années.*

Pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré,

SORJA, IMEN, MADJDA, CHAHRA, FOFO, ISLAM, NACER, TAREK, KAWA

A tous les enseignants que j'ai connus sur tout Mr LARBAA et Mr BAKHA

*Enfin, je dédie ce modeste travail à ma très chère Mm MIYADA OUANES, la femme modeste avec qui
j'ai appris beaucoup de choses*

SIHEM





Dédicace

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à ma mère DALILA et mon père MOUHEMED pour l'éducation qu'ils m'ont prodigué ; avec tous les moyens et au prix de toutes les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance.

Pour mes chers frères : SALAH et SOHAÏBE.

Pour mes chères sœurs : KHAOUTHAR, ANFEL.

A mon chère binôme : SIHEM

Pour mes chères cousines : Aridje, Sara ,Kenza,Houda.

A mes chères amies sans exception chaque une par son nom en particulier : NAFISSA, ZOÛRA, MINA, AMANI, AYA, WIDADE, WAFYA, AFAFE, HANAN, AHLEM

A mes oncles, mes tantes, mes cousins, mes cousines et toute la famille

MESSAI ET BRIK

A tous les enseignants que j'ai connus sur tout Mr LARBAA et Mr BAKHA

A toutes la promotion de protection des écosystèmes.

J'exprime mes gratitudes A MYADA OUNES, qui a en bienveillance dont les conseils et les suggestions qu'elle me faisait au sujet de mon travail.

KHAOULA



Remerciements

Nos remerciements s'adressent premièrement et avant tout au « Dieu »

tout puissant, qui nous a aidés à réaliser ce travail, et pour sa grâce tout au long de notre vie professionnelle et personnelle.

Nos profondes gratitude s'adressent à m^{me} OUANES Miyada notre encadreur, qui a accepté de nous diriger et nous a accordé tout son intérêt et sa patience, nous la remercions pour sa disponibilité, ses précieux conseils, son encouragement ainsi que sa gentillesse qui nous a permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer nos plus grands respects et nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu examiner ce travail M^m MEZHOUD et Mr BOUCHAMA ainsi qu'aux enseignants du département de biologie surtout Mr BAKHA et Mr LARBAA

Nos remerciements à ceux et celle qui ont contribué de près ou de loin à réalisation de ce mémoire.

Nos tenons aussi à remercier nos familles pour leur soutien moral et leur patience pendant les moments

Merci...

Table des matières

RESUME	I
الملخص	II
Abstract	III
Dédicace	IV
REMERCIEMENTS	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES ABREVIATIONS	XII
INTRODUCTION GENERALE	01
<i>CHAPITRE 01 : Description de la zone d'étude</i>	
1. Situation géographique et administrative de la région de Khenchela	03
2. Présentation générale de région de Remila	04
2.1. Situation géographique et administrative	04
2.2. Situation démographique	06
2.2.1. La Population	06
2.3. Situation climatologique	06
2.4. La caractéristique du couvert végétal	06
2.5. Caractéristiques géologique	07
2.6. Caractéristiques hydrologiques	07
2.7. Caractéristiques topographiques	07
2.8. Paysage et patrimoine	08
<i>CHAPITRE 02 : Etude géologique</i>	
<i>Introduction</i>	09
1. Géologie locale	09
1.1. Lithostratigraphie	10
1.1.1. Trias	10
1.1.2. Jurassique	10
1.1.3. Le Crétacé	10
1.1.3.1. Le Crétacé inférieur	11
1.1.3.2. Le crétacé supérieur	11
1.1.3.2.1. Cénomaniens	11
1.1.3.2.2. Le Turonien	11
1.1.3.2.3. Le Sénonien	11

Table des matières

1.1.3.2.4. Campanien	12
1.1.3.2.5. Maestrichtien	12
1.1.4. Paléogène	12
1.1.5. Néogène	12
1.1.5.1. Miocène	13
1.1.6. Le Quaternaire	13
Conclusion	15
<i>CHAPITRE 03 : Etude hydro-climatique</i>	
Introduction	16
1. Caractéristique climatologique	17
1.1. Température	17
1.2. Les Précipitations	17
1.2.1. Régime Saisonnier	18
1.3. Le Vent	19
1.4. Evaporation	20
1.5. L'insolation	21
1.6. L'humidité	22
1.7. La Neige	22
2. Synthèse Climatologique	23
2.1. Indice D'aridité	23
2.2. Diagramme Pluviothermique de Gaussen	24
2.3. Le diagramme de Quotient pluviothermique d'Emberger	25
3. Le bilan hydrologique	26
3.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)	27
3.1.1. ETR selon la formule de Turc	27
3.1.2. L'ETR selon la C.W. Thornthwaite	28
3.2. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)	28
3.3. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)	29
3.4. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite	30
3.5. Estimation du ruissellement et de l'infiltration	31
3.5.1. Ruissellement	31
3.5.2. L'infiltration	32

Table des matières

<i>conclusio</i>	32
<i>CHAPITRE 04 : Matériel et Méthode</i>	
Introduction	33
1. Techniques de mesures et d'analyses des solutions	33
1.1. Distillation d'eau	33
1.2. Test de chlore	34
1.3. Paramètres physiques	35
1.3.1. La température	35
1.3.2. La conductivité	35
1.3.2.1. Principe	36
1.3.2.2. Mode opératoire	36
1.3.3. Le pH	36
1.3.3.1. Principe	37
1.3.3.2. Mode opératoire	37
1.3.3.2.1. Etalonnage de l'appareil	37
1.3.3.2.2. Dosage de l'échantillon	37
1.3.4. Mesure de la turbidité	38
1.3.4.1. Principe	38
1.3.4.2. Appareillage	38
1.3.4.3. Etalonnage de l'appareil	38
1.3.4.4. Mode opératoire	38
1.3.4.5. Expression des résultats	38
1.3.5. Dosage de la matière organique	39
1.3.5.1. Principe	39
1.3.5.2. Matériel	39
1.3.5.3. Réactifs	39
1.3.5.4. Mode opératoire	40
1.3.6. La Dureté ou titre hydrotimétrique	40
1.3.6.1. Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA	40
1.3.6.2. Principe	41
1.3.6.3. Réactifs	41
1.3.4.1. Mode opératoire	42

Table des matières

1.3.4.2. Expression des résultats	42
1.4. Paramètres chimiques	43
1.4.1. Spectrophotométrie	43
1.4.1.1. Méthode	43
1.4.2. Les cations	44
1.4.2.1. Détermination du Ca^{2+} et du Mg^{2+}	44
1.4.2.1.1. Calcium (Ca^{2+})	44
1.4.2.1.2. Magnésium (Mg^{2+})	44
1.4.2.1.3. Principe	44
1.4.2.1.4. Mode opératoire	45
1.4.2.1.5. Expression des résultats	45
1.4.2.2. Détermination du L'Azote Ammoniacal (NH_4^+)	45
1.4.2.2.1. Principe	46
1.4.2.3. Mode opératoire	46
1.4.2.4. Expression des résultats	46
1.4.3. Détermination des concentrations en Potassium et en Sodium	47
1.4.3.1. Principe	47
1.4.4. Les anions	48
1.4.4.1. Détermination du Chlorure (Cl^-)	48
1.4.4.1.1. Principe	48
1.4.4.2. Mode opératoire	48
1.4.4.3. Détermination des nitrites (NO_2^-)	49
1.4.4.2.1. Principe	49
1.4.4.2.5. Mode opératoire	50
1.4.4.3. Détermination des nitrates (NO_3^-)	50
1.4.4.4. Réactifs	51
1.4.4.5. Mode opératoire	51
1.4.4.6. Détermination des phosphates (PO_4^{3-})	52
1.4.4.6.1. Principe	52
1.4.4.6.2. Réactifs	52
1.4.4.6.3. Mode opératoire	53
1.5. Outils d'analyse des données	54
1.5.1. Logiciel Surfer 10	54

Table des matières

1.5.2. Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)	54
1.5.3. Logiciel Excel	55
Conclusion	55
<i>CHAPITRE 05 : Résultats et Discussions</i>	
Introduction	56
1. Les paramètres physiques	58
1.1. La température	58
1.2. La conductivité	59
1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)	60
1.4. La matière organique	61
1.5. La turbidité	62
1.6. La dureté totale	63
2. Paramètres Chimiques	64
2.1. Les Cations	64
2.1.1. Le Calcium (Ca^{2+})	64
2.1.2. Le Magnésium (Mg^{2+})	65
2.1.3. Le Sodium (Na^+) et Le potassium (K^+)	66
2.2. Les Anions	67
2.2.1. Le Chlorures (Cl^-)	67
2.2.2. Le Bicarbonate (HCO_3^{-2})	68
2.2.3. Le Sulfates (SO_4^{-2})	69
2.2.4. Les Nitrates (NO_3^-)	70
2.2.5. Le Phosphore (PO_4^{3-})	72
3. Détermination du faciès chimique	72
3.1. Classification chimiques des eaux souterraines	72
3.1.1. Classification des eaux souterraines selon PIPER	72
3.1.2. Classification des eaux souterraines selon Schoeller-Berkaloff	74
4. Aptitude des eaux à l'irrigation	75
4.1. Classification des eaux par la méthode de Richards	75
Conclusion	77
Conclusion Générale	78
Références Bibliographique	79

Liste des Tableaux

Tableaux	Titre de tableau	pages
CHAPITRE 01		
01	Division administrative de la Wilaya de Khenchela	03
02	Répartition de la superficie forestière	06
CHAPITRE 03		
03	Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma	16
04	l'ETR selon la formule de turc	28
05	ETR selon la C.W Thornthwaite	28
06	Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'El Hamma	30
07	La lame d'eau ruisselée pour la station d'El Hamma	31
08	La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique.	32
CHAPITRE 04		
09	Gamme et étalonnage dans une série de fioles de 50 ml (NH ₄ ⁺)	46
10	Gamme et étalonnage (NO ₂ ⁻)	50
11	Gamme et étalonnage (NO ₃ ⁻)	51
12	Gamme et étalonnage (PO ₄ ³⁻)	53
CHAPITRE 05		
13	Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelome tricturbidity unit)	62

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre de Figure	Page
Chapitre 01		
01	Localisation géographique de la wilaya de Khenchela	04
02	Localisation géographique de la plaine de Remila	05
03	Ferme privée de Oulad si Zrara dans la plaine de Remila (vue)	06
04	Exemple (la culture de la luzerne dans la ferme de Oulad si zrara de Remila) vue	08
Chapitre 02		
05	Carte géographique et géologique du bassin de Remila	09
06	Carte géologique de la plaine de Remila	14
Chapitre 03		
07	Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2017)	17
08	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2017)	18
9	Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'El Hamma pour la période (2004-2017)	18
10	Diagramme des moyennes mensuelles des vents de la période (2004-2017)	19
11	Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (2004-2017)	20
12	Diagramme des moyennes des durées totales d'insolation de la période (2004-2017)	21
13	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2017)	22
14	Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (2004-2017)	23
15	L'indice d'aridité annuel de Martonne	24
16	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls	25
17	Climagramme d'Embergie pour la zone étude	26
18	Evaporation et évapotranspiration potentielle et réelle	29
CHAPITRE 04		

19	Les prélèvements d'eaux effectuées	33
20	Appareil de distillation (distillateur)	34
21	Test de Chlore par des comprimés DPD 1 et DPD 2	34
22	Appareil de mesure de la conductivité électrique type HI 2315	36
23	Appareil de pH Mètre type HI 2211 PH/ORP	38
24	Appareil de turbidimètre type HI 88703	39
25	Dosage de la matière organique	40
26	Dosage de la dureté ou titre hydrotimétrique	42
27	Spectrophotomètre de type DR-2000	43
28	Dosage de Calcium et de Magnésium	45
29	Mesure de l'azote ammoniacal par Spectrophotomètre	47
30	Dosage de chlorure	49
31	Dosage de nitrite	50
32	Dosage des nitrates	52
33	Dosage d'ortho phosphates	53
34	Représentation de l'interface du logiciel Surfer10	54
35	Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie	55
36	Représentation de l'interface du logiciel Excel	55
CHAPITRE 05		
37	Carte d'inventaire des points de prélèvement dans la zone d'étude	57
38	Photos satellitaire de différents points d'eaux prélevés (Google Earth)	57
39	Carte de la Variation spatiale de la température des eaux souterraines de la région d'étude	58
40	Carte de la Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la région d'étude	59
41	Carte de la Variation spatiale de pH des eaux souterraines de la région d'étude	60
42	Carte de la Variation spatiale de la matière organique des eaux souterraines de la région d'étude	61
43	Carte de la Variation spatiale de la turbidité des eaux souterraines de la région d'étude	62
44	Carte de la Variation spatiale de la dureté totale des eaux souterraines de la région d'étude	64

Liste des figures

45	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région d'étude	65
46	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Magnésium des eaux souterraines de la région d'étude	66
47		67
48	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Chlorure des eaux souterraines de la région d'étude	68
49	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Bicarbonate des eaux souterraines de la région d'étude	69
50	Carte de la Variation spatiale des teneurs en sulfate des eaux souterraines de la région d'étude	70
51	Carte de la Variation spatiale des teneurs en nitrate des eaux souterraines de la région d'étude	71
52	Carte de la Variation spatiale des teneurs en phosphore des eaux souterraines de la région d'étude	72
53	Diagramme de Piper des eaux souterraines de Remila (janvier 2018)	73
54	Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de schoeller berkloff.	74
55	Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Remila(2018)	76

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations	Désignations
ADE	Laboratoire de l'Algérienne des eaux
ANAT	Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire
ANDI	Agence Nationale de Développement de l'Investissement
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
BH	Le Bilan Hydrique
CEA	Le Commissariat à l'énergie atomique
CFWK	Conservation des forêts de la wilaya de kenchela
DA	Le Déficit Agricole
DEWK	Direction de l'environnement de la wilaya de kenchela
DHWK	Direction Hydraulique Wilaya de Kenchela
DPAT	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
DPD	La diéthyl-p-phénylènediamine
DSP	Direction de la Santé et de la Population.
EDTA	Éthylènediaminetétraacétique
ETP	L'évapotranspiration potentielle
ETR	L'évapotranspiration réelle
Evp	Evaporation
EXC	L'exidant
H.A.P.E	Hiver, Automne, Printemps, Eté

ISO	L'Organisation internationale de normalisation
NE-SW	Nord-Est Sud-Ouest
NTU	Nephelome Tricturbidity Unit
OMS	Organisation mondial de la santé.
q.s.p	Quantité suffisante pour
RFU	Réserve Facilement Utilisable

Paramètres physicochimiques

Ca⁺²	Calcium
CE	La Conductivité Électrique
Cl⁻	Chlorure
DHT	La Dureté
HCO₃⁻²	Bicarbonate
K⁺	Potassium
Mg⁺²	Magnésium
MO	La Matière Organique
Na⁺	Sodium
NO₂⁻	Nitrite
NO₃⁻	Nitrate
pH	Le Potentiel Hydrogene
PO₄⁻³	Phosphore
SO₄⁻²	Sulfate



Introduction générale

L'eau, H₂O, molécule inodore, incolore et sans saveur, présente dans la nature sous différentes formes et elle est indispensable pour la vie des différents êtres vivants.

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques.

L'eau est le moteur de la vie, c'est la substance la plus abondante à la surface de la terre, l'élément le plus indispensable pour fixer en un lieu toute population. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, mais sa répartition superficielle est inégale et sa quantité peut être rare dans certains endroits, comme les zones arides et semi-arides ce qui aboutit à la consommation des eaux souterraines, dans ces endroits la qualité des eaux souterraines va se dégrader, d'une part par leurs diverses utilisations qui rendent leur domaine de plus en plus vital et les nappes souterraines de plus en plus vulnérables à la pollution, d'autre part par les facteurs naturels, telles que les formations géologiques ou la sécheresse qui caractérise ces endroits, ce qui accentuera les contraintes sur cette ressource.

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de grande qualité. Le maintien de cet avantage relatif requiert cependant que des mesures soient prises pour préserver de façon durable la qualité du réservoir naturel d'approvisionnement.

Les eaux souterraines en Algérie constituent un capital essentiel en ce qui concerne les réserves d'eau, parallèlement à leur surexploitation en débit, la pollution des principales nappes d'eau souterraine de nord de pays atteint un seuil critique au point de devenir une source de périls. Pour la santé humaine ces pollutions définissent des risques de maladies infectieuses d'origine bactérienne ou virale, ainsi que des risques de toxicité chronique ou aiguë. Pour se prémunir des effets de ces pollutions, la législation Algérienne s'est dotée d'un arsenal de la loi et de réglementations. Néanmoins, la mise en œuvre effective sur terrain de ses lois reste inefficace pour différentes raisons. Le danger de cette situation est évidemment préoccupant car une prise de conscience collective est nécessaire afin de redresser une situation alarmante.

Introduction générale

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

La plaine de Remila couvre 250 km² dans une cuvette synclinale à remplissage Mio-Plio-Quaternaire où la nappe du Plio-Quaternaire constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole.

Dans cette étude, nous allons présenter nos observations et interprétations des mesures de terrain, pour essayer de répondre à la question suivante :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la plaine de Remila ?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques dans le temps et dans l'espace?

Afin de cerner ces axes de recherches on a procédé comme suit :

- Le premier chapitre : description de la zone d'étude;
- Le deuxième chapitre : études Géologiques et litho-stratigraphiques;
- Le troisième chapitre : traite l'étude des différents paramètres hydroclimatiques ;
- Le quatrième chapitre : Matériel et Méthode
- Le cinquième chapitre : Résultats et discussions (qualité physico-chimique pour la détermination du degré de potabilité des eaux souterraines de la zone d'études).

En dernier une conclusion générale, une réponse globale à la problématique soulevée .



1. Situation géographique et administrative de la région de Khenchela

Elle est située à l'Est du pays, au Sud-est du constantinois; et au contrefort du Mont des Aurès; la wilaya de Khenchela, s'étend sur une superficie de 9.715 Km² (**Figure 01**)

Actuellement le territoire de la Wilaya est composé de 21 communes regroupées en huit (08) Daïras (dont 05 Daïras créés en 1990) (**Tableau 01**) ; et confine avec les wilayas de:

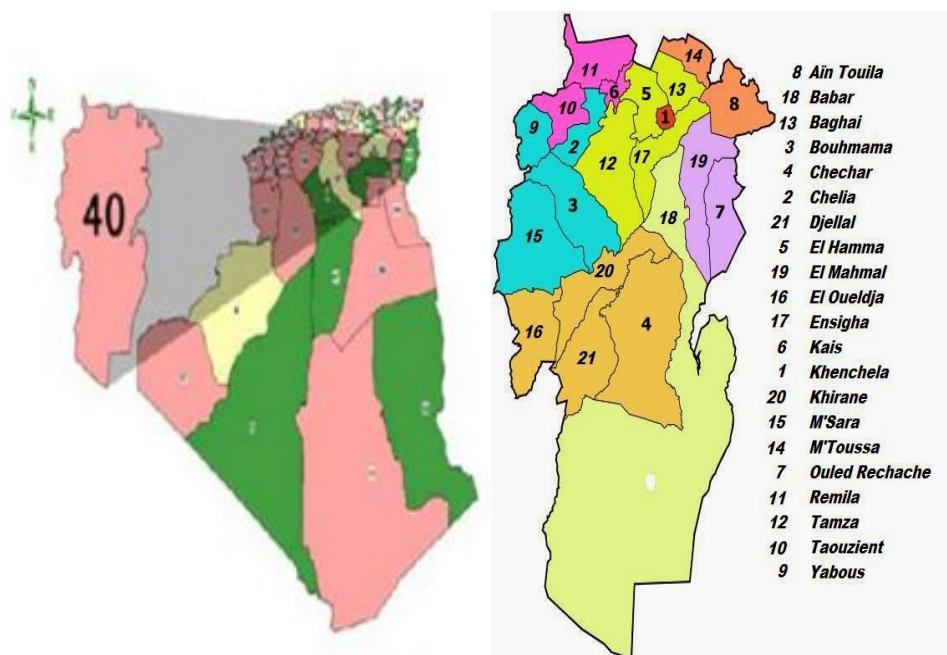
- Oum El Bouaghi au Nord.
- El Oued au Sud
- Tébessa à l'Est
- Batna à l'Ouest
- Biskra au Sud-Ouest.

La Wilaya de Khenchela est issue de la refonte territoriale de 1984, elle était rattachée entre 1977 et 1984 à trois Wilayas différentes :

- Oum El Bouaghi pour l'ex Daïra de Khenchela ;
- Tebessa pour la Daïra de Chechar ;
- Batna pour la Daïra de Kais. (**A.N.D.I , 2014**)

Tableau 01: Division administrative de la Wilaya de Khenchela (A.N.D.I, 2014)

Daira	Communes
Khenchela	Khenchela
El-Hamma	EL-Hamma, N'sigha, Tamza, Baghai
Ain-Touila	Ain-Touila, M'Toussa
Kais	Kais, Taouzient, Remila
Bouhamama	Bouhamama, Chelia, M'Sara, Yabous
Babar	Babar
Chechar	Chechar, djellal, Kheirane, Ouldja
O-Rechache	Ouled Rechache, Mahmel



**Figure 01: Localisation géographique de la wilaya de Khenchela
(DSP, 2015)**

La région de khenchela a été depuis toujours une zone à vocation agro-sylvo-pastorale, l'activité principale au niveau de la région demeure l'agriculture avec une superficie de 231768ha, la couverture forestière occupe 231768ha. Le secteur de l'industrie est faiblement représenté dans la wilaya. Il se constitue de deux unités de production de secteur public et trente et un de la petite et moyenne entreprise privée. **(Boubelli, 2009)**

2. Présentation générale de région de Remila

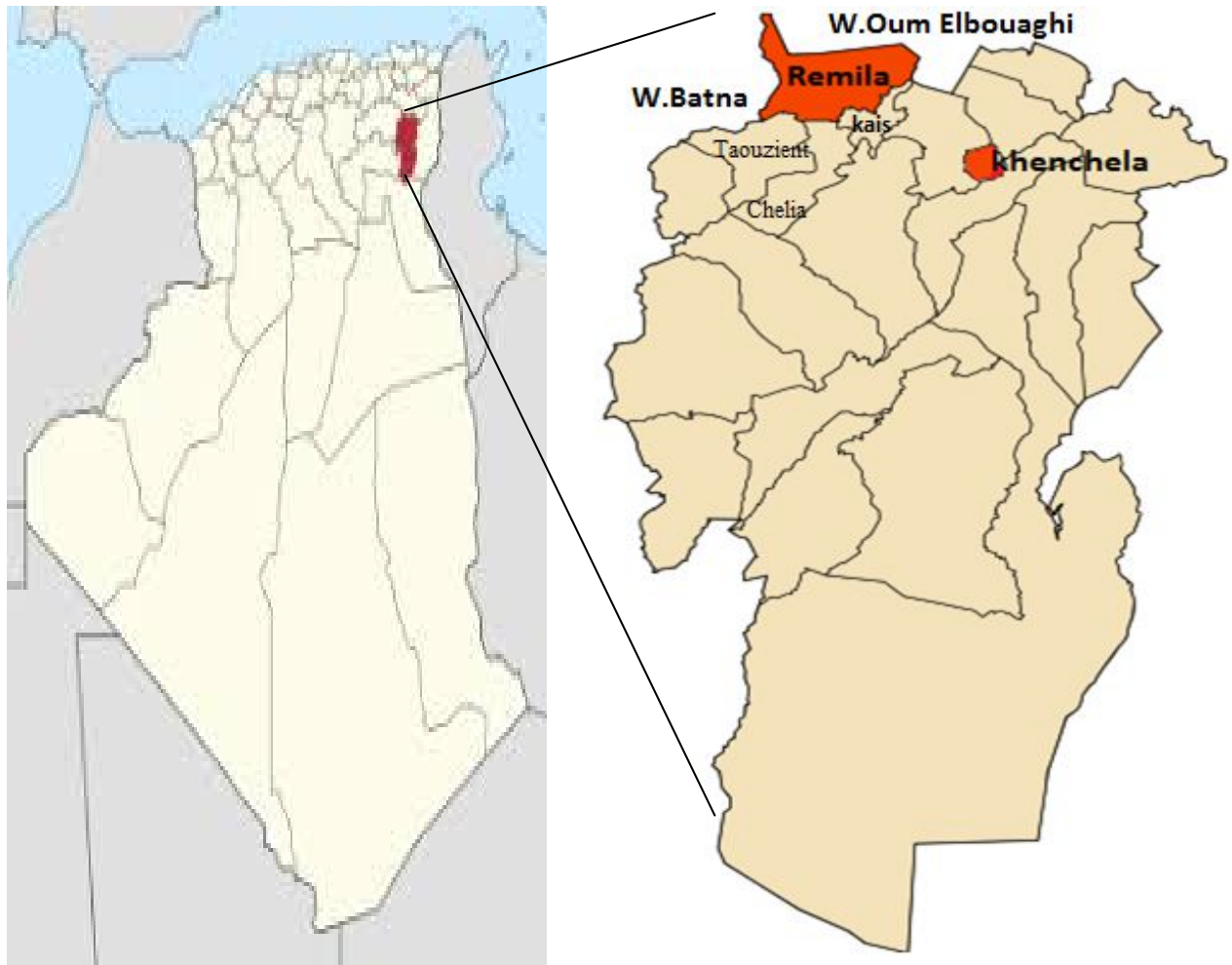
2.1.Situation géographique et administrative

Remila est une ville Algérienne qui se situe à 09 Km au Nord-est de la daïra de Kais et à 853 mètres d'altitude ; Elle est entourée par Kais, Aïn Zitoun et Baghai, elle constitue le trait d'union entre 03 wilayas des Aurès. **(D.E.W.K, 2018)**

La commune de Remila se situe au Nord-ouest de la Wilaya de Khenchela avec une superficie de 243 km², elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- A l'Est par la commune de Kais.
- Au Sud, par les communes de Chelia et Taouzient.
- Et à l'Ouest par la commune de Boulefreis et la wilaya de Batna. **(D.E.W.K,2018)**

Le Bassin versant endoréique de Remila (W. Khenchela) se situe entre les parallèles 35°25'et 35°40' et les méridiens 06°30' et 07°05' au Nord-est de l'Algérie. **(Aouidan, 2017)**



**Figure 02 : Localisation géographique de la plaine de Remila. (Modifier)
(D.H.W.K, 2018)**

Sa situation est stratégique par les plaines étendues et fertiles situées en aval des chaînes sud des Aurès qui les arrosent de toutes les pluies qu'elles reçoivent. Sa nature géologique se caractérise par des pentes où se dessinent des Oueds orientés du sud vers le Nord.

Elle a un caractère rural très important notamment quant aux récoltes céréalières très importantes qui y sont enregistrées. Elle abrite un village agricole créé en 1975, dans le cadre de la Révolution Agraire. Toutes ces particularités dénotent le caractère important de sa situation géographique. (D.E.W.K, 2018)

Le secteur aménagé couvre environ une superficie de 21 hectares. Il englobe les habitations, les infrastructures sociales et éducatives, les voies de circulation et quelques poches vides non encore bâties et destinées soit à la construction d'habitation, d'aires de jeux et de loisirs ou des espaces verts. (D.E.W.K, 2018)



Figure 03: Ferme privée de Oulad si Zrara dans la plaine de Remila (vue)

2.2. Situation démographique

2.2.1. La Population

La population totale de la commune de Remila est estimée à 6740 habitants depuis le dernier recensement de la population au 2016. (D.E.W.K, 2018)

2.3. Situation climatologique

Du point de vue climatique, la région de Remila relève du climat continental, semi aride sec. Les étés sont brûlants et les hivers glacés, ce qui s'avère très néfaste pour certaines cultures, notamment les périodes de gels en hiver. (D.E.W.K, 2018)

2.4. La caractéristique du couvert végétal

La région de Remila est à vocation agricole et la céréaliculture est prépondérante assurant ainsi par ses dérivés (foins, pailles etc...) une alimentation pour le bétail qui y est élevé. Le patrimoine total de la région forestier est estimé à 172.53 ha. (Tableau 02)

Tableau 02: Répartition de la superficie forestière (C.F.W.K, 2018)

Communes	superficie forestière (ha)	Essence principale	Total superficie du patrimoine forestier (ha)
Remila	172.53	Pin d'Alep+ Chêne vert	172.53

2.5. Caractéristiques géologique

La commune de Remila est connue surtout pour les plaines et les collines qui font sa fierté en matière de rendements céréaliers de qualité et en quantité aussi. Un ensemble d'oueds assurent d'irrigation notamment en périodes de pluies, et prennent tous leurs sources dans les monts des Aurès. **(D.E.W.K, 2018)**

La plaine de Remila forme une vaste dépression de 50 à 60 km de long sur 20 km de large en moyenne, comblée de dépôts plio-quaternaires **(CGG, 1969)**. Les massifs qui l'encadrent sont essentiellement crétacés des formations s'étaient du crétacé moyen au crétacé supérieur (cénomantie, turonien, sénonkien).

2.6. Caractéristiques hydrologiques

Le réseau hydrographique est dense aux alentours du périmètre d'étude. Nous trouvons un ensemble d'oueds tels Oued Guellab, Oued Boulefreis, Oued M'lih et Oued Erreiyane, ainsi que des puits artésiens.

Les ressources hydrauliques destinées à l'usage domestique de la population quant à elle, proviennent de deux 02 forages :

Le premier (F2 enregistre un débit de 10 litres par seconde) et le second, (F5 accuse un débit de 16 litres par seconde).

Toutefois su qu'un nouveau forage, à proximité du château d'eau actuel sera entrepris, et qui approvisionnera la population en eau potable, les deux premiers F2 et F5 seront quant à eux détournés vers l'irrigation agricole.

Enfin, tous les problèmes en matière d'eau seront dépassés avec la mise en exploitation du barrage de Koudiet Lemdaouar. **(D.E.W.K, 2018)**

2.7. Caractéristiques topographiques

La commune de Remila est reconnue par l'homogénéité de sa topographie et est constituée par une succession de plaines qui représentent 80% de sa superficie totale et est entrecoupée par de grands Oueds qui prennent leurs sources durant les périodes de pluies dans les Monts des Aures Chelia et Taouziat et traversent la plaine de Remila. **(D.E.W.K, 2018)**

2.8.Paysage et patrimoine

La vocation ancestrale de la zone d'étude est agricole. C'est les céréales (orge et blé) qui sont le plus cultivés et laissent donc prospérer un élevage assez important d'ovins de caprins et bovins. (D.E.W.K, 2018)



Figure 4 : Exemple (la culture de la luzerne dans la ferme de Oulad si zrara de Remila) vue



Introduction

Toute étude hydrogéologique doit obligatoirement passer par une étude géologique, qui détermine à partir de la lithologie, les formations susceptibles d'être aquifères. Ainsi plusieurs travaux et études dans ce domaine ont porté sur la stratigraphie et la géologie structurale ont été entrepris dans l'Est Algérien.

1. Géologie locale

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et études régionaux et des synthèses sur le massif des Aurès (Khenchela) sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides.

Grossièrement le bassin est constitué de 02 structures synclinales parallèles orientées Est-ouest, séparées par la structure anticlinale du Djebel Amrane ; dont le prolongement vers l'Est est enfoui sous le recouvrement récent ; sur la plan Sud du bassin, la série Crétacée est la plus complète: (Sénonien, Cénomane, Turonien); dans le synclinal Sud-est venu se déposer le miocène marin marno-gréseux (Burdigalien) en discordance sur le crétacé et les marnes rouges du Pontien. (D.E.W.K, 2018)

L'ensemble est partiellement recouvert par des dépôts quaternaires. D'épaisseur variables la plaine est occupée à l'Est par un chott de près des 200km² -Garaet Tarf- ou l'alluvionnement est encore intense et qui draine l'ensemble de la plaine. (Figure 05) (CGG, 1969)

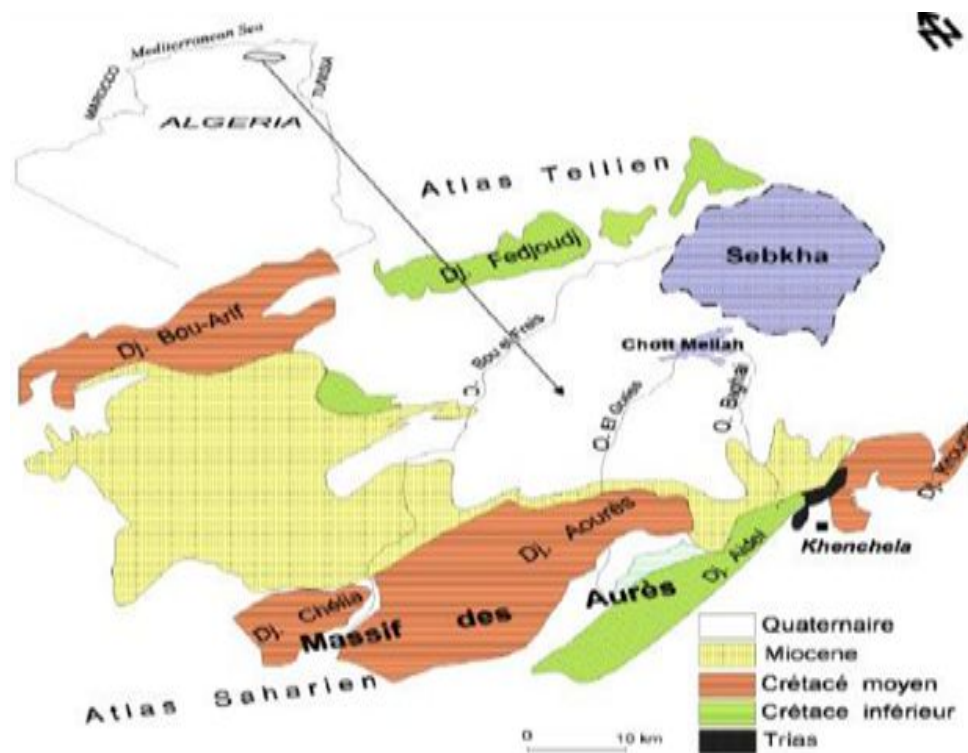


Figure 05: Carte géologique du bassin de Remila
(CGG, 1970)

La géologie de la plaine se distingue par deux formations prédominantes : le calcaire d'âge crétacique, apparaissant des escarpements limitant la plaine occupant les côtes les plus Géologie historiques de cette aire. De la tectonique plastique, les plis des roches calcaires en sont le résultat, formant synclinales et anticlinales la tectonique rigide est représentée par les failles et fissurements verticaux et sous-verticaux qui joint au plan de stratification donnent au roches calcaires un aspect de grands blocs détachés, caractéristiques de certaine aires. **(Bounezra et al., 2015)**

1.1. Lithostratigraphie

D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs géologues, les terrains les plus anciens de la région d'étude ont attribués au Trias et les plus récents au Quaternaire. **(Boubelli, 2009)**.

1.1.1. Trias

Le Trias affleure toujours en position anormale, il est formé de pointements diapiriques nombreux jalonnant les accidents tectoniques (Para-autochtone), les affleurements triasiques sont assez nombreux. Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux. **(Boubelli, 2009)**.

Les argiles et marnes bariolées, de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement.

Des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasiques. **(Boubelli, 2009)**.

1.1.2. Jurassique

Lithologie des formations Jurassiques se distingue par un large développement des faciès carbonatés (Calcaire dolomie) parfois argiles (Schistes argileux, et calcaire argileux, siliceux et béchiques). Elles renferment parfois des intercalations de marnes jaunes et rouges dont l'épaisseur peut atteindre 400 mètres. L'épaisseur totale de ces dépôts dans la région peut être évaluée à 4000 voire 6000 mètres. **(Aouidane, 2017)**

1.1.3. Le Crétacé

Le Crétacé a été subdivisé en Crétacé inférieur ou série gréseuse (Berriasien à l'Albien) et en Crétacé supérieur ou série marnocalcaires (Cénomaniens à Maestrichtien). Les formations crétacées présentent une masse énorme de calcaire marneux, de marno-calcaire et de marne qui s'allonge depuis les plis de Khenchela, les monts de Delaa et ceux de F'kirina jusqu'aux montagnes bordant GaraetTarf suivant des directions NE-SW. **(Aouidane, 2017)**

1.1.3.1. Le Crétacé inférieur

Il peut être subdivisé en quatre ensembles lithologiques :

- Un ensemble inférieur (1000m) à dominance argileuse correspondant au Berriasien supérieur-Valanginien.
- Un ensemble basal (1300m) à dominance carbonate avec des calcaires-mécritiques et bioclastiques en bancs métrique (Tithonien supérieur-Berriasien moyen).
- Un ensemble médian (1400m) à dominante grés-dolimitique appartenant à l'Hautrivien-Barrémien.
- Un ensemble supérieur (700 à 750m), comprenant à la base des dolomies et une alternance de grés, de calcaire à Orbitolines, puis des grés à stratifications obliques, des marnes gréseuses, des calcaire marneux et des calcaires au sommet, est attribué à l'Aptien-albien. (Aouidane, 2017)

1.1.3.2. Le crétacé supérieur

1.1.3.2.1. Cénomaniens

Le Cénomaniens comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, vertes ou ocre, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses. Une série terminale constituée de marnes et de calcaires formant une corniche (proportion de ces derniers augmente vers le sommet). Le Cénomaniens est essentiellement calcaro-marneux. La partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable. (Houha, 2007)

1.1.3.2.2. Le Turonien

Les dépôts de turonien sont constitués tout d'abord d'environ 200 m de marno-calcaires blanchâtre en plaquettes fines à cassures noirâtre bitumineuses ainsi que des marnes grises ou noires montrant des intercalations de marno-calcaires zoogène en bancs décimétriques, ensuite on a 150 m d'alternance de marnes grises beiges et calcaires zoogènes en zoogènes oduleux en bancs décimétriques ou métriques (Houha, 2007)

1.1.3.2.3. Le Sénonien

Le sénonien est présent au Sud de la plaine de Rémila, sur le flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Chélia avec un faciès principalement marneux. Son épaisseur peut être très importante et atteindre 1000 à 2000 m. (Houha, 2007)

1.1.3.2.4. Campanien

Constitué de marne et calcaires crayeux, et affleuré au Djebel Chettaia, Djebel Aurès, à Douar Ouled Ensigna et à l'entour des Djebels Chettaia et El Krouma.

1.1.3.2.5. Maestrichtien

Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé maestrichtien inférieur à dominante marneuse, et maestrichtien supérieur constitué par des calcaires à Inocérames.

On se rapproche de la zone des hautes plaines constantinoises ou le Maestrichtien semble ne pas exister, ce qui indique que, s'il est déposé dans cette région, ce fut sous faible épaisseur et qu'il a ainsi été facilement enlevé par l'érosion (**Boubelli, 2009**).

1.1.4. Paléogène

Le paléogène marin, au Danien marin succède en concordance, des couches marines, marno-calcaires, dans lesquelles, latéralement, en certains points, s'intercalent des couches lacustres et des couches rouges d'origine lagunaire ou plutôt continentale, mais il s'agit là de conditions exceptionnelles de l'Eocène inférieur (Yprésien) et l'Eocène moyen (Lutétien) sont essentiellement marin. (**Boubelli, 2009**).

1.1.5. Néogène

Dans les limites de la partie centrale des Aurès, les dépôts Néogènes sont représentés surtout par des conglomérats du Miocène qui remplacent vers le Sud par des formations marines normales (calcaire, marne...). Les dépôts de cette période se caractérisent par des changements fréquents des faciès suivants des directions différentes; la présence des conglomérats est liée à l'émersion. Au cours de la période Lutétien, dans les limites de la partie Nord-Ouest des Aurès, ces conglomérats et les assises calcaro-marneuse sont surmontés par des formations continentales qui soulignent une étape bien caractéristique du développement du relief et une phase intense du plissement. (**Boubelli, 2009**).

A l'intérieur des zones synclinales, les conglomérats et les poudingues du Miocène sont concordants avec des roches sous-jacentes et marquent ainsi la fin de la sédimentation marine. Dans les zones anticlinales, ces dépôts, dont l'épaisseur varie de 250 à 300 mètres, reposent en discordance sur les formations sous-jacentes. (**Boubelli, 2009**).

1.1.5.1. Miocène

En 1862, Coquand signale pour la première fois dans les environs de Khenchela un gisement de Burdigalien à Pectens et l'âge exact des couches rouges du Sud de l'Aurès.

Le Miocène dans la région d'étude peut subdiviser de la manière suivante :

- **Aquitano-burdigalien:** Marqué par des conglomérats rouges. Il affleure à El Kelaa, Ras Khodalène et à l'entour de Ras Serdoun.
- Langhien-serravalien: Constitué par des marnes, biomicrites, biomicrosparite et grés blancs. Il est remarqué au niveau d'El Kelaa, Djebel Knif et Ras Ychebrane.
- **Tortorien:** Gréseux blanc, qui affleure à Tirkabine, Djebel Kharroub, Djebel Akar, El Mennchar et Douar Khenchela.
- **Tortorien supérieur:** Continentale, ce sont des argiles silteuses beiges et rouges, grés. Le Tortorien supérieur n'apparaît qu'au niveau Draa El Ahmar. (**Aouidane, 2017**)

1.1.6. Le Quaternaire

Le Quaternaire ne comporte que des formations continentales généralement épaisses par endroits, souvent en présence de croûtes calcaires. Les formations quaternaires sont particulièrement bien développées dans les régions comprises entre les reliefs crétaqués des monts des Aurès au Sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène.

Les piémonts sont ici généralement modelés en glacis à couverture détritique peu épaisse. Ces glacis sont constitués au voisinage immédiat des reliefs par des alternances de couches de cailloutis et blocailles et de colluvions un enrichissement en calcaires dans les horizons superficiels.

Lorsqu'on s'éloigne du piémont l'épaisseur des couvertures de glacis diminue rapidement. Les formations anciennes sont constituées par des alternances de conglomérats et de sables surmontés par des sédiments fins argilo sableux, rouge au sommet desquels apparaît une croûte calcaire blanche.

L'examen de quelques coupes de forage, montre que la sédimentation est en majeure partie argileuse et marneuse, avec une proportion importante de gypse et présente un maximum d'épaisseur au centre de la plaine et au voisinage du Chott. (**Houha, 2007**)

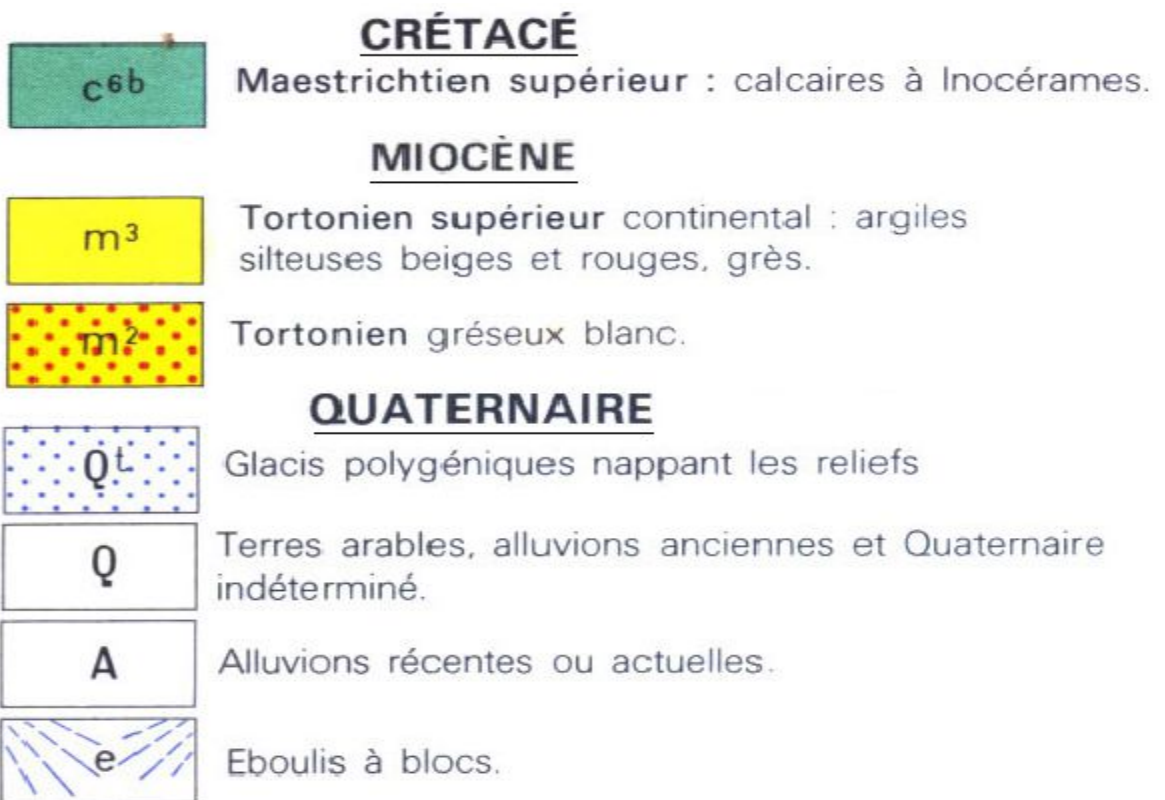


Figure 06 : Carte géologique de la plaine de Remila
(À partir de la carte géologique de Khenchela)

Conclusion

La zone étudiée fait partie des domaines para autochtones Nord-Aurésien. L'étude géologique de la plaine, basée sur la description géologique de la région.

D'après les études géologiques réalisées dans la région, on peut conclure que la zone d'étude plaine de Remila (Khenchela), est constituée par une mosaïque des formations géologique étale de plus ancien celle de Triasiques à la plus récente celle de quaternaire. Pour la formation de Crétacée qui marque une présence très importante, qui on le divise en deux (Crétacée Inferieur et Crétacée Supérieur). Ont rencontre aussi la Paléogène, Néogène, miocène et enfin le quaternaire.



Introduction

La climatologie est la science qui étudie le climat, son histoire, mais aussi son futur probable. Elle est une science récente qui s'est fortement développée au cours des vingt dernières années. Elle nécessite une approche interdisciplinaire, qui rassemble des physiciens, mathématiciens, chimistes, informaticiens, géologues...etc. **(CEA, 2015)**

La climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des paramètres requis pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la durée d'insolation, la direction et la vitesse du vent. Le climat représente donc le « temps moyen » en un lieu donné **(Emselem, 1989)**.

Le cycle souterrain de l'eau et le climat son étroitement liés. L'évolution du climat à une influence déterminante sur la variation de l'ensemble des réserves et les fluctuations des nappes d'eau souterraines qui s'alimentent par infiltration directe et se décharge par évaporation au cours de la saison en pays aride et semi-aride. Le climat intervient par sa composition hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles.

Le climat est l'ensemble des caractéristiques météorologiques d'une région donnée intégrée dans le long terme ; la nature des climats joue un rôle essentiel pour ajuster les caractéristiques écologiques des écosystèmes continentaux. **(Ramade, 2003)**.

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

L'étude de ces paramètres est basée sur les données d'une période de (2004-2017) de la station pluviométrique d'El Hamma. Les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 03 : les coordonnées géographiques de la station d'El Hamma

station	Altitude	Latitude	longitude
ElHamma	982.5m	35°28° N	07°05° E

Les pluies sont généralement insuffisantes, irrégulières et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Elles sont nulles en été et maximales au printemps **(ANAT, 1992)**.

1. Caractéristique climatologique

1.1. Température

La température est l'un des éléments important pour la caractérisation du climat (**Ramade , 1984**). En effet la température joue un rôle important dans la répartition des être vivant, leurs aires de répartition sont souvent déterminées par ce paramètre qu'est considéré comme facteur limitant (**Dajoz, 1982**).

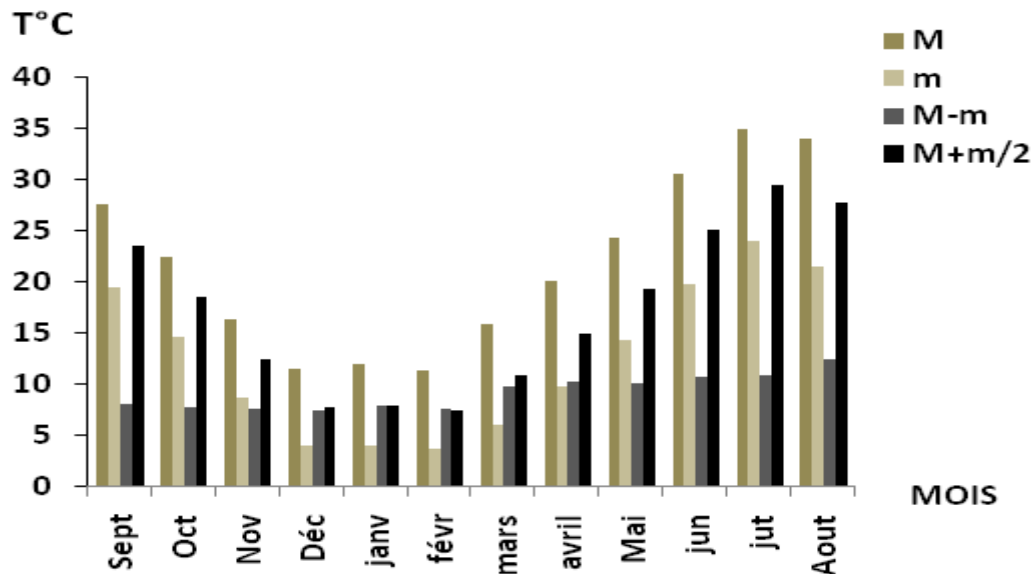


Figure 07 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (2004-2017)

Avec (M : Maximum ; m : Minimum)

D'après l'histogramme de variation les températures moyennes mensuelles sur la période de 13ans, la température maximale est marquée au mois de juillet avec une valeur de 34.84°C et la température minimale est marquée au mois de février avec une valeur de 3.68°C.

1.2. Les précipitations

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance de la saison des pluies et la saison sèche, qui joue un rôle régulateur des activités biologiques (**Ramade, 2003**).

Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d'années ou dite précipitation moyenne mensuelle donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations

Nous nous intéressons dans cette étude surtout aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordiale dans le comportement hydrogéologique de la région, elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à autre et d'un mois à autre.

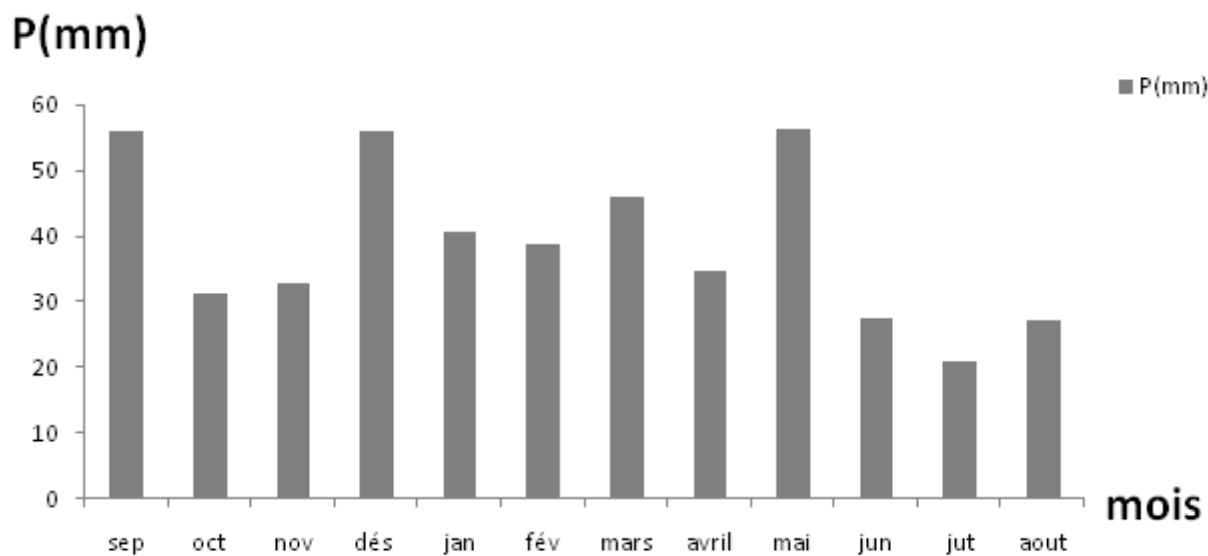


Figure 08 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2004-2017)

Les données pluviométriques mentionnées dans la figure montrent qu'il y'a une irrégularité de la répartition mensuelle des précipitations, Le mois de juillet représente le mois le moins pluvieux dans notre région avec 20.32 mm. Le maximum des précipitations est observé au mois de mai 66.71 mm.

1.2.1. Régime saisonnier

Selon M'Hiriti (1998) le régime pluviométrique moyen saisonnier est du type H.A.P.E (Hiver, Automne, Printemps, Eté). Ce régime de précipitation saisonnière est d'autant plus intéressant que son second maximum de pluie survient en période automnale qui succède à la saison estivale chaude et sèche. Il présente l'avantage d'atténuer l'impact de la sécheresse de l'été. Du moins lorsque les précipitations enregistrées durant l'automne sont relativement importantes (recharge hydrique) (M'hirit et *al.*, 1998)

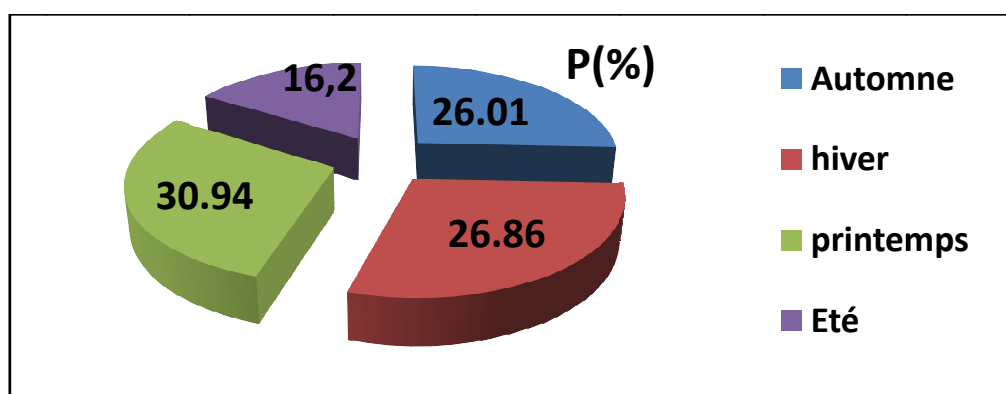


Figure 09: Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'El Hamma pour la période (2004-2017)

Pour la station d'El Hamma on remarque que la saison la plus pluvieuse est le Printemps avec 30.94 % (126.15 mm), puis l'hiver avec 26.86 % (130.29 mm), l'Automne avec 26.01% (126.15 mm), et en fin l'été avec 16.20 % (78.53 mm); nous avons donc un régime saisonnier de type P.H.A.E.

1.3.Le vent

Le vent est un facteur météorologique non négligeable, qui se caractérise par sa fréquence, son intensité et sa direction dominante signale que les possibilités d'augmenter les irrigations constituent le moyen le plus efficace pour lutter contre les vents chauds.

Le vent constitue certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence des vents violents, la végétation est limitée dans son développement. Les arbres prennent un port en drapeau, leur tronc étant souvent incliné et leurs branches étant orientées dans la direction opposée à celle des vents dominants. (Ramade, 2003).

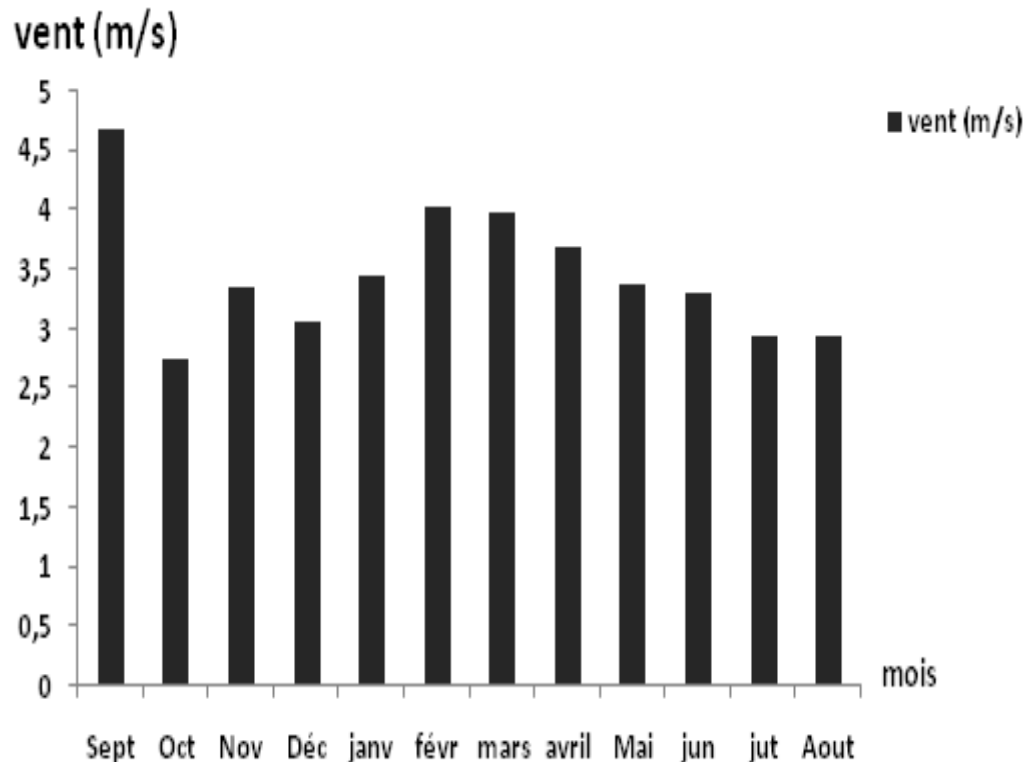


Figure 10 : Diagramme des moyennes mensuelles des vents de la période (2004-2017)

L'analyse d'histogramme que la vitesse maximale est enregistrée durant le mois Mars (3.99 m/s), alors que, la vitesse minimale est enregistrée durant le mois de Octobre (2.63 m/s). La vitesse moyenne annuelle est de 39.2 m/s.

1.4.Évaporation

C'est le passage de la phase liquide à la phase vapeur (Sublimation : passage direct de l'eau sous forme solide en vapeur).

Le terme évaporation désigne au départ des pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ces pertes comportent l'évaporation des nappes d'eau libre, lacs, cours d'eau, du stockage de surface dans les cavités naturelles de sol, l'évaporation de l'eau contenue dans le sol et la transpiration des végétaux.

L'évapotranspiration d'une région représente l'eau perdue par celle-ci sous forme de vapeur, l'eau susceptible d'être perdue. La connaissance de cette donnée est évidemment indispensable pour étudier la circulation de l'eau ou pour définir les besoins en eau des cultures. (R J Bouchet, 1998)

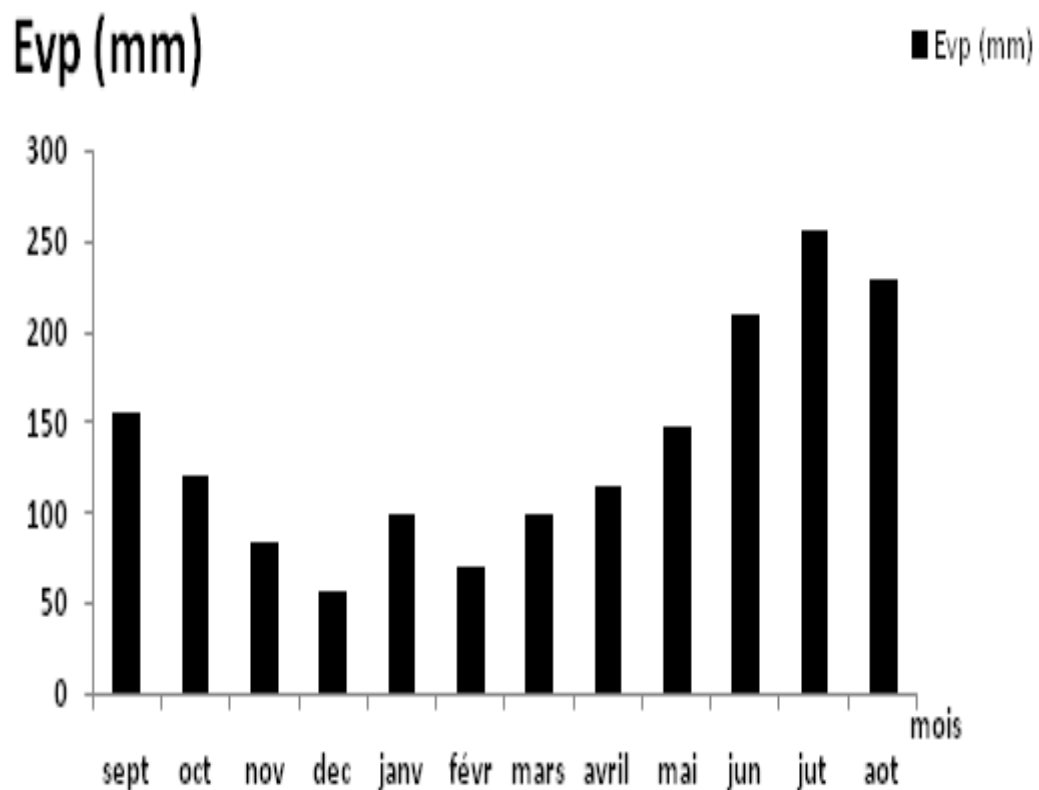


Figure 11 : Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période

(2004-2017)

L'évaporation moyenne varie d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 255.19 mm et la valeur minimale est enregistrée en décembre avec une moyenne de 55.30 mm. L'évaporation moyenne annuelle est de 136.37 mm comme l'indique la figure.

1.5.L'insolation

Le soleil est la seule grande source d'énergie thermique régissant le système climatique de la terre. Comme la surface de la terre est courbe, la quantité de rayonnement solaire incident n'est pas la même partout, les tropiques recevant le plus de chaleur et les régions polaires le moins. C'est cette différence de température entre les tropiques et les pôles qui induit les vents et les courants, lesquels redistribuent la chaleur et l'humidité autour de la planète.

(Djoghla et al., 2016).

L'insolation est un élément importante dans les conditions climatiques représente la quantité de rayonnement qu'envoie appartiens de soleil cette rayonnement transformée d'une chaleur qui réalises a l'augmentation de la température **(Beaubois, 2014).**

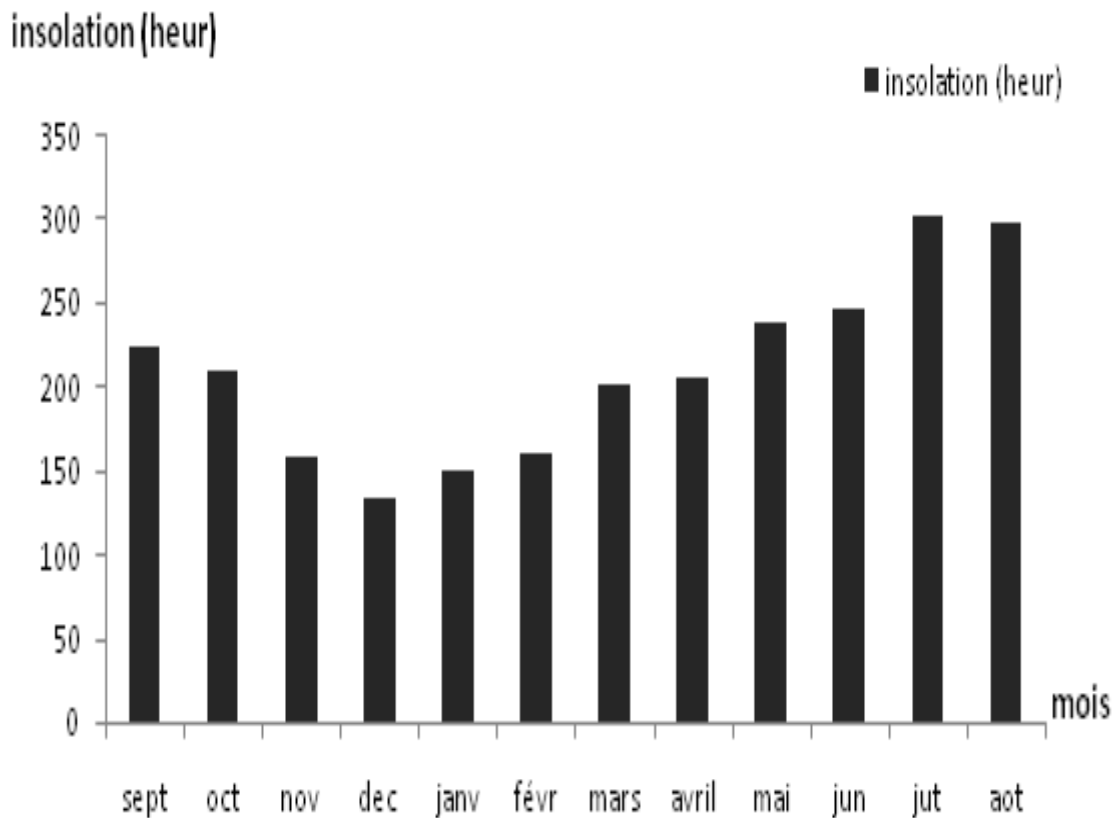


Figure 12 : Diagramme des moyennes des durées totales d'insolation de la période

(2004-2017)

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 301.63 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de décembre avec une moyenne de 132.38 heures

Le cumul moyen annuel est élevé soit 209,86 heures. Les durées d'insolation enregistrées sont plus longues en saison sèche qu'en saison pluvieuse. Les allures moyennes mensuelles de la figure 15 présentent les mois de mai, juin, juillet et août comme étant les plus ensoleillés.

1.6.L'humidité

L'humidité est un élément important pour la physiologie végétale. C'est le taux de l'humidité de l'air qui détermine l'intensité d'évapotranspiration chez les végétaux. Il est étroitement lié à la température de l'air. Le maximum de l'humidité relative est atteint au minimum de température et inversement. (Djoghlaoui *et al.*, 2016)

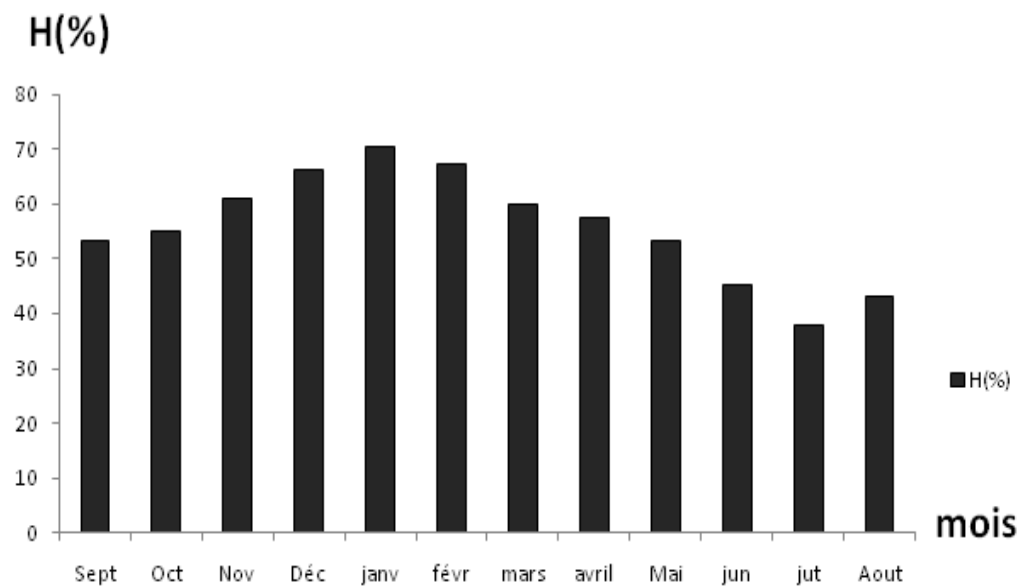


Figure13 : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (2004-2017)

A partir de la figure on constate que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes.

Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de janvier avec 70.63% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juillet avec 37.97%.

1.7.La Neige

La neige aussi est un facteur écologique de toute première importance dans les milieux subpolaires et montagnards. Elle exerce des actions biologiques variées, de nature thermique et mécanique. La couverture neigeuse, par ses propriétés isolantes, protège efficacement du froid la végétation et les animaux (rongeurs par exemple), enfouis sous cette dernière. (Ramade, 2003).

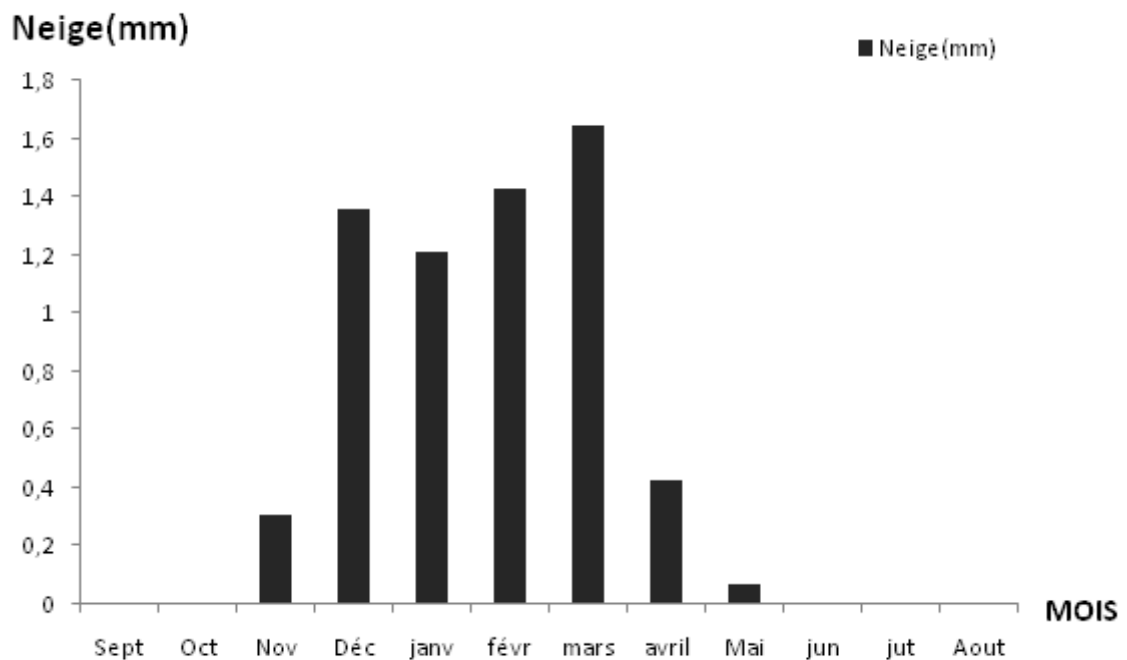


Figure 14 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (2004-2017)

A partir de la figure on constate que l'enneigement s'étale sur une durée de 7 mois de novembre à mai donc la plus grande partie de la neige tombe durant la période hivernal, le maximum étant au mois de mars avec une moyenne de 23 jours de neige. L'enneigement consiste une réserve d'eau cédée progressivement du sol.

2. Synthèse climatique

2.1. Indice d'aridité

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I_a). Cet indice est en fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude (Gaagai, 2009). Ce paramètre se calcule selon la formule suivante:

$$I_a = P / T + 10$$

Avec:

I_a : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement suivant:

Quand:

- $I_a < 5$ le climat est hyperaride ;
- $5 < I_a < 7.5$ le climat est désertique ;
- $7.5 < I_a < 10$ le climat est steppique ;
- $10 < I_a < 20$ le climat est semi-aride ;
- $20 < I_a < 30$ le climat est tempéré ;
- $I_a > 30$ le climat est humide.

Pour la station d'El Hamma, $P = 485.1$ mm et $T = 15.55^\circ\text{C}$ donc cet indice est égale :

$$I_a = 485.064 / 15.55 + 10 \quad \quad \quad I_a = 18.98$$

Ce qui permet de dire que le climat est semi-aride avec un écoulement temporaire.

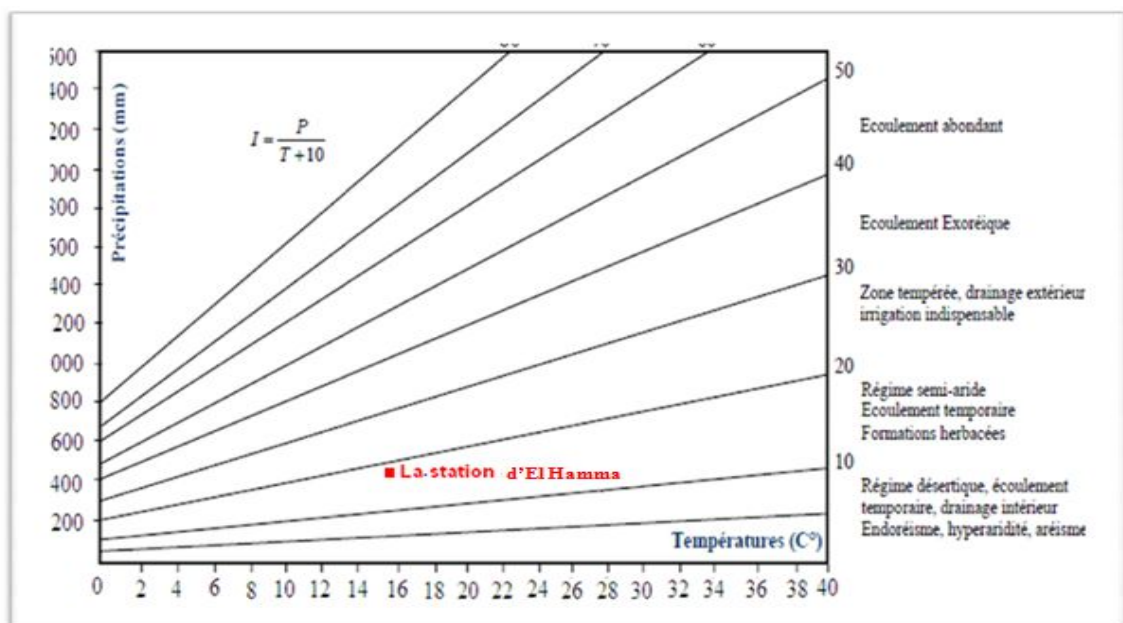


Figure 15 : l'indice d'aridité annuel de Martonne

2.2. Diagramme pluviométrique de Gaussen

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d'établir un graphe dit pluviométrique (Gaagai, 2009).

D'après Gaussen (1953), sur ce graphe les températures sont portées à l'échelle double des précipitations considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations (P) exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle (T) exprimée en degrés Celsius.

P < 2T (indice de Gaussen)

Les deux échelles (P) et (T) sont telles que : $1^\circ\text{C} = 2$ mm.

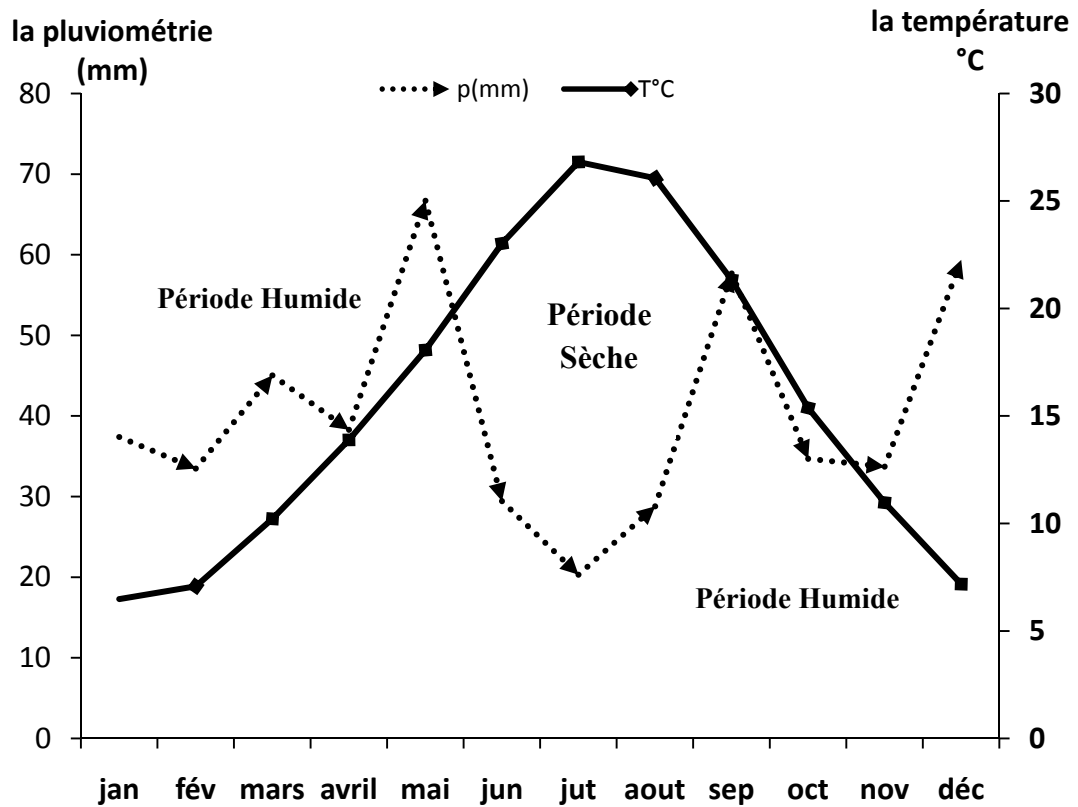


Figure 16 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls (Station d'El Hamma 2004-2017)

D'après le diagramme Ombrothermique de Gaussen de la station d'El-Hamma nous constatons que la période sèche dure environ 107 jours de juin jusqu'à la mi-septembre. La détermination de cette période est d'une grande importance pour l'hydrologie à fin de pouvoir estimer les besoins en eau.

2.3. Le diagramme de Quotient pluviothermique d'Emberger

Pour préciser le climat de la région, nous employons le Climagramme de L. Emberger Figure 21 sur lequel nous avons reporté les données relatives à la station d'El Hamma où les valeurs de la moyenne de la température minimale (m) figurent en abscisse, et les valeurs Q_2 en ordonnée selon la formule suivante:

$$Q_2 = 1000 P / [(M+m)/2(M+m)] \text{ soit : } Q_2 = 1000P / (M^2 - m^2)$$

$$= [1000 / (M+m) / 2 * 273] * [P / (M+m)]$$

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suit :

$$Q_2 = 3,42 [P / (M-m)]$$

Où :

- Q_2 : quotient pluviothermique annuel en mm ;
- P : hauteur des précipitations moyennes annuelles en mm ;
- M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C) ;
- m : moyenne des minima du mois le plus froid (°C) ;
- M-m : amplitude thermique extrême moyenne.

Dans notre zone d'étude :

$$P=485.1; M=34.84^{\circ}\text{C} ; m=3.68^{\circ}\text{C} \text{ Donc } Q_2 = 53.24$$

Utilisant ce climagramme avec la valeur obtenue ($Q_2= 50.28$, $m=1.85^{\circ}\text{C}$), on trouve que la commune de Remila est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Figure 21).

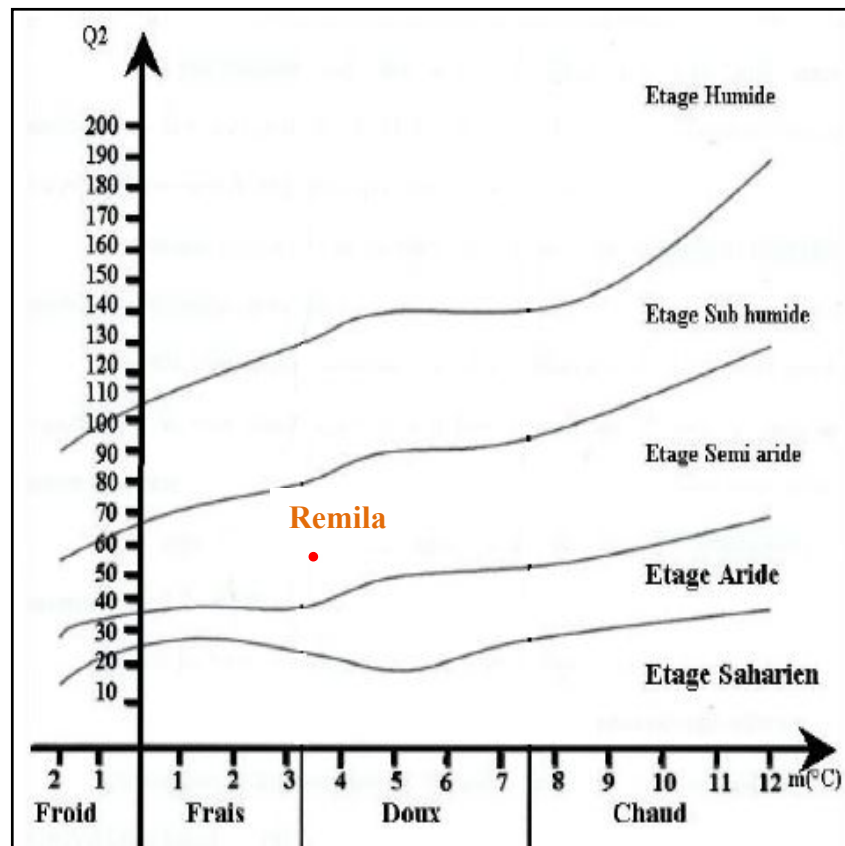


Figure 17 : climagramme d'Embergie pour la zone etude.

3. Le bilan hydrologique

Un système hydraulique est défini un volume d'eau que l'on veut étudier. Ce système peut être un lac, unerivière, un aquifère, un bassin versant etc. l'équation de base dans un systèmehydrogéologique s'écrit : Variation des Réserves = Entrée – Sorties

- **Entrées** : précipitation, infiltration dans le sol, infiltration souterraines, apport artificiel (stockage souterrain d'eau).
- **Sorties** : évaporation, transpiration, ruissellement de surface, ruissellement souterrain, pompage.
- **Variation des stocks**: variante du débit ou de la hauteur d'une rivière ou bien d'un lac, changement de l'humidité du sol, stockage dans les dépression occasionnelles.

Le calcul du bilan hydrologique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que: les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. **(Djoghla et al., 2016)**

L'équation du bilan hydrique s'exprime par la relation :

$$P = ETR + R + I + DW$$

Avec:

P: La hauteur de la précipitation annuelle en (mm).

R: Le ruissellement de surface annuel en (mm).

ETR: L'évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

I: L'infiltration annuelle (mm).

ΔW: La variation de réserves en (mm), souvent négligeable.

3.1.Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)

C'est la somme de la quantité de vapeur de l'eau évaporée par le sol et par la transpiration des plantes quand le sol a une certaine humidité et les plantes à un stade de développement physiologique. **(Djoghla et al., 2016)**

3.1.1. ETR selon la formule de Turc

Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est en fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. La formule est la suivante :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \quad L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

Avec:

ETR: évapotranspiration réelle (mm/an);

P: précipitation moyenne annuelle (mm);

L: paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);

T: température moyenne annuelle (°C).

Application numérique

Tableau 04 : l'ETR selon la formule de turc

station	P (mm)	L	T (°C)	ETR (mm/an)
El Hamma	485.1	876.75	15.55	445.04

3.1.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite

L'évapotranspiration réelle représente la quantité de vapeur d'eau effectivement dégagée vers l'atmosphère par le sol et les végétaux.

La détermination de l'ETR est fonction de l'ETP et la quantité d'eau disponible (Pluie+RFU)

- Si $ETP=P$, il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifié pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si $ETP>P$, On a $ETR=ETP+RFU$, un déficit apparaît, une partie de RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETP. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si $ETP<P$, on a $ETR= ETP$ (DALI, 2009).

Application numérique

Tableau 05 : ETR selon la C.W Thornthwaite

Station	ETR selon la formule de Turc (mm/an)	L'ETR selon la C.W .Thornthwaite (mm/an)
El Hamma	445.04	502.2

3.2.Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant. (Gaagai, 2009).

Plusieurs formules ont été utilisé pour estimer ETP parmi ces formulas celle de C.W. thornthwaite, qui a proposé également en 1948, elle a basée essentiellement sur les températures de l'air:

$$ETP = 16[10(t/I)]^a k$$

$$I = \sum i$$

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

$$a = 1.6*(I/100) + 0.5 = 1.66$$

Avec:

ETP: Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm).

i: Indice thermique mensuel.

a: Paramètre arbitraire lié à la température.

I: Somme des indices thermiques mensuels.

t: Température moyenne mensuelle (°C).

K: Coefficient d'ajustement mensuel (Coefficient de correction, qui dépend de la latitude).

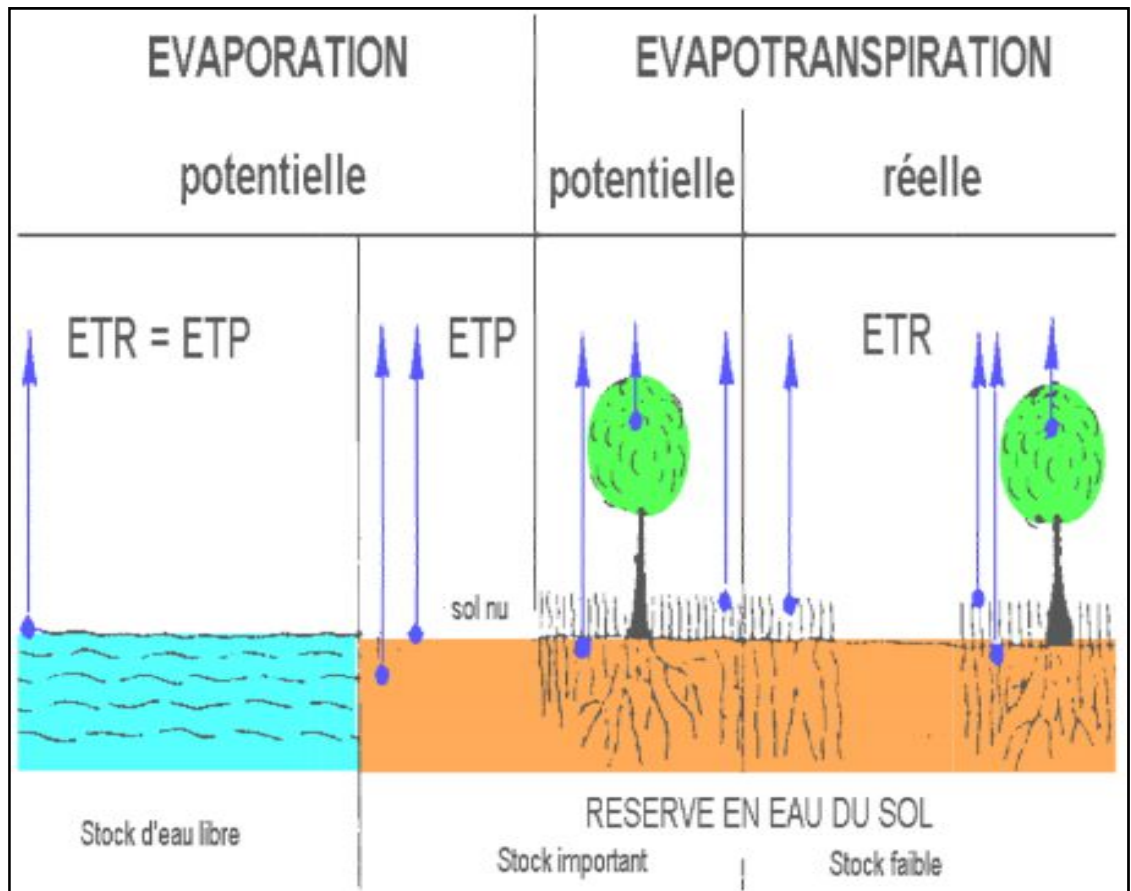


Figure 18 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle

3.3.Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)

La réserve hydrique d'un sol, peut être définie comme la quantité maximale d'eau dont peut disposer la végétation pour son alimentation lors des déficits pluviométrique. Cette réserve est utile à la végétation, d'où le nom de « réserves utile ».

En général la RFU maximale généralement admise correspond à la hauteur de 100 mm d'eau. Dans la zone aride ou semi-aride, cette valeur maximale peut être ramenée à 50 mm du fait que le sol n'est pas toujours saturé (Dali, 2009). Dans notre cas, on prend une valeur de la RFU égale à 100 mm.

Tableau 06 : bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'El Hamma

	Sep	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun.	Jut.	Aout.	Total
T °C	21.3 9	16.83	11.2 8	7.19	6.88	7.13	10.2 7	13.86	17.6 3	22.97	26.83	26.07	15.55
P (mm)	57.6	34.71	33.7	59.4	37.4	33.5	45.0	38.3	66.7	29.44	20.32	28.81	485.1
K	1.03	0.97	0.86	0.89	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	-
I	9.03	6.28	3.42	1.73	1.62	1.71	2.97	4.68	6.73	10.05	12.72	12.18	73.12
ETP (mm)	97.9	61.92	28.3	13.9	12.6	13.0	31.1	50.41	83.4	129.5	170.3	153.1	845.3
RFU (mm)	0	0	4.81	38.6	69.4	89.6	100	100	90	0	0	0	-
ETR (mm)	58.9	33.28	34.9	58.9	43.3	41.2	51	38.51	58.6	62.47	23.17	30.25	596.6
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA	38.9	28.64	0	0	0	0	0	11.9	24.9	66.98	147.1	122.9	441.3
BH	- 38.9	- 28.64	4.81	38.6	69.4	89.6	100	88.1	65.1	- 66.98	- 147.1	- 122.8	51.07

DA: le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc : **DA=ETP-ETR**

EXC: l'excédent c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits donc:

$$\text{EXC} = \text{P} - \text{ETR}$$

BH: le bilan hydrique: **BH=RFU-DA**

3.4. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite

Le calcul du bilan hydrologique permet de faire les constatations suivantes :

* Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 13 ans (2004–2017), sont estimées à 485.1 mm.

* Les températures moyennes mensuelles varient entre 6.49°C et 26.82 °C, avec une moyenne annuelle de 15.55 °C. Le mois de juillet étant le plus chaud, et janvier le plus froid.

* A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations, à l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois de mars les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois d'octobre. Les autres mois de novembre jusqu'à février où les précipitations sont supérieures à l'ETP.

* En générale Les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation de la RFU.

* Le déficit agricole (DA) estimé est de 441.34 mm étalé sur la période allant de avril jusqu'à octobre.

* La RFU atteint son maximum 100 au mois de mars et avril et diminue jusqu'à 4.34mm au mois de novembre, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock.

3.5.Estimation du ruissellement et de l'infiltration

3.5.1. Ruissellement

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut donc être connu d'une façon générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau où à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi les méthodes empiriques on peut citer celle de Tixeront et Berkaloff. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel. Cette formule tant qu'elle ne tienne pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement, elle reste toujours discutable. Elle s'écrit de la manière suivante: (Djoghlaoui *et al.*, 2016)

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

Avec:

R: Le Ruissellement moyen annuel en mm;

P: La Hauteur des précipitations moyenne annuelle en mm;

ETP: L'évapotranspiration potentielle en mm/an.

Application numérique

Tableau 07 : La lame d'eau ruisselée pour la station d'El Hamma

P (mm)	485.1
ETP (mm)	845.36
R (mm)	53.23

3.5.2. L'infiltration

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion. L'infiltration influence de nombreux aspects de l'hydrologie, du génie rural ou de l'hydrogéologie. (Andre, 2005)

La lame d'eau infiltrée est souvent déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule suivante:

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

- Avec:**
- P:** Précipitation moyenne annuelle en (mm)
 - ETR:** Evapotranspiration réelle en (mm/an)
 - I:** Infiltration en (mm/an).
 - R:** Ruissellement en (mm).

Application numérique

Tableau 08 : La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique

P (mm)	485.1
ETR (mm/an)	596.63
R (mm)	53.23
I (mm/an)	164.79

L'infiltration est de l'ordre de 164.79 mm/an. Nous constatons que l'infiltration est supérieure au ruissellement en raison des fortes perméabilités des terrains.

Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de quatre mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec.

Cette zone est caractérisée par l'irrégularité et la forte de ses précipitations. Les précipitations moyennes annuelles pour la période 2004-2017 sont de 485.1 mm.

La température moyenne est de 15.55°C pour la période (2004-2017), avec un maximum de 26.82 °C au mois de juillet et un minimum au mois de janvier 6.49C.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite nous donne 502.5 mm pour la période (2004-2017), l'évapotranspiration réelle est de 845.36 mm pour la même période, cette valeur va servir dans le calcul du bilan hydrique.



Introduction

Pour étudier la synthèse hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Remila, nous avons effectué des sorties de reconnaissance du site, au cours des quelles nous avons sélectionné les forages et les puits à étudier ; des mesures physico-chimique ont été effectués au niveau de laboratoire de l'Algérienne des eaux (A.D.E) de la wilaya de Khenchela. Nous nous sommes intéressés aux paramètres physicochimiques suivantes : la température, le Potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la turbidité, la dureté (DHT), la matière organique (MO), Calcium (Ca^{+2}), Magnésium (Mg^{+2}), Sodium (Na^{+}), Potassium (K^{+}), Nitrite (NO_2^{-}), Nitrate (NO_3^{-}), Chlorure (Cl^{-}), Bicarbonate (HCO_3^{-2}), Sulfate (SO_4^{-2}), Phosphore (PO_4^{-3}).

1. Techniques de mesures et d'analyses des solutions

Sept échantillons sont prélevés et analysés afin de comprendre l'origine et l'évolution de la qualité d'eau.



Figure 19 : Les prélèvements d'eaux effectués

1.1. Distillation d'eau

Dans un laboratoire de chimie, l'eau est une matière d'œuvre essentielle. Elle est le solvant de presque toutes les solutions que nous sommes amenés à préparer. En cas d'absence d'eau distillé il faut le préparer au niveau de laboratoire à l'aide de distillateur. (Figure 24)

Dans un laboratoire, l'eau doit répondre à trois critères principaux :

- Son pH doit être le plus proche possible de 7
- Sa concentration en chlorure doit être la plus faible possible
- Sa dureté (Quantité d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dissous) doit être la plus faible possible.

La distillation est la technique la plus utilisée dans les laboratoires de l'enseignement.

La méthode est simple : on distille en continu l'eau du robinet. Les impuretés restent dans le fond du distillateur. (David, 2009)

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange homogène. Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression (loi des gaz parfaits), les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le distillat.



Figure 20 : Appareil de distillation (distillateur)

1.2. Test de chlore

Pour effectuer les analyses au niveau de laboratoire, tout d'abord, il faut faire un test de chlore par des comprimés DPD 01 et DPD 02 qui nous donne une idée sur l'état actuelle de la qualité de l'eau prélevés, pour prendre une décision de continuité d'analyser ou non (eau traitée ou l'inverse c.à.d. l'analyse ne peut pas être effectuée si l'eau est traitée précédemment au chlore) (Figure 21)



Figure 21 : Test de Chlore par des comprimés DPD 1 et DPD 2

1.3. Paramètres physiques

1.3.1. La température

La température de l'eau est un paramètre d'une grande utilité en ce qui concerne les études hydrogéologiques. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence. On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère (les eaux souterraines sont influencées par les propriétés thermiques de la roche), ainsi que son origine. Habituellement, on mesure également la température de l'air (ou mieux encore, on donne une indication de la température moyenne du jour de mesure) qui permet de vérifier, les conditions climatiques dans les quelles l'échantillonnage s'est déroulé et d'expliquer d'éventuelles anomalies dans les résultats des analyses géochimiques. (Djoghlaoui *et al.*, 2016)

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, par contre celle des eaux superficielles est très variable selon les saisons et peut passer de 2°C à 30°C. La diminution de la température entraîne la diminution de l'efficacité des traitements dont la désinfection et entraîne aussi l'augmentation de la viscosité de l'eau. L'augmentation de la température a diverses conséquences comme : la croissance bactérienne, les problèmes de saveur, de couleur, corrosion. (Savary, 2010)

1.3.2. La Conductivité (ISO N°7888)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle s'exprime généralement en micro siemens par centimètre (μS/cm). La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante : Résistivité (Ω.cm) = 1000000/conductivité (μS/cm).

1.3.2.1. Principe

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

- Si R est la résistance de la colonne d'eau en ohms, S sa section en cm², et l sa longueur en cm

La résistivité électrique en ohms.cm est

$$P = R \cdot S/l$$

La conductivité électrique en S/cm est :

$$V = 1/P = 1/R \cdot l/S$$

1/S est appelé constante de l'élément de mesure.

1.3.2.2. Mode Opérateur

D'une façon générale, opérer avec de la verrerie rigoureusement propre et rincée avant usage avec l'eau distillée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.

Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes. Introduire alors le thermomètre aussi près que possible de la cellule. La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure.



Figure 22 : Appareil de mesure de la conductivité électrique type HI 2315

1.3.3. Le pH

Le pH est une mesure de la concentration de protons (H^+) présent dans l'eau. Cette mesure est importante car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Il est l'un des paramètres importants influençant les tendances entartrantes ou agressives d'une eau. (Dalohoun., 2010). On a $pH = \log_{10}(H^+)$, donc à chaque changement d'une unité pH, le nombre de protons dans l'eau change d'un ordre de grandeur (un facteur 10). Sachant que le pH de l'eau pure est de 7, une eau ayant un pH inférieur à 6 est dite acide (elle contient plus d' H^+) alors qu'au-dessus de 8 l'eau est dite basique. (Rodier, 2009)

Un acide (selon la définition la plus simple) est une espèce qui va avoir tendance à libérer un ou des protons en solution, alors qu'une base va avoir tendance à capturer un ou des protons. (Olivier, 2005)

1.3.3.1.Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

- **Appareil** : pH mètre (Figure 24)
- **Electrode** : Electrode de pH
- **Réactifs** : Tampon pH =9
Tampon pH = 7
Tampon pH = 4

1.3.3.2.Mode opératoire

1.3.3.2.1. Etalonnage de l'appareil

- Allumer le pH Mètre (bouton rouge).
- Brancher l'électrode de pH.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Vérifier l'électrode (niveau de la solution de KCl).
- Afficher la température ambiante.
- Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=7.
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH=7.
- Laisser stabiliser un moment.
- Affiner avec le bouton de droite de pH=7.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH=9 et pH=4.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

1.3.3.2.2. Dosage de l'échantillon

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bêcher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter le pH.



Figure 23 : Appareil de pH Mètre type HI 2211 PH/ORP

1.3.4. Mesure de la turbidité (NF T 90-033Ou ISO 7027)

La turbidité est une réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

1.3.4.1. Principe

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoute, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

1.3.4.2.Appareillage

- HACH 2100 N
- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre.

1.3.4.3. Etalonnage de l'appareil

A l'aide des solutions d'étalonnage de Formazine de 400 NTU on prépare une solution fille de 40 NTU et effectuer la mesure.

1.3.4.4.Mode opératoire

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

1.3.4.5. Expression des résultats

La mesure est obtenue directement en NTU.



Figure 24 : Appareil de turbidimètre type HI 88703

1.3.5. Dosage de la matière organique

La matière organique des eaux naturelles est souvent assimilée en totalité à la matière organique naturelle (MON), bien que certains micropolluants présents dans les milieux aquatiques soient d'origine anthropique. (Rodier *et al.*, 2009).

1.3.5.1.Principe

Les matières organiques d'origine animale ou végétale sont oxydées par un excès de permanganate de potassium en milieu acide. L'excès de permanganate est réduit par l'acide oxalique titré. La quantité de matières oxydables est proportionnelle au permanganate de potassium consommé. La méthode est sujette à de nombreuses critiques à cause des facteurs pouvant influencer le dosage, mais elle donne une idée sur la teneur en matières oxydables de l'eau analysée.

1.3.5.2.Matériel

- Erlenmeyers de 250 ml ;
- Pipettes précision de 10, 25 et 50ml ;
- Pipette bâton de 5ml avec la poire aspirante ;
- Burettes précision de 25ml ;
- Bain marie.

1.3.5.3.Réactifs

- Acide sulfurique concentré H_2SO_4 ;
- Solution de permanganate de potassium titré $KMnO_4$;
- Solution d'acide oxalique titré.

1.3.5.4. Mode opératoire

Selon le travail :

- Prendre 25 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 5ml H₂SO₄.
- Porter à ébullition douce 98° puis ajouter 5 ml KMnO₄ à 2 mmol/l ;
- Après 10min ;
- Ajouter 5ml oxalate à 5 mmol/l ;
- Titrer après décoloration. Alors que la solution est encore chaude avec KMnO₄ mmol/l..... coloration rose.

1.3.5.5. Calcul

$(a-b) \times 0.8 \times 1000$ / différence de deux prises en ml

a : lecture de la burette pour la prise de 50ml

b : lecture de la burette pour la prise de 25ml



Figure 25 : Dosage de la matière organique

1.3.6. La Dureté ou titre hydrotimétrique (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 quelque fois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium.

1.3.6.1. Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

1.3.6.2.Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

1.3.6.3.Réactifs

a/ Solution de noir ériochrome T à 0,5 %

- sel de sodium de l'acide
- [(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4)](*) 0,5 g
- triéthanolamine *q.s.p.* 100 mL

b/ Solution tampon pH 10

- chlorure d'ammonium (NH₄Cl) 67,5 g
- ammoniaque (*d* = 0,925) 570 ml
- sel disodique de magnésium de l'EDTA (C₁₀H₁₂N₂O₈Na₂Mg) 5 g
- eau déionisée *q.s.p.* 1 l

Conserver la solution en flacon de polyéthylène. Vérifier le pH qui doit être égal à 10 sur une dilution au 1/10 de la solution avec de l'eau déionisée.

c/ Solution d'EDTA

- sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique 3,725 g
- eau déionisée *q.s.p.* 1 l

Conserver la solution en flacon de polyéthylène et vérifier son titre périodiquement à l'aide de la solution étalon de calcium. Prélever 20 ml de solution étalon de calcium, les diluer à 50 ml puis procéder au dosage comme décrit dans le mode opératoire. La concentration de la solution d'EDTA en mol. / l est donné par l'expression

$$c = 0,01 \times v1/v2$$

v1 = Volume en mL de la solution étalon.

v2 = Volume en mL de la solution d'EDTA.

d/ Solution étalon de calcium à 0,4008 g/L :

- carbonate de calcium déshydraté 1,001 g
- acide chlorhydrique dilué au 1/4 *q.s.p.* dissoudre
- rouge de méthyle quelques gouttes
- ammoniaque diluée au 1/10 *q.s.p.* virage de l'indicateur
- eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Mettre le carbonate de calcium dans un bécher, ajouter 100 mL d'eau puis de l'acide chlorhydrique en quantité juste suffisante pour dissoudre le carbonate de calcium. Ajouter 200ml d'eau et porter la solution à l'ébullition quelques minutes pour éliminer le dioxyde de carbone. Après refroidissement, ajouter quelques gouttes de solution de rouge de méthyle puis de la solution d'ammoniaque jusqu'au virage de l'indicateur à l'orange. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1 litre, compléter le volume avec de l'eau déionisée. 1 ml de la solution contient 0,4008 mg de calcium.

1.3.6.4.Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml
- Ajouter 4 ml de solution tampon (K10)
- Ajouter trois gouttes de solution de noir ériochrome T.

La solution se colore en rouge foncé ou violet, le *pH* doit être de 10. En maintenant une agitation

- verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.
- Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

1.3.6.5.Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression

$$1\ 000 \times (c \times v1) / v2$$

c = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

v1 = Volume en mL de la solution d'EDTA.

v2 = Volume d'échantillon.



Figure 26 : Dosage de la dureté ou titre hydrotimétrique

1.4. Paramètres chimiques

Les paramètres chimiques (cation et anions) sont mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre au niveau de L'ADE Khenchela.

1.4.1. Spectrophotométrie

C'est la méthode analytique la plus utilisée en analyse d'eau. Elle nécessite la mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché. Elle s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière ne laisse passer qu'une fraction de la lumière incidente; la quantité de la lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché.

L'appareil est un spectrophotomètre type DR-2000 dans le domaine du visible (325 à 900 nm), Il est pré-programmé pour la quantification de divers éléments et composés minéraux « inorganiques » contenus dans l'eau. L'analyse de l'élément ou du composé est réalisée suite à une complexation de celui-ci avec le réactif ajouté ce qui développe certaines couleurs. L'intensité de la couleur obtenue et le choix approprié de la longueur d'onde permettent l'analyse (i.e. l'obtention de la concentration) de l'élément ou du composé dans l'échantillon.

1.4.1.1.Méthode

- mettre l'appareil sous tension;
- choisir la méthode no 0, pour lecture de l'absorbance;
- ajuster la longueur d'onde à 560 nm;
- remplir une cellule d'eau déionisée et faire le zéro de l'appareil avec cette cellule;
- remplir une cellule avec une solution standard;
- ajouter le contenu d'une gélule de réactifs à la cellule, bien agiter, attendre au moins 2 minutes pour permettre au complexe de se former complètement;
- mesurer l'absorbance de la solution.



Figure 27 : Spectrophotomètre de type DR-2000

1.4.2. Les cations

1.4.2.1.1. Détermination du Ca^{2+} et du Mg^{2+}

1.4.2.1.2. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il existe à l'état de nombreux gisements de calcaire, de craie, de marbre, qui tous sont des variétés naturelles du carbonate de calcium CaCO_3 . On trouve également de grandes quantités de gypse (pierre à plâtres) (Glinka, 1977).

Les ions Ca^{2+} sont dosés par complexométrie dans un milieu alcalin à $\text{pH}=12$ en présence de la soude (NaOH) avec le Murexide comme indicateur coloré (Rodier, 2009)

1.4.2.1.3. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est fort répandu dans l'écorce terrestre. On trouve l'état naturel de grandes quantités de carbonate de magnésium qui constitue la minérale magnésite (MgCO_3), ainsi que la minérale dolomite ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) (Glinka., 1977), Il constitue 2.1% de l'écorce terrestre.

Les ions Mg^{2+} mesuré par La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne (la teneur en magnésium) (Rodier, 2009).

1.4.2.1.4. Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'Acide Ethylène diamine tétra cétique à $\text{pH} 10$. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de deux indicateurs sur un même échantillon s'effectue le dosage successif du Calcium et du Magnésium.

1.4.2.1.5. Réactifs

1.4.2.1.5.1. Solution d'EDTA 0.02 N

Dissoudre 3.721 g d'EDTA di sodique (cristallisé $2 \text{H}_2\text{O}$) dans 1000 ml d'Eau distillée. 1ml d'EDTA 0.02N correspond à 0.4008 mg de Calcium, 1mg de Carbonate de Calcium et 0.243 mg de Magnésium.

1.4.2.1.5.2. Solution tampon

Mettre dans 400 ml d'Eau distillée 55ml d' HCl concentré. Ajouter 310 ml de 2-Aminoéthanol, 100 mg d'EDTA magnésien. Compléter à 1000 ml d'Eau distillée.

1.4.2.1.5.3. Solution de Noir d'Eriochrome :

- Noir d'Eriochrome.....0.5 g
- Ethanol.....25 ml

1.4.2.1.5.4. Solution de Bleu d'Eriochrome

- Bleu d'Eriochrome.....100 mg
- Eau distillée.....100 ml
- Chlorhydrate de d'hydroxylamine.....0.25 g

1.4.2.1.5.5. Solution de NaOH 1N

- NaOH.....4 g
- Eau distillée.....100 ml

1.4.2.1.5.6. Solution d'HCl 1 N

- HCl.....8.3 ml
- Eau distillée.....100 ml

1.4.2.1.6. Mode opératoire

Prendre 50ml d'eau à analyser. Ajouter 3ml de NaOH puis 3 gouttes de Bleu d'Eriochrome. Verser la quantité nécessaire de solution d'EDTA pour obtenir le virage au violet. Noter V_1 . Ajouter à la même solution 3.2 ml d'HCl 1 N et agiter durant 1mn jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien. Verser 5ml de la solution tampon et 1goutte de solution de Noir d'Eriochrome. Bien mélanger. Introduire la quantité de solution d'EDTA nécessaire au virage au bleu. Noter V_2 .

1.4.2.1.7. Expression des résultats : Pour une prise d'essai de 50 ml

- La teneur en Calcium est égale à $Ca \text{ (mg/l)} = (V_1 * 0.4008 * 1000) / 50$
- La teneur en Magnésium est égale à $Mg \text{ (mg/l)} = (V_2 * 0.243 * 1000) / 50$
- La dureté totale est égale à $CaCO_3 \text{ (mg/l)} = [(V_1 + V_2) * 1000] / 50$



Figure 28 : Dosage de Calcium et de Magnésium

1.4.2.2. Détermination du l'Azote Ammoniacal (NH_4^+) (ISO 7150)

La verrerie doit être rincée avec une solution d'Hydroxyde de Potassium « 25g dans 214ml d'Ethanol et compléter à 250 ml d'eau distillée ». La lecture se fait à la longueur d'onde de 655 nm.

1.4.2.2.1. Principe

Mesure spectrophotométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de Nitroprussiate de Sodium.

1.4.2.2.2. Réactifs**1.4.2.2.2.1. Réactif I**

- ❖ Acide dichloroisocyanurique..... 2 g
- ❖ Hydroxyde de sodium (NaOH)..... 32 g
- ❖ Eau distillée..... q.s.p 1000 ml

1.4.2.2.2.2. Réactif II (coloré) :

- ❖ Tri citrate de Sodium.....130 g
- ❖ Salicylate de Sodium.....130 g
- ❖ Nitroprussiate de Sodium.....0,97 g
- ❖ Eau distillée q.s.p 1000 ml

1.4.2.2.3. Solution mère étalon d'azote ammoniacal de 0,1 g/l :

Dessécher une quantité de NH_4Cl à 105 °C pd 1 heure et peser 0,03821 g puis dissoudre dans 100 ml d'eau distillée. Prendre 1 ml de la solution mère qu'on met dans 100 ml d'eau distillée pour avoir une solution intermédiaire de 1 mg/l.

1.4.2.2.4. Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml de réactif I ;
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1 h. ;
- L'apparition de la coloration verdâtre vers bleuâtre indique la présence de : NH_4^+

1.4.2.2.5. Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

Tableau 09 : Gamme et étalonnage dans une série de fioles de 50 ml

Solution fille 1 mg/l	0	1	2,5	5	25	40
Eau distillée (ml)	50	49	47,5	45	25	10
Réactif I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif II (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1 h						
$[\text{NH}_4^+]$ en mg/l	0	0,02	0,05	0,1	0,5	0,8



Figure 29 : Mesure de l'azote ammoniacal par Spectrophotomètre

1.4.3. Détermination des concentrations en Potassium et en Sodium par la photométrie à Flamme

Les paramètres ont été déterminés par spectrophotomètre à flamme.

***Appareil** : un spectrophotomètre à flamme type (JENWAY).

***Étalon** : solution NaCl 0.1mg/l et KCl 0.1mg/l.

1.4.3.1. Principe

Quand on pulvérise dans une flamme la solution d'un sel métallique, l'énergie thermique de la flamme provoque :

- La vaporisation de l'eau
- Eventuellement des réactions secondaires
- La vaporisation du sel métallique (et des autres produits) et la formation d'atomes
- L'excitation des atomes.

Cette excitation, si elle est suffisante va amener les électrons des sous-couches périphériques à des niveaux énergétiques supérieurs.

Puis ces électrons vont tendre à revenir à leur état initial en libérant leur énergie supplémentaire sous forme d'une émission de lumière (photon).

Pour les éléments les plus fréquemment dosés on utilise les longueurs d'ondes suivantes :

- Sodium : raie de résonance à 589 nm (raie D).
- Potassium : raie de résonance à 767 nm.
- Equipement utilisé

L'intensité émise par une raie est proportionnelle à la pression des atomes du métal dans la flamme, ce qui permet la détermination de la concentration de ce métal dans la solution pulvérisée.

- Photomètre à flamme
- Solution de calibration (plusieurs concentrations)
- Eau distillée

Les résultats sont lus directement sans besoin de dosage particulier.

1.4.4. Les Anions

1.4.4.1. Détermination du Chlorure (Cl⁻) (Méthode de MOHR)

L'ion chlorure existe toujours dans les eaux naturelle à des concentrations très variable, c'est un traceur conservatif dans les environnements naturels. Il ne participe pas aux réactions d'oxydoréduction et il ne forme pas de précipité insoluble.

1.4.4.1.1. Principe

Les Chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de Nitrate d'Argent (AgNO₃), en présence de Chromate de Potassium (K₂CrO₄). La fin de réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du Chromate d'Argent.

1.4.4.1.2. Réactifs

❖ Solution de Nitrate d'Argent 0.02 mole/l

- AgNO₃.....3.4g
- Eau distillée.....1000 ml

❖ Solution de Chromate de Potassium 100 g/l

- K₂CrO₄.....10 g
- Eau distillée.....100 ml

❖ Solution de Chlorures de Sodium 0.02 mole/l

- NaCl.....0.117 g
- Eau distillée.....100 ml

1.4.4.1.3. Mode Opérateur

➤ Le blanc

Prendre 100 ml d'eau distillée + 1 ml de K_2CrO_4 . Puis titrer avec le l'AgNO₃ à 0.02 mole/l.

➤ Le titre

Prendre 10 ml de NaCl à 0.02 mole/l +90 ml d'eau distillée + 1 ml de K_2CrO_4 . Puis titrer avec le l'AgNO₃ à 0.02 mole/l.

➤ L'échantillon

Prendre 100 ml d'échantillon + 1 ml de K_2CrO_4 . Puis titrer avec le l'AgNO₃ à 0.02 mole/l.



Figure 30 : Dosage de chlorure

➤ Calcul

$$[Cl] = (V_E - V_B) * C * F / PE$$

VE : Volume de l'AgNO₃ utilisé pour l'échantillon.

VB : Volume de l'AgNO₃ utilisé pour le blanc.

PE : la prise d'essai 100 ml

C : La concentration réelle de l'AgNO₃ en mole/l ($C = 0.02 * \text{Titre} / \text{Titre} = 10 / V_T$)

F : La masse molaire du Chlore M=35.5 g/mole.

1.4.4.2. Détermination des nitrites (NO₂⁻) (RODIER., 1984)

La verrerie doit être lavée avec une solution de HCl (2 mole/l), rincée à l'eau distillée
« 8,3 ml de HCl pure dans 50 ml d'eau distillée »

La lecture se fait à la longueur d'onde 543 nm.

1.4.4.2.1. Principe

La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec la le N(Naphtyle) éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique.

1.4.4.2.2. Réactif➤ **Réactif mixte**

- Sulfanilamide.....40 g
- Acide phosphorique.....100 ml
- N-1 Naphtyle éthylène diamine.....2 g
- Eau distilléeq.s.p 1000 ml

1.4.4.2.3. Solution mère étalon d'azote nitreux à 100 mg/l

Dessécher le Nitrite de Sodium à 105 °C pd 1 h, puis peser 0.0492 g et dissoudre dans 100 ml d'eau distillée.

1.4.4.2.4. Solution fille étalon d'azote Nitreux à 1 mg/l

Pipeter 1 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée (à préparer chaque jour).

1.4.4.2.5. Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml d réactif mixte ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- .

Tableau 10 : Gamme et étalonnage

Solution fille 1 mg/l	0	1	2.5	5	7.5	10
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	42.5	40
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 mn						
$[\text{NO}_2^-]$ en mg/l	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2

**Figure 31 : Dosage de nitrite****1.4.4.3. Détermination des nitrates (NO_3^-) (Méthode au Salicylate de Sodium)**

La lecture se fait à la longueur d'onde 420 nm.

1.4.4.3.1. Principe

En présence de Salicylate de Sodium, les Nitrates donnent d Paranitrosnylate de Sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

1.4.4.3.2. Réactifs➤ **Solution de Salicylate de Sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 heures)**

0.5 g de Salicylate de Sodium dans 100 ml d'eau distillée.

➤ **Solution d'Hydroxyde de Sodium à 30 %**

30 g de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

➤ **H₂SO₄ concentré.****1.4.4.3.3. Tartrate double de Sodium et de Potassium**

- Hydroxyde de Sodium.....400 g
- Tartrate de Sodium et de Potassium.....60 g
- Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 ml. Cette solution doit être conservée dans flacon de polyéthylène.

1.4.4.3.4. Solution mère étalon d'azote Nitrique à 1 g/l.

- Nitrate de Potassium anhydre0.722 g
- Eau distillée.....1000 ml
- Chloroforme.....1 ml

1.4.4.3.5. Solution fille étalon d'Azote Nitrique à 5 mg/l

Pipeter 5 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée

1.4.4.3.6. Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 % ;
- Ajouter 1 ml de Salicylate de Sodium ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve à une température de 75-88 °C ;
- (Ne pas surchauffer ni surcharger très longtemps) laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu avec 2 ml de H₂SO₄ pur laissé reposer 10 mn ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de Tartrate double de Sodium et de Potassium.

Tableau 11 : Gamme et étalonnage

Solution fille 5 mg/l	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Salicylate de Sodium (ml)	1	1	1	1	1
[NO ₂ ⁻] en mg/l	0	0.5	1	2.5	5

- Evaporer à sec de 75-88 °C et poursuivre de la même manière que pour l'échantillon à analyser ;
- Multiplier par 4.43 pour obtenir la concentration en NO_3^- .



Figure 32 : Dosage des nitrates

1.4.4.4. Détermination des phosphates (PO_4^{3-}) (Méthode au Salicylate de Sodium) (ISO N° 6878)

La lecture se fait à la longueur d'onde de 880 nm.

1.4.4.4.1. Principe

Formation en milieu acide d'un complexe avec le Molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de Potassium. Réduction par l'acide ascorbique que en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 800 nm.

1.4.4.4.2. Réactifs

➤ Réactif mixte

- | | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| • Heptamolybdate d'Ammonium..... | 13 g | } A |
| • Eau distillée..... | q.s.p 100 ml | |
| • Tartrate d'Antimoine..... | 0.35 g | } B |
| • Eau distillée..... | q.s.p 100 ml | |
| • Acide Sulfurique..... | 150 ml | } C |
| • Eau distillée..... | 150 ml | |
| (A + B) + C..... | | q.s.p 500 ml |

- Acide Ascorbique à 10 % :
- Acide Ascorbique.....10 g
- Eau distillée.....q.s.p 100 m
- Solution mère à 50 mg/l PO₄³⁻
- Solution fille à 2 mg/l PO₄³⁻

Tableau 12 : Gamme et étalonnage

Solution fille 2 mg/l	0	0.3	0.6	1.2	2.4
Eau distillée (ml)	0	39.7	39.4	38.8	37.6
Acide Ascorbique (ml)	1	1	1	1	1
Réactif mélange (ml)	2	2	2	2	2
[P] mg/l	0	0.015	0.03	0.06	0.12
[PO43-] mg/l	0	0.0459	0.0918	0.1836	0.3672

1.4.4.4.3. Mode Opérateur

- 40 ml d'eau à analyser ;
- 1 ml d'Acide Ascorbique ;
- 2 ml du réactif mixte ;
- Attendre 10 mn le développement de la couleur.



Figure 33 : Dosage d'ortho phosphates

1.5. Outils d’analyse des données

Pour interpréter les résultats d’analyses, nous avons utilisé les logiciels suivants :

1.5.1. Logiciel Surfer 10

Le logiciel Surfer est conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données quand aura récoltées sur le Terrain via De GPS ou bien en ce basant sur une carte déjà préétablie.

Le surfer a comme principe de permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y afin de les ordonnées. C’est à partir de ces grilles que l’ont pourra créer plusieurs types de cartes: Base map, contour map, 2D surface, vector et bien d’autres.

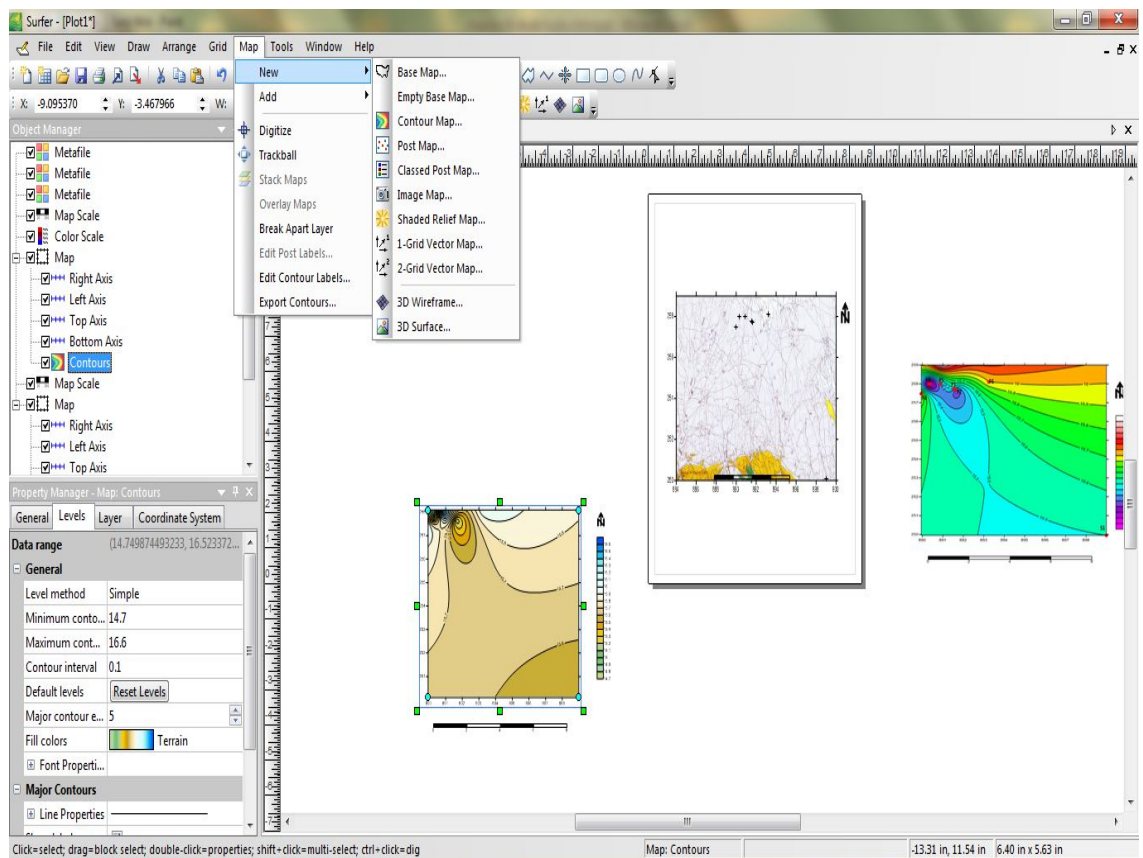


Figure 34 : Représentation de l’interface du logiciel Surfer10. (Capture d’écran)

1.5.2. Logiciel d’Hydrochimie d’Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d’hydrochimie d’Avignon (version 4, 2008), qui nous permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d’eau potable et d’irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller Berkaloff et de Riverside.

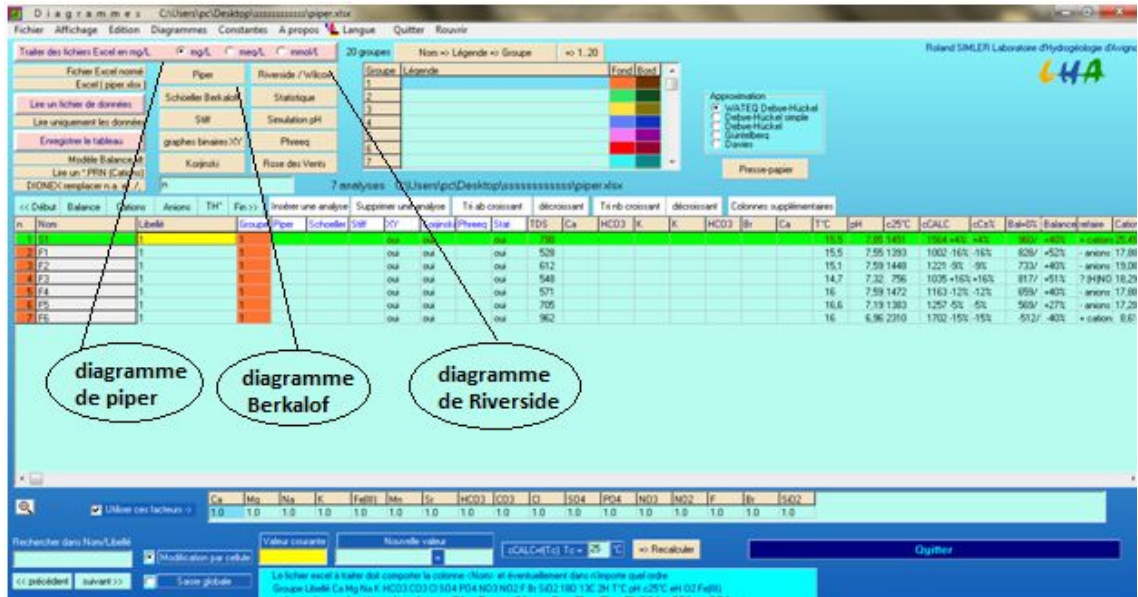


Figure 35 : Représentation de l’interface du logiciel d’hydrochimie. (Capture d’écran)

1.5.3. Logiciel Excel

Le logiciel Excel (**Addinosoft., 2007**) permet de faire l’analyse des données numérique et les transférées en courbes et en histogrammes.

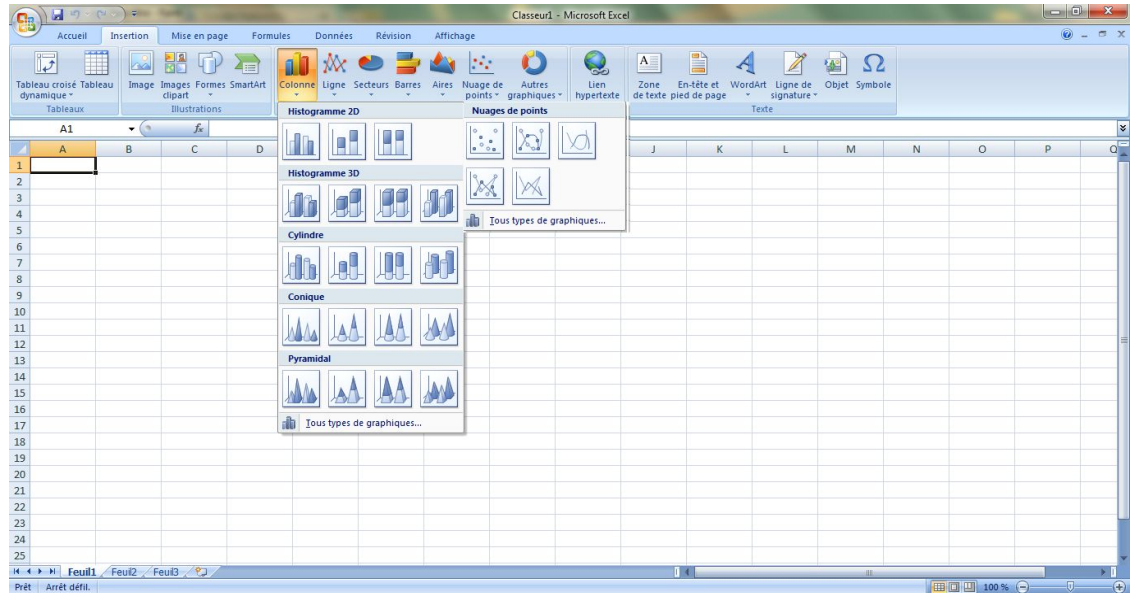
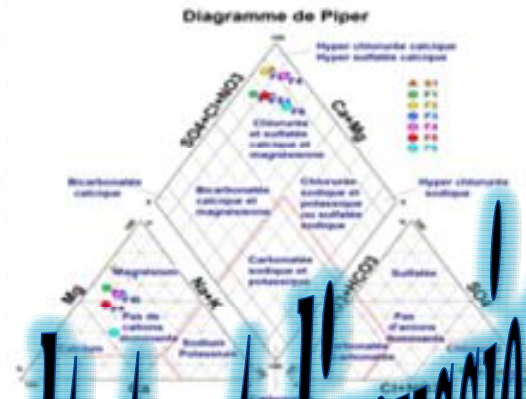
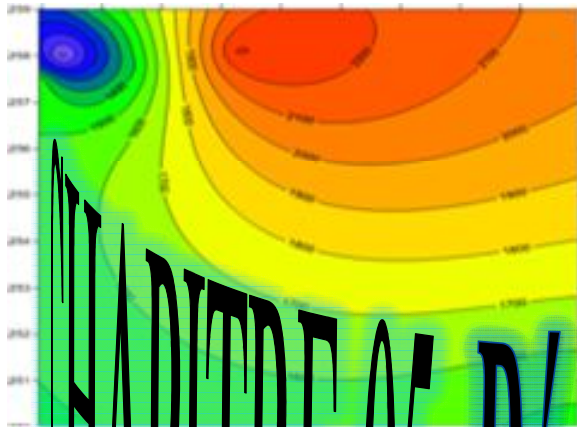


Figure 36 : Représentation de l’interface du logiciel Excel. (Capture d’écran)

Conclusion

Ce chapitre donne des renseignements sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines a étudiées, les réactifs utilisés. Ainsi que les processus expérimentaux pratiqués durant notre étude.



CHAPITRE 05 : Résultats et discussion



Introduction

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous-sol. Elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Toute étude hydrogéologique doit être complétée par une étude chimique qui permet de connaître:

- L'origine des eaux souterraines, ainsi que leur potabilité et leurs degrés de pollution ;
- Connaître les critères physico-chimiques de la qualité des eaux superficielles pour l'irrigation ainsi que d'établir la relation géologie-chimie.

Elle permet de comparer les eaux entre elles, d'établir une cartographie hydrochimique de certains éléments chimique, d'interpréter les données d'analyses par des carte de la Variation spatiale.

Ce chapitre traite de l'analyse des paramètres physico-chimiques simples par des techniques qui peuvent être mises en œuvre avec un matériel de laboratoire ADE de kenchela L'intérêt principal de cette étude, est de mieux caractériser la qualité des eaux souterraines de Rmila, ces variations dans l'espace et dans le temps, afin de contribuer à la connaissance du système de point de vue pollution.

Pour étudier la synthèse hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de Remila nous avons effectué des sorties de reconnaissance du site au cours desquelles nous avons sélectionné les forages à étudier des mesures physico-chimiques.

Sept échantillons sont prélevés et analysés en période des hautes eaux (janvier 2018) afin de comprendre l'origine et l'évolution de la qualité d'eau. Nous nous sommes intéressés aux éléments chimiques fondamentaux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , SO_4^- , NO_3^- , CL^- , HCO_3^-) et son analyse ont été effectuées au laboratoire de Direction Hydraulique de la Wilaya de Khenchela à l'aide d'un spectrophotomètre MACHEREY-NAGEL(www.mn-net.com) de d'absorption atomique de type de flamme 410- sherwood - pour les cations, et à l'aide d'un scanner pour les autres paramètres : les anions.

Les analyses physicochimique des eaux souterraines de la plaine de Remila pendant l'année 2018, indique une variation des concentrations des certains éléments chimiques. Ce qui

explique la présence des variations dans les normes de potabilité dans certains points de mesures. La carte suivante représente les différents points d'eaux prélevés dans cette étude

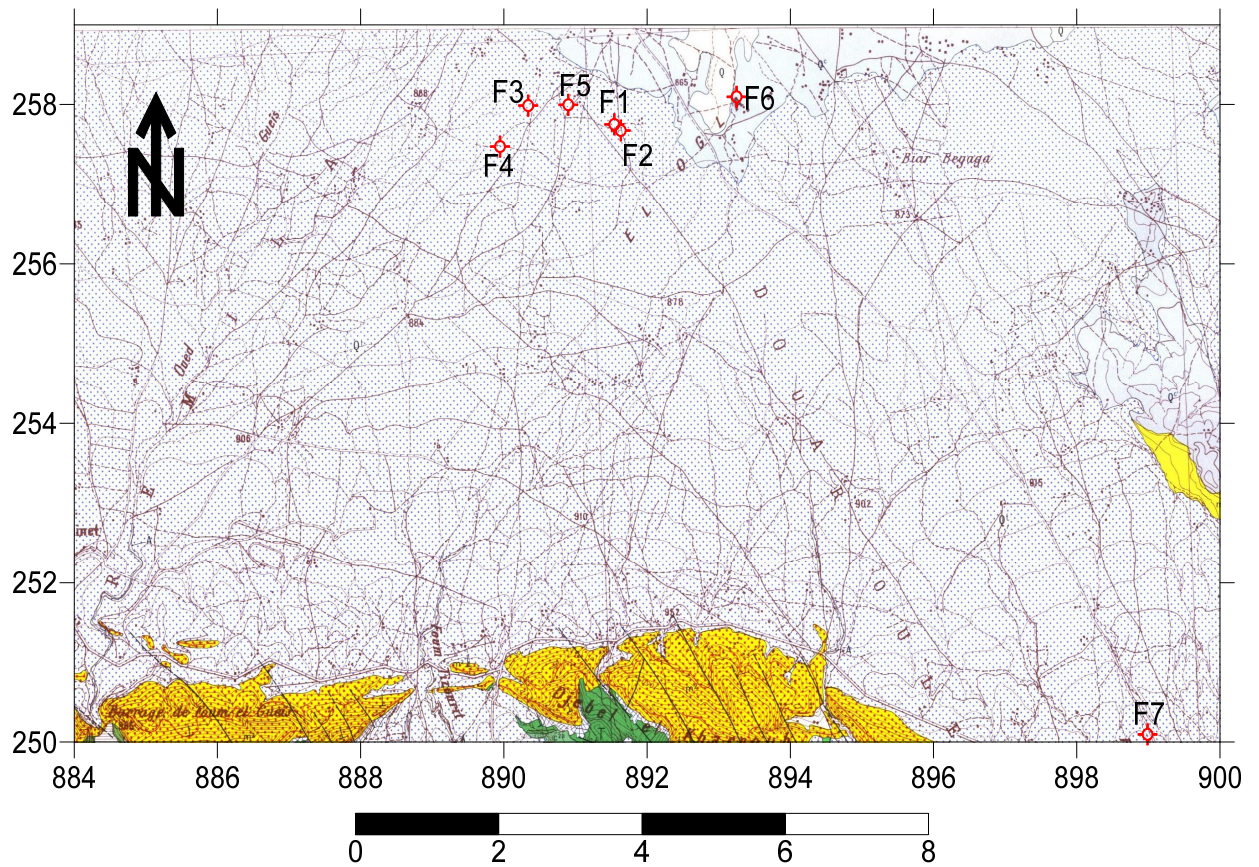


Figure 37 : Carte d'inventaire des points de prélèvement dans la zone d'étude



Figure 38 : Photos satellitaire de différents points d'eaux prélevés (Google Earth)

1. Les Paramètres Physiques

1.1. La Température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température dépend de l'augmentation de la consommation d'eau, de la fluoration, de la solubilité et de l'ionisation des substances coagulantes, du changement du pH, de la désinfection, etc. (Brasilia, 2013)

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixée par l'OMS, l'eau est :

- Excellente lorsque la température vraie entre 20 et 22°C ;
- Passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25 °C ;
- Médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C ;
- Lorsque la température est supérieure à 30°C, on parle d'une pollution excessive.

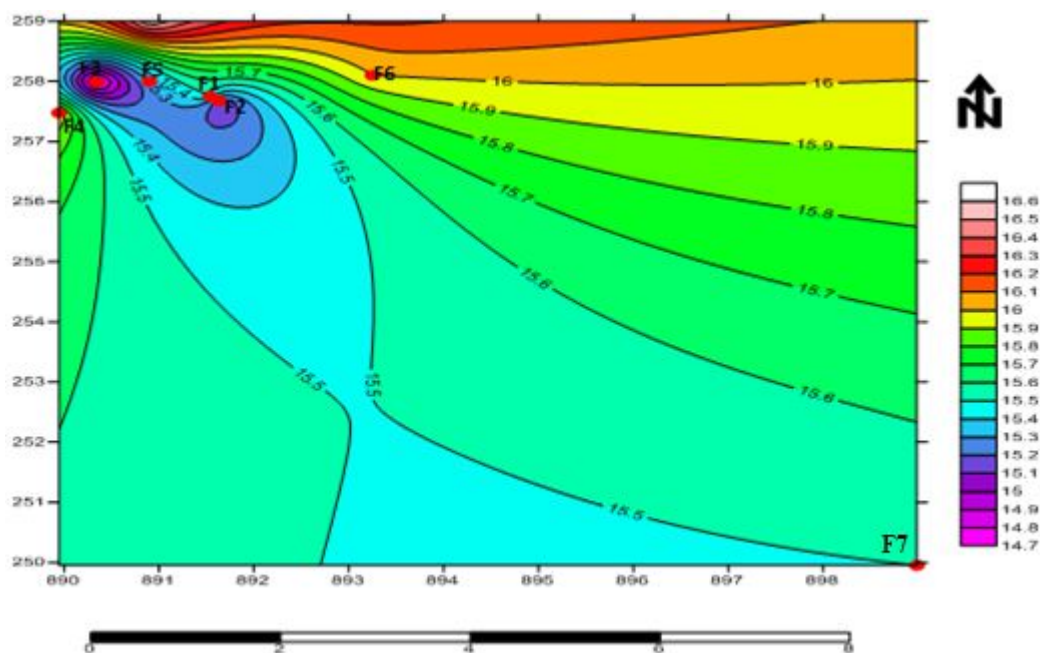


Figure 39: Carte de la variation spatiale de La Température des eaux souterraines de la région d'étude

La température de notre eau étudiée est dans les normes de potabilité fixée par l'OMS qui est inférieure de 25°C, elle varie entre 14.7°C et 16.6°C. Notons que la température moyenne annuelle de l'air est de 15.55°C. Ces valeurs traduisent la présence d'une nappe alluviale non

profonde alimentée par les eaux météoriques, et d'après ce qu'on a dit précédemment on peut dire que ces eaux sont excellentes.

1.2.La Conductivité

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. (Maache *et al.*, 2015)

La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. (Franck., 2002). La norme de conductivité selon L'OMS est inférieure à $1000\mu\text{s}/\text{cm}$. (Abboud *et al.*, 2005). La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante :

- Conductivité égale à 0.05 : eau déminéralisée ;
- Conductivité de 10 à 80 : eau de pluie ;
- Conductivité de 80 à 100 : eau peu minéralisée ;
- Conductivité de 300 à 500 : eau moyennement minéralisée ;
- Conductivité de 1000 à 3000 : eau saline ;
- Conductivité supérieure à 3000 : eau de mer. (Kahoul *et al.*, 2014)

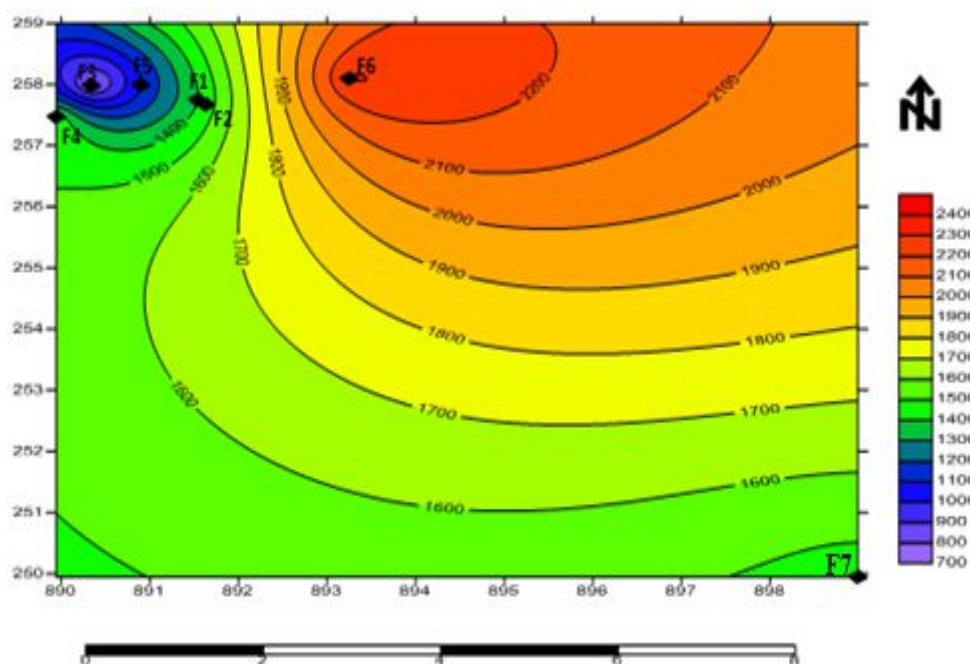


Figure 40 : Carte de la variation spatiale de La Conductivité électrique des eaux souterraines de la région d'étude

Pendant la période d'étude on remarque que les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre (756-2310 μ s/cm). Les conductivités sont très élevées, la totalité des valeurs sont supérieures aux normes de l'OMS à l'exception de point F3 (756 μ S/cm), et s'avèrent donc selon ce classement que ces eaux sont salines.

1.3.Le Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement. Dans les laboratoires de routine des usines de traitement, il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulation/floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau, la valeur du pH allant de 0 à 14. En dessous de 7 l'eau est considérée comme acide et au-dessus de 7 comme alcaline. L'eau au pH de 7 est neutre (**Brasilia, 2013**).

A partir du pH, on peut classer les eaux de la manière suivante :

- pH inférieur à 5 : acidité forte ;
- pH égale à 7 : neutralité (eau pure) ;
- pH de 7 à 8 : neutralité rapprochée (eau de surface) ;
- pH de 5.5 à 8 : majorité des eaux souterraines ;
- pH supérieur à 8 : alcalinité, évaporation intense.

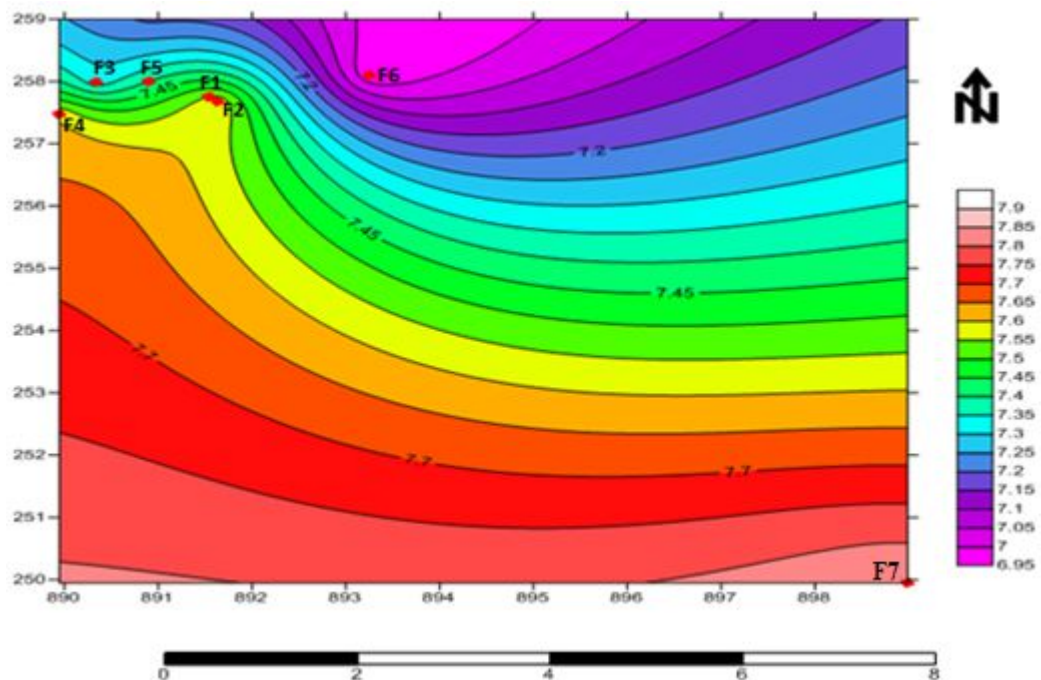


Figure 41 : Carte de la variation spatiale de pH des eaux souterraines de la région d'étude

En comparant les résultats obtenus lors des analyses des échantillons de l'eau de la zone d'étude à les normes d'OMS qui situent entre 6.5 et 8.5 pour une eau potable, il ressort que leur pH est normal étant donné qu'il est compris entre 6.96 et 7.85. La majorité des échantillons d'eau prélevée présente un caractère alcalin.

1.4. La Matière Organique

La matière organique des eaux naturelles est souvent assimilée en totalité à la matière organique naturelle (MON), bien que certains micropolluants présents dans les milieux aquatiques soient d'origine anthropique. (Rodier et al., 2009).

En fait, c'est au moins 90 % de la charge en matières organiques des eaux naturelles qui est représentée par la MON et son intérêt est primordial pour la production d'eau potable. La MON est en effet concernée par la majorité des procédés de traitement mis en œuvre dans les usines de production d'eau potable. Réservoir principal de précurseurs de sous produits de désinfection (chloration, ozonation), sa structure moléculaire lui permet une bonne élimination par coagulation/floculation. Elle est en outre largement impliquée dans les problèmes de colmatage des membranes et sa fraction biodégradable (CODB) contribue aux proliférations bactériennes en réseau. (Rodier et al., 2009).

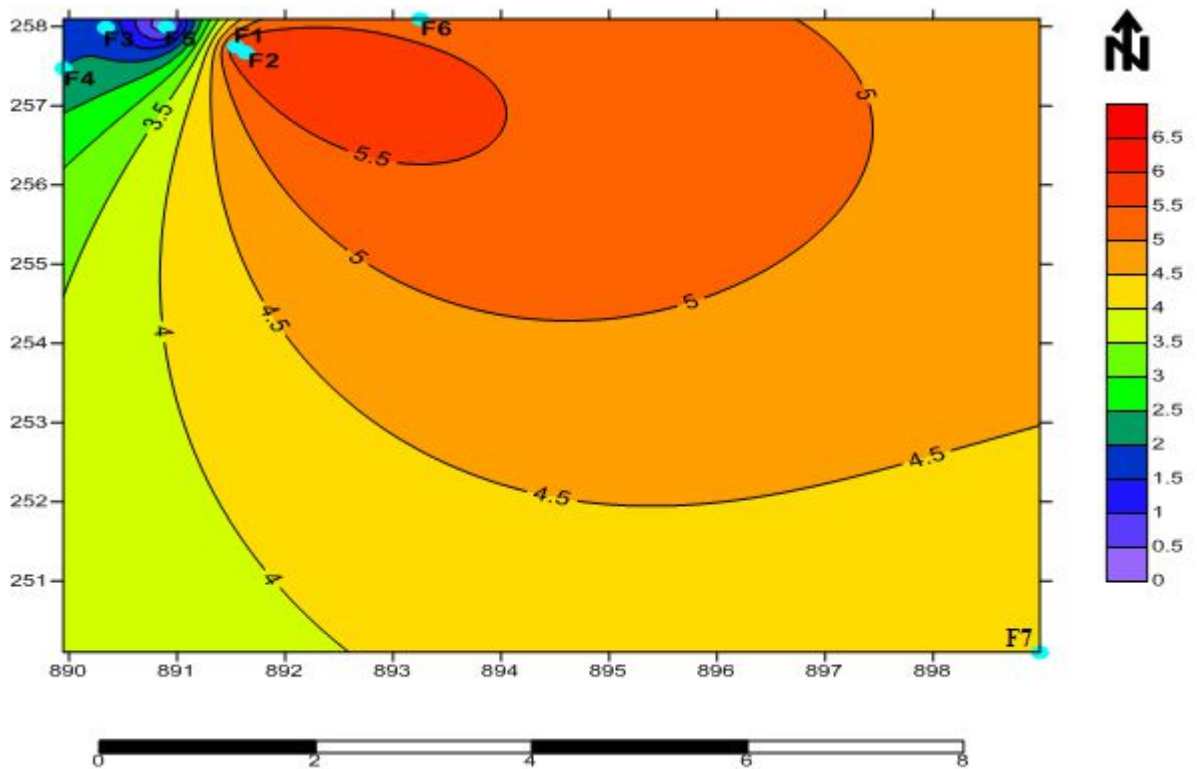


Figure 42 : Carte de la variation spatiale de La Matière Organique des eaux souterraines de la région d'étude

La matière organique variée entre 0et6 mg/l, la valeur minimale est représenté par le point F5 qui est nulle alors que la valeur maximale est représentée par les deux points : F1, F2 (6 mg/l)
 La majorité des points sont supérieur à la norme Algérienne (3mg/l), ce qui explique l'influence de l'activité anthropique d'origine agricole

1.5.La Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence des particules en suspension, notamment coloïdales argiles, limons, grains de silice, matières organiques...etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. (Rodier et al., 2009).

Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble, et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension.

Tableau 13 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelome tricturbidity unit)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

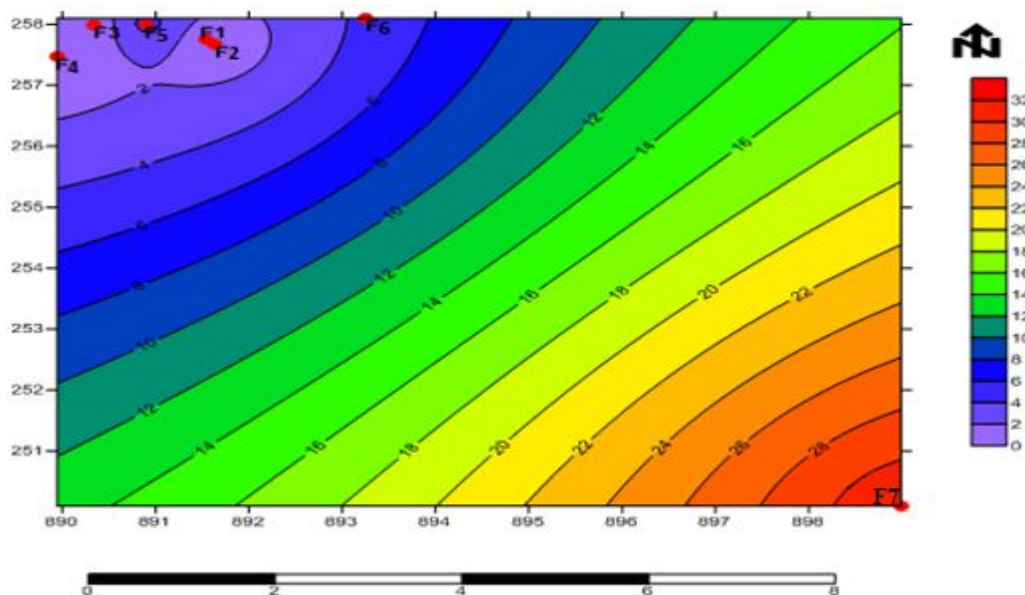


Figure 43 : Carte de la variation spatiale de La Turbidité des eaux souterraines de la région d'étude

La figure montre que la turbidité des échantillons variée entre 0,19 NTU et 31,9 NTU, la plus faible dans F3 avec une valeur de 0,19 NTU et la plus forte dans F7 avec la valeur 31,9NTU

D'après les valeurs trouvées lors de l'analyse des eaux étudiées, on remarque que la quasi-totalité des points de prélèvement sont à la norme préconisé par l'OMS, donc les eaux de la région sont claires d'après le classement précédent

La valeur élevée enregistré au niveau de point F7, est traduit par la présence de matière en suspension (argile de quaternaire)

1.6.La Dureté Totale

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 dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO_3 . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français. Elle est liée à la nature des terrains traversés par une eau.

La dureté totale ne devait pas être inférieure à 15 °f, l'alcalinité ne doit pas être inférieure à 2,5 °f. (Rodier et al., 2009).

On qualifie la dureté d'une eau :

- eau très douce : dont le DHT est compris entre 1 et 5 °f ;
- eau de faible dureté : dont le DHT est compris entre 5 et 12 °f ;
- eau de dureté moyenne : dont le DHT est compris entre 12 et 25 °f ;
- eau très dure : dont le DHT est compris entre 25 et 50 °f ;
- eau de dureté très élevée : dont le DHT peut aller jusqu'à 150 °f.

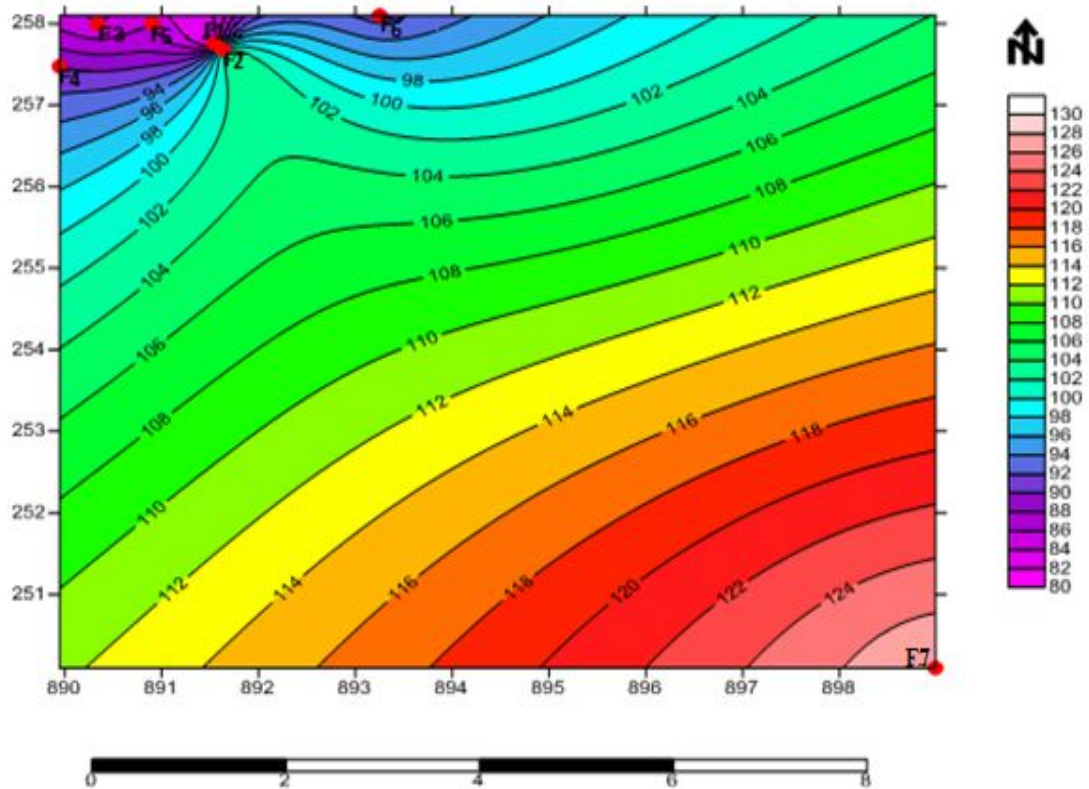


Figure 44 : Carte de la variation spatiale de La Dureté Totale des eaux souterraines de la région d'étude

La carte de concentration montre que la dureté totale des échantillons variée entre 81 et 128°f, ce qui explique que les eaux étudiées de dureté très élevée.

2. Paramètres Chimiques

2.1. Les Cations

2.1.1. Le Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature, il existe à l'état de nombreux gisements de calcaire, de craie, de marbre, et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates de calcium CaCO_3 . (Glinka, 1977)

Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures... etc. Les eaux de pluies, de citernes n'en referment que des traces. (Rodier et al., 2009).

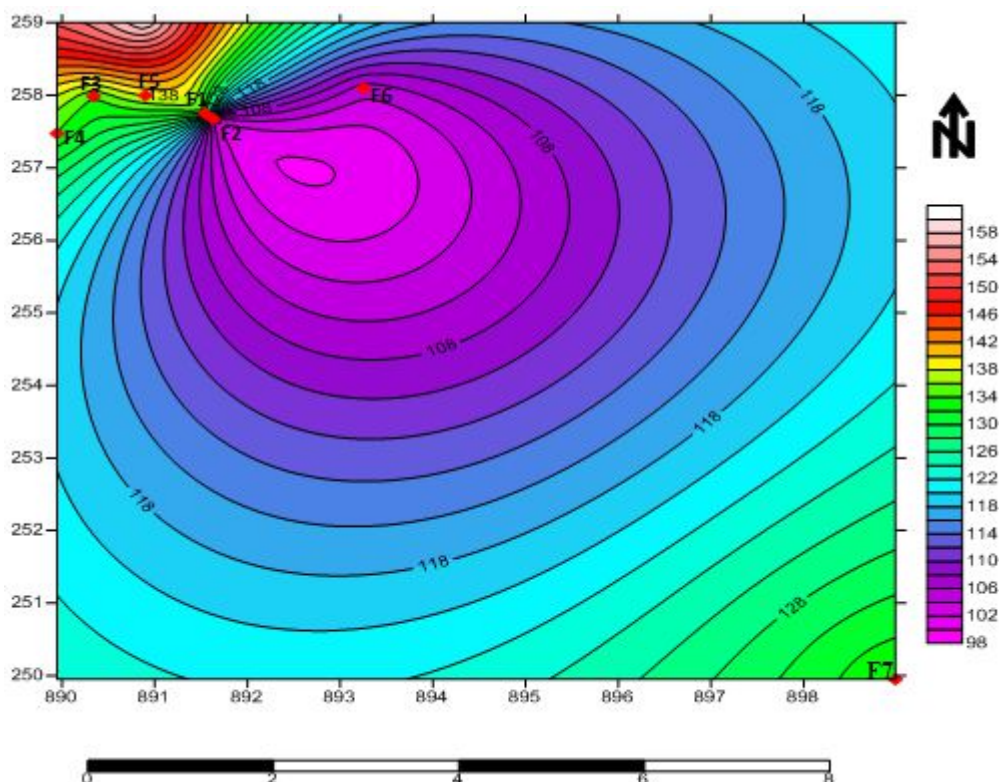


Figure 45 : Carte de la variation spatiale des teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région d'étude

A partir de la carte au dessus, on constate que la teneur en Calcium varie entre 102mg/l dans le forage F2 et 160 mg/l dans le forage F5, la moyenne étant de 129 mg/l. toutes les valeurs dépassent la norme de potabilité préconisée par l'OMS (100mg/l). Les fortes teneurs en calcium sont présentées par les points de prélèvement situées dans la partie Nord-ouest de la zone d'étude.

La forte teneur en Ca^{2+} est liés à la présence d'un niveau carbonaté due à la dissolution des formations carbonatées et gypseuses,

2.1.2. Le Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est fort répandu dans l'écorce terrestre. On trouve l'état naturel de grandes quantités de carbonate de magnésium qui constitue la minérale magnésite (MgCO_3), ainsi que la minérale dolomite ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) (Glinka, 1977), Il constitue 2.1% de l'écorce terrestre (Rodier, 2009).

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens. (Boukhors et al., 2016)

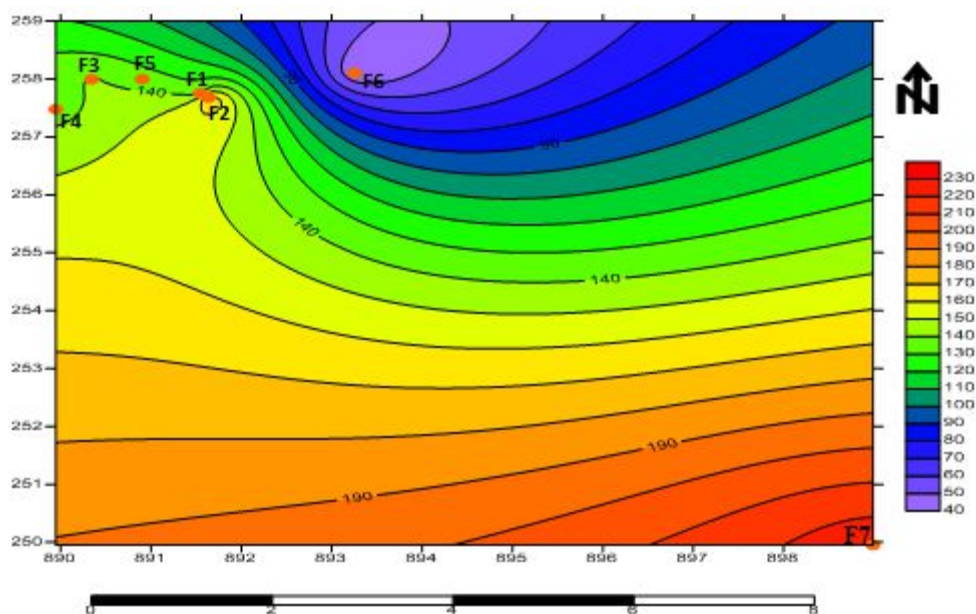


Figure 46 : Carte de la variation spatiale des teneurs en Magnésium des eaux souterraines de la région d'étude

La carte de concentration de magnésium montre que la teneur en Mg^{2+} est relativement forte dans la quasi-totale de la zone d'étude. Elle est bien supérieure à la valeur préconisée par l'OMS qui exige une concentration de 50 mg/l au maximum sauf le forage F6 avec une valeur 41 mg/l.

On peut attribuer la forte teneur en magnésium à la dissolution des dolomites des formations géologiques récentes. Et on peut supposer aussi qu'il y'a une contamination de la nappe par les eaux du chott Mellah qui draine toute la nappe, ou par les rejets des déchets domestiques dans les oueds

2.1.3 Le Sodium (Na^+) et Le Potassium (K^+)

Nous savons que K^+ est en concentration faible dans les eaux du fait de l'absorption de cet élément par la végétation nous nous intéressons donc au sodium (Claude, 1905).

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères. (Rodier et al., 2009).

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité des ses sels est très élevée. En agriculture, le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium. Le sodium constitue un élément de maintien de la perméabilité du sol. (Samak, 2002).

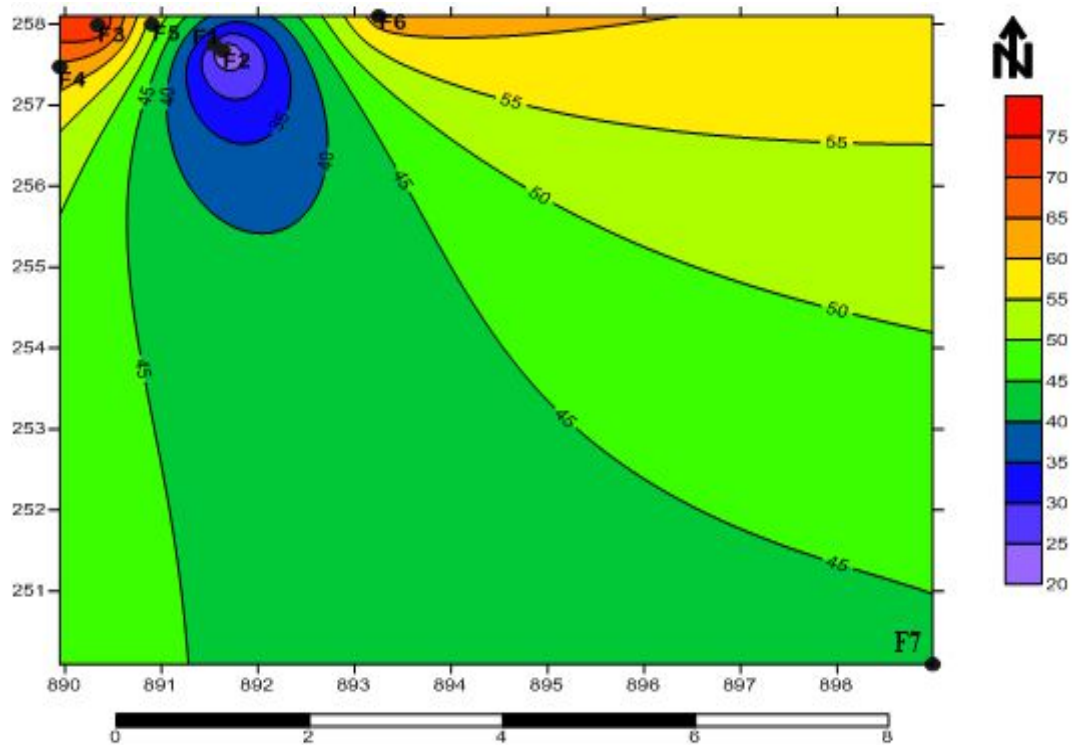


Figure 47 : Carte de la variation spatiale des teneurs en Sodium des eaux souterraines de la région d'étude

La répartition spatiale du sodium nous informe que d'après la carte de distribution en Na^+ on remarque que la majorité des eaux des points de prélèvement dans la zone d'étude ont des teneurs faibles variant entre 20 et 75 mg/l qui sont inférieures à la norme de potabilité admissible par l'OMS (200 mg/l).

2.2. Les Anions

2.2.1. Chlorures (Cl^-)

En général, les chlorures sont présents dans les eaux à l'état brutes transformés à des concentrations allant de petites traces jusqu'à plusieurs centaines de mg/l. Ils sont présents sous la forme de chlorures de sodium, de calcium et de magnésium. (Brasilia, 2013).

L'ion chlorure existe toujours dans les eaux naturelle à des concentrations très variable, c'est un traceur conservatif dans les environnements naturels. Il ne participe pas aux réactions d'oxydoréduction et il ne forme pas de précipité insoluble (Boukhors et al., 2016)

Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 250 mg/l (norme de l'O.M.S).

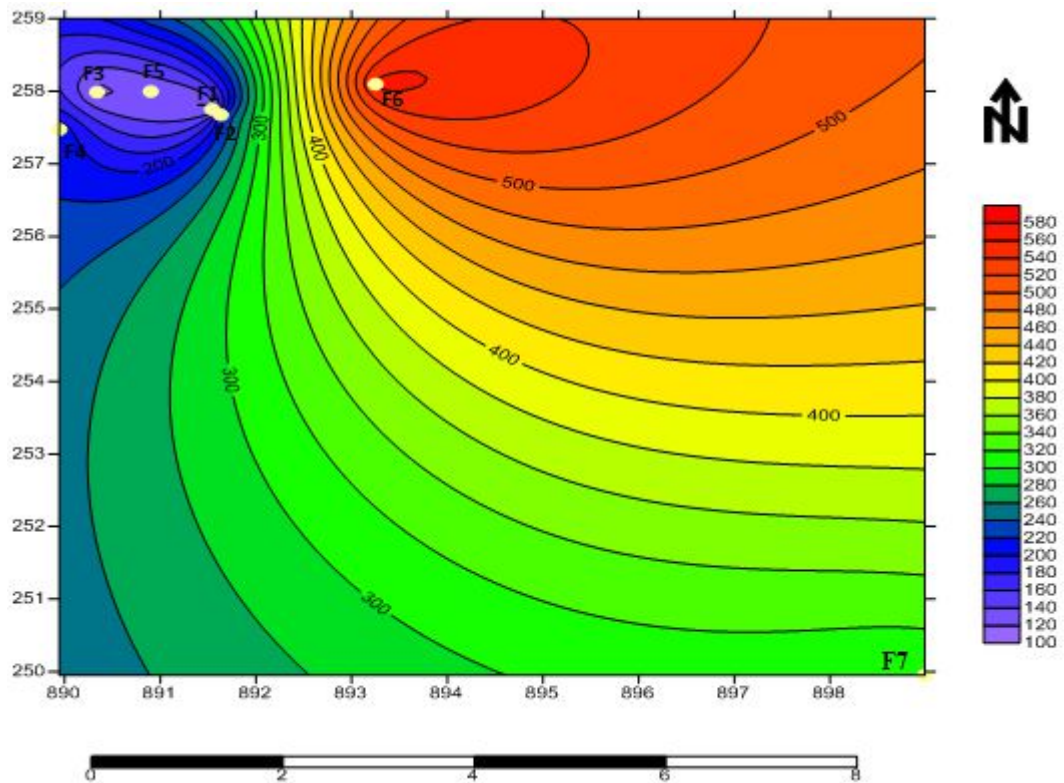


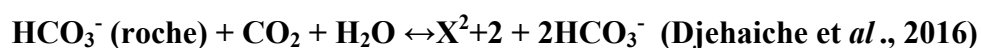
Figure 48 : Carte de la variation spatiale des teneurs en Chlorure des eaux souterraines de la région d'étude

Dans la carte de la Variation spatiale des teneurs en chlorure, il y a bien de signaler que les résultats obtenus en ce qui concerne ce paramètre pour F7 et F6 sont supérieures à la concentration plafonné par l'OMS. ce qui implique que ces eaux sont enrichies en chlorure, imputé à la pollution agricole d'origine anthropique par l'utilisation des engrais chimique.

La région est de climat semi-aride donc nous pouvons aussi liés les fortes concentrations au lessivage des concentrations salines superficielles en cas de forte pluie et à la contamination des eaux de la nappe par les eaux du chott. Le reste des points de prélèvements sont à la norme de potabilité.

2.2.2. Le Bicarbonate (HCO_3^{-2})

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. L'apport atmosphérique de cet élément est négligeable (Boukhors et al., 2016). Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique d'après l'équation générale suivante :



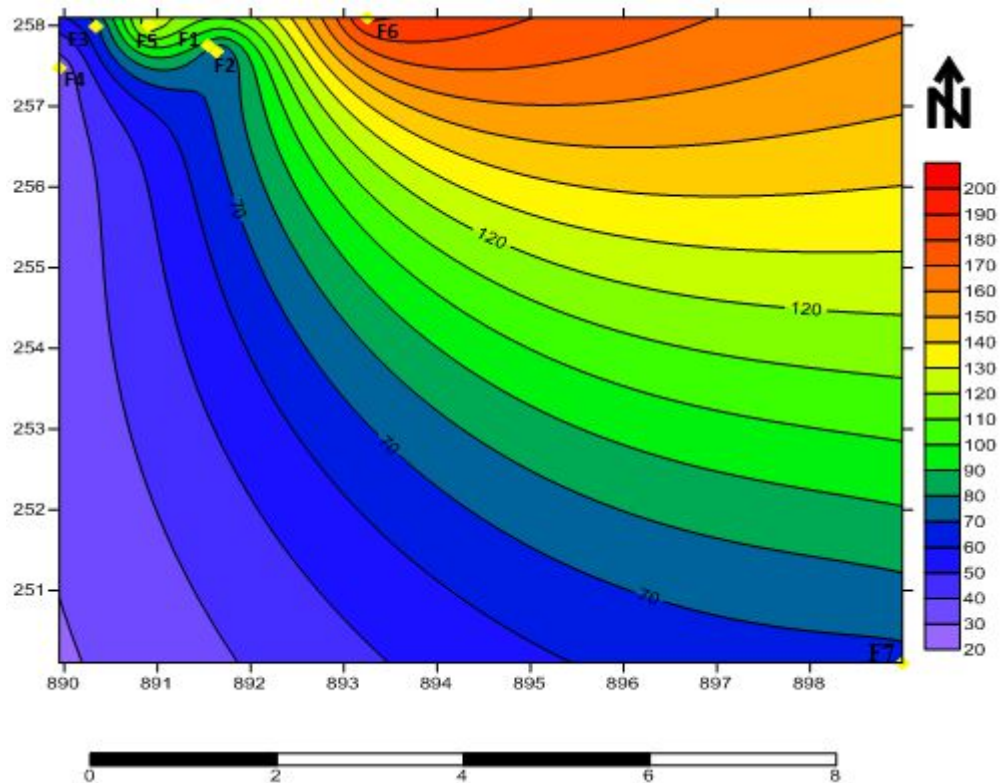


Figure 49: Carte de la variation spatiale des teneurs en Bicarbonate des eaux souterraines de la région d'étude

Dans cette carte, on observe que la valeur maximale est enregistrée au niveau de point F6 avec 192 mg/l, alors que la valeur minimale est enregistrée au niveau de point F4 avec 33mg/l.

Les normes d'OMS ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. L'eau étudiée a une teneur élevée en bicarbonates par rapport aux ions considérés. Cette teneur confirme son origine bicarbonatée.

2.2.3. Sulfates (SO_4^{2-})

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (Rodier et al., 2009).

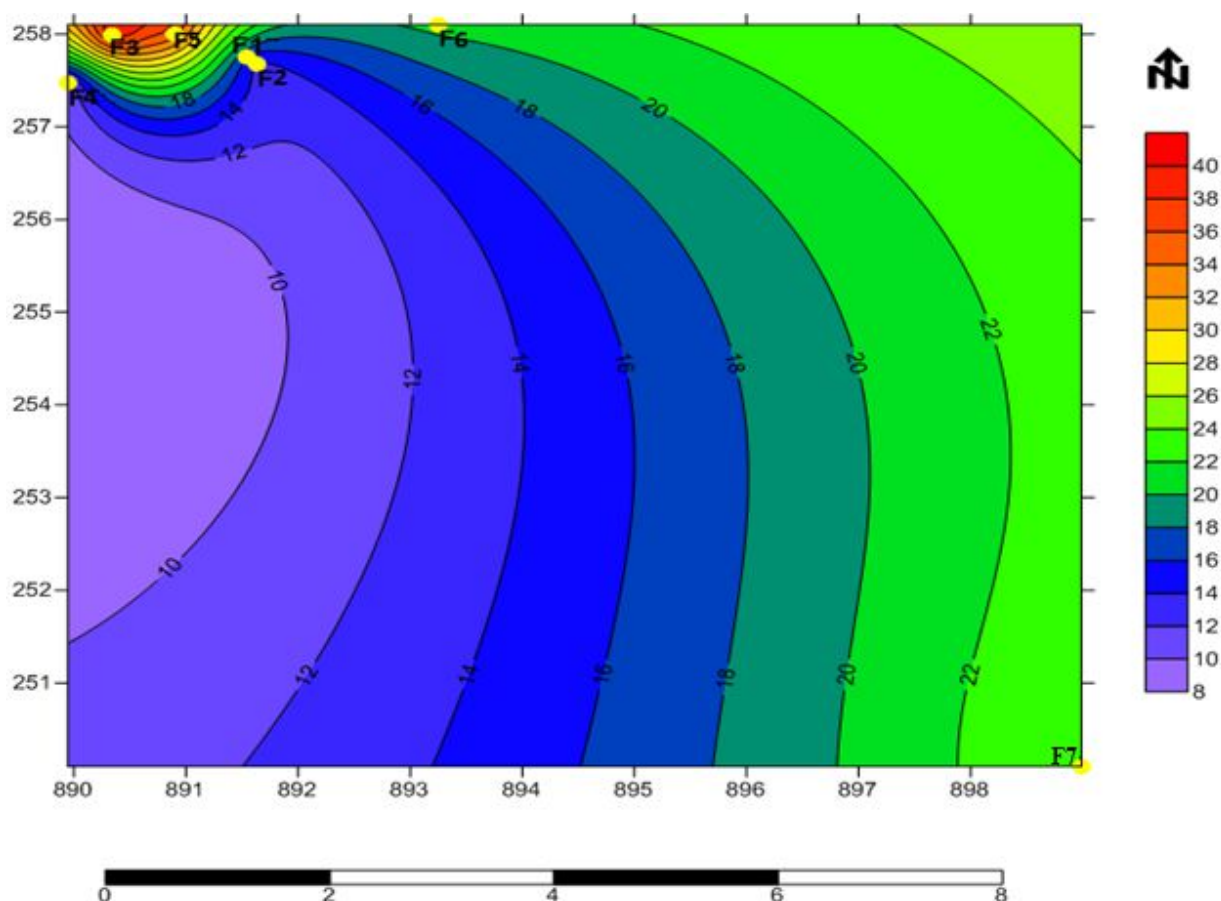


Figure 50 : Carte de la variation spatiale des teneurs en Sulfate des eaux souterraines de la région d'étude

Sur cette carte, on remarque des faibles concentrations dans la totalité des points de prélèvement; les fortes teneurs sont enregistrés au niveau F3, F5, et il peut provenir en grande partie de la dissolution des minéraux évaporitiques, de l'oxydation du soufre des roches sédimentaires, et Ils résultent principalement de la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

2.2.4. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau. La concentration en nitrate dans les eaux souterraines est normalement basse, mais peut atteindre des niveaux élevés en raison de l'écoulement agricole, l'écoulement de décharge d'ordures, les formations géologiques contenant des composés azotés solubles, ou de contamination avec les déchets des animaux ou des humaines.

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. (Rodier *et al.*, 2009).

Les nitrates qui se trouvent naturellement dans les eaux proviennent, majoritairement, de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol qui constitue le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines (Rejeseck, 2002)

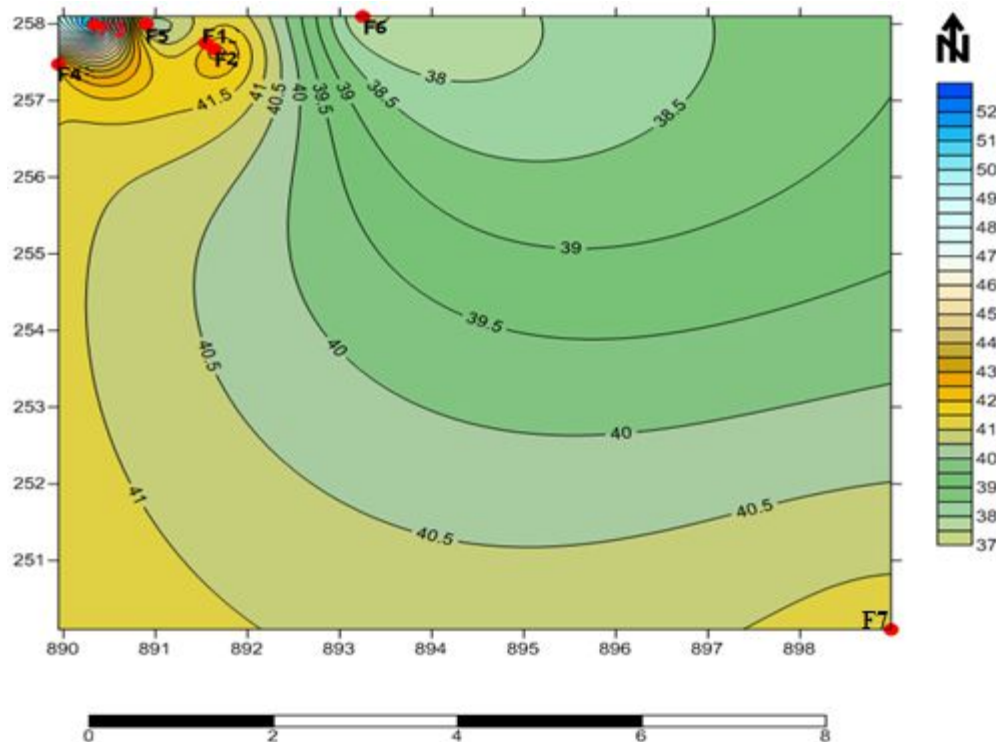


Figure 51: Carte de la variation spatiale des teneurs en Nitrate des eaux souterraines de la région d'étude

Pour l'eau étudiée au niveau des différents puits ; la valeur des nitrates obtenue est comprise entre 37.4 et 43 mg/l. Donc, elle est de bonne qualité par rapport à la norme de potabilité d'OMS qui recommande pour les eaux naturelles une valeur limite de 50 mg/l au maximum; à l'exception de point F4 avec une valeur de 52.54 mg/l qui est supérieure à la valeur citée. La teneur élevée peut provoquer des risques de méthémoglobinémie chez les nourrissons de moins de six mois alimentés au biberon, en raison que les nitrates (NO_3^-) transformés en nitrites (NO_2^-) dans l'estomac, conduisent à l'oxydation et à la transformation de l'hémoglobine. Cet effet toxique, appelée également «cyanose du nourrisson», « syndrome du bébé bleu » ou « la méthémoglobinémie », entraîne une réduction des capacités de transport de l'oxygène par le sang. Les fortes teneurs peuvent être dû au lessivage des terres cultivées ou de la contamination d'origine humaine ou animale.

2.2.5. Phosphore

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométrique, sont considérés comme étant des ortho-phosphates. On distingue donc, le phosphore organique (résidu de la matière vivante) et le phosphore minérale ou les ortho-phosphates (PO_4^{3-}) (agent fertilisant). Le phosphore minéral représente entre 50 à 90% du phosphore total. **P Total = P organique + P minéral. (Abaki, 2012)**

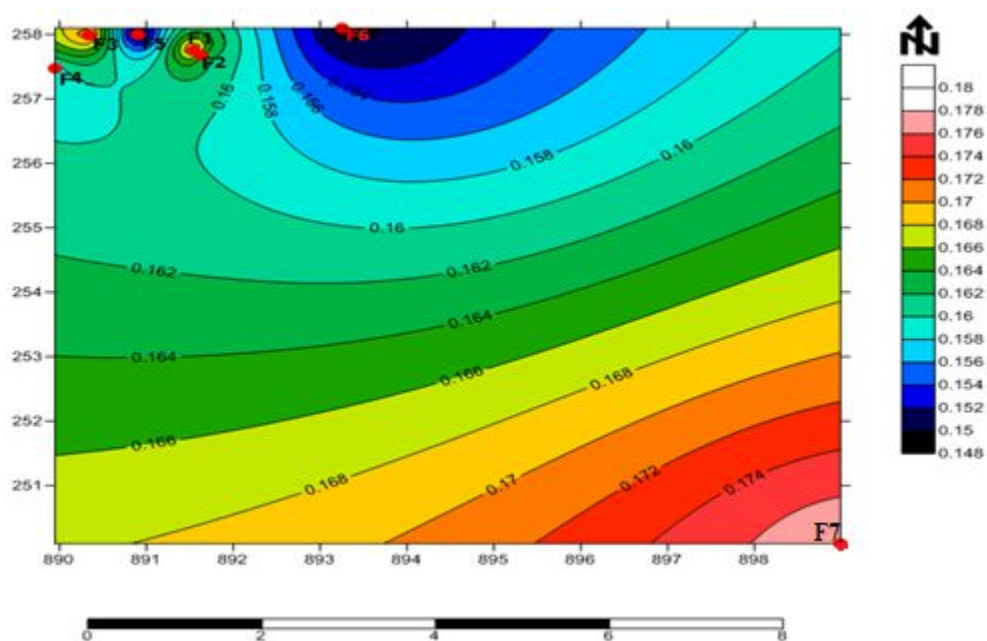


Figure 52: Carte de la variation spatiale des teneurs en Phosphore des eaux souterraines de la région d'étude

D'après la carte de la variation spatiale des teneurs en phosphore, on observe que la valeur la plus importante étant celle de l'échantillon F7 avec une valeur de 0,178mg/l, et la valeur la plus faible étant celle de l'échantillon F5 et F6 avec une valeur de 0,148mg/l et 0,149 mg/l.

3. Détermination du faciès chimique

3.1. Classification chimiques des eaux souterraines

3.1.1.1. Classification des eaux souterraines selon Piper

Le diagramme de Piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations des échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments-majors, mais de suivre également leur évolution dans le temps. La représentation des concentrations est exprimée en pourcentage. Les unités de mesure utilisées dans le diagramme Piper sont les % de méq/l. (Boubelli, 2007)

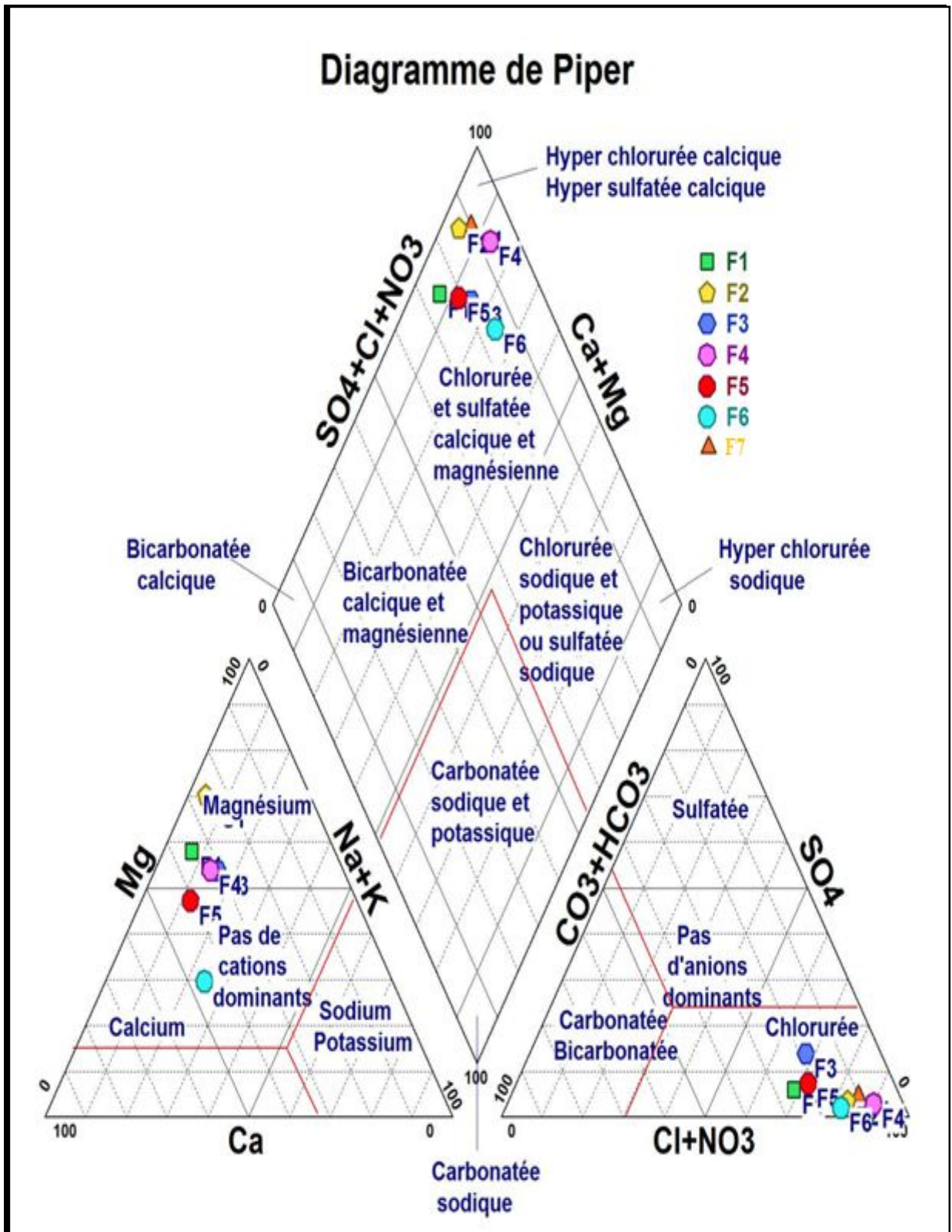


Figure 53 : Diagramme de piper des eaux souterraines de Remila (janvier 2018)

La représentation des données de l'analyse de l'eau sur le diagramme de Piper a permis de distinguer que les eaux analysées sont principalement de faciès chloruré et sulfaté calcique, et magnésienne pour tous les points d'eau.

3.1.1.2. Classification des eaux souterraines selon Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

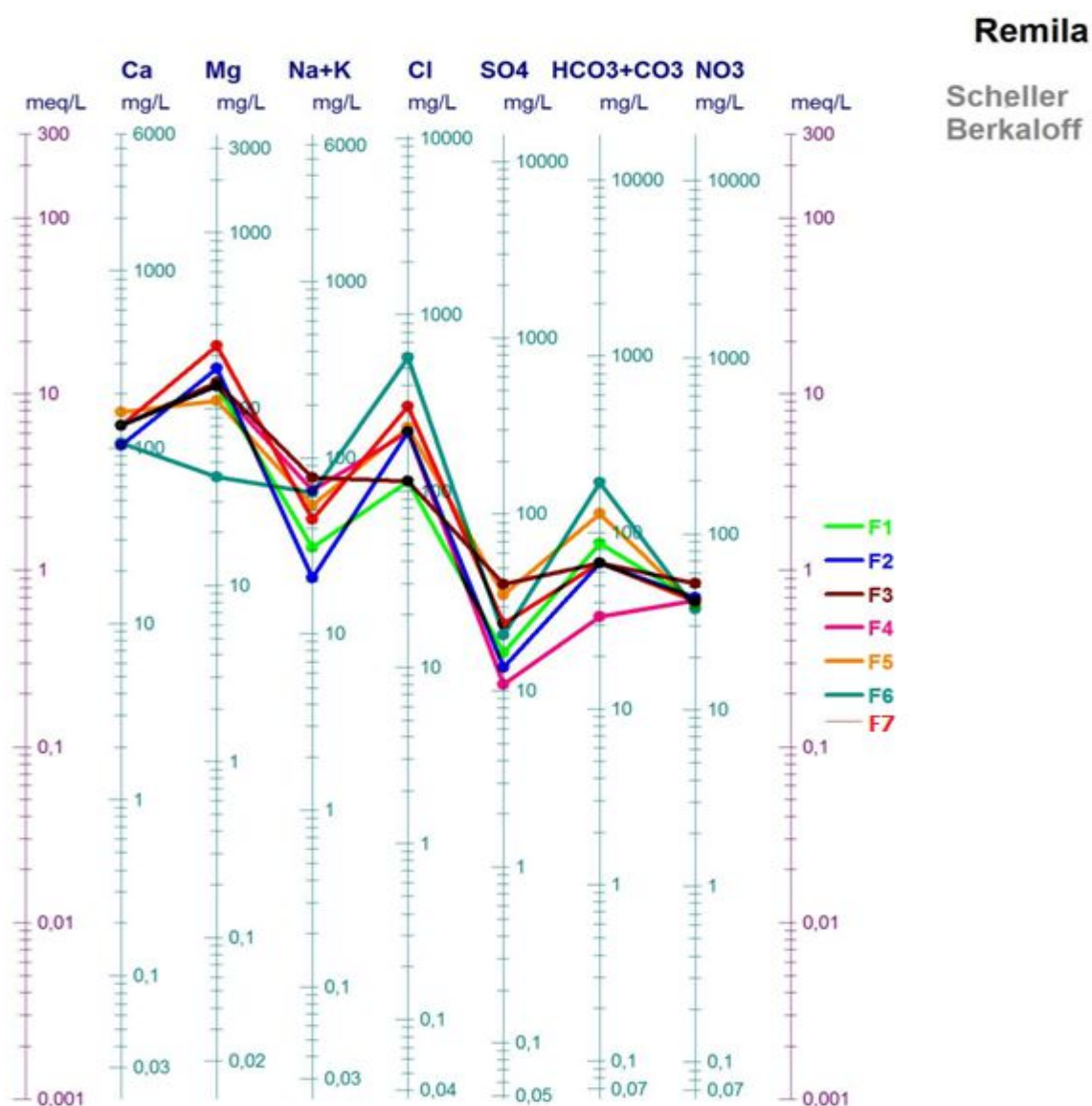


Figure 54 : Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Schoeller Berkaloff.

Selon le diagramme de Schoeller Berkloff on mentionne une grande famille d'eau prédominante, est celle des chloruré magnésienne de cela ceci est en liaison directe avec la présence des formations dolomites et certains phénomènes d'échange de base.

4. Aptitude des eaux a l'irrigation

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour les plantes et pour les sols.

Afin d'apprécier la valeur agricole d'une solution, Wilcox (1948) a proposé le premier diagramme délimitant des classes basées sur la minéralisation totale et le pourcentage du sodium absorbé par l'eau; puis en 1954 le laboratoire de salinité du département de l'agriculture en USA (Richards) a proposé un deuxième diagramme délimitant aussi des classes fondées sur la minéralisation totale et le sodium absorbé par le sol (S.A.R).

6.1. Classification des eaux par la méthode de Richards

Cette classification a été proposée par Richards. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Une eau chargée en sels peut provoquer un risque pour l'irrigation. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Ce paramètre comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , par le Na^+ dans les argiles et les colloïdes, Il est défini par l'expression suivante :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^{1/2}$$

Avec :

- Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l
- Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l
- Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Cette classification se fait donc, en reportant sur le diagramme les conductivités électriques en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20 °C, en fonction du taux d'absorption du sodium (S.A.R). (**Derradji et al., 2004**)

La classification de Richards est basée sur la conductivité et le S.A.R, permet de définir plusieurs classes d'eau, présentant chacune un danger de salinisation et d'alcalinisation variable, les plus caractéristiques sont quatre qui sont:

- **Classe S1C1** : Eau à salinité faible (C1) convenable pour l'irrigation de toutes les cultures avec faible risque (S1) d'accumulation des sels sauf pour les sols à faible perméabilité.
- **Classe S2C2** : Eau de salinité moyenne (C2), convenable pour l'irrigation avec précaution (S2) d'une dose de lessivage des cultures semi résistantes.
- **Classe S3C3** : Eau à salinité élevée (C3) ne convient pas aux sols à faible capacité de drainage (S3), les cultures doivent être résistantes.
- **Classe S4C4** : Eau à salinité très élevée (C4), ne convient pas à l'irrigation sous conditions ordinaires, pour quelles soit utilisée un drainage adéquat doit être mis en place pour des cultures résistantes. (Boubelli, 2007)

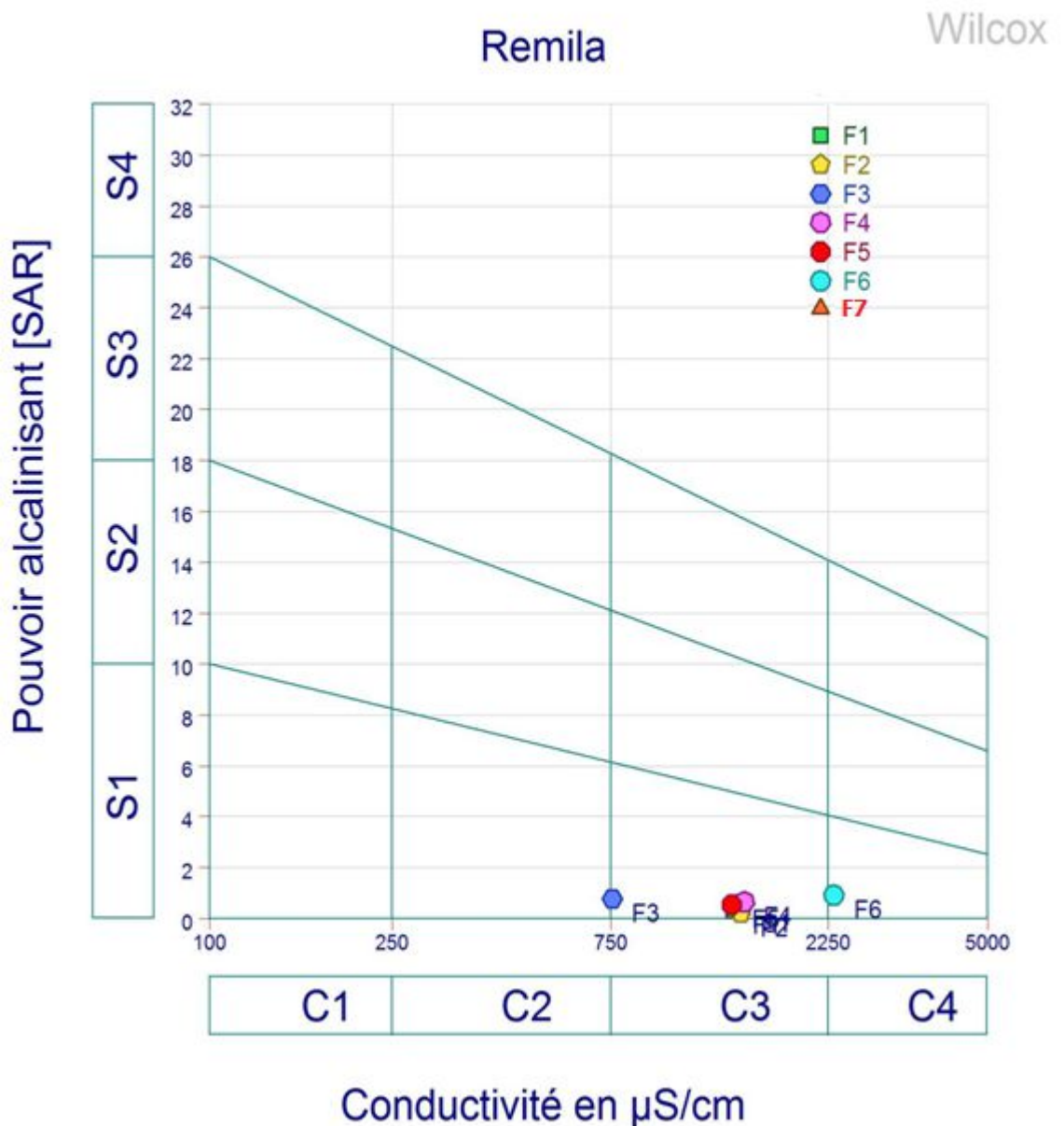


Figure 55: Diagramme de Wilcox des eaux souterraines de Remila (2018)

La représentation des échantillons analysés sur le diagramme de Wilcox (Figure 60), montre que les eaux de la nappe du Quaternaire appartiennent aux deux classes : C3S1, C4S1, mais la plupart des points d'eaux 90% appartiennent à la classe C3S1. Elles se manifestent par un faible danger d'alcalinisation et par une salinisation élevée. En général on constate que ces eaux ne conviennent pas à l'irrigation des cultures dans des conditions normales et peuvent être utilisées si les espèces tolérantes aux sels sur des sols particulièrement bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. La salinisation est causée par la dissolution des gypses et la forte évaporation des eaux, due au climat semi-aride de la région.

Un seul échantillon a été observé dans la classe C4S1, c'est celle du F6 où les risques d'alcalinisation sont faibles et ceux de salinisation sont très élevés.

Conclusion

Au terme de ce travail, nous avons essayé d'évaluer les aspects qualitatifs des eaux souterraines dans la nappe Quaternaire de Remila.

L'étude hydrochimique, nous a permis de mettre en évidence les paramètres physico-chimiques ayant une influence directe sur la qualité des eaux ; ces paramètres sont liés aux systèmes aquifères existants ou à l'influence de la géologie.

Au terme de ce chapitre, il a été constaté ce qui suit, les analyses physico-chimiques nous ont révélé que les concentrations les plus élevées en la matière, sont rencontrées dans les formations géologiques récentes du quaternaire.

Les diagrammes de PIPER, et SCHOELLER-BERKALOFF montrent que les faciès l'existence d'un faciès dominant qui est le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

L'interprétation des cartes hydrochimiques, montre que la majorité des échantillons analysés présentent des valeurs supérieures aux normes. Ces eaux sont très dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive. L'utilisation de ces eaux à l'irrigation, sont convenables à l'irrigation de culture tolérante aux sels sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.



Conclusion générale

Les données de divers paramètres (géologiques, hydroclimatiques, et hydrochimiques), nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la zone d'étude.

La commune de Remila situé dans le Nord-Ouest de la wilaya de Khenchela, d'une superficie de 243 km² bordé au Nord par la wilaya de l'Oum Elbaoughi, de l'est par Kais, Sud par Chelia et Taouziant, et Ouest par Boulafrais et la wilaya de Batna

L'étude géologique, basés sur les travaux de plusieurs auteurs ayants étudiés la région, a permis de distinguer les principales formations géologique de cette région ; à savoir :

Quant aux terrains affleurant dans ces différents ensembles, ils appartiennent généralement au Secondaire, avec le Trias, le Jurassique et le Crétacé et au Tertiaire avec des formations oligoécènes, miocènes et pliocènes.

Le Quaternaire, quant à lui reste limité aux dépôts de versants et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oueds de la zone, avec des galets et une nappe de maestrichien formé par des calcaires qui représente la nappe locale.

L'aperçu climatique de la région de remilamontre que le climat qui y règne est semi-aride (hiver froid et été chaud). La pluviométrie ne dépasse pas les 476.96 mm/an. L'étude Hydrochimique a permis de caractériser les principaux paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés au cours de la campagne de terrain du Janvier 2018. On a pu distinguer une liaison de cause à effet entre la géologie et le chimisme des eaux souterraines.





LES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



-A-

***Abaki, R. (2012).** Elimination des métaux lourds (Cd, Pbn Cr, Zn et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences Aghadir

***Abboud, C., Belaa, F. (2015).** Synthèse hydrochimique des eaux souterraines de la commune d'EL MAHMEL (wilaya de khenchela)

***A.N.D.I. (2014).** Interview réalisé par l'ANDI avec le Wali de Khenchela, Avril 2014.

***Andre, M. (2005).** Hydrologie Générale Prof. Section SIE et GC 4^{ème} semestre 2005

***Aouidane, L. (2017).** Origines de la salinisation des eaux et des sols d'une zone à climat semi-aride : Cas de Remila (W. Khenchela) Thèse de doctorat Département des sciences agronomiques, Université Mohamed Khider Biskra.

-B-

***Beaubois, F. (2014).** Le Soleil comme laboratoire des pratiques scientifiques thèse de doctorat de l'université pierre et marie curie

***Bendaanoun, M. (1998).** L'Arganier. Une espèce fruitière-forestière à usages multiples. Sprimont (Belgique) : Éditions Mardaga, p : 25-43.

***Boubeli, S. (2009).** Identification et mise en évidence des formations hydrogéologiques de la wilaya de Khenchela (Nord-Est algérien). Analyse et synthèse de données. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba.133p

***Boukhors, I., Hacini, I. (2016).** Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de l'aquifère de la région de M'toussa.

***Bounezra, K., Medjhed .K. (2015).** Elimination des nitrates par charbon actif (CAP) dans Les eaux dans la plaine de Rémila (wilaya de Khenchela). Mémoire de Master, Université Abbas Laghrour –Khenchela.

***Brasilia. (2013).**Manuel Pratique d'Analyse de l'Eau 4ème édition 153p.

-C-

***C.G.G. (1969).** Les prospections Géophysique de la plaine de Rémila. La Direction d'Hydraulique de la wilaya de Khenchela, Réalisé par Compagne Générale de la Géophysique.

***CEA. (2015).** Le Commissariat à l'énergie atomique acteur clef de la recherche technologique
article Publié le 19 octobre 2015.

***Claude, A. (1905).** Petit Larousse 1906 illustré de 1889.

-D-

***Dajoz, R. (1982).** Précis d'écologie. 4ème édition, Coll. Ecologie fondamentale et appliquée,
Gauthier-villars, Bordas.

***Dali, N. (2009).** Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Gareat EL TARF.
Thèse de Magistère. Université de Constantine.

***David. (2009).** L'eau distillée au laboratoire sur une idée de david lacaille lycée j. siegfrid, le
havre relecture michel ficheux, laurent louis.

***Djebaili, S. (1984).** Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des Hautes
Plaines Steppiques et de l'Atlas saharien algérien : annexes, tableaux et cartes. Mémoire OPU,
Alger (Algérie). 177 p.

***Djehaiche, M., Hamadou, S. (2016).** Etude comparative de deux sources thermales : la source
Djaarir et la source Tamersit .Mémoire de Master Université Abbes Laghrour –khenchela.

***Djoghla, A., Ghedjmis, A. (2016).** L'impact de la centrale de la turbine à gaz de f'kirina sur
les eaux, Mémoire de Master Université Abbes Laghrour –khenchela.

* **Derradji, F¹., Nacer, K¹., Michèle, R²., Raoul, C³. (2004).** Aptitude des eaux de la vallée de
la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien) ¹Département de géologie, Université Badji
Mokhtar, BP 12, 23000 Annaba Algérie, ²Réponse des organismes aux stress environnementaux
(ROSE), Inra-Université de Nice-Sophia Antipolis, BP 71, Parc Valrose, 06108 Nice cedex 02
France, ³Institut des relations internationales avec la Mauritanie (IRIM), Université de Nice-
Sophia Antipolis, Parc Valrose, 06108 Nice cedex 02 France

-E-

***Emsalem, R. (1989).** Climatologie générale, tome I, édition ENL, Alger, 487p.

-G-

***Gaagai, A. (2009).** Etude hydrologique et Hydrochimique du Bassin versant du barrage de
Babar sur Oued El ARAB région est de l'Algérie. Thèse de Magistère. Université de Batna,
113p. Indice d'aridité de Martonne.

***Gausson., Henri., Bagnouls. (1953).** Saison Sèche Et Indice Xérothermique, Faculté Des
Sciences, Université De Toulouse.

***Glinka, N. (1977).** Chimie Générale. Sous La Réduction De V.RABINOVITCH. Tome Ii. Ed.
Mir Moscou. P 576.

-H-

***Houha, B. (2007).** Etude des fonctionnements hydrogéochimiques et salins de bassin semi-aride de Remila Khenchela. Thèse de doctorat ; Institut hydrogéologique, Université de Annaba.

-I-

***ISO N° 6878. (2004).** Qualité de l'eau, Dosage du phosphore, Méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium Second édition.

-K-

***Kahoul, M., Touhami, M. (2014).** Evaluation De La Qualite Physico-Chimique Des Eaux De Consommation De La Ville D'annaba (Algerie), Laboratoire des sols et développement durable, Faculté des sciences, Université Badji Mokhar, Annaba BP 12, Algérie.

-L-

***Lakhdhari, S. (2012).** Etude de la qualité des eaux de l'aquifère du bassin versant de Foug el Gueiss (wilaya de khenchela). Thèse de Magistère en Ecologie et Environnement.

-M-

***Maache, D., Nasri, N. (2015).** Impact des rejets de l'usine de baryte sur la qualité des eaux souterraine d'Ain Mimoun (wilaya de khenchela). Mémoire de Master, Université Abbes Laghrour –Khenchela.

***Marouf, Z. (2007).** Description et fonctionnement du système anti-pompage du Boeing 737/800 Université Saad Dahleb de Blida - D-E-U-A en Aeronautique Option Propulsion 2007

-N-

***NF T 90-033. (1985).** Essais des eaux - Détermination de la turbidité - Méthode de mesure instrumentale de la turbidité

-R-

***Ramade. (1984).** Éléments d'écologie: écologie fondamentale, (1^{re} édition, Mc Graw Hill, 1984).397p

***Ramade, F.(2003).**élément d'écologie, écologie fondamentale 3^{ème} édition Dunod, paris pp 1075

***Rejesek, F. (2002).** Analyse des eaux - Aspects réglementaires et techniques. Canopé-CRDP de Bordeaux (ed). 360p

***R J Bouchet. (1998).** Évapotranspiration Réelle Et Potentielle Signification Climatique Station centrale de Bioclimatologie, Versailles Institut national de la Recherche agronomique (France)

***Rodier, J. (1971).** L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau : eaux naturelles - eaux résiduaires / 4^{ème} éd Edition Dunod.

***Rodier, J. (1984).** L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer), 7^{ème} édition. p. 177. Edition Dunod, Paris, France.

***Rodier, J. (1996).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} édition Dunod, Paris.

* **Rodier, J. (2005).** L'analyse De l'eau (Eaux Naturalles Residuaires Eau De Mer), 8^e Edition

***Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J., Leroy, P., Houssin, M., Lavison, G., Bechemin, C., Vincent, M., Rebouillon, P., Moulin, L., Chomodé, P., Dujardin, P., Gosselin, S., Seux, R., Almardini, F. (2009).** L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. Dunod. France. 1511 p.

***Rodier, J. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} édition (Entièrement mise à jour), Ed. Dunod, Paris.

-S-

***SAMAK, H. (2002)** .Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001, 77p.

* **Savary, P. (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial Voiron. 261 p.

* **Schoeller, H. (1962).** Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.

LES RÉFÉRENCES ÉLECTRONIQUES :(sites, web)

*<http://www.univ-khenchela.dz/pr%C3%A9sentation/ville-khenchela.html>

*www.oieau.org

*<http://chimie.wifeo.com/>

*http://podcast.amarc.org/africa/ACDI_water/RDC/RKL/emission3.doc

* <https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm>

* <http://www.siare95.fr/lexique/turbidite>

*<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/documents/volume1.pdf>

*http://inspectech-estrie.com/traitement-eau/files/2011/03/nitrate_nitrite-fra.pdf

Nom : M^{elle} Merkiche, M^{elle} Messai Prénom : Sihem , Khaoula	Date de Soutenance 20/06/2018														
Master Académique en Biologie Option: Protection des écosystèmes															
Thème QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE REMILA (La wilaya de Khenchela)															
<p style="text-align: center;">Résumé</p> <p>L'eau, molécule simple, est indispensable pour la continuité de toute sorte de vie ainsi qu'au développement des populations. L'augmentation des besoins en eau et la disponibilité de l'eau de bonne qualité demeure un challenge d'actualité, particulièrement pour la wilaya de Khenchela. L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eau souterraine. La plaine de Remila de la wilaya de khenchela couvre 250 km² dans une cuvette synclinale à remplissage Mio-Plio-Quaternaire où la nappe du Plio-Quaternaire constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole.</p> <p>L'objectif de notre travail est de déterminer la qualité des eaux souterraine de la plaine de Remila. Cette étude a envisagé d'effectuer des analyses physicochimiques en vue de caractériser le milieu et mettre en évidence les paramètres qui déterminent la qualité de l'eau à savoir : la température, le Potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la turbidité, la dureté (DHT), la matière organique (MO), Nitrite (NO₂⁻), Nitrate (NO₃⁻), Chlorure (Cl⁻), Bicarbonate (HCO₃⁻²), Sulfate (SO₄⁻²), Phosphore (PO₄⁻³), Calcium (Ca⁺²), Magnésium(Mg⁺²), Sodium (Na⁺). L'hydrochimie a permis de faire une classification de l'eau en utilisant les diagrammes de Piper, Schoeler-Berkaloff, Wilcox. L'interprétation des différents résultats réalisés a été faite en les comparant aux les normes de l'OMS.</p>															
Mots clés : Qualité des eaux, La plaine de Remila, analyses physico-chimiques, normes OMS															
Jury de soutenance <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">BOUCHAMA Khaled</td> <td style="width: 25%;">MAA</td> <td style="width: 25%;">Université de Khenchela</td> <td style="width: 25%;">Président</td> </tr> <tr> <td>OUANES Miyada</td> <td>MAA</td> <td>Université de Khenchela</td> <td>Rapporteur</td> </tr> <tr> <td>MEZHOUD Amel</td> <td>MAA</td> <td>Université de Khenchela</td> <td>Examinatrice</td> </tr> </table>				BOUCHAMA Khaled	MAA	Université de Khenchela	Président	OUANES Miyada	MAA	Université de Khenchela	Rapporteur	MEZHOUD Amel	MAA	Université de Khenchela	Examinatrice
BOUCHAMA Khaled	MAA	Université de Khenchela	Président												
OUANES Miyada	MAA	Université de Khenchela	Rapporteur												
MEZHOUD Amel	MAA	Université de Khenchela	Examinatrice												