

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département Sciences de la Terre et de l'Univers.



MÉMOIRE

Présenté par

BELOUAFI Asma & KHEDIM Sanaâ

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE
DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN EL HOUTZ
(TLEMCEN, OUEST ALGERIEN).**

Soutenu le 13/07/2021 devant le jury composé de :

Président	CHIKH Mourad	M.A.A	Université de Tlemcen.
Encadrant	GUETTAIA Sabrina	M.C.B	Université de Tlemcen.
Co-Encadrant	BOUDJEMA Abderrezak	M.C.A	Université de Tlemcen.
Examinatrice	DJELAD Rahima	M.A.A	Université de Tlemcen.

Année universitaire 2020/2021.

REMERCIEMENTS

L'élaboration de ce mémoire est le fruit de cinq années d'études. Ce travail n'aurait pu voir le jour, sans la collaboration de nombreuses personnes qu'il nous est agréable de les remercier.

Nous remercions « Allah » le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'études.

Nous exprimons notre sincère gratitude à M^{me} S. GUETTAIA et à Mr. A. BOUDJEMA de nous avoir fait confiance, ainsi que pour leur disponibilité, leur patience et leurs généreux conseils, tant scientifiques qu'humains qui ont été d'une grande valeur.

Merci pour votre aide inestimable, vos précieux conseils avisés ont été très utiles pour améliorer et développer notre esprit critique et scientifique.

C'est un honneur pour nous de voir dans notre jury : Monsieur CHIKH.M et Madame DJELAD.R. qu'ils soient vivement remerciés.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Tlemcen.

Et enfin, nous tenons à remercier tous nos amis (es) qui nous ont aidé et encouragé pour réaliser ce mémoire.

DEDICACES

-À mes parents,

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les Sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

-À mes chers et adorables frères,

-À ma grand-mère chérie,

-À mon grand-père que j'aime,

-À la mémoire de mon grand-père,

-À mes chers oncles, tantes, leurs époux et épouses à mes chers cousins et cousines.

L'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

-À mon Binôme : khedim Sanaa

--À tous mes amis et mes camarades d'hydrogéologie

-À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail, à tous ceux que j'ai omis de citer.

ASMA

DÉDICACE

**Tout d'abord, Grâce à Dieu tout puissant et en signe de reconnaissance pour ma réussite et ma volonté pour mener ce travail à terme...*

Je dédie ce modeste travail à :

**Mes très chers parents, ils m'ont toujours mené le sentiment de la fierté et n'ont jamais hésité de me supporter dans ma vie personnelle et dans mon chemin d'étude, je vous aime beaucoup Maman et papa, , je vous souhaiterai une longue et joyeuse vie.*

**Mon très cher mari et l'homme de ma vie qui a un grand rôle dans ce travail, qui a pu voir le jour avec ses sacrifices et ses favorises et bien sûre avec son support moral que dieu réunisse nos chemins.*

**Ma petite princesse Ghina, tu es mon cœur et ma joie dans la vie.*

**Ma chère belle mère qui a un grand rôle dans ce travail, elle m'a beaucoup aidé, je lui souhaite une longue et joyeuse vie.*

**Mon cher frère Imad et ma chère sœur meriem, avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

**Mes chères belles sœurs, avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

**A Ma chère nièce Zorhene, avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

**À toute ma famille.*

**À mon Binôme : BELOUAFI Asma*

**À Mes amies et à toute la promotion d'hydrogéologie 2020-2021.*

Sanaa

ملخص

المساهمة في دراسة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه منبع عين الحوت (تلمسان ، غرب الجزائر).
الهدف من هذا العمل هو دراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية وأصل التمدن لمنبع عين الحوت ببلدية شتوان بقرية عين الحوت التي تحمل اسمه.

وبحسب نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية التي تمكنا من الحصول عليها تبين أن مياه منبع عين الحوت لم تكن صالحة للشرب خلال فترات الدراسة نظرا لارتفاع معدلات النترا مع ارتفاع نسبة النترا. باستثناء تواريخ قليلة. أظهر التحليل البكتريولوجي الذي تم إجراؤه في 14 يونيو 2021 في مختبر ADE / تلمسان، أن المنبع يتجاوز المعايير المسموح بها لمجموع الجراثيم (عند 37 درجة مئوية و 22 درجة مئوية) وللمكورات العقدية البرازية.

أظهر مخطط Stabler أن السحنات السائدة هي بيكربونات الكالسيوم.
صنف مخطط Piper مياه منطقة الدراسة إلى عائلتين: بيكربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم وهي السائدة.

أظهر تقدير المياه المستخدمة في الري، باستخدام المؤشرات ، مثل Na^+ و KR ، أن مصدر المياه ، بحساب Na^+ ، من جودة جيدة إلى جيدة جدًا. بالنسبة إلى KR ، يتم تصنيفها على أنها ذات نوعية جيدة للري.

أظهر الرسم البياني RIVERSIDE أن مصدر عين الحوت مصنف إلى فئتين:

* C3-S1: ممثلة بمعظم النقاط وهي مقبولة للري

* C2-S1: تمثلها العينات رقم 4 و 8 و 28 وهي ذات نوعية جيدة.

وفقاً لـ WILCOX ، ينقسم المصدر إلى فئتين: ممتاز وجيد لغالبية النقاط التي تم تحليلها.

سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم أصل التمدن الذي يرجع إلى الطبيعة الكربونية للخزان الجوي ، والعوامل البشرية ، ومعدلات تدفق المصدر.

الكلمات المفتاحية: عين الحوت - تحليلات فيزيوكيميائية - بكتريولوجية - Diagrammes - صالحة للشرب - الري - PHREEQ-C

- XLSTAT – A.C.P

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN EL HOUTZ (TLEMCCEN, OUEST ALGERIEN).

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité physico-chimique et l'origine de la minéralisation de la source d'Ain El Houtz, située dans la commune de Chetouane, au village d'Ain El Houtz, qui porte son nom.

D'après les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques que nous avons pu obtenir, il s'est avéré que les eaux de la source d'Ain El Houtz étaient non potables dans les périodes d'étude, vu les taux très élevés en nitrates, à l'exception de quelques dates. L'analyse bactériologique faite le 14 juin 2021 au laboratoire de l'ADE/Tlemcen a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C et à 22°C) et en Streptocoques fécaux.

Le diagramme de Stabler a montré que le faciès dominant est bicarbonaté calcique.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles : Bicarbonatée et sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne qui est la plus dominante.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na^+ , et le KR a fait révéler que les eaux de la source, en calculant le % en Na^+ est de qualité bonne à très bonne. Pour le KR, elles sont classées de bonne qualité pour l'irrigation.

Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source d'Ain El Houtz est classée dans deux classes :

* C3-S1 : représentée par la plupart des points, elle est admissible pour l'irrigation

* C2-S1 : représentée par les échantillons n°4, 8 et 28 ils sont de bonne qualité.

Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne pour la majorité des points analysés.

L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation qui est due à la nature carbonatée de l'aquifère, aux facteurs anthropiques et aux débits de la source.

Mots clés : Ain El Houtz- Analyses physico-chimiques et bactériologiques- Diagrammes- Potabilité- Irrigation - XLSTAT - PHREEQ C - ACP.

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF THE PHYSICO-CHEMICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE SOURCE OF AIN EL HOUTZ (TLEMEN, WEST ALGERIA).

The objective of this work is to study the physico-chemical quality and the origin of the mineralization of the spring of Ain El Houtz, located in the commune of Chetouane, in the village of Ain El Houtz, which bears its name.

According to the results of the physico-chemical and bacteriological analyses, that we were able to obtain, it turned out that the waters of the spring of Ain El Houtz were not drinkable in the periods of study, seen the very high levels of nitrates, except for some dates. The bacteriological analysis made on June 14, 2021 at the ADE/Tlemcen laboratory showed that the spring water exceeds the admissible standards in total germ (at 37°C and 22°C) and in fecal Streptococci.

The Stabler diagram showed that the dominant facies is calcic bicarbonate. The Piper diagram classified the waters of the study area into two families: Bicarbonate and sulfate calcic and magnesian and bicarbonate calcic and magnesian which is the most dominant.

The estimation of the waters for irrigation purposes, using indices, such as the percentage in Na^+ , and the KR revealed that the waters of the source, by calculating the % in Na^+ is of good to very good quality. For KR, they are classified as good quality for irrigation.

The RIVERSIDE diagram showed that the spring of Ain El Houtz is classified in two classes:

* C3-S1: represented by most points, it is eligible for irrigation.

* C2-S1: represented by the samples n°4, 8 and 28, they are of good quality.

According to WILCOX, the source is divided into two classes: Excellent and good for the majority of the analyzed points.

The statistical study allowed us to understand the origin of the mineralization which is due to the carbonate nature of the aquifer, anthropic factors and the flow rates of the source.

Key words : Ain El Houtz- Physico-chemical and bacteriological analyses- Diagrams- Potability- Irrigation - XLSTAT - PHREEQ C - ACP.

LISTE DES ABREVIATIONS

P : Précipitations.

T : Température.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

AEP : Alimentation en eau potable.

IRR: irrigation.

BI : Balance Ionique.

Meq/l : Milliéquivalent par litre.

r : quantité en réaction.

pH : potentiel Hydrogène.

CE: Conductivité électrique.

TH: dureté totale.

°F: degré français.

RS : Résidu Sec.

Ca⁺² : Ion Calcium.

Mg⁺² : Ion Magnésium.

Na⁺ : Ion Sodium.

K⁺ : Ion potassium.

HCO₃⁻ : Ion Bicarbonate.

Cl⁻ : Ion Chlorure.

SO₄⁻ : Ion sulfate.

NO₃⁻ : Ion Nitrate.

C.M.A : Concentration Maximale Admissible.

Kr : Indice de Kelly's Ratio.

Na% : Pourcentage en sodium.

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

A.C.P. : Analyse en Composante Principale.

F1 : Facteur 1.

F2 : Facteur 2.

A.D.E. : Algérienne Des Eaux.

A.N.R.H. : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Jora : Journal Officiel de la République Algérienne.

LISTES DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1: Situation géographique de la wilaya de Tlemcen.....02

Figure I.2 : Situation géographique du village d'Ain El Houtz.....04

Chapitre II

Figure II. 1 : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen(1995-2020).....06

Figure II.2 : Histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen.....07

Figure II.3 : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen.....08

Figure II.4 : Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen.....09

Figure II.5: Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen.....10

Figure II.6: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.....12

Figure II .7 : Climagramme d'Emberger.....16

Figure II .8 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT).....20

Figure II .9 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P.VERDEIL, 1988)....22

Chapitre III

Figure III.1 : Colonne stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest M. & Bensalah M., 1999; in Bensaoula F., 2006).27

FigureIII.2 : Carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922).....32

Chapitre IV

Figure IV.1 : Log litho-stratigraphique du forage d'Ain El Houtz.(Bensoula2006).....38

Figure IV.2: Coupe schématique de la source d'Ain El Houtz (Hayane.S.M,1983).....39

ChapitreV

FigureV.1: Histogramme du pH.....41

FigureV.2 : Histogramme des conductivités électriques.....42

FigureV.3 : Histogramme des résidu secs.....46

FigureV.4 : Histogramme de Calcium.....47

Figure V.5: Histogramme de Magnésium.....47

FigureV.6 : Histogramme de Sodium.....48

FigureV.7 : Histogramme de potassium	48
FigureV.8 : Histogrammes des Chlorures.....	49
FigureV.9 : Histogramme des Sulfates.....	49
FigureV.10 : Histogramme des Bicarbonates.....	50
FigureV.11 : Histogramme des nitrates.....	50
FigureV.12 : diagramme de stabler.....	54
Figure V.13 : Diagramme dePiper.....	55
FigureV.14 :DiagrammeWilcox.....	64
Figure V.15 : Diagramme deRiverside.....	65

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre II

Tableau II.1 : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen.....	05
Tableau II.2 : Précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen(1995-2020).....	06
Tableau II.3 : Précipitations moyennes mensuelles en mm	07
Tableau II.4 : Précipitations saisonnières en (mm)	08
Tableau II.5 : Température moyennes maximales et minimales de la station de Tlemcen.....	08
Tableau II.6 : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	10
Tableau II.7 : Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.....	13
Tableau II. 8 : Indice de Moral, à la station de Tlemcen.....	13
Tableau II.9 : Valeurs des indices mensuels de Moral, à la station de Tlemcen.....	14
Tableau. II.10 : Valeurs des indices mensuels de Moral à la station de Tlemcen.....	15
Tableau II. 11 : Indice d'Emberger de la station de Tlemcen.....	16
Tableau II. 12 : Calcul de l'ETR par la méthode de TURC.....	18
Tableau. II.13 : valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt).....	19
Tableau. II.14 : Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL).....	21
Tableau. II.15 : Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Tlemcen (1995-2020).....	23
Tableau. II.16 : Calcul du bilan hydrologique de la station de Tlemcen (1995-2020) selon C.W Thornthwaite.....	24

Chapitre V

Tableau V.1 : Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J.,2009).....	42
TableauV.2 : Classification des eaux en fonction de la dureté.....	43
Tableau V.3 : Dureté totale d'eaux de la source.....	43
Tableau V.4 : Classification des eaux de la source d'Ain El Houtz, selon les normes algériennes.....	56

Tableau V.5 : Analyses bactériologiques de la source d'Ain El Houtz (A.D.E 14 juin ,2021).....	57
Tableau V.6 : Classification des eaux selon l'indice de Kelly's Ratio.....	58
Tableau V.7 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na.....	59
Tableau V. 8 : Pourcentages en sodium de la source étudiée.....	59
Tableau V.9 : Classification des eaux destinées à l'irrigation (Servant 1975).....	64
Tableau V.10. : Indice de saturation d'après PHREEQ C.....	66
Tableau V. 11 : Matrice de corrélation.....	70
Tableau V.12 : Paramètres statistiques des variables.....	70
Tableau V.13 : Pourcentage des facteurs cumulés.....	71
Tableau. V 14. : Distribution des facteurs.....	71

ANNEXES

ANNEXE 01 : Précipitations moyennes annuelles de la station de Tlemcen 1995 à 2020.....	77
ANNEXE 02 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Tlemcen 1995-2020.....	78
ANNEXE 03 : Balance Ionique.....	79
ANNEXE 04 : Statistiques descriptives.....	82

TABLE DES MATIERES

Remerciements	I
Dédicaces	II
ملخص.....	V
Résumé	V
Abstract	VI
Liste des Abréviations	VII
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Introduction générale	01

CHAPITRE I :CADRE GEOGRAPHIQUE

I.1 générale	02
I.2 Situation géographique de la zone d'étude.....	03

CHAPITRE : II CADRE CLIMATOLOGIQUE

II.1.Introduction	05
II.2 L'étude des paramètres climatologique.....	05
II.2. Précipitations	05
1).Précipitations moyennes annuelles	06
2).Précipitations mensuelles	07
3) Précipitations saisonnières	07
II.3.Étude des températures	08
II.4.Étude du climat.....	09
Méthodes graphiques (méthodes de visualisation)	10
• Les courbes pluvio-thermiques	10
B.Indices climatiques	11
B.1. Indice d'aridité annuel de De. Martonne	11
• Indice d'aridité mensuel de De. Martonne	12
B.2. Indice de Moral (1964)	13
• indice annuel (Ia)	13
• indice mensuel (Im)	13
3.Climagramme d'EMBERGER	15

4.indice de Stewart	16
II.5.Bilan hydrologique	17
Evapotranspiration et déficit d'écoulement	17
Evapotranspiration réelle (ETR)	17
➤ Formule de TURC	18
➤ Méthode de COUTAGNE	18
➤ Méthode de WUNDT	19
➤ Méthode de P. VERDEIL	21
Evapotranspiration potentielle (ETP)	22
❖ Méthode de THORNTHWAITE	22
Evapotranspiration réelle (ETR)	23
Calcul de la réserve en eau du sol	24
Calcul de la réserve facilement utilisable (R.F.U)	24
II.6. Conclusion	25

CHAPITRE III : CADRE GEOLOGIQUE

1. Introduction.....	26
2. Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen.....	26
• Le Secondaire.....	27
1. Le Trias.....	27
2. Le Lias et le Dogger.....	28
3. Les argiles de Saida.....	28
4. Les grès de Boumédiène.....	28
5. Les calcaires de Zarifet	28
6. Les dolomies de Tlemcen.....	29
7. Les calcaires de Stah	29
8. Les marno- calcaires de Raourai.....	29
9. Les calcaires de Lato.....	29
10. Les Dolomies de Terni.....	29
11. Les marno-calcaires d'Hariga.....	30
12. Marno-calcaires d'Oueld Mimoune	30
❖ Le Crétacé	30
o Les argiles de Lamoricière	30
o Les grés de Berthelot	30

o Les calcaires de Zigyne.....	30
• Le Tertiaire	30
❖ L'Eocène	30
❖ Le Miocène	31
o Inférieur	31
o moyen (Serravallien)	31
o Supérieur (tortonien)	31
• Le plio-quadernaire	31
3. Analyse structurale	32
❖ Les principales phases tectoniques	33
1. Phases distensive éocrétaé	33
2. Phases atlasique	33
3. Une importante phase de compression N-S avec un paroxysme Miocène probable.	33
4. Une phase à dominance distensive	34
5. Phase récente (Plio-Quadernaire)	34
❖ Les unités structurales	34
✓ Zone synclinale de Terni	34
✓ Zone effondrée de Tlemcen	34
✓ Zone haute des Djebels Tefatisset et Tefatisset et Ain El Houtz	34
✓ Zone d'Er-Ramlya	34
Conclusion	35

CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOLOGIQUE

V.1 Introduction	36
V .2 Propriétés hydrogéologiques des formations	36
V .2-1. Les formations à forte capacité de rétention souterraine	36
• Les formations calcaires du Jurassique	36
• Les dolomies de Tlemcen.....	36
• Les dolomies de Terni	36
V .2-2. Les formations à capacité de rétention souterraine faible à très faible	36
• Les conglomérats du Miocène inférieur	36
• Les grès de Boumediène.....	36
• Marno-calcaires de Raouraï, d'Hariga et de Lamoricière	37
• Grès de Merchiche	37

V.3 Les formations hydrogéologiques de la région étudiée.....	37
• Les formations du Jurassique supérieur	37
• Les formations du Crétacé	37
• Les formations du Mio-Plio-Quaternaire	37
V.4 Source d'Ain El Houtz	39
Conclusion	39

CHAPITRE V : CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

V.1.Introduction	40
V.2.Balance ionique	40
V.3.études des paramètres physico-chimiques	40
Potentiel d'hydrogène (pH)	41
La conductivité	41
Minéralisation	41
La dureté totale (TH)	42
Résidu sec	46
Les cations	46
L'ion calcium	46
L'ion magnésium	47
L'ion sodium	47
L'ion potassium	47
L'ion ammonium	48
Les anions	48
L'ion chlorure	48
L'ion sulfate	49
L'ion bicarbonate	49
L'ion nitrate	50
V.4.Classification des eaux	51
a.Diagramme de Stabler	51
b.Représentation graphique selon PIPER	54
c.Potabilité des eaux étudiées (classification selon les normes algérienne)	55
▪ Classification des eaux selon les paramètres physico-chimiques	55

▪ Classification des eaux selon les analyses microbiologiques	56
V .5 Aptitude des eaux destinées à l'irrigation	57
a) Indice de Kelly's Ration (Kr)	57
b) Le pourcentage en sodium	59
* Diagramme de WILCOX	62
c) Sodium Alcalinity Ratio "SAR"	63
V.6.Origine de la minéralisation	66
a)Indice de saturation	66
V.7. Etude statistique	69
a) Matrice de corrélation	69
b) Coefficient de variation	70
V.6.4. Analyse en composante principale	71
V. 7. Conclusion	72
CONCLUSION GENERALE	74
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
ANNEXES.	78

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La ville de Tlemcen est située à l'extrême nord-ouest de l'Algérie, elle est reconnue par sa richesse en eaux souterraines et de surfaces, par sa géologie complexe et diversifiée qui a donné la faveur au jaillissement de plusieurs sources.

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié du point de vue hydro-géochimique l'eau de la source d'Ain El Houtz qui se trouve dans la Daïra de Chetouane (Tlemcen), dont le but est d'identifier sa qualité pour la consommation humaine et l'irrigation, ainsi que pour voir l'origine de sa minéralisation.

Il s'étale en cinq parties :

- ✓ **Cadre Géographique:** situation géographique et présentation de la zone étudiée.
- ✓ **Cadre climatologique :** pour déterminer le type du climat qui caractérise la zone d'étude ainsi que les variations des paramètres climatiques.
- ✓ **Cadre Géologique :** Description des différentes formations géologiques et les grands traits structuraux présents dans la zone d'étude.
- ✓ **Cadre Hydrogéologique :** identification des formations géologiques qui peuvent être aquifères.
- ✓ **Cadre Hydrogéochimique:** Détermination de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source, leurs faciès, leurs potabilité selon les normes algériennes et aussi leurs aptitudes pour l'irrigation, afin de comprendre l'origine de la minéralisation.

Ce travail sera achevé par une **Conclusion Générale**.

Chapitre I : Situation géographique

I.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE GENERALE :

La wilaya de Tlemcen, limitrophe au Maroc, occupe la zone occidentale de l'Oranie. Elle correspond au vaste bassin de l'oued Tafna. La diversité du relief explique la vocation de cette région, zone de passage entre le Maroc et l'Oranie, entre la Méditerranée et le Sahara. Elle est située sur le littoral nord-ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 120 km (Wikipédia).

La wilaya de Tlemcen s'étend sur une superficie de 9017 ,69 Km² et compte au dernier recensement une population de l'ordre de 1018978 habitants, soit une densité moyenne de 113 habitants/ Km² (Recensement Général de la Population et de l'Habitat /RGPH 2013).

Elle est limitée géographiquement (**Fig01**) :

- Au Nord, par la mer Méditerranée.
- Au Nord-est, par la wilaya d'AïnTémouchent.
- A l'Est, par la wilaya de Sidi Bel-Abbès.
- A l'Ouest, par la frontière algéro-marocaine.
- Au Sud, par la wilaya de Naâma.

La wilaya de Tlemcen constitue un paysage diversifié, où l'on rencontre quatre ensembles physiques distincts :

- La zone Nord est constituée des Monts des Traras et Sebâa Chioukh.
- Un ensemble de plaines agricoles caractérisé par de fortes potentialités agricoles, un tissu urbain dense, un bon réseau routier et une importante activité industrielle.
- Les monts de Tlemcen qui font partie de la chaîne de l'Atlas tellien.
- La zone sud constituée par les hautes plaines steppiques.

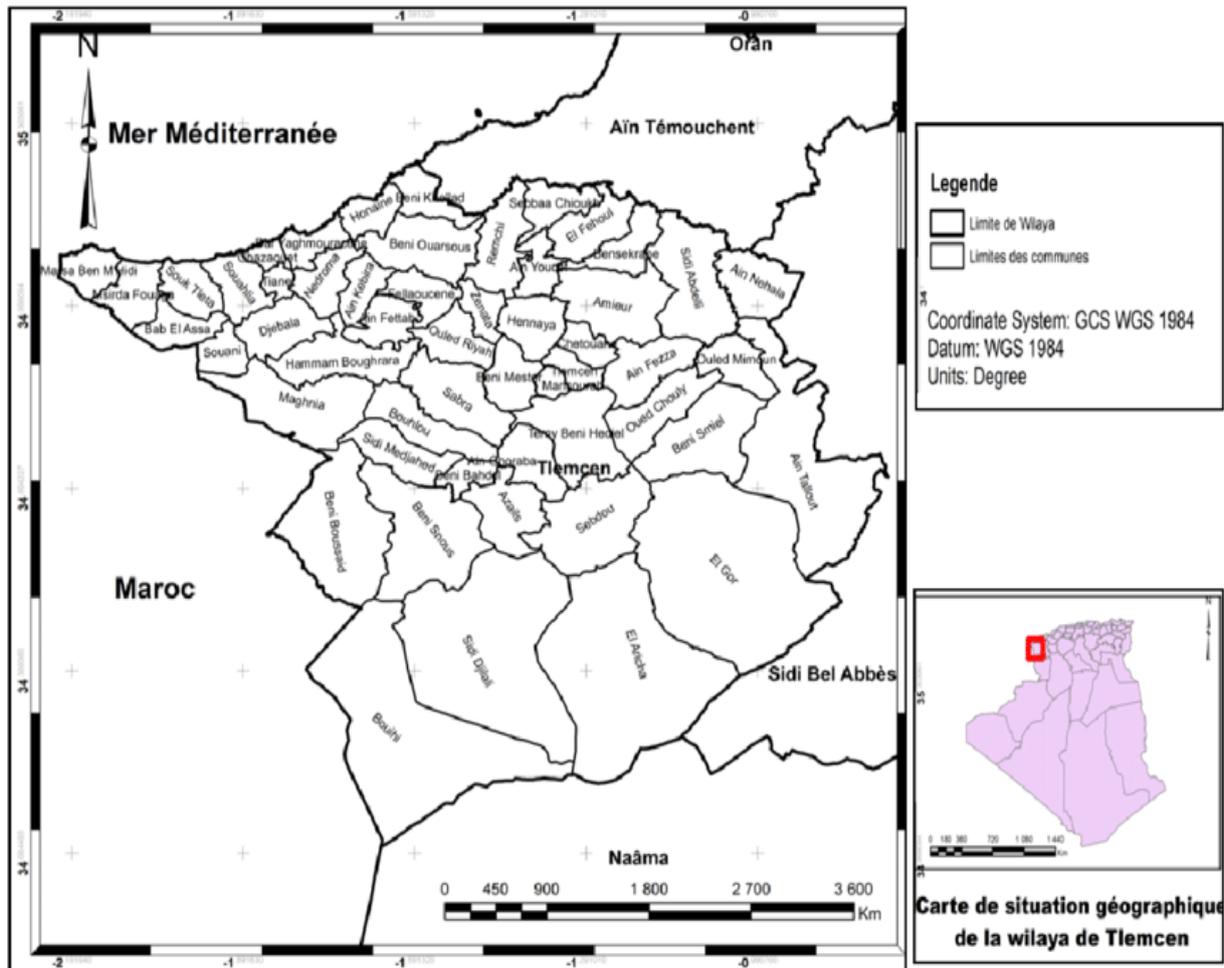


Fig01 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen.

2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE :

La source d'**Ain El Houtz** se trouve à l'entrée du village d'Ain El Houtz, situé à environ 08 km au Nord du chef lieu Tlemcen ville .Pour arriver à la source, on emprunte la route qui mène au village du même nom . Cette route suit le court d'un ruisseau qui s'appelle Chaabet el Horra. Le village est en partie perché sur la rive gauche de cette Chabet. La source se trouve en plein centre de l'agglomération aux coordonnées : $X = 132.750$, $Y = 189.050$, $Z = 521$ m.

La zone étudiée est limitée :

Au Nord et à l'Est, par la vallée d'Oued Sikkak.

A l'Ouest, par Djebel Aïn-El-Houtz.

Au Sud , par Chaabet El Horra.

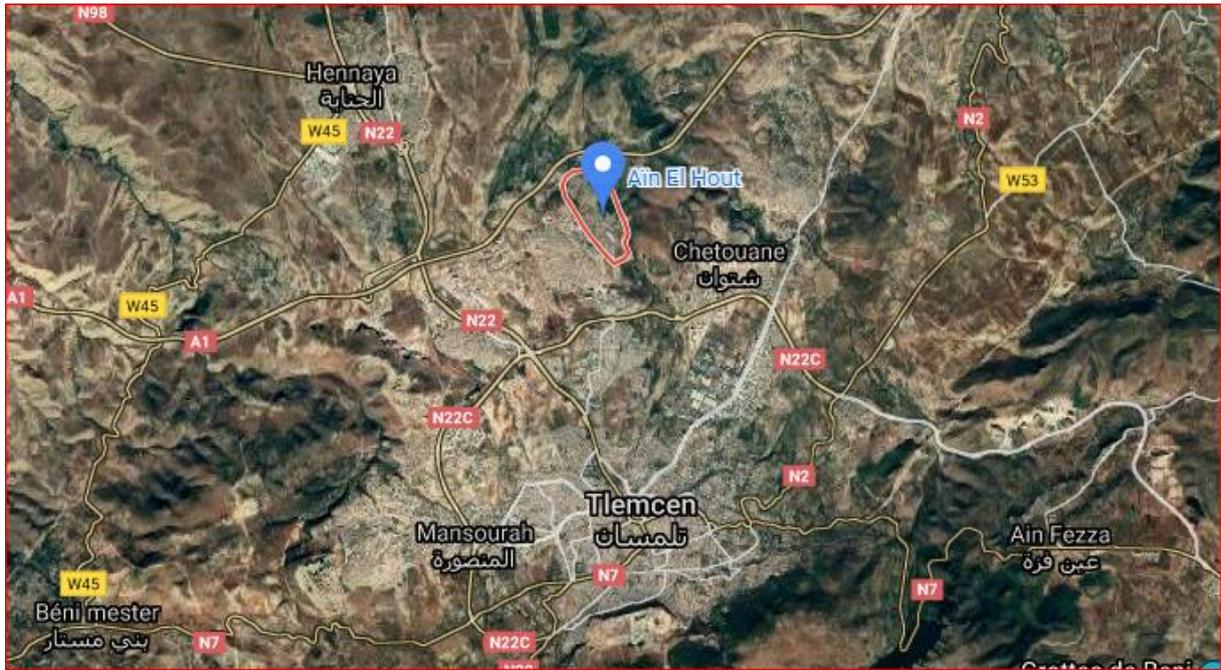


Fig01 : Situation géographique du village d'Ain El Houtz (google map).

CHAPITRE II : *Cadre climatique*

II 1. Introduction:

La climatologie est l'étude du climat et de l'état moyen de l'atmosphère, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps.

L'objectif de ce chapitre est la détermination du type du climat régnant dans la région d'étude. Pour mener cette étude, nous avons utilisé les données climatiques de la station de Tlemcen sur la période qui s'étend de 1995 à 2020.

Tableau II. 1 : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen

Station	Altitude (m)	Latitude	longitude
Tlemcen/A.N.R.H	832	34°52' N	01°19' W

II.2 L'étude des paramètres climatologiques :**II.2.1 Les précipitations :**

Le mot précipitation désigne tout ce qui provient de l'atmosphère sous forme d'eau liquide ou solide ;on parle de toutes les particules d'eau (gouttelette, gouttes, neige, grêle,etc.) qu'on trouve dans l'atmosphère.

1) Précipitations moyennes annuelles :

Tableau. II.2 : Précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen(1995-2020)

Années	P(mm)	Années	P(mm)	Années	P(mm)
1995-1996	660,2	2004-2005	376	2012-2013	902,4
1996-1997	409,7	2005-2006	485,8	2013-2014	658,6
1997-1998	528,2	2006-2007	403,8	2014-2015	565,6
1998-1999	474,5	2007-2008	376,3	2015-2016	561,4
1999-2000	338,5	2008-2009	817,3	2016-2017	545,1
2000-2001	465,1	2009-2010	605,9	2017-2018	310,4
2001-2002	577,6	2010-2011	584,7	2018-2019	283
2002-2003	546,3	2011-2012	492	2019-2020	314,2
2003-2004	642,3				

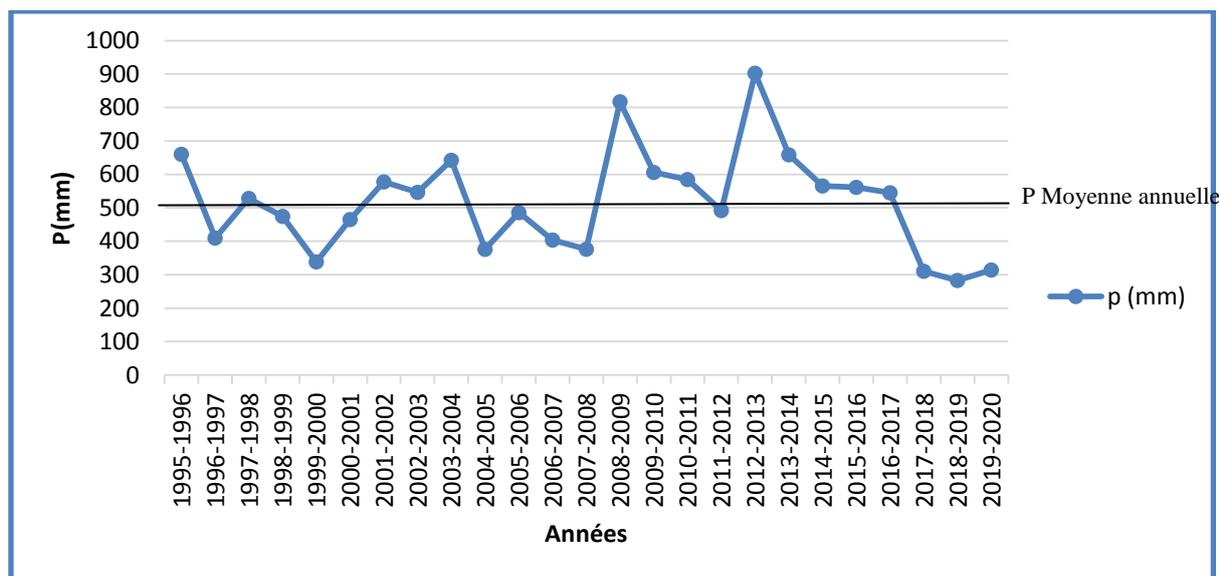


Fig. II. 1 : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

Les variations inter- annuelles des précipitations montrent que :

- Le maximum est enregistré en 2012-2013 avec 902,4 mm
- Le minimum est enregistré en 2018-2019 avec 283 mm
- La moyenne annuelle des précipitations est de 517mm.

2) Précipitations moyennes mensuelles :

Tableau II. 3 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Tlemcen (1995-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Total
P(mm)	27	49	72,4	66,4	74,3	61,1	53,2	55,9	42,1	7,1	2,6	5,8	517

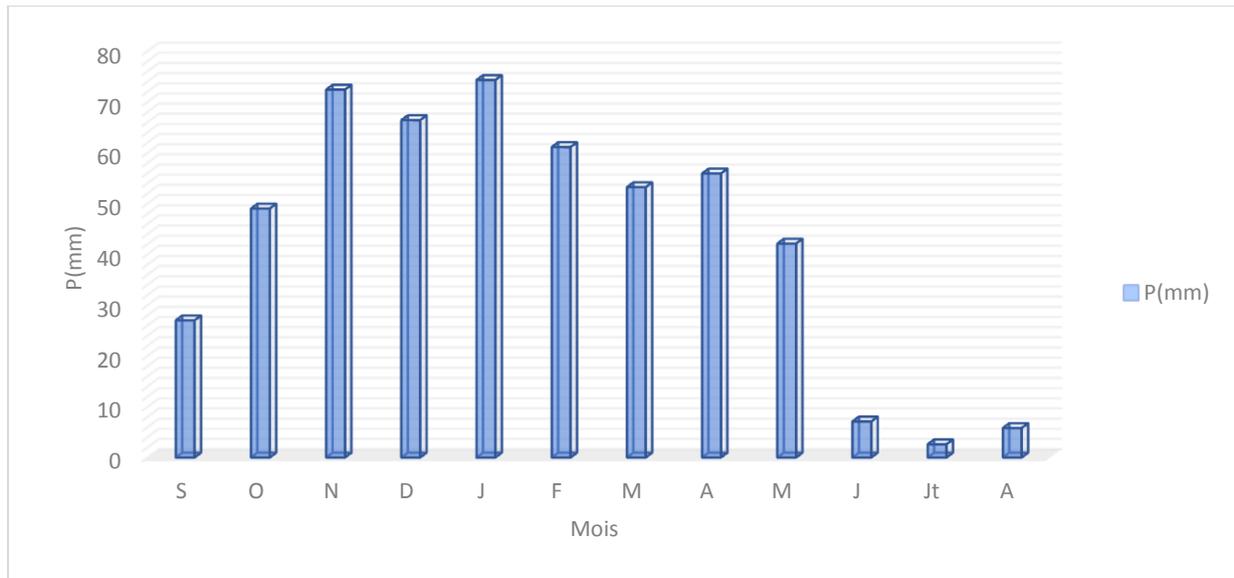


Fig. II.2 : Histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

D'après la figure N°02, on remarque que le mois de janvier est le plus humide avec 74,3mm et le mois de juillet est le plus sec, avec une moyenne de 2,6mm.

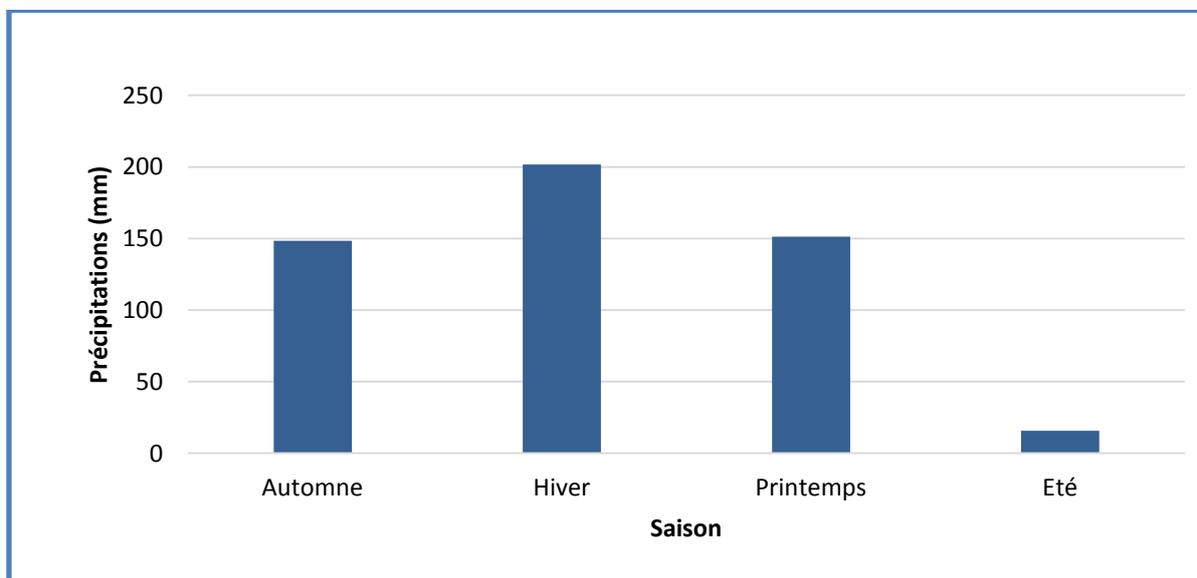
3) Les précipitations saisonnières :

Correspondent aux quatre saisons de l'année :

- Automne : Septembre, Octobre, Novembre ;
- Hiver : Décembre, Janvier, Février ;
- Printemps : Mars, Avril, Mai ;
- Été : Juin, Juillet, Août.

Tableau II.4 : Précipitations saisonnières.

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été
Précipitations (mm)	148,4	201,8	151,3	15,5

**Fig. II.3** : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen.

- L'histogramme des précipitations saisonnières nous indique que l'hiver est la saison la plus humide tandis que l'été est la saison la plus sèche.

II.2. 2 Températures :

1) Les températures moyennes mensuelles :

Les valeurs des températures moyennes maximales et minimales de la station de Tlemcen sont données dans le tableau suivant :

Tableau II.5: Températures moyennes, maximales et minimales.

Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
Tmax(°C)	29,4	25,7	19,3	16,3	15,5	16,3	18,9	21,2	24,3	29,7	33,2	33,5
Tmin(°C)	16,8	14	9,5	6,9	5,8	6,1	7,8	9,6	12,7	15,9	19,1	19,7
Tmoy(°C)	22,9	19,5	14,2	11,2	10,5	11,2	13,4	15,5	18,8	23,1	26,2	26,5

- ✓ Températures moyennes maximales =23,6 (°C)
- ✓ Températures moyennes minimales =12 (°C)
- ✓ Températures moyennes mensuelles =17,8(°C).

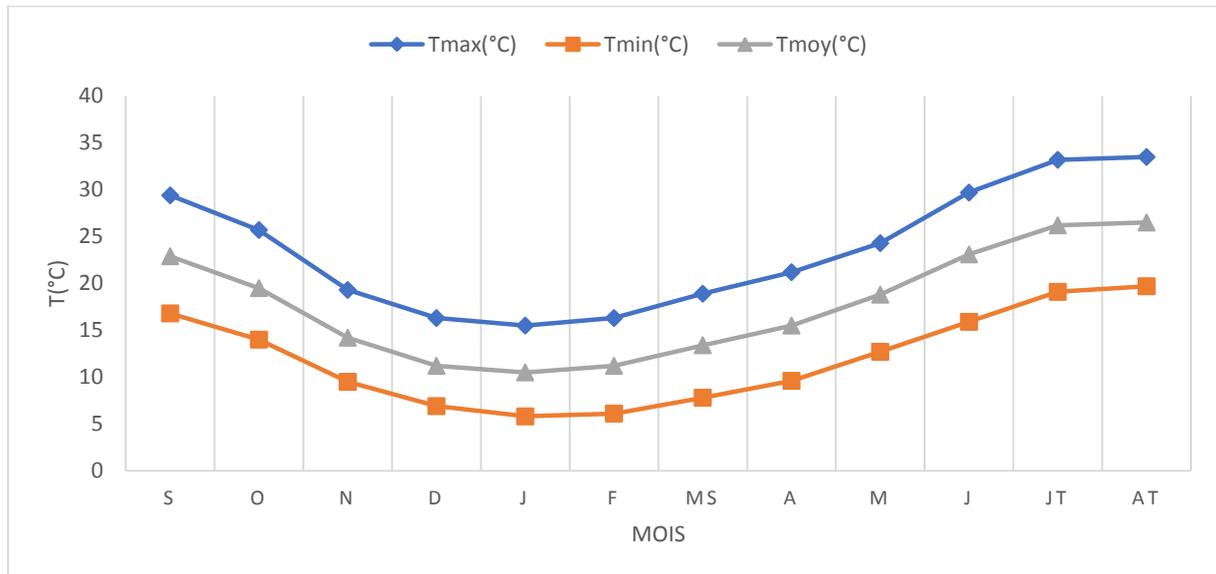


Fig. II.4 : Variations des températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen

La figure II.4, montre que la température moyenne mensuelle atteint son maximum aux mois de Juillet-Août (26.2 et 26.5°C) où la température moyenne maximale est de 33.2 °C à 33.5°C. Son minimum est enregistré au mois de Janvier avec 10.5°C, correspondant à un minimum de 5.8°C.

II.3 L'étude du climat :

Cette étude est basée sur plusieurs indices et méthodes à partir des données météorologiques afin de déterminer le type du climat de notre région d'étude.

L'étude du climat peut être réalisée à partir :

- Des méthodes de visualisation, des périodes sèches et des périodes humides
- Calcul des indices climatiques annuels et mensuels, à partir des données climatiques.

A- Méthodes graphiques (méthodes de visualisation) :

-Les courbes pluvio-thermiques :

Pour Gausсен et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne, exprimée en °C. ($P = 2T$).

- La courbe des températures passe au dessus de celles des précipitations pendant les mois secs, alors que pour les mois humides, la courbe des précipitations passe au dessus de la courbe des températures.

Tableau. II.6: Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
P(mm)	27	49	72,4	66,4	74,3	61,1	53,2	55,9	42,1	7,1	2,6	5,8
T moy(°C)	22,9	19,5	14,2	11,2	10,5	11,2	13,4	15,5	18,8	23,1	26,2	26,5

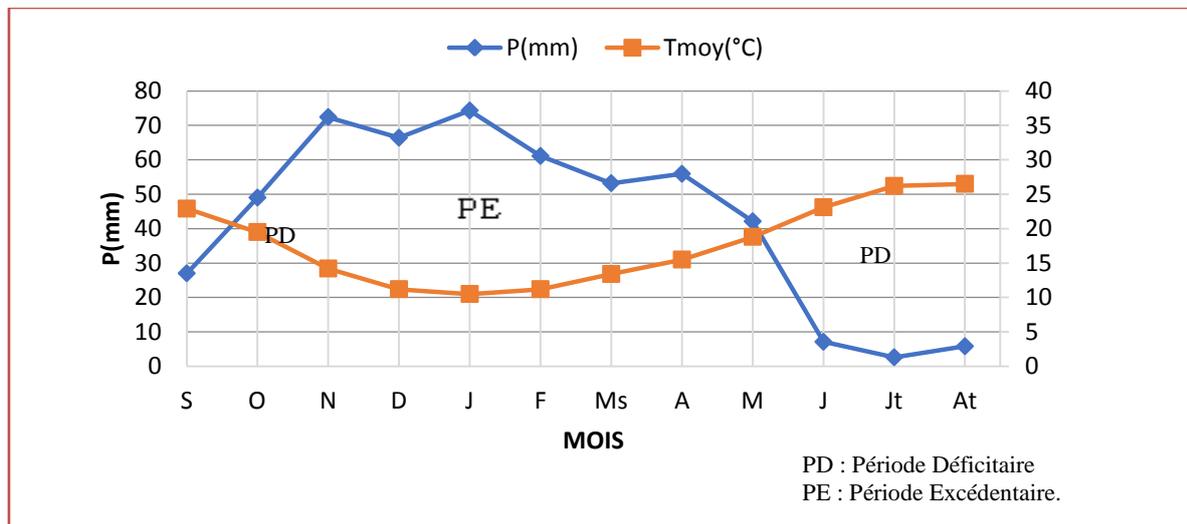


Fig. II.5: Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen

La courbe Ombro-thermique de la station de Tlemcen montre que la région est caractérisée par deux périodes climatiques :

- Une période excédentaire : entre la fin du mois de septembre et le début du mois de mai.
- Une période déficitaire : occupant les autres mois de l'année.

A-Les indices climatiques :

Les indices climatique sont les indices d'aridité de DE Martonne annuel et mensuels et l'indice de Moral.

B-1 Indice d'Aridité de DE Martonne :

En se basant sur la distribution des précipitations et des températures a proposé de classer les stations d'observation selon un indice d'aridité (I):

➤ Indice d'aridité annuel :

D'après DE Martonne, l'indice d'aridité annuel est défini comme suit :

$$I = P/T + 10$$

Avec :

P : La moyenne des précipitations annuelles (mm).

T : La température moyenne annuelle (C°).

DE Martonne propose la classification suivante :

- $20 < I < 30$ climat tempéré ;
- $10 < I < 20$ climat Semi-aride ;
- $7,5 < I < 10$ climat steppique ;
- $5 < I < 7,5$ climat désertique ;
- $I < 5$ climat hyper aride

La valeur calculée de I est comprise entre 10 et 20 et selon l'abaque de DE Martonne.

Pour la région d'étude : $P=517\text{mm}$, $T=17,8\text{ C}^\circ$ donc $I_a=18,59$ (type du climat : *semi-aride*).

La figure II.6 : montre que la région étudiée est caractérisée par un régime semi-aride avec des écoulements temporaires.

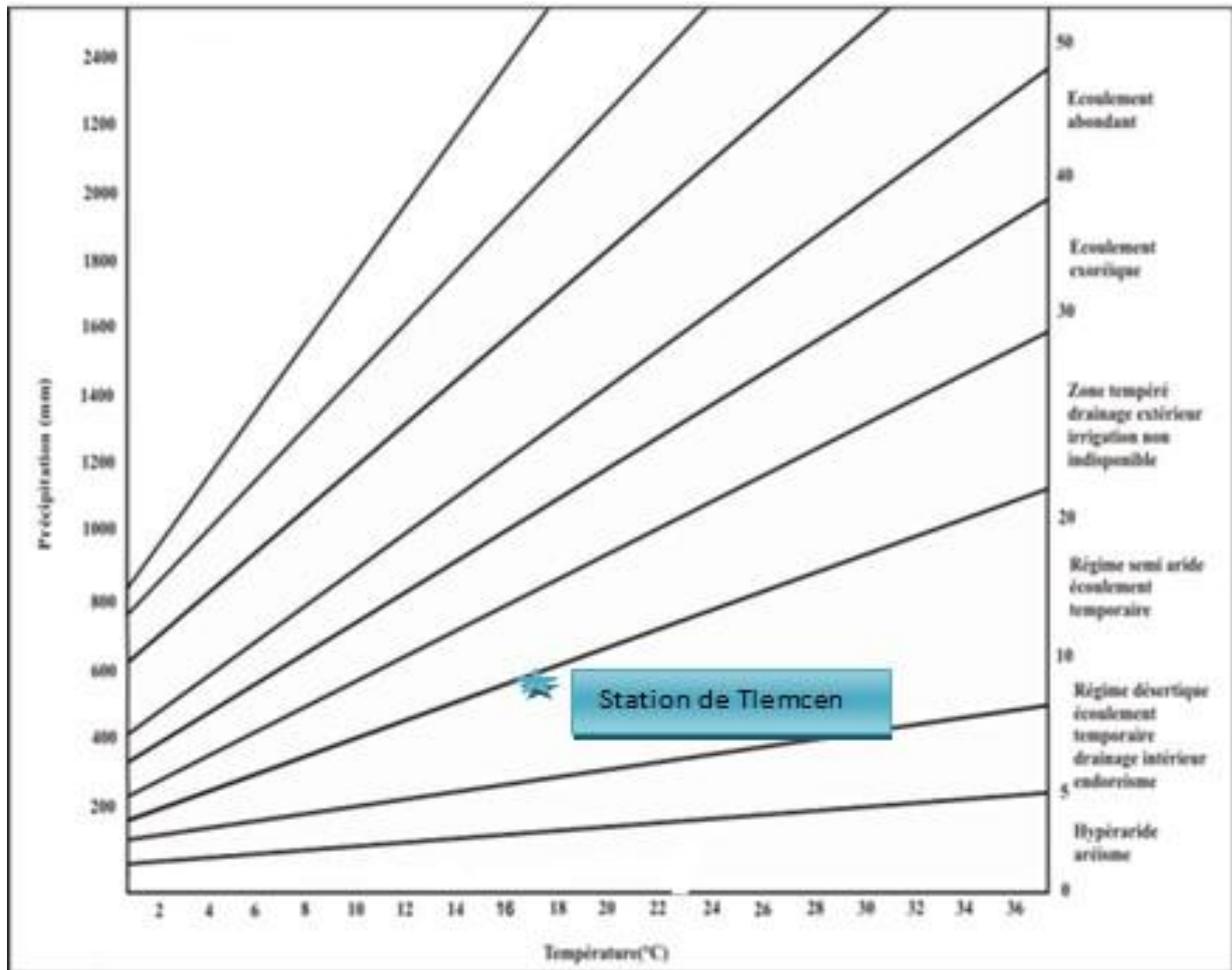


Fig. II.6: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.

➤ *Indice d'aridité mensuel de DE Martonne :*

Cet indice est donné par la relation suivante :

$$I = 12P / T + 10$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm) ;

T : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau II.7 : Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
I	6.49	7.24	8.82	10.07	10.41	10.07	9.12	8.37	7.41	6.41	5.90	5.85
Type du régime	D	D	St	S	S	S	St	St	D	D	D	D

S : Semi-aride - D : Désertique – St : steppique

B-2 Indice de Moral (1964) :

- *Indice annuel (Ia) :*

L'Indice pluviométrique annuel est donné par la formule suivante :

$$Ia = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Avec

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Température moyenne annuelle (°C)

Ia < 1 climat sec

Ia > 1 climat humide

Ia = 1.52 Donc : nous avons un *climat humide*.

Tableau II. 8: Indice de Moral, à la station de Tlemcen.

Station	P moy (mm)	T moy (°C)	Ia
Tlemcen	517	17.8	1,52

B-3 Indice mensuel (Im) :

Moral a proposé un indice mensuel donné par la formule suivante :

$$Im = P/0,1 T^2 - T + 20$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

Tableau II.9: Valeurs des indices mensuels de Moral, à la station de Tlemcen

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
P moy (mm)	27	49	72.4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7.1	2.6	6.8
T moy (°C)	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26,2	26.5
Im	0.54	1.27	2.79	3.11	3.62	2.86	2,17	1.96	1.15	0.14	0. 04	0.11

Il ya quatre types de mois signalés par Moral sont :

- Mois pluvieux : $P > 0,1 T^2 + T + 30$
- Mois humide : $0,1 T^2 + T + 30 > P > 0,1 T^2 - T + 2$
- Mois sec : $0,1 T^2 - T + 20 > P > 0,05 T^2 - T + 10$
- Mois aride : $P < 0,05 T^2 - T + 10$

Tableau. II.10 : Valeurs des indices mensuels de Moral à la station de Tlemcen.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
P moy (mm)	27	49	72.4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7,1	2,6	6,8
T moy (°C)	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26.2	26.5
0,1 T² + T + 30	105.34	87.52	64.36	53.74	51.52	53.74	61.35	69.52	84.14	106.46	124,84	126,72
0,1T² -T + 20	49.54	38.52	25.96	21.44	20.52	21.34	24.55	28.52	36.54	50.26	62.44	63.72
0,05 T² -T + 10	13.32	9.51	5.88	5.77	5.01	5.07	5.57	6.51	8.87	13.58	18.12	18.61
Type	S	S	P	P	P	P	H	H	H	A	A	A

3. Climagramme d'EMBERGER :

Permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée.

Il est déterminé à partir de la formule suivant :

$$Q2 = \frac{1000 \times P}{\left(\frac{M + m}{2}\right)(M - m)}$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

M : moyenne des maximas de la température en (°K) du mois le plus chaud,

m : moyenne des minimas de la température en (°K) du mois le plus froid,

Q2 : quotient pluvio-thermique d'Emberger.

Avec : K= T (°C) + 273.

Tableau II. 11: Indice d'Emberger de la station de Tlemcen.

Station	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q ₂
Tlemcen	517	306	278.8	65

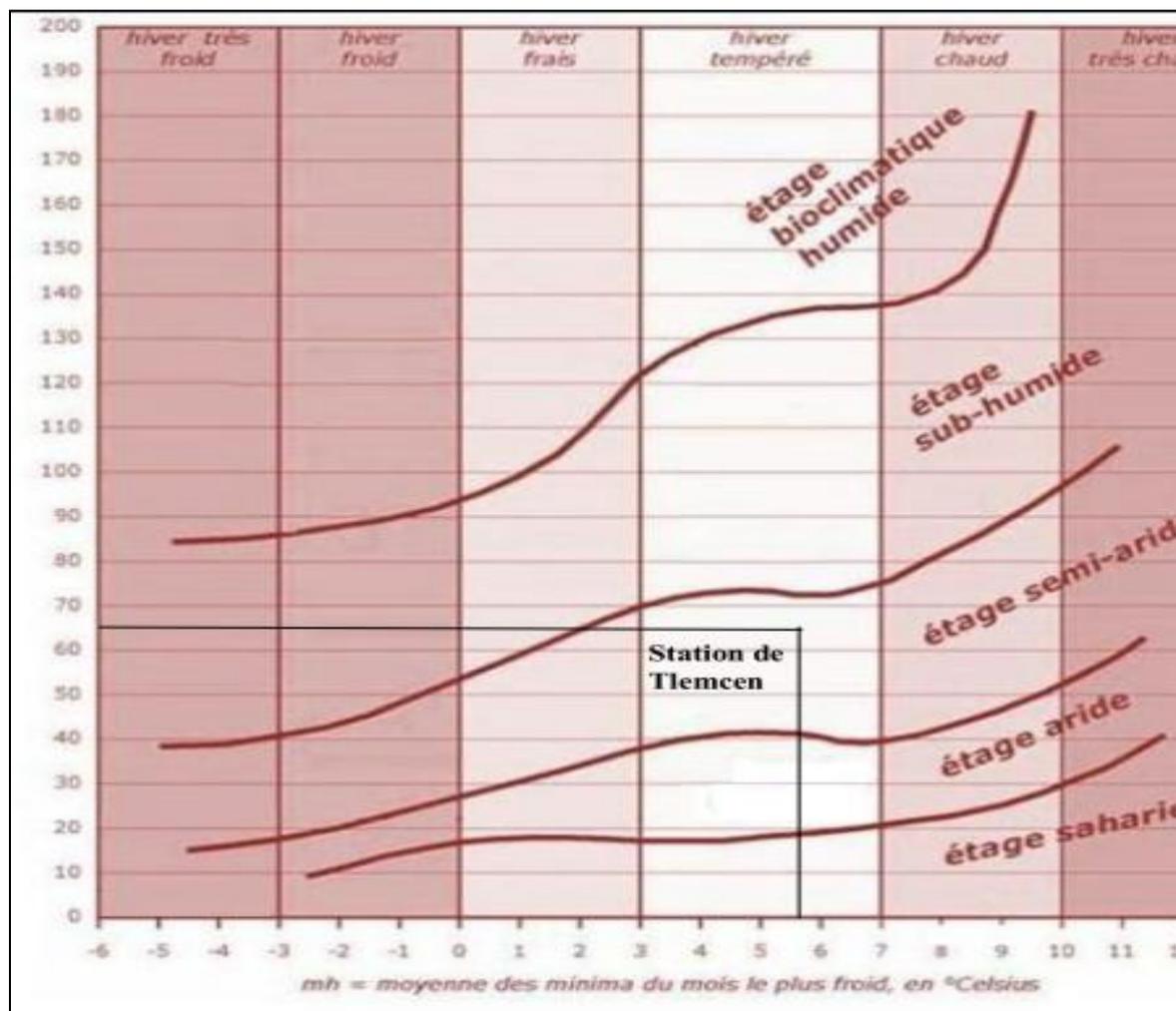


Fig. II.7 : Climagramme d'Emberger.

4. Indice de Stewart (1969):

Il est définie par :

$$Q_2 = 3,43P / (M + m)$$

Avec :

Q_2 : Quotient d'Emberger

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) : 517(mm)

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud (°C) : (33.5°C)

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (°C) : (5,8 C°)

Le quotient Q_2 de la station de Tlemcen est égal à 45,12 calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de 25 ans (1995/2020).

Pour:

$10 < Q_2 < 50$ climat semi-aride

$2 < Q_2 < 10$ climat désertique

$Q_2 < 2$ climat insaturé.

Q_2 est compris entre 10 et 50, selon Stewart cette valeur caractérise un climat *semi-aride*.

II.4 Bilan hydrologique :

II.4. 1 Evapotranspiration et déficit d'écoulement :

- ❖ **Evapotranspiration** : c'est la quantité d'eau qui s'évapore du sol, et de la transpiration des végétaux. On distingue deux types d'évapotranspiration :
 - **L'évapotranspiration réelle (ETR)** : c'est la quantité d'eau retirée du sol en raison du processus d'évaporation et de transpiration des plantes.
 - **L'évapotranspiration potentielle (ETP)** : d'évaporation d'un sol est défini comme la quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant.

- ❖ **Déficit d'écoulement** : c'est la différence entre la hauteur d'eau moyenne des précipitations sur le bassin et la lame d'eau équivalente.

L'estimation de ce paramètre peut se faire à l'aide de plusieurs méthodes :

- ✓ La méthode de TURC.
- ✓ La méthode de COUTAGNE.
- ✓ La méthode de VERDEIL.
- ✓ La méthode de WUNDT.

➤ **Méthode de Turc :**

La formule de Turc (1954) permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne annuelle :

$$ETR = \frac{p}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

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

P : Pluviométrie moyenne annuelle, en (mm).

T : Température moyenne annuelle, en (C°).

ETR : Evapotranspiration Réelle annuelle, en (mm/an).

Le résultat est reporté dans le tableau (II. 12), ci-dessous.

Tableau II. 12: Calcul de l'ETR par la méthode de TURC.

Station	P (mm)	T(C°)	L	ETR (mm/an)	Écoulement et infiltration (mm) (P-ETR)
Tlemcen	517.0	17.8	1026.98	483.17	33.83 soit 6.54 % de P

➤ **Méthode de Coutagne :**

L'évapotranspiration réelle ou le déficit d'écoulement est calculée à partir de la relation suivante :

$$\text{ETR} = D = P - \lambda P^2 \text{ Avec } \lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$$

Avec :

D : le déficit d'écoulement en (m/an).

P : précipitations moyennes annuelles en (m/an)

T : température moyenne annuelle en (°C)

λ : désigne un facteur dépendant de la température moyenne annuelle

Remarque : Cette formule n'est applicable que pour P comprise entre $1/8 \lambda < P < 1/2 \lambda$

$0.0375 < 0.517 < 0.15$ donc la méthode n'est pas applicable.

➤ **Méthode de Wundt :**

L'application de cette méthode donne les résultats suivants :

Tableau. II.13: valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt).

Station	P (mm)	T (C°)	D (mm/an)	Écoulement et infiltration (P-D)
Tlemcen	517.0	17.8	515 soit 99.61% de P	2 soit 0.38 % de P

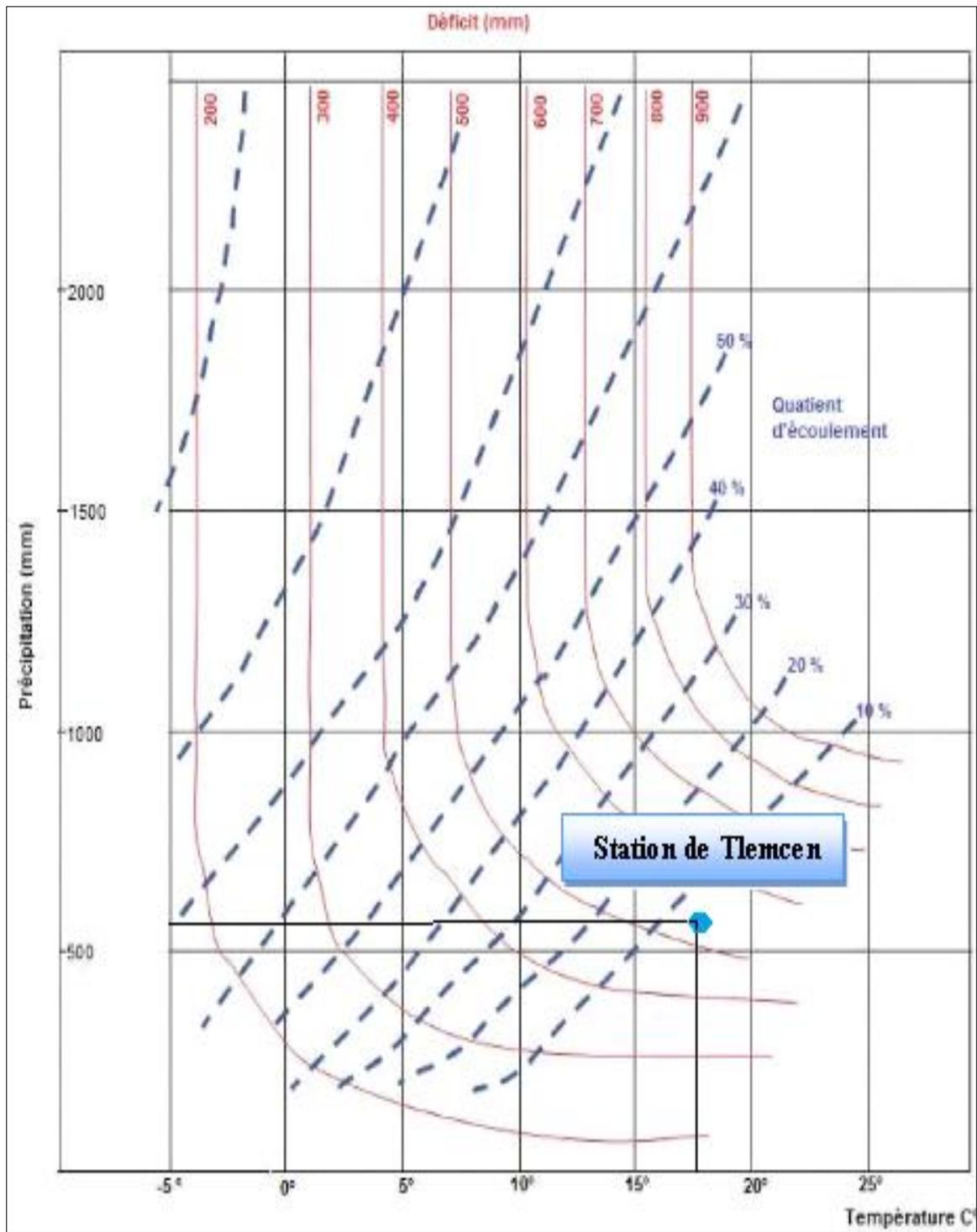


Fig. II.8 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT).

➤ **Méthode de P.VERDEIL :**

Pour estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, Verdeil (1988), a établi en Algérie un abaque bi-logarithmique pour les régions semi-arides, en tenant compte uniquement des précipitations annuelles. Les résultats de cette méthode sont présentés dans le tableau (II.14) ci-dessous :

Tableau. II.14: Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL).

Station	P (mm)	Déficit (mm/an)	Écoulement et infiltration (mm)
Tlemcen	517	490 Soit 94.77% de P	27 soit 5.22 % de P

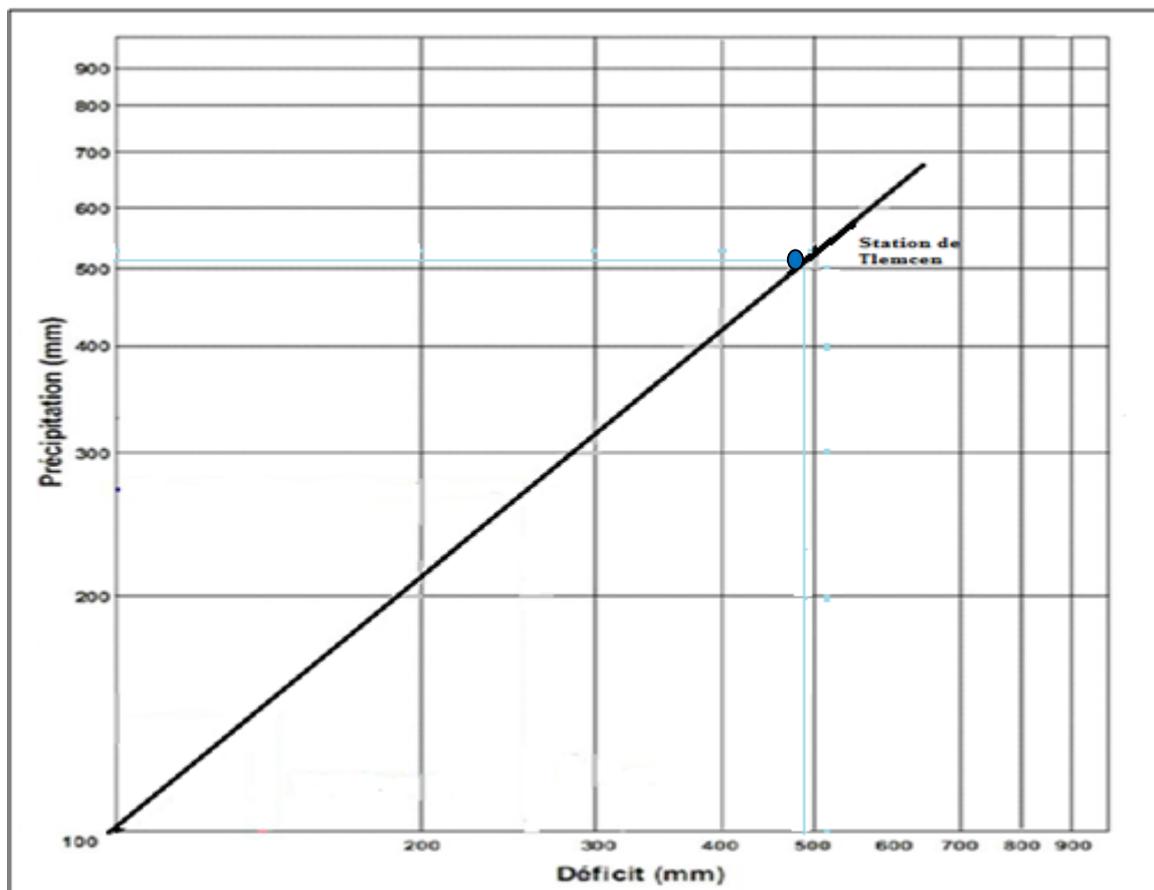


Figure II.9 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P.VERDEIL, 1988).

1) Evapotranspiration potentielle (ETP) :

➤ Méthode de THORNTHWAITE :

Pour appliquer la méthode de Thornthwait, on doit calculer :

$$\text{ETP non corrigée} = 16x\left(\frac{T}{I} \times 10\right)^a$$

$$\text{Avec : } a = 0.016 I + 0.5$$

$$\text{ETP corrigée} = 16x\left(\frac{T}{I} \times 10\right)^a \times K$$

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm),

i : Indice thermique mensuel $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$

I : La Somme des indices mensuels des 12 mois de l'année $I = \sum_1^{12} i$

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

K : Coefficient de correction, en fonction de la latitude de la station de Tlemcen (34°N), les résultats sont présentés dans le tableau (II.15) suivant : a=1.85

Tableau. II.15: Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Tlemcen (1995-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Annuel
T (°C)	22,9	19,5	14,2	11,2	10,5	11,2	13,4	15,5	18,8	23,1	26,2	26,5	17,8
I	10,01	7,85	4,86	3,39	3,07	3,39	4,45	5,55	7,43	10,15	12,28	12,49	84,92
ETP non corrigée (mm)	101,38	74,70	40,89	26,05	23,04	26,05	36,62	48,29	69,69	103,07	130,93	133,79	814,51
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	/
ETP corrigée (mm)	104,42	72,46	35,57	22,40	20,28	22,14	37,72	52,64	83,63	123,68	159,73	155,20	889,88

2-Evapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle étant liée aux réserves en eau disponible, nous avons deux cas :

- ✓ Si les précipitations sont supérieures à l'ETP alors ETR=ETP.
- ✓ Si les précipitations sont inférieures à l'ETP, alors l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance ; au-delà, il ya un déficit.

3) Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.) :

Selon Hallaire (1960) on peut calculer La R.F.U par la formule suivante:

$$RU = \frac{c - f}{100} H.D + 30mm$$

Avec :

Ru : Réserve utile en eau du sol.

C : Capacité au champ.

f: Capacité au point de flétrissement.

H : Profondeur du sol (H=500 mm).

D : Densité apparente du sol (D=1).

30 mm : Enracinement capillaire

Les valeurs de (C – f) dépendent de la nature du sol, d’après les travaux antérieurs consultés, nous avons pris :

(C-f)/100 = 20%, donc : Ru=130 mm.

4)Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite :

Le bilan hydrologique c’est l’étude comparée de la lame d’eau tombée à la surface d’un bassin versant et des différentes formes de transfert de cette eau soit par évapotranspiration, écoulement, infiltration et alimentation des nappes souterraines.

Tableau. II.16: Calcul du bilan hydrologique de la station de Tlemcen (1995-2020) selon C.W Thornthwaite.

Paramètres	sep	oct	nov	dec	Jan	fer	mar	avr	mai	juin	juill	aout	Ann
P (mm)	27.0	49.0	72.4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7.1	2.6	5.8	516.9
ETP (mm)	104.4	72.5	35.6	22.4	20.3	22.1	37.7	52.6	83.6	123.7	159.7	155.2	889.9
RU (130mm)	0.0	0.0	36.8	80.8	130.0	130.0	130.0	130.0	88.5	0.0	0.0	0.0	726.1
ETR (mm)	27.0	49.0	35.6	22.4	20.3	22.1	37.7	52.6	83.6	95.6	2.6	5.9	454.4
D.A (mm)	77.4	23.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.1	157.1	149.3	435.4
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	39.0	15.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	62.6
I	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	20.0	18.0	10.0	5.0	3.0	2.0	0.0	60.0
R (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	21.0	18.0	11.0	6.0	3.0	1.0	0.0	62.0

P:Précipitations (mm)

ETP: Evapotranspiration potentielle (mm)

Ru: Réserve utile (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

D.A: Déficit Agricole (mm)

Exc : Excédent (mm)

R : Ruissellement (mm)

I : Infiltration.

II.5 Conclusion :

D'après les résultats des calculs obtenus, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations moyennes annuelles sont de 517mm .La température moyenne mensuelle est d'environ 17,8 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (26.2°C et 26.5°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.5°C).

Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausсен, nous a permis de définir une période humide entre la fin du mois de Septembre et le début du mois de Mai et une période sèche pour le reste des mois de l'année.

✓ Les calculs du bilan ont fait ressortir les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à environ **889.9mm**.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de **454.4 mm**.
- L'écoulement de surface annuel est de **62mm**.
- L'infiltration annuelle est de **60 mm**.

Chapitre III : *Cadre géologique*

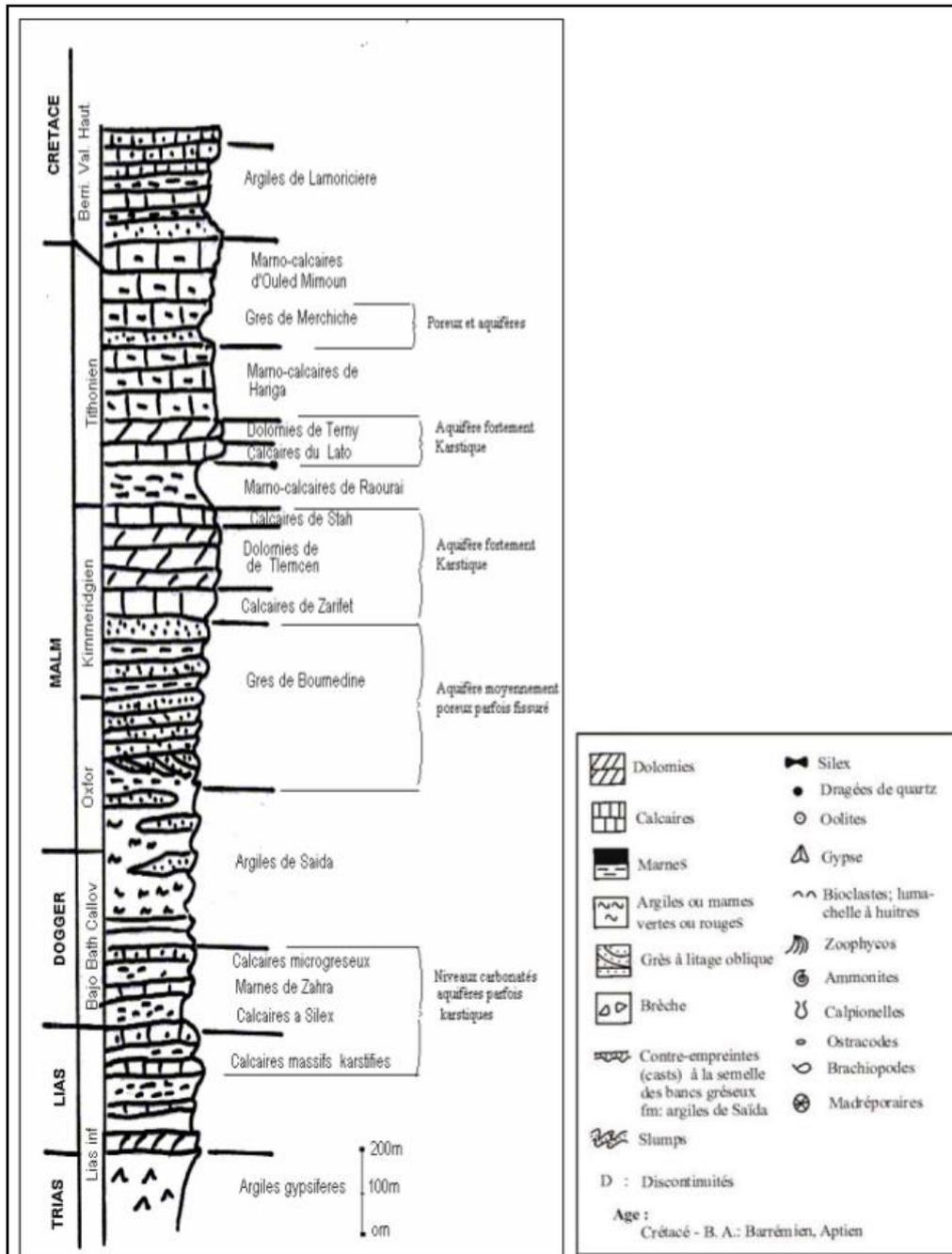
1. Introduction :

Les monts de Tlemcen sont constitués essentiellement de formations d'âge jurassique supérieur et crétacé inférieur. Les calcaires et dolomies du Kimméridgien et du Tithonien forment plus de 80% des parties sommitales des plateaux. Au Sud et au Nord ces formations sont masquées par une sédimentation tertiaire épaisse, représentée par des dépôts fluviaux éocènes sur le revers sud et par des marnes miocènes et des dépôts continentaux du Plio-Quaternaire, au Nord

2. Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen :

La description des formations qui suit est principalement inspirée des travaux de Clair et Concaret, 1973 ; Benest, 1985,1987 , Bensaoula, 2006 et Ablaoui, 2013.

La figure, ci-dessous, montre la succession litho-stratigraphique des formations des Monts de Tlemcen. Notons que ces formations présentent un changement de faciès latéral, une variation d'épaisseur ainsi qu'une dolomitisation très irrégulière, à travers les Monts de Tlemcen (d'après les travaux de Benest, 1985 ; Collignon, 1986 et Bensaoula, 2006).



FigIII.1 : Colonne stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu’aux hautes plaines (Benest M. & Bensalah M., 1999; in Bensaoula F., 2006).

- **Le Secondaire**

Il forme l'ossature des Monts de Tlemcen. Nous distinguons de bas en haut :

1. Le Trias :

Il est à faciès Keuper (argiles plastiques rouges et gypsifères). Il affleure en partie à la faveur de structures diapiriques.

2. Le Lias et le Dogger :

Les formations du Lias et du Dogger n'apparaissent qu'à la faveur de deux horsts: Ghar Roubane et Dj Tenouchfi. Le Lias inférieur et moyen correspond à des calcaires massifs de plus de 200 m d'épaisseur. Ces calcaires massifs et karstifiés sont connus par les filons de Blende et de galène exploités au pied sud-ouest du Koudiat Er Ressass. Au cours du Lias moyen se dépose d'abord la formation des calcaires à Silex entrecoupés de passées marneuses, ensuite vient une série renfermant plusieurs niveaux à ammonites du Toarcien moyen au Dogger. Les variations latérales de faciès ont été également observées (Benest et al.,1978) dans le Dogger inférieur de la région du Djebel Tenouchfi et au SW de ce massif en direction de Sidi Aissa (Benest et al.,1978).

3. Les argiles de Saida :

Elles constituent la base du Jurassique et apparaissent dans la région de Sabra et plus près du Barrage de Beni-Bahdel. Elles correspondent à des dépôts argileux et marneux parfois shisteux , à passées gréseuses. Cette formation peut atteindre 300 à 500m d'épaisseur et est attribuée au Callovo-Oxfordien.

4. Les grès de Boumédiène :

Il s'agit d'un ensemble lithologique à dominance gréseuse qui affleure aux environ de Tlemcen, d'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur. Ces grès forment de gros bancs séparés par des inter-lits argileux de couleur verte et parfois brune. Dans le tiers supérieur, on note la présence d'argile « lie de vin », avec au sommet quelques passées marneuses et calcaires, riches en débris de gastéropodes et des lamellibranches. Les grès de Boumédiène sont particulièrement développés dans la forêt de Zarifet où leur épaisseur peut atteindre 500 m ainsi qu'au Sud- Ouest de Terni, au niveau des cascades d'El Ourit, de la forêt d'Hafir et vers l'Est, dans la région d'Oum El Alou (Ablaoui H., 2013).

5. Les calcaires de Zarifet :

Ils ont été définis par F. Doumergue (1910) sous le nom de calcaires bleus à géodes. M. Benest (1972) les désigne sous ce nom, car ils sont particulièrement bien exposés au col de Zarifet, au Sud de Tlemcen, ils sont d'âge Kimméridgien supérieur. Il s'agit de bancs calcaires de position intermédiaire entre les grès de "Boumédiène" et les dolomies qui forment les falaises des environs de Tlemcen. L'épaisseur de la formation peut atteindre 25 m au col de Zarifet (Ablaoui H., 2013).

6. Les dolomies de Tlemcen :

D'âge Kimméridgien moyen- Kimméridgien supérieur, les dolomies de Tlemcen marquent les Monts de Tlemcen d'un style morphologique bien particulier. L'érosion a parfois donné naissance à des reliefs très pittoresques à aspect ruiniforme avec cheminées (sud de Terni). Ce sont des dolomies cristallines, grises à patine rousse et à cassure grise parfois rousse, avec de nombreuses cavités remplies de calcite. L'épaisseur de ces dolomies peut atteindre 300 m dans la région de Tlemcen, où elles affleurent autour d'Aïn Fezza, dans la forêt de Zarifet, le Djebel Tefatisset, la région d'Aïn El Houtz, le plateau de Terni et au Nord de Tlemcen (Ablaoui H., 2013).

7. Les calcaires de Stah :

Ils ont été définis par M. Benest en 1972 comme des micrites en bancs épais, épargnés de la dolomitisation à patine gris clair. Ces calcaires sont dépourvus de passées marneuses.

8. Les marno- calcaires de Raourai :

D'âge Tithonique inférieur, ce sont des marnes grises, blanchâtres en surface, où s'intercalent de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs. Cette formation est limitée à sa base par les calcaires de Stah et à son sommet par les calcaires du Lato ou par les premières assises des dolomies de Terni. Leur puissance est de l'ordre de 100 m. Cette formation affleure particulièrement sur le plateau de Terni, dans le Djebel Lato et à l'Est de Aïn Fezza (Ablaoui H., 2013).

9. Les calcaires de Lato :

Ce sont des calcaires massifs qui se présentent en bancs épais terminés par des laminites sombres calcaréo-argileuses qui peuvent contenir quelques rubanements de silex. Leur épaisseur est de 50 m au Djebel Lato (Ablaoui H., 2013).

10. Les Dolomies de Terni :

Correspondent à la corniche au-dessus des calcaires du Lato, leur épaisseur est d'environ 50m dans la zone de Sebdu. Dans une grande partie des Monts de Tlemcen, les dolomies de Terni peu fossilifères montrent un faciès constant. Elles ont un aspect ruiforme et forment les sommets des Djebels Nador et Terni. Ces dolomies sont parfois vacuolaires, parfois massives avec de nombreuses stratifications obliques qui permettent de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen. Doumergue (1910) les a rangées dans le Kimméridgien supérieur, alors que Benest M. (1982) leur donne un âge Tithonique inférieur (Ablaoui H., 2013).

11. Les marno-calcaires d'Hariga :

D'âge Tithonique moyen, c'est une alternance de calcaires et de marnes, plus ou moins tendres, constituées de micrites bien litées à patine gris-clair. Elles sont bien représentées au Djebel Hariga, avec une épaisseur de 165 m (Ablaoui H., 2013).

12. Les marno-calcaires d'Ouled Mimoun :

Cette formation est composée essentiellement de grès et d'argiles à la base (grès de Merchiche), puis d'une alternance de calcaires et de marnes. La limite inférieure de cette formation correspond à l'apparition des grès de Merchiche sur les rebords sud du plateau de Terni. La formation dans la région d'Ouled Mimoun atteint une épaisseur de 500 à 700 m. A la base, on note l'existence de bancs gréseux. La série est attribuée au Tithonien supérieur et Berriasien inférieur (Ablaoui H., 2013).

❖ **Le Crétacé :** Il est représenté par la série du Crétacé inférieur. Nous distinguons de bas en haut :

- **Les argiles de Lamoricière :** D'âge Berriasien moyen- Valanginien, c'est une formation argilo-gréseuse, nettement calcaire au sommet qui affleure au niveau de Hassi Zerga.
- **Les grès de Berthelot :** D'âge Hauterivien, ces grès sont caractérisés par une récurrence de la smectite mais surtout par la présence de la chlorite (10 m à 15 m). La base, riche en stratifications obliques, est marquée par un banc de dolomie pulvérulente.
- **Les calcaires de Zigyne :** D'âge Barrémien – Aptien, cette formation représente la transition entre le Crétacé et l'Eocène (M.Benest & F.Bensaoula, 1994).

- **Le Tertiaire :**

Représenté par des dépôts essentiellement marins. Nous distinguons de bas en haut les formations suivantes :

❖ **L'Eocène :**

Ensemble gréseux, avec passage de bancs en poudingues. Dans des endroits, il affleure sur une très faible surface. Parfois, le massif est constitué de grès siliceux jaunes à rougeâtres, assez friables à ciment argileux, alternant avec des marnes argileuses verdâtres. Ces alternances d'une puissance de 100 m à 150 m ont été attribuées à l'Eocène supérieur.

❖ **Le Miocène :**

○ **Inférieur :**

Débute par une assise de poudingues à éléments calcaires dolomitiques à ciment calcaire-gréseux très durs, à blocs bien roulés hétérométriques et polygéniques pouvant atteindre 20 m de puissance. Ce faciès, très résistant et fissuré, montre un grano-classement normal avec des intercalations marneuses à la base. La partie supérieure est constituée par des argiles marneuses de teinte verdâtre, dans lesquelles s'intercalent des bancs décimétriques de grès ferrugineux friables, formant un ensemble pouvant dépasser 100 m d'épaisseur.

○ **Moyen : (Serravallien)**

Reposant souvent en discordance sur le Miocène inférieur, il est déformé et partiellement érodé. Il est constitué par une épaisse série de marnes grises ou bleutées, qui par altération deviennent ocre. Au sein de cette série, pouvant atteindre 300 m d'épaisseur dans la vallée de l'Oued Isser, s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus fréquents au sommet.

○ **Supérieur : (Tortonien)**

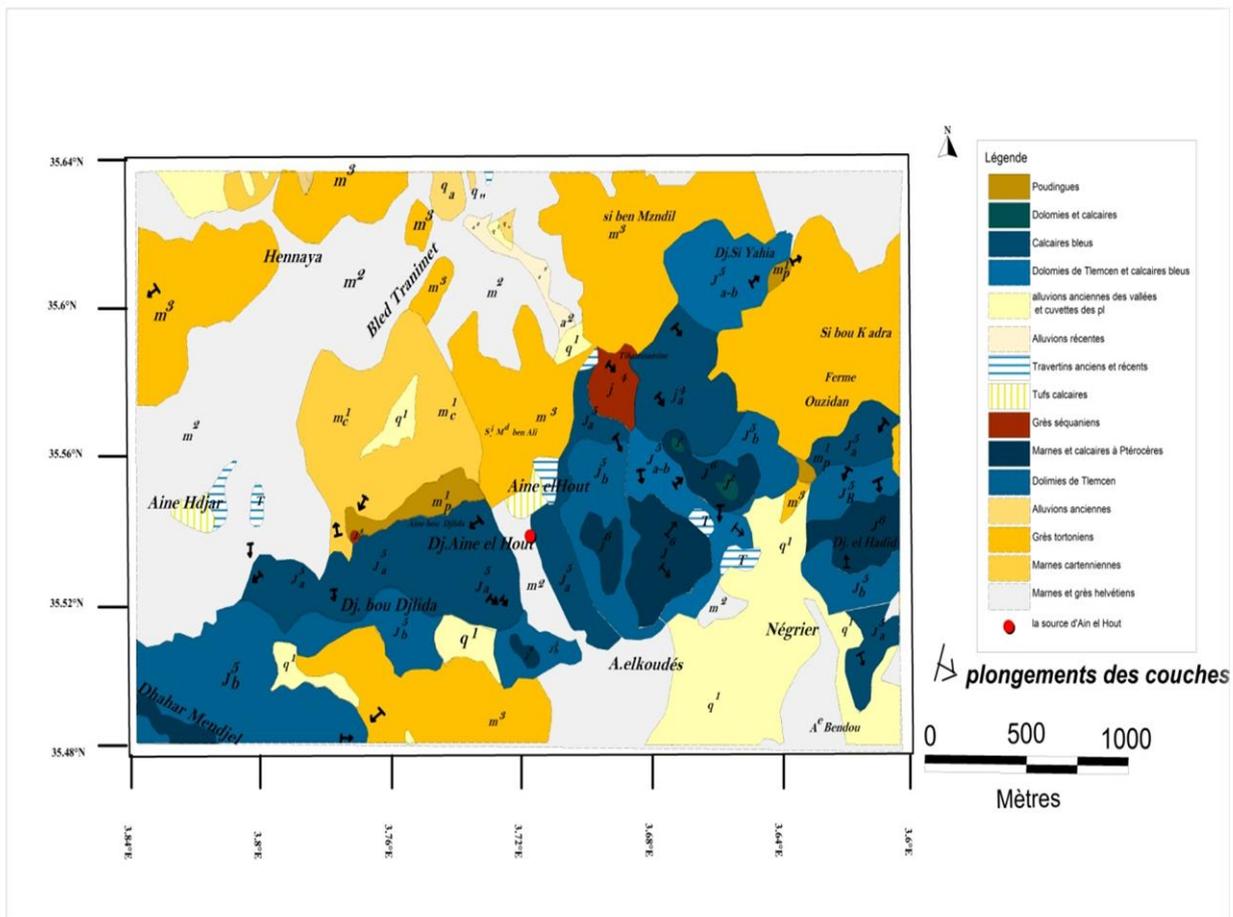
Représenté par des grès durs de couleur jaune d'or ou citron avec, par endroit, de minces passées marneuses, peu consolidées atteignant 20 m à 30 m d'épaisseur. Ces grès ont été datés à l'Helvétien par Doumergue (1910) mais l'analyse micropaléontologique leur donne un âge Tortonien supérieur. (HAYANE, 1983).

• **Le Plio-Quaternaire :**

Il n'est représenté que par des sédiments continentaux, difficiles à dater avec précision. Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus, formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes.

On y rencontre les faciès suivants :

- Des travertins villafranchiens fortement consolidés, situés en bordure des Monts de Tlemcen et des calcaires lacustres.
- Un complexe de sédiments plio-villafranchiens, dont la bordure constituée de massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémonts plus ou moins encroûtés et remaniés, d'épaisseur très variable, mais toujours assez faible.
- Des marnes avec peu ou pas de galets, parfois très épaisses.
- Des anciennes alluvions, allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets, en passant par les limons et les graviers.



FigIII.2 : Carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922)

3. Analyse structurale :

La direction générale des grandes fractures est orientée WSW-ENE (direction tellienne) Le style tectonique général est de type cassant, avec quelques déformations souples qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux. Les failles sont sub-verticales et résultent de déformations du socle. Elles limitent des horsts et des grabens, orientés N50°E à N70°E (Auclair & Biehler, 1962, in Keddah et Médjahdi, 2017).

❖ Les principales phases tectoniques

D'après Benest (1982) cinq phases tectoniques sont mises en évidence depuis l'Eocrétaçé à la période actuelle :

1. Une phase distensive éocrétaçée :

Durant le Jurassique supérieur et l'Eocrétaçé, la subsidence a été contrôlée par le jeu ou le rejeu des grands accidents SO-NE et subméridiens, hérités de l'orogénèse hercynienne (Benest, 1981). P Guardia (1975) a également signalé dans les Monts de Traras, l'existence de mouvements syn-sédimentaires qu'il a rapporté à une tectogenèse pré-atlasique.

2. Phase atlasique :

Correspond aux mouvements qui, dans les Monts des Traras, se sont produits à partir du Sénonien et se sont terminés avant la mise en place des nappes telliennes (Guardia P., 1975). L'analyse tectonique, effectuée dans les Monts de Tlemcen et de Daïa permet d'envisager des mouvements, d'abord compressifs puis distensifs :

- *Les mouvements compressifs* : se sont développés dans un pays émergé, à la suite d'un important épisode régressif consécutif au soulèvement de certaines régions de l'avant pays alpin, bordant au Nord les hautes plaines oranaises. Ces mouvements donnent des plis d'orientation moyenne E-W, à grand rayon de courbure.
- *Les mouvements distensifs* : sont contrôlés par le rejeu des grands accidents du socle. La fracturation s'est traduite par un système de failles conjuguées N 55°-80 et N 140° responsables de la mise en place des principales structures : horst de Ghar Rouban (Elmi S., 1973), massif de Tenouchfi (Dubel, 1971), fossé de Sebdu et de la Tafna. Ces failles ont eu pour conséquence d'accentuer le processus d'érosion.

3. Une importante phase de compression N-S à NO-SE avec un paroxysme Miocène :

Par comparaison avec la région des Traras cette phase aurait débuté avec ou avant la mise en place des nappes et serait antémessinienne, (G Lucas 1942, P Guardia 1975). Selon Benest (1974) cette phase serait l'origine des grandes structures coulissantes et chevauchantes.

4. Une phase à dominante distensive :

Elle a contribué à la surrection de la plupart des reliefs actuels et a entraîné la régression pliocène, notamment dans la zone de Terni, antérieurement atteinte par la transgression du Miocène Supérieur (Doumergue 1910) ou du Mio-Pliocène. Le jeu des failles préexistantes a généralement accentué le découpage en horsts et grabens.

4. Une phase récente (Plio-Quaternaire) :

Cette phase se traduit par des mouvements syn-sédimentaires provoquant le jeu des décrochements dextres associés à des déformations. Ces déformations n'ont pas l'ampleur des phases précédentes.

❖ Les unités structurales :

Les Monts de Tlemcen sont composés de plusieurs unités structurales (ELMI 1970) :

- ✓ **Zone synclinale de Terni** : Limitée par deux accidents de direction moyenne N70°E, le plateau de Terni se présente comme un synclinal effondré, dont le flanc sud est plus redressé que le flanc nord. Cette dépression formée au sein de la série jurassique, s'enfoncé légèrement vers l'Est. Dans cette zone, la plupart des contacts entre les formations se font par des failles.
- ✓ **Zone effondrée de Tlemcen** : Elle fait partie du même ensemble effondré que la plaine de Maghnia dont elle est séparée par le Djebel Tefatisset. Elle est limitée au Sud et au Nord par les failles passant par Bréa et Chetouane qui relient les panneaux des Djebels Tefatisset et Aïn El Houtz.
- ✓ **Zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz** : Elle est limitée au Sud par une faille et au Nord par une série de failles en relais de même direction.
- ✓ **Zone d'Er-Ramlya** : C'est un dôme affecté par une tectonique cassante et découpé en de nombreux panneaux soulignés par des accidents, le plus souvent rectilignes.

CONCLUSION :

L'analyse litho- stratigraphique des différentes formations nous a permis de mettre en évidence leurs diversités ; ce sont surtout des calcaires, des grès, des grès-calcaires et des dolomies. D'autre part, l'analyse structurale de la région montre la présence de deux systèmes de décrochements, avec cinq phases tectoniques, contrôlées par le jeu et le rejeu d'accidents distensifs SW-NE à WSW-ENE, parfois compressifs.

La tectonique joue un rôle important dans la structure géologique du secteur étudié. Les failles et diaclases ont contribué dans le développement de la karstification et l'émergence de plusieurs sources.

CHAPITRE *IV* : *Cadre hydrogéologique*

V.1 Introduction :

Les Monts de Tlemcen et leurs piémonts nord sont connus par leurs aquifères à potentiel hydrique relatif à la nature de la formation géologique. On distingue:

- Les formations à forte capacité de rétention souterraine.
- Les formations à faible capacité de rétention souterraine.

V.2 Propriétés hydrogéologiques des formations :

V.2-1. Les formations à forte capacité de rétention souterraine :

Ce sont les formations perméables représentées par les séries calcaires et calcairo-dolomitiques du Jurassique.

- **Les formations calcaires du Jurassique :**

Peuvent être aquifères si elles sont fissurées et karstifiées. Leur productivité dépend aussi de la nature lithologique des formations intercalées (Keddah K et Médjahdi N, 2018).

- **Les dolomies de Tlemcen**

Les dolomies de Tlemcen avec à leur base les calcaires de Zarifet, occupent une grande partie du massif tlemcenien. Ces roches sont diaclasées et intensément karstifiées.

- **Les dolomies de Terni :**

Moins karstifiées que les dolomies de Tlemcen, elles sont plus micritiques et présentent de nombreuses passées stromatolithiques. Les caractéristiques hydrogéologiques de ces dolomies sont comparables à celles des dolomies de Tlemcen (Bensaoula F, 2006).

V.2-2. Les formations à capacité de rétention souterraine faible à très faible :

- **Les conglomérats du Miocène inférieur :**

Très fissurés, mais ils sont caractérisés par l'absence de réserves, à cause de leur faible surface d'affleurement.

- **Les grès de Boumediène :**

Ces grès ne sont guère poreux et leur perméabilité d'interstices est toujours faible à l'exception de deux situations bien particulières :

- ✓ L'existence de bancs calcaires dans la partie supérieure de la formation où ils jouent le rôle de drains, permettant aux grès de constituer localement un aquifère intéressant.

- ✓ La présence de diaclases et de fissures qui donnent à ces grès une certaine perméabilité.

Les bancs marneux intercalés dans les niveaux gréseux permettent à l'ensemble de jouer un rôle d'écran étanche qui sert de mur à l'aquifère des dolomies de Jurassique.

- **Marno-calcaires de Raouraï, d'Hariga et de Lamoricière :**

Ils sont relativement imperméables. Si les niveaux calcaires admettent une certaine perméabilité dans le sens horizontal, l'ensemble est imperméable dans le sens vertical.

- **Grès de Merchiche :**

Ils couvrent de grandes étendues en bordure du fossé de Sebdou et de la Tafna. Ils présentent une perméabilité mixte qui ne leur permettant pas de constituer un aquifère important, compte tenu de leur faible extension et de leur épaisseur réduite.

V.3 Les formations hydrogéologiques de la région étudiée :

Le secteur d'étude se trouve dans une zone de limites entre les formations carbonatées du Jurassique et les formations du Plio-Quaternaire :

- **Les formations du Jurassique supérieur :**

* Les formations calcaires et dolomitiques sont largement fissurées et karstifiées . D'après les travaux antérieurs, leur karstification a été étudiée par Hayane (1981), Collignon (1986) Bensaoula (1992 et 2006). A cet effet, cette karstification donne à ces formations une très bonne transmissivité (Bensaoula, 2006) et par conséquent constituent les principaux réservoirs d'eaux souterraines de la région.

* Au niveau des grès, la perméabilité sera plus ou moins importante par l'effet de la perméabilité d'interstices, de failles et de diaclases.

- **Les formations du Crétacé :**

- Les niveaux calcaireux sont parfois fissurés.

- Les marnes constituent un ensemble imperméable.

• Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :

La perméabilité des formations alluvionnaires et gréseuses dépend de la cimentation ainsi que leur teneur en particules fines.

En 1989, un forage d'eau a été réalisé en amont de la source d'Ain El Houtz et à environ 2,2 km de cette la source, sa profondeur était de 340 mètres et c'est avéré artésien. Le débit atteint au moment de sa réalisation était de 50 L/s. la figure ci-dessous montre les différentes formations traversées par ce forage :

* Les dolomies de Tlemcen et de Jurassique supérieur sont des formations à perméabilité de fissures et sont captées, couvertes par une formation semi-perméable marno-calcaire.

*Les grès du Tortonien sont des formations perméables (Bensaoula2006).

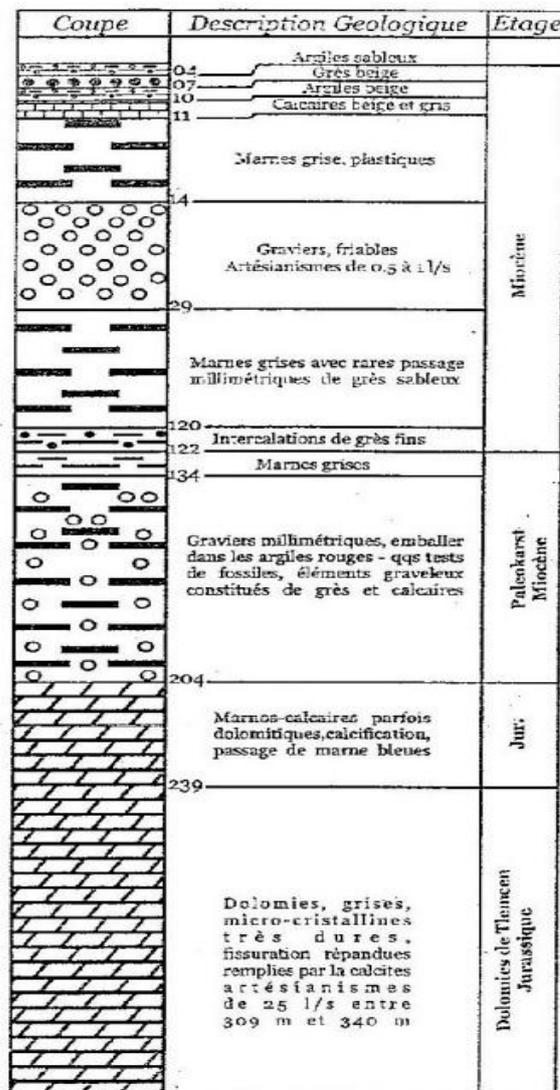


Fig IV.1 : Log litho-stratigraphique du forage d'Ain El Houtz.(Bensaoula2006)

V.4 Source d'Ain El Houtz :

Cette source est captée dans l'entrée du village d'Ain El Houtz, son usage est destiné à l'irrigation. Elle émerge dans une formation calcaire- dolomitique :dolomies de Tlemcen et calcaires de Zarifet avec les marnes helvétiques (Hayane S.M., 1983).

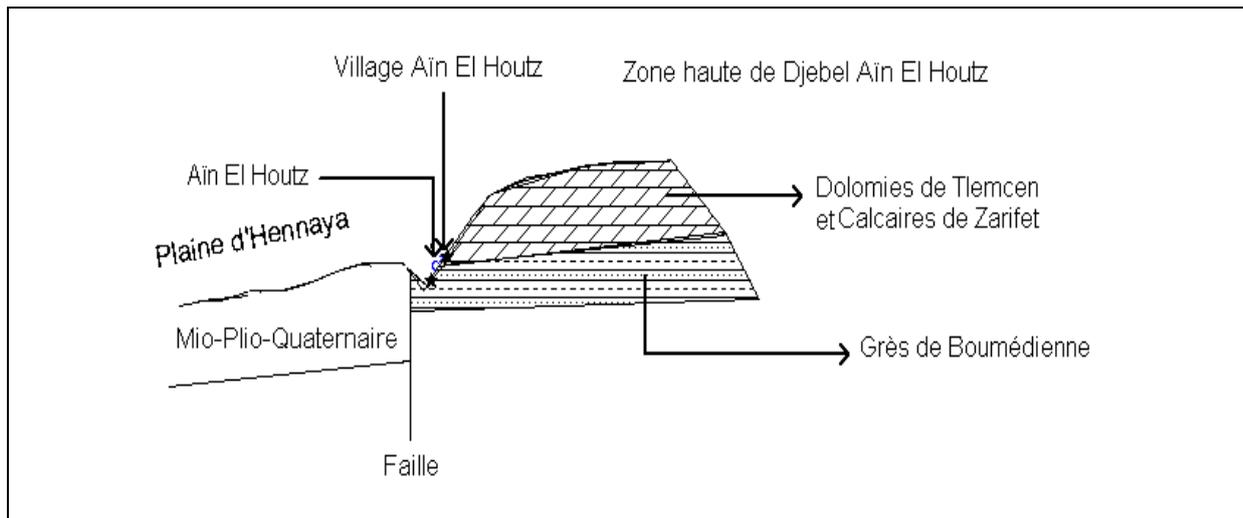


Fig IV.2: Coupe schématique de la source d'Ain El Houtz (Hayane.S.M,1983).

Conclusion :

La synthèse hydrogéologique nous a permis de constater que les formations calcaires et calcaire-dolomitiques du Jurassique supérieur forment les principales formations aquifères qui présentent un intérêt hydrogéologique dans Le secteur d'étude.

La source d'Ain El Houtz émerge à la faveur d'une faille, lors d'un contact anormal entre les dolomies de Tlemcen et les calcaires de Zarifet à la base avec les marnes helvétiques (Hayane S.M., 1983).

Chapitre V : *cadre hydrochimique*

V.1 Introduction :

Le but de l'étude hydro-chimique est de comprendre la circulation des eaux souterraines et l'échange entre l'eau et la formation géologique. Elle met en valeur les risques et les effets provenant des activités anthropiques qui détériorent la qualité physico-chimique des eaux souterraines.

Dans cette partie, nous allons représenter l'évolution des paramètres physico-chimiques de la source d'Ain El Houtz, les faciès chimiques des eaux et leur qualité, vis-à-vis la consommation humaine et l'irrigation. Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé les analyses physico-chimiques effectuées par le laboratoire de l'A.D.E/Tlemcenet de l'A.N.R.H, pour la période allant du 13/03/1999 à 01/07/2013.

2-La balance ionique :

La balance ionique permet de contrôler le pourcentage d'erreur par la formule suivante :

$$BI = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{|\sum r^+ + \sum r^-|} \times 100$$

Avec :

$\sum r^+$: Somme des quantités en réactions des cations.

$\sum r^-$: Somme des quantités en réactions des anions.

BI : Balance ionique en %.

si :

- $BI \leq 2\% \Rightarrow$ Bonne analyse

- $2\% < BI < 5\% \Rightarrow$ Analyse acceptable

- $BI > 5\% \Rightarrow$ Mauvaise analyse.

La balance ionique calculée pour les eaux de la source d'Ain El Houtz sont bonnes à acceptables.

3- Etudes des paramètres physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques ont porté sur :

**Les paramètres physiques :*

- ◆ Le pH.
- ◆ La température.
- ◆ La conductivité.
- ◆ Le résidu sec.

***Les paramètres chimiques :**

Les éléments majeurs :

- ♦ Anions: Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻, NO₃⁻.
- ♦ Cations : Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺.

Paramètres physiques :*a) Potentiel d'hydrogène (pH) :**

Le pH d'une solution varie en fonction de la concentration en ions (H₃O⁺) ou (H⁺). Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, le 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Les valeurs des pH de la source étudiée varient entre 6.7(11/02/2002) et 8.9(03/01/2004). Elles sont au-dessous de la norme prescrite par le JORA ($\geq 6,5$ et ≤ 9).

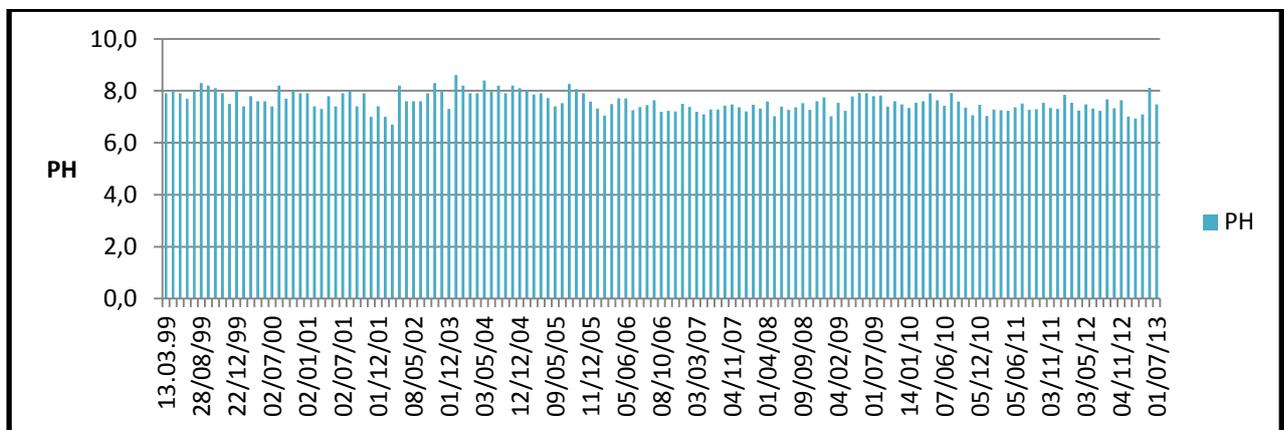


Figure V.1: Histogramme du pH

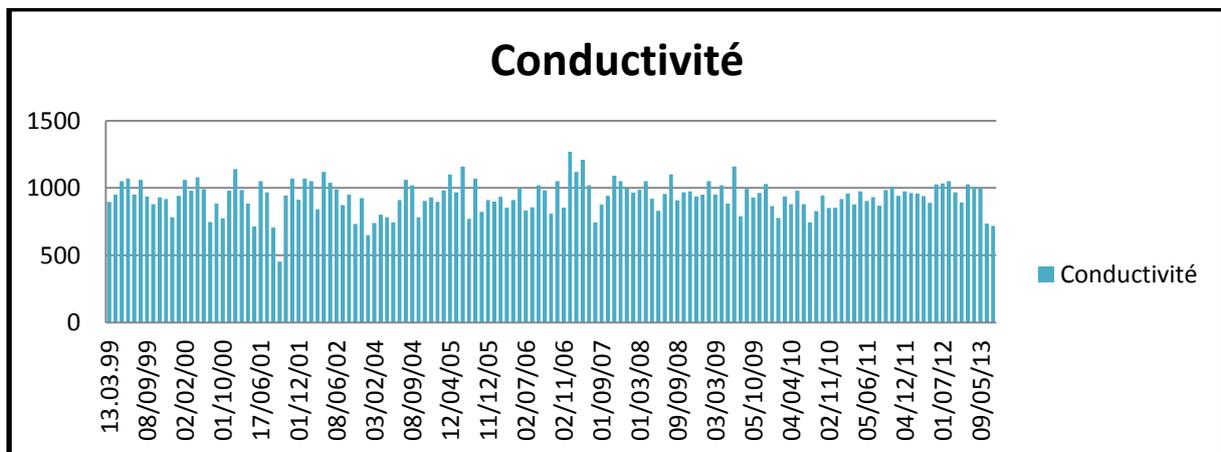
b) La conductivité :

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau. Le tableau suivant donne la relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux (Rodier J., 2009).

Tableau V.1 : Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J.,2009).

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/l)
Conductivité <100	Très faible
100 < Conductivité < 200	Faible
200 < Conductivité < 333	Moyenne
333 < Conductivité < 666	Moyenne à accentuée
666 < Conductivité < 1000	Importante
Conductivité > 1000	Elevée

Les valeurs des conductivités de la source étudiée, oscillent entre 452 $\mu\text{S/cm}$ en (01/09/2001) et 1270 $\mu\text{S/cm}$ en (06/02/2007). Toutes les valeurs sont inférieures à la norme (2800 $\mu\text{S/cm}$).

**Figure V.2** : Histogramme des conductivités électriques.

c) titre hydrotimétrique :

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. Elle est aussi très souvent donnée en degrés français. 1°F correspond à 5 meq/l.

$$\text{TH} = \text{TH Ca}^{2+} + \text{TH Mg}^{2+}$$

Tableau V.2 : Classification des eaux en fonction de la dureté.

TH (°F)	0-5	5-15	15-25	25-35	≥35
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

Tableau V.3 : Dureté totale d'eaux de la source

DATE	TH	Dureté totale (TH) mg/l en CaCO ₃	Classification
13.03.99	32,30	323,05	dure
05/04/99	38,65	386,53	dure
11/05/99	36,29	362,88	dure
01/06/99	29,62	296,16	dure
07/04/99	36,90	369,05	très dure
28/08/99	31,88	318,85	dure
08/09/99	37,64	376,40	très dure
09/10/99	43,22	432,19	très dure
14/11/99	35,44	354,44	dure
01/12/99	38,77	387,71	très dure
22/12/99	38,39	383,89	très dure
02/01/00	37,98	379,77	très dure
02/02/00	51,41	514,10	très dure
03/05/00	37,64	376,40	très dure
03/06/00	22,62	226,21	Moyennement dure
02/07/00	37,29	372,87	très dure
01/08/00	37,63	376,25	très dure
05/09/00	37,82	378,16	très dure
01/10/00	37,23	372,28	très dure
02/12/00	36,58	365,82	très dure
02/01/01	36,70	366,99	très dure
03/02/01	35,62	356,17	très dure
03/03/01	35,59	355,94	très dure
02.05.01	36,14	361,41	très dure
17/06/01	36,20	361,99	très dure
02/07/01	34,30	343,04	dure
01/08/01	37,61	376,10	très dure
01/09/01	33,69	336,85	dure
02/10/01	37,08	370,81	très dure
03/11/01	37,52	375,22	très dure
01/12/01	35,46	354,64	très dure
07/01/02	36,55	365,52	très dure
11/02/02	37,08	370,81	très dure
02/03/02	36,79	367,87	très dure
23/04/02	42,50	425,00	très dure

08/05/02	31,88	318,75	dure
08/06/02	42,50	425,00	très dure
02/07/02	43,64	436,37	très dure
01/10/03	46,22	462,19	très dure
02/11/03	43,57	435,67	très dure
01/12/03	39,06	390,65	très dure
03/01/04	36,67	366,70	très dure
03/02/04	36,66	366,56	très dure
01/03/04	47,89	478,87	très dure
06/04/04	42,61	426,06	très dure
03/05/04	42,50	425,00	très dure
01/06/04	43,74	437,40	très dure
11/07/04	42,50	425,00	très dure
08/09/04	42,50	425,00	très dure
02/10/04	42,63	426,26	très dure
12/12/04	42,50	425,00	très dure
09/01/05	38,02	380,21	très dure
12/02/05	36,48	364,79	très dure
01/03/05	35,54	355,41	très dure
12/04/05	37,54	375,42	très dure
09/05/05	35,93	359,27	très dure
13/06/05	39,67	396,67	très dure
10/09/05	43,56	435,63	très dure
08/10/05	42,61	426,06	très dure
13/11/05	42,50	425,00	très dure
11/12/05	38,96	389,58	très dure
12/02/06	42,50	425,00	très dure
04/03/06	31,98	319,81	dure
02/04/06	42,50	425,00	très dure
02/05/06	34,81	348,15	dure
05/06/06	42,50	425,00	très dure
02/07/06	46,04	460,42	très dure
21/08/06	46,04	460,42	très dure
17/09/06	39,08	390,82	très dure
02/10/06	38,96	389,58	très dure
08/10/06	43,21	432,08	très dure
04/11/06	49,58	495,83	très dure
02/11/06	42,68	426,77	très dure
06/02/07	49,58	495,83	très dure
07/04/07	49,65	496,54	très dure
03/03/07	42,61	426,06	très dure
02/06/07	39,31	393,13	très dure
07/07/07	49,69	496,90	très dure
01/09/07	42,50	425,00	très dure
15/10/07	37,55	375,49	très dure
04/11/07	42,61	426,06	très dure
03/12/07	42,61	426,06	très dure
02/01/08	39,38	393,83	très dure
02/02/08	46,13	461,30	très dure
01/03/08	42,61	426,06	très dure
01/04/08	56,79	567,85	très dure
12/05/08	38,37	383,65	très dure

16/06/08	43,68	436,76	très dure
02/07/08	43,69	436,86	très dure
18/08/08	51,46	514,60	très dure
09/09/08	43,75	437,54	très dure
06/10/08	54,41	544,09	très dure
03/11/08	43,33	433,32	très dure
06/12/08	42,61	426,06	très dure
04/01/09	36,25	362,49	très dure
04/02/09	43,74	437,40	très dure
03/03/09	42,61	426,06	très dure
04/04/09	43,56	435,63	très dure
04/05/09	46,91	469,09	très dure
02/06/09	36,94	369,40	très dure
01/07/09	43,74	437,40	très dure
06/09/09	43,67	436,69	très dure
05/10/09	43,79	437,93	très dure
04/11/09	42,61	426,06	très dure
02/12/09	47,22	472,18	très dure
14/01/10	42,63	426,25	très dure
02/02/10	36,80	367,98	très dure
01/03/10	49,69	496,90	très dure
04/04/10	51,57	515,74	très dure
04/05/10	49,69	496,90	très dure
07/06/10	49,69	496,90	très dure
05/08/10	42,98	429,78	très dure
12/09/10	43,56	435,63	très dure
06/10/10	36,20	361,96	très dure
02/11/10	35,52	355,23	très dure
05/12/10	43,78	437,75	très dure
09/01/11	43,32	433,22	très dure
06/02/11	43,69	436,88	très dure
07/03/11	37,54	375,42	très dure
05/04/11	42,61	426,13	très dure
05/06/11	42,63	426,25	très dure
06/07/11	42,62	426,20	très dure
08/08/11	36,55	365,54	très dure
08/09/11	39,07	390,72	très dure
05/10/11	43,68	436,78	très dure
03/11/11	36,59	365,94	très dure
04/12/11	42,63	426,28	très dure
02/01/12	42,63	426,29	très dure
09/02/12	42,61	426,06	très dure
01/03/12	43,75	437,54	très dure
03/05/12	46,86	468,56	très dure
03/06/12	42,63	426,28	très dure
01/07/12	46,88	468,78	très dure
02/09/12	43,74	437,40	très dure
02/10/12	42,62	426,24	très dure
04/11/12	49,70	496,97	très dure
02/12/12	43,79	437,93	très dure
18/03/13	43,79	437,94	très dure
09/05/13	46,16	461,57	très dure

02/06/13	43,68	436,78	très dure
01/07/13	43,57	435,73	très dure

La dureté totale des eaux varie entre 567.85mg/l en CaCO_3 et 226.21mg/l en CaCO_3 . Elles sont classées entre moyennement dures (03/06/2000), dures et très dures pour les autres périodes. Toutes les valeurs sont au dessous de la norme (500 mg/l en CaCO_3), à l'exception des dates : 02/02/2000, 06/10/2008, 18/08/2008, 01/04/2008, 04/04/2010.

d) Résidu sec :

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau (Rodier J., 2005). Une eau dont la teneur en résidu sec est extrêmement faible peut être inacceptable à la consommation, en raison de son goût insipide (WHO., 1994).

Les valeurs du résidu sec de la source sont comprises entre 540 mg/l en 02/05/2001 à 1100 mg/l en 06/02/07. Toutes les valeurs sont conformes à la norme (1500mg/l).

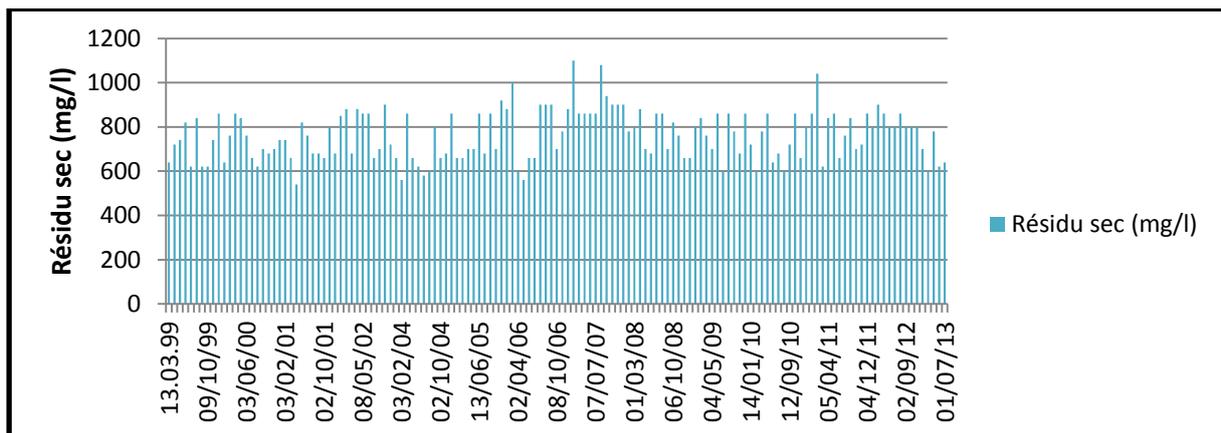
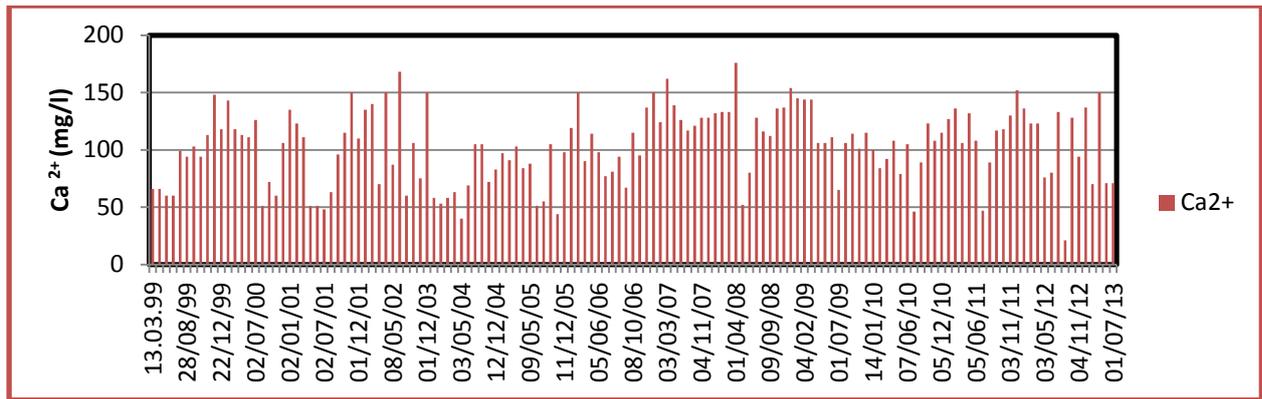


Figure V.3 : Histogramme des résidu secs.

e) Les cations :

◆ **L'ion calcium (Ca^{2+}) :**

C'est un élément de la dureté totale. Les normes algériennes préconisent une concentration de 200 mg/l. Pour l'eau de la source étudiée, les valeurs du calcium varient entre 21 mg/l en 02/09/2012 et 176 mg/l en 01/04/2008. Les valeurs enregistrées sont au dessous de la norme.



FigureV.4 : Histogramme de Calcium.

◆ *L'ion magnésium (Mg^{2+}):*

C'est un élément significatif de la dureté de l'eau. Les teneurs en ion magnésium pour les eaux de source étudiée sont comprises entre 13mg/l en 01/03/2005 et 94 mg/l en 02/09/2012. D'après les normes algériennes (150mg/l), toutes les concentrations sont au dessous de cette limite.

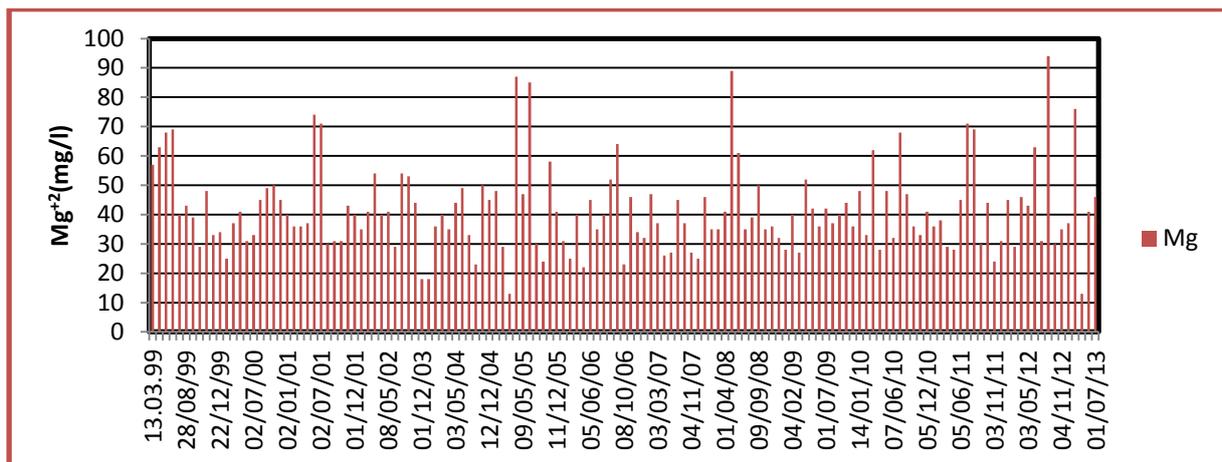
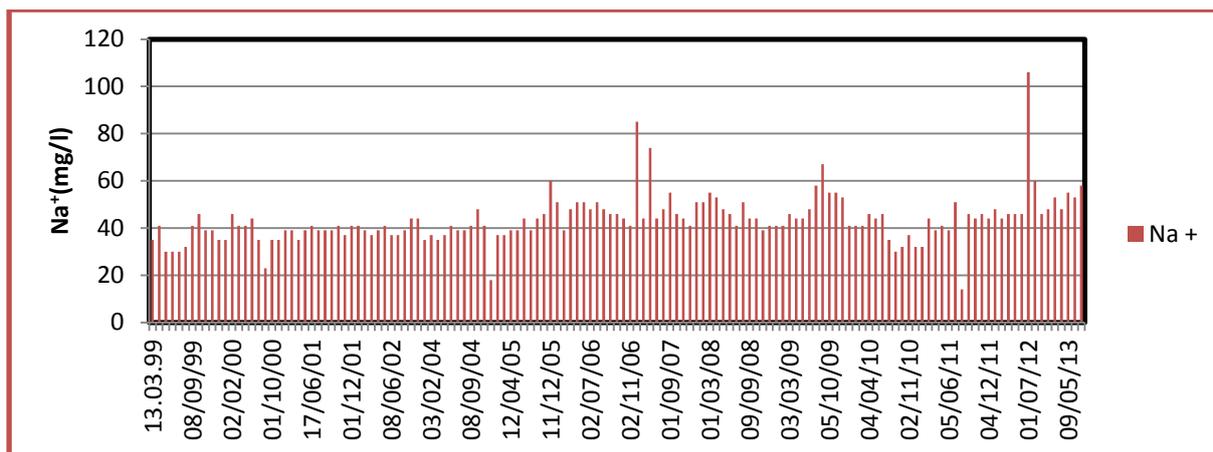


Figure V.5: Histogramme de Magnésium.

◆ *L'ion sodium (Na^+):*

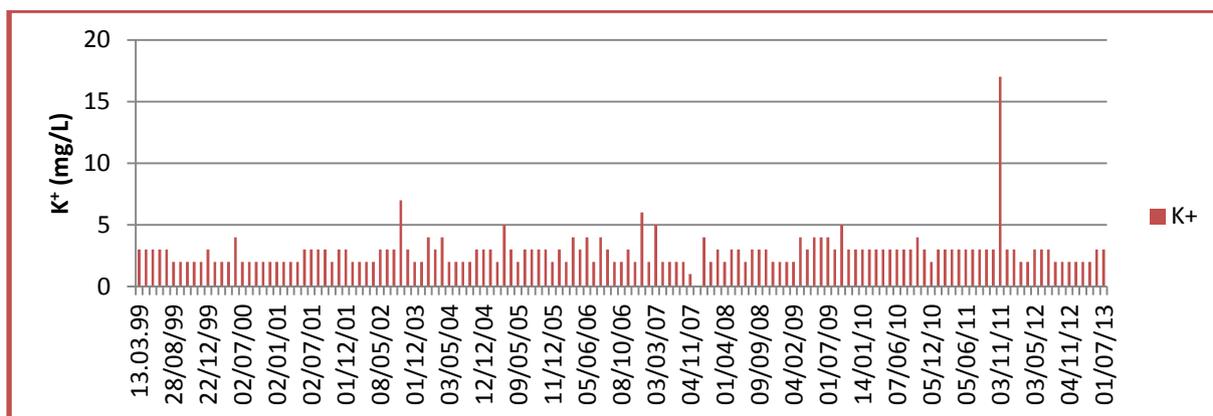
Le sodium est le plus abondant des éléments alcalins. Les normes algériennes recommandent pour le sodium une valeur limite de 200 mg/l. Les valeurs dans les eaux étudiées varient entre 14mg/l en 08/08/2011 et 106mg/l au 01/07/2012. Elles sont au dessous de la norme prescrite.



FigureV.6 : Histogramme de Sodium.

◆ *L'ion potassium (K⁺) :*

Un élément naturel dans les eaux, il est soit lié à la nature géologique des terrains ou à l'utilisation des engrais. Les concentrations en ion potassium sont inférieures à la norme algérienne (12mg/l) à l'exception de la date du 03/11/2011 où la concentration en potassium était de 17 mg/l.

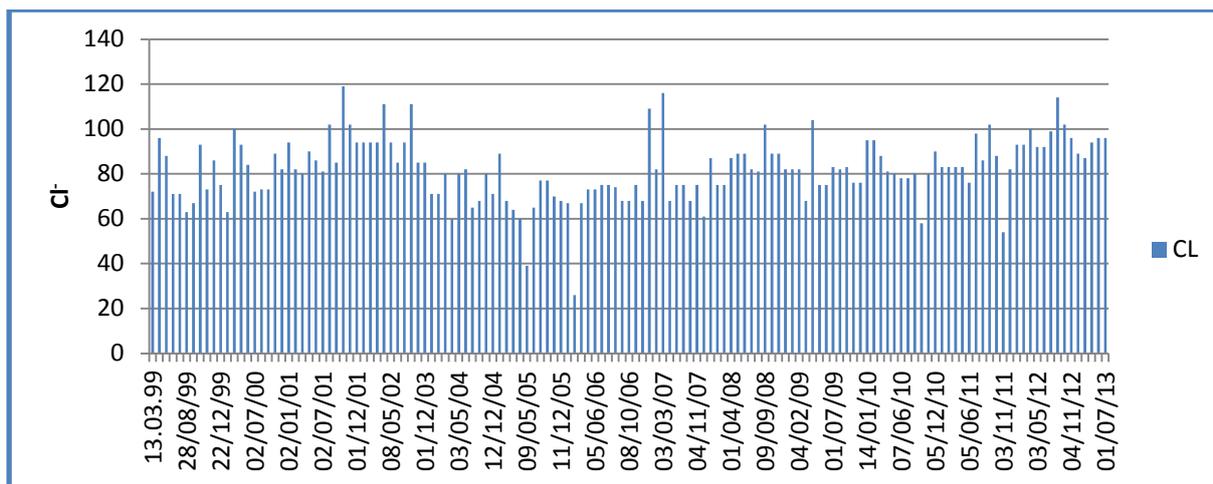


FigureV.7 : Histogramme de potassium

f) les anions

◆ **L'ion chlorure (Cl⁻) :**

Est un élément d'origine naturelle et en fonction de la nature des terrains traversés. Les teneurs en chlorures pour la source étudiée varient entre 26mg/l et 119 mg/l et La norme algérienne indique une concentration maximale admissible de 500mg/l, donc Toutes les teneurs sont au- dessous de cette norme.

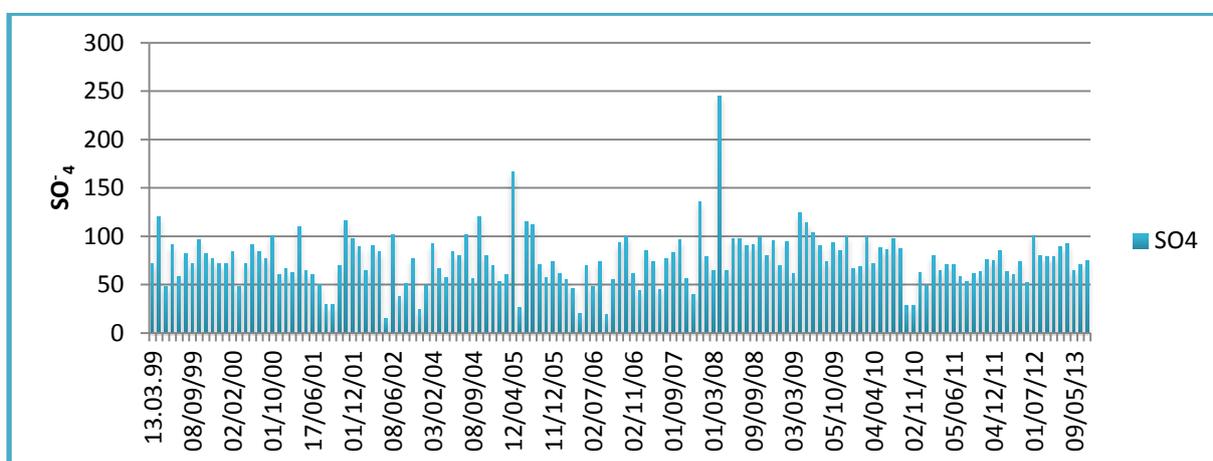


FigureV.8 : Histogrammes des Chlorures.

◆ **L'ion de sulfate (SO_4^-)**

D'origine naturelle dans l'eau en concentrations variables, ils peuvent provenir de l'utilisation des engrais chimiques ou des rejets des eaux usées.

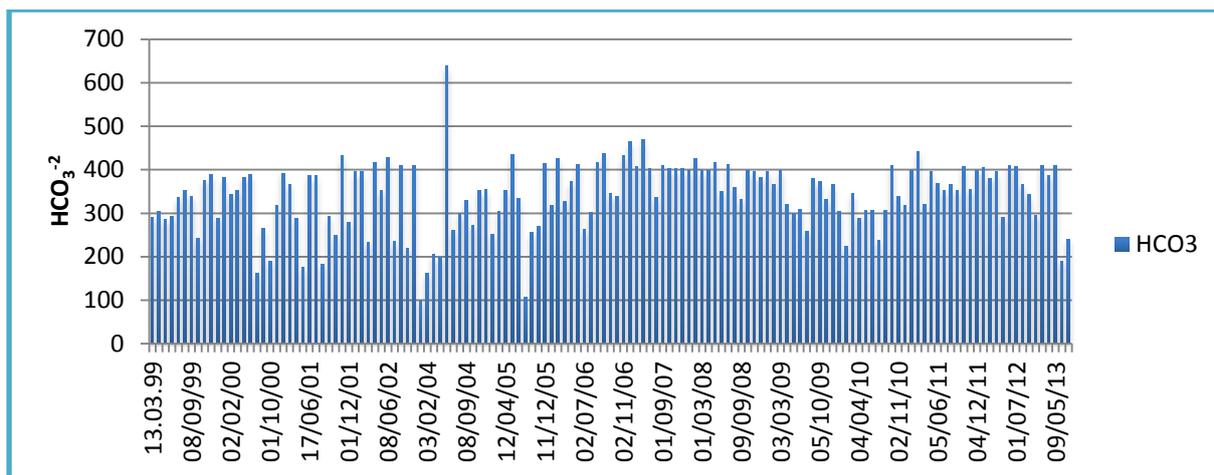
Les teneurs en ions sulfates pour la source étudiée varie de 15 mg/l, à 245 mg/l. La norme algérienne indique une concentration maximale admissible de 400 mg/l. Les teneurs restent dans l'intervalle de cette norme.



FigureV.9 : Histogramme des Sulfates.

◆ **L'ion bicarbonate (HCO_3^{-2}):**

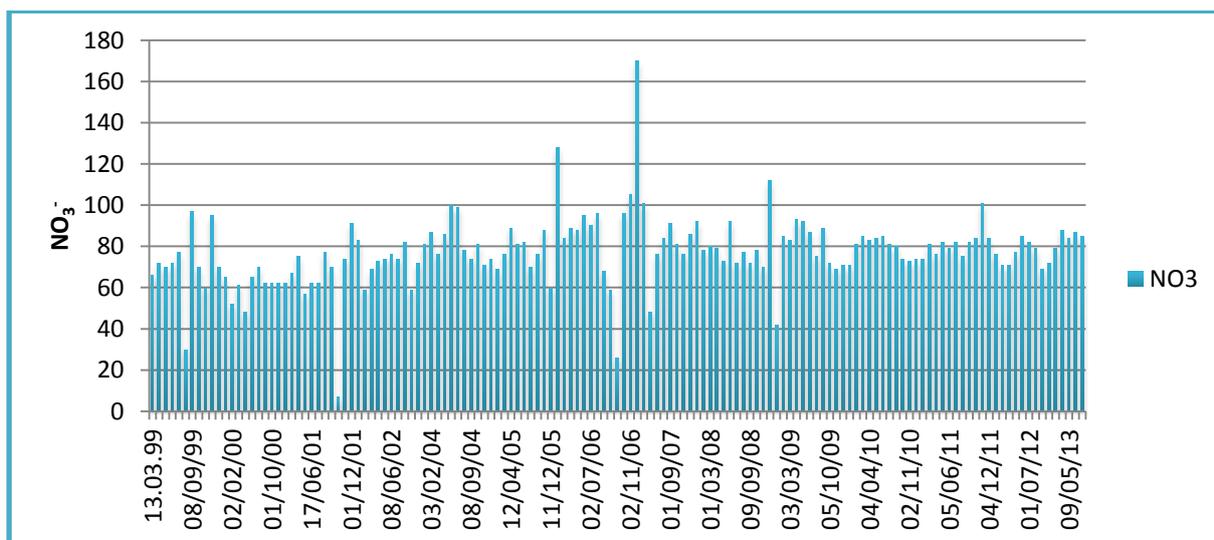
La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés. Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre. Les valeurs des bicarbonates des eaux analysées varient de 101 mg/l à 638 mg/l.



FigureV.10 : Histogramme des Bicarbonates.

◆ *L'ion nitrate (NO₃⁻)*

Les nitrates peuvent provenir des engrais chimiques qui s’infiltrent dans le sol avec les eaux d’irrigation ou les eaux de pluies. d’après Rodier 2009 la toxicité des nitrate peut avoir un effet a des doses de plus de 50mg/l La valeur limite pour les eaux de la consommation humaine donnée par la norme algérienne est de 50 mg/l. Les teneurs en nitrates dans la source étudiée varient entre 7 à 170mg/l. Toutes les concentrations dépassent la norme du JORA, à l’exception des dates du 02/10/2001 (7mg/l), 08/10/2006 (26mg/l), 28/08/1999 (30mg/l), 04/01/2009 (42mg/l), 03/06/2000 (48mg/l) et 03/03/2007 (48mg/l).



FigureV.11 : Histogramme des nitrates.

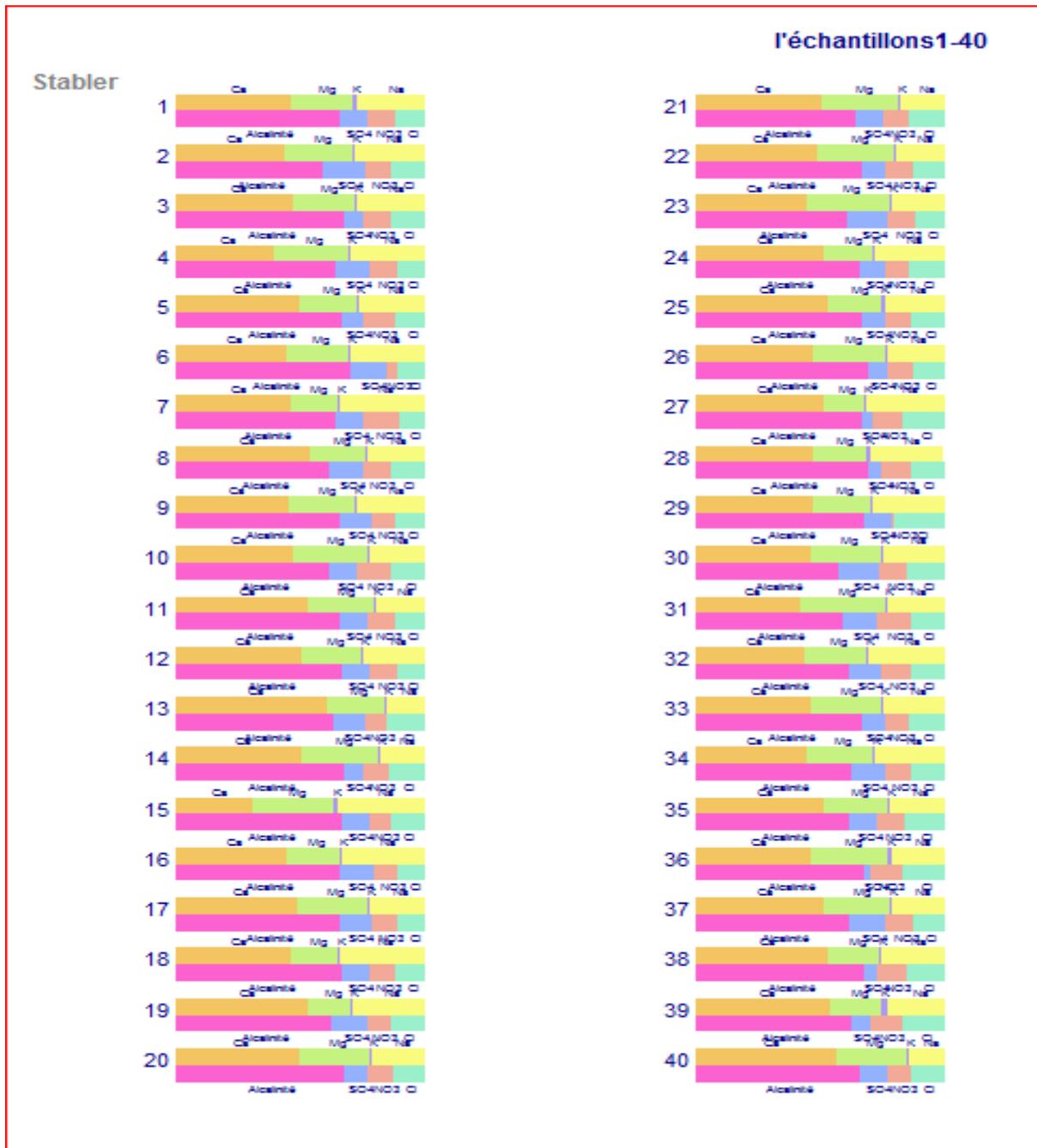
V.4 Classification des eaux :

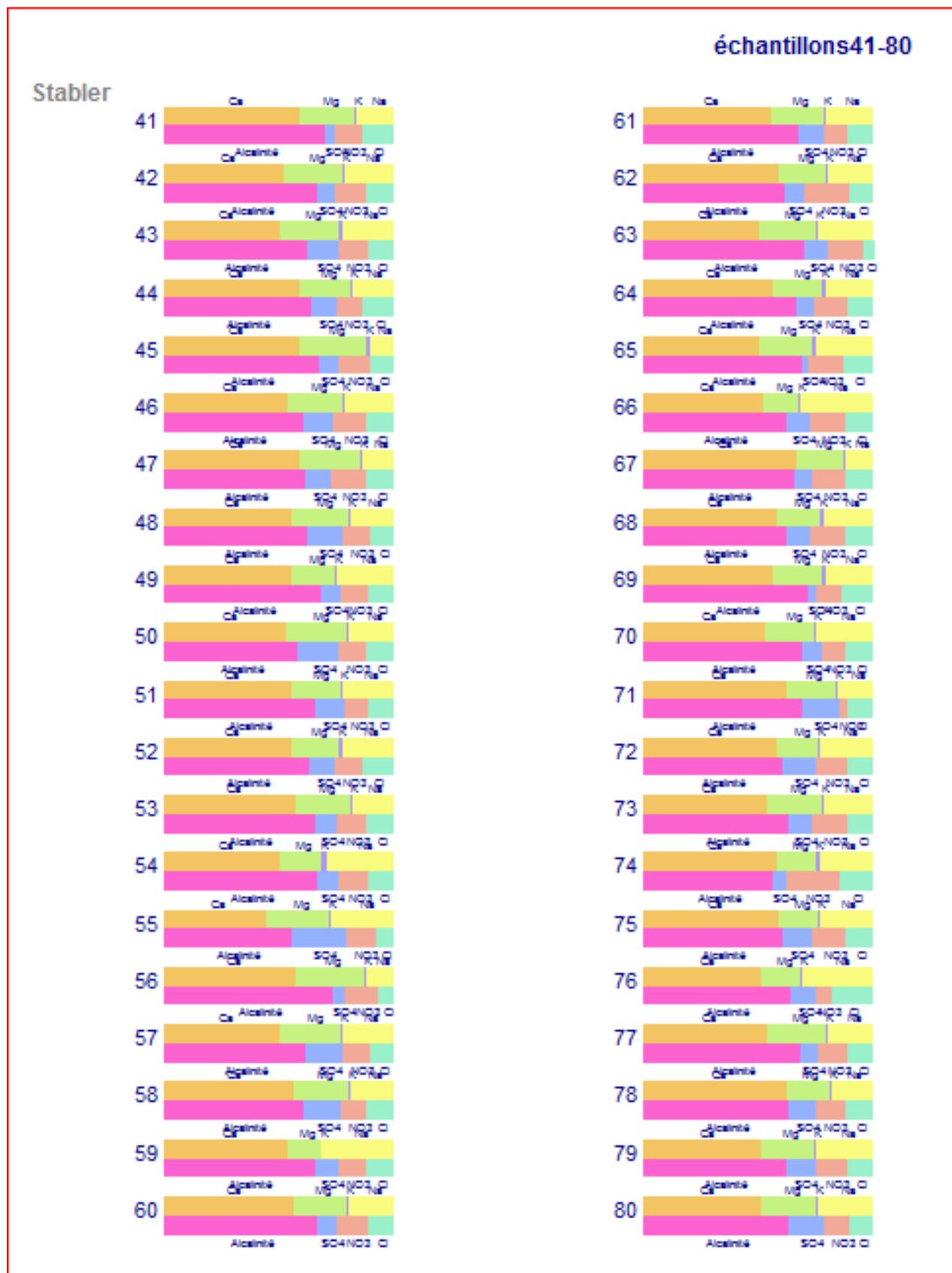
La détermination des faciès chimiques se fait par plusieurs méthodes, citons par exemple :

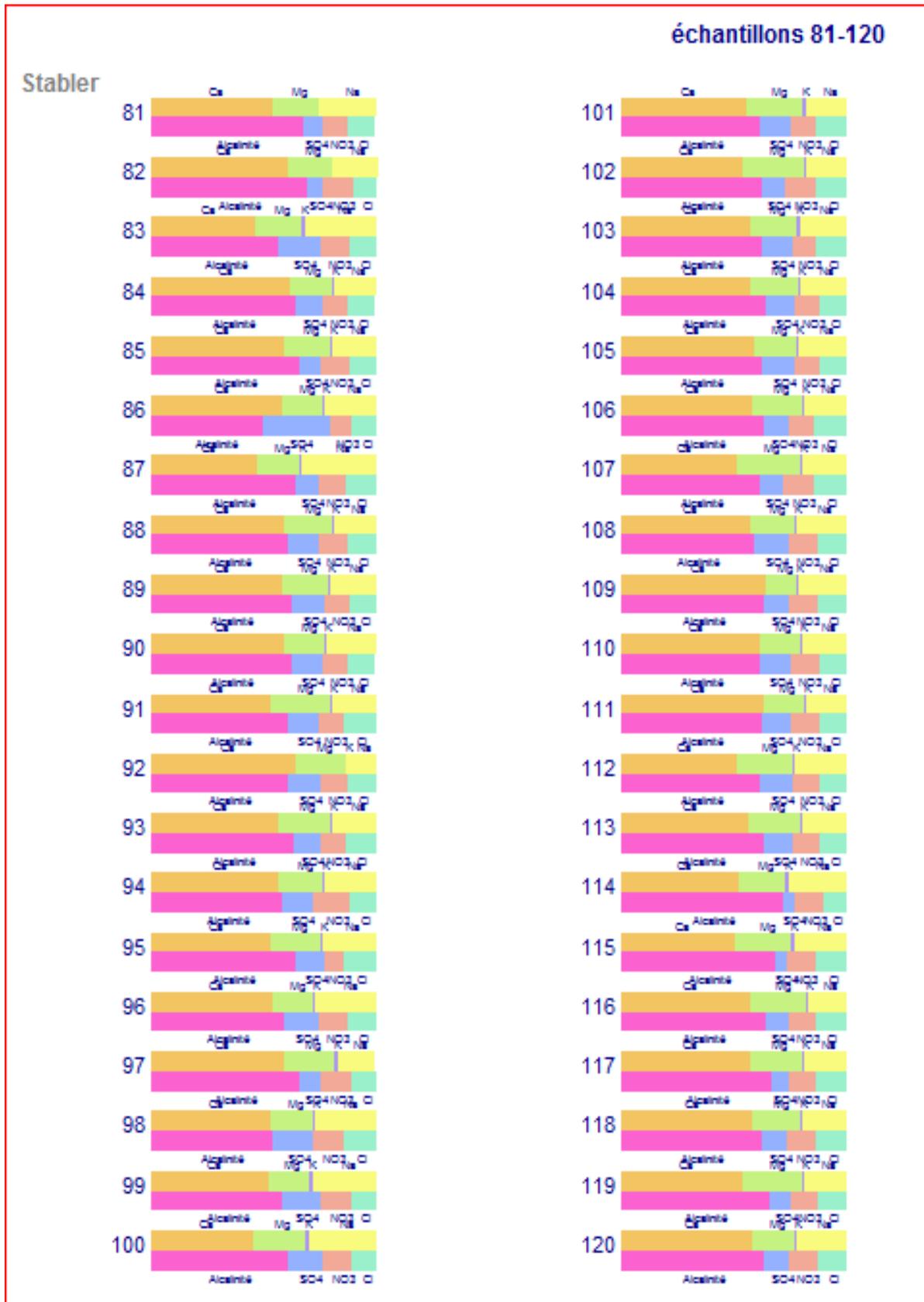
- ❖ Le diagramme de Stabler.
- ❖ Le diagramme triangulaire de PIPER.

a) Diagramme de Stabler :

Permet de connaître les différents faciès chimiques des eaux. On les classe par ordre de grandeur, d'abord les anions suivis des cations.







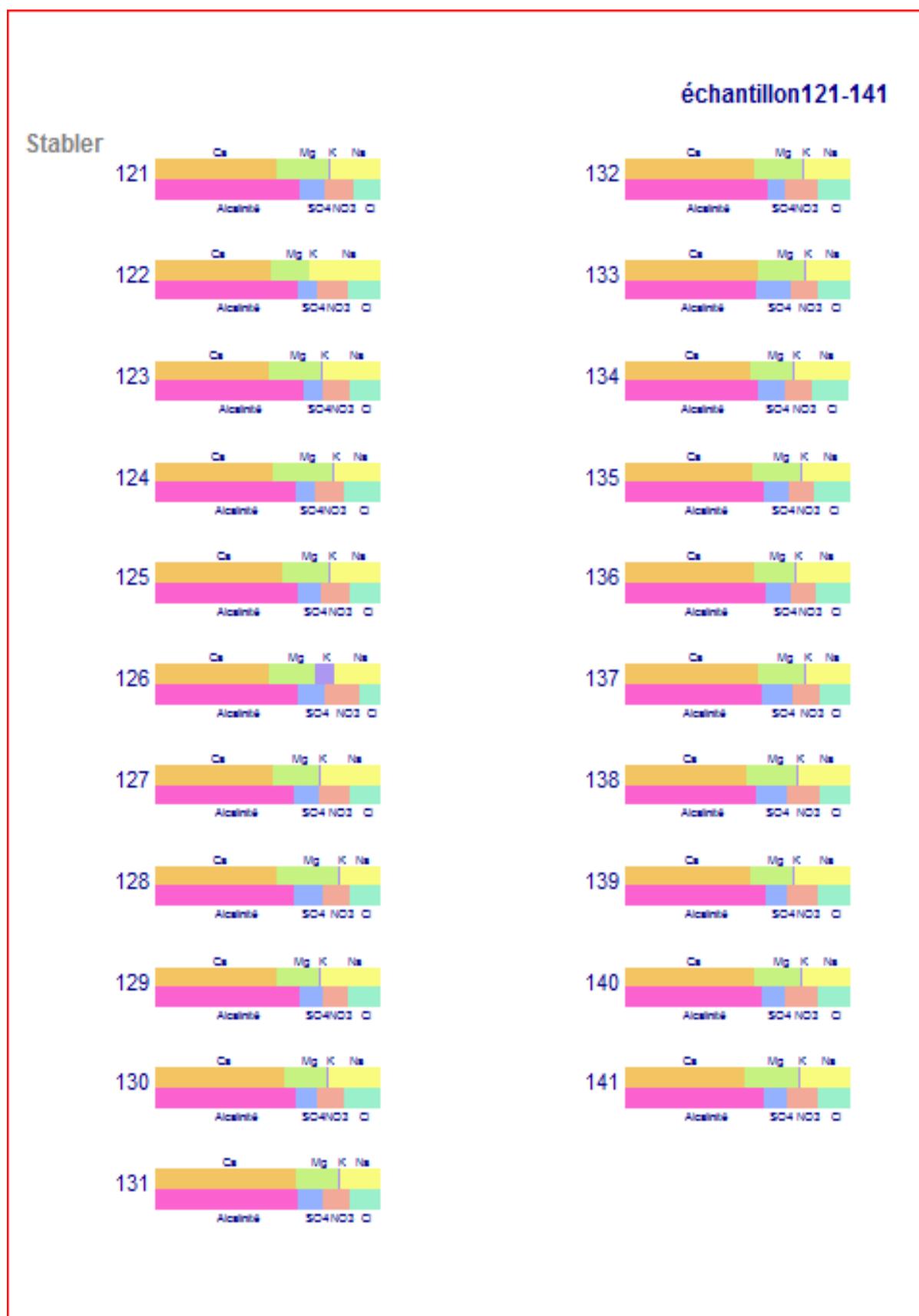


Figure V.12 : diagramme de stabler

D'après le diagramme de Stabler, le faciès dominant est bicarbonaté calcique.

b) Diagramme de Piper :

Ce diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global, les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants (Touati et Nebia, 2019).

Selon le diagramme de Piper (Fig V.13 .), Les eaux appartiennent à deux familles :

- ❖ ***Bicarbonatée calcique et magnésienne*** : caractérise toutes les périodes étudiées.
- ❖ ***Bicarbonatée sulfatée calcique et magnésienne*** : englobe les eaux de la période du 01/04/2008 (échantillon N°86).

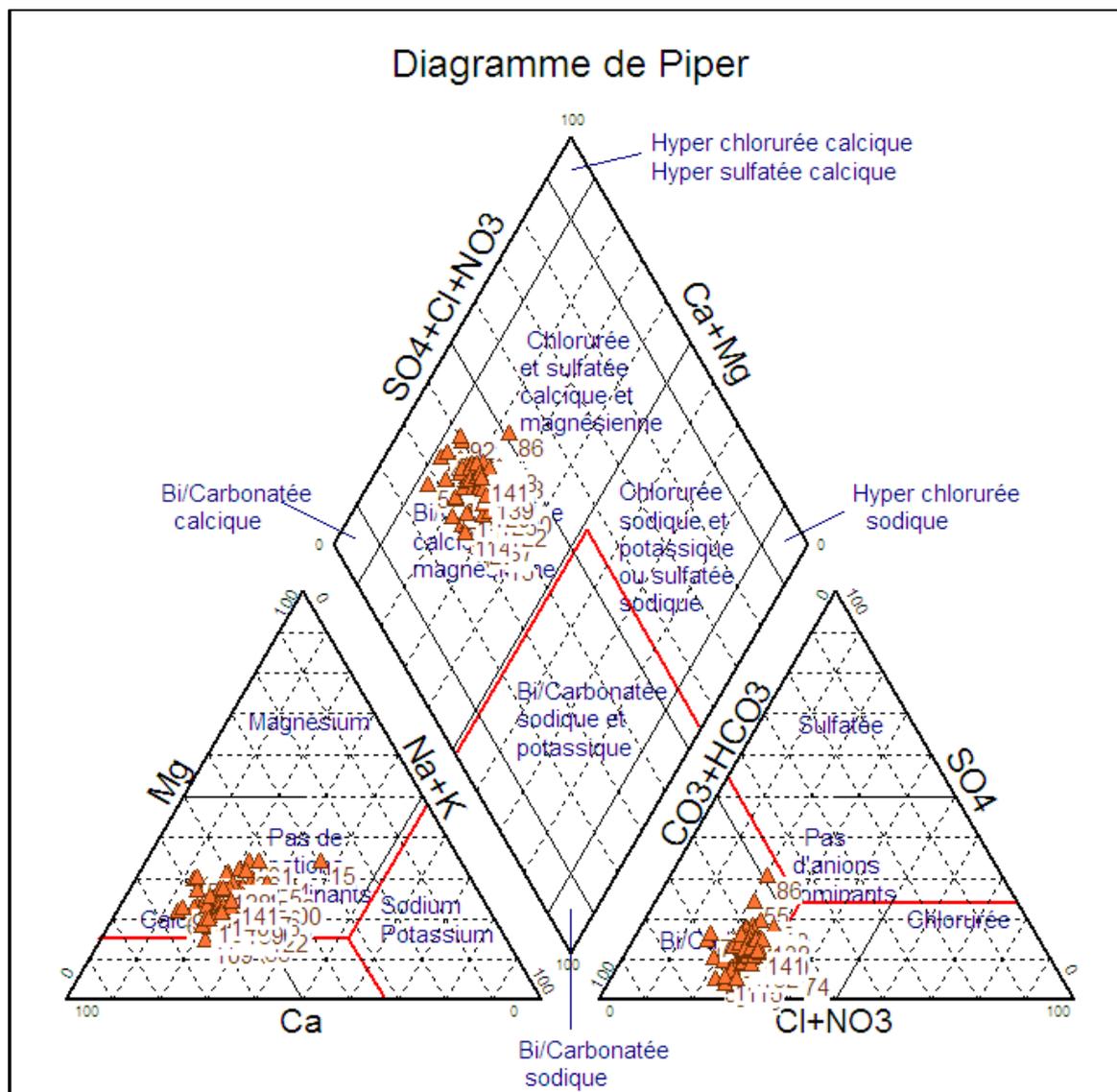


Figure V.13 : Diagramme de Piper.

V .5 Potabilité des eaux étudiées (classification selon les normes algériennes) :

- **Classification des eaux suivant les paramètres physico-chimiques :**

Pour avoir une bonne eau à consommer, on doit suivre et appliquer des critères très stricts, fixés par le Ministère de la Santé et par le conseil supérieur du secteur d'Hygiène Publique. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur. L'Algérie a des normes de potabilité, qui sont utilisées pour cette étude.

Le tableau ... présente la classification des eaux de la source d'Ain El Houtz, du point de vue potabilité. La source d'Ain El Houtz était non potable dans les périodes étudiées, car elle avait des concentrations élevées en nitrates, qui dépassent la valeur maximale admissible (50 mg/l)

excepté des dates :02/10/2001 (7mg/l), 08/10/2006 (26mg/l),28/08/1999 (30mg/l),04/012009 (42mg/l),03/06/2000 (48mg/l) et 03/03/2007 (48mg/l).

Tableau V.4 : Classification des eaux de la source d' Ain El Houtz, selon les normes algériennes.

Paramètre	Unité	Niveau guide	Concentration Maximale admissible	Résultats des analyses physico-chimiques	
				Conformes aux normes	Non conformes aux normes
Ca ²⁺	mg/l	-	200	Tous les échantillons.	-
Mg ²⁺	mg/l		150	Tous les échantillons.	-
Na ⁺	mg/l		200	Tous les échantillons.	-
K ⁺	mg/l		12	La majorité des échantillons.	à l'exception del'échantillon n°126 de la date (03/11/2011)
Cl ⁻	mg/l		500	Tous les échantillons.	-
SO ₄ ⁻²	mg/l		400	Tous les échantillons.	-
NO ₃ ⁻	mg/l		50	A l'exception des périodes du 02/10/2001, 08/10/2006 ,28/08/1999 ,04/012009 ,03/06/2000 et 03/03/2007 .	La majorité des échantillons sont supérieurs à 50 mg/l
pH	-	6.5	9	Tous les échantillons.	
Résidu sec	mg/l		1500	Tous les échantillons.	-
Conductivité	μS/cm		2800	Tous les échantillons.	-
Dureté totale	mg/l	-	500	La majorité des échantillons	A l'exceptions des échantillons n° 14.87.91.93.110 De dates (02/20/2000), (01/04/2008),(18/08/2008). (06/10/2008),(04/04/2010)

▪ **Classification des eaux selon les analyses microbiologiques :**

Toute eau destinée à la consommation humaine ne doit pas nuire à la santé des consommateurs,elle doit être exempte de tout micro-organisme pathogène.

Malheureusement, nous n'avons pas pu obtenir des analyses physico-chimiques récentes de la source,nous avons pu avoir seulement des analyses microbiologiques, auprès desservices de l'A.D.E/ Tlemcen. Les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.5 : Analyses bactériologiques de la source d'Ain El Houtz (A.D.E 14 juin ,2021).

Source	Coliformes totaux		Coliformes fécaux		Streptocoques fécaux		Germe totaux à 37 °C		Germe totaux à 22°C	
	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A
Ain El Houtz	00	00	00	00	110	00	49	<10	160	<100

Selon le tableau ci-dessus (**Tableau V.5**), la valeur 110 germes/ml de Streptocoques fécaux dépasse la norme prescrite. D'après les résultats obtenus, la source n'est pas conforme à la norme prescrite par la réglementation algérienne (<10 germes/ml à 37°C), la valeur de germes totaux est 49 germes/ml à 37° et à 22°C, le nombre de germes (160 germes/ml) est aussi supérieur à la norme (<100).

Vue la qualité bactériologique mauvaise des eaux de la source d'Ain El Houtz, elles sont impropres à la consommation humaine. Cela, reste à compléter par les analyses physico-chimiques.

V .5 -Aptitude des eaux à l'irrigation :

a) Indice de Kelly's Ratio (KR) :

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na^+ et de la somme de Ca^{2+} et de Mg^{2+} . Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation (Paliwal. 1967).

Une grande concentration en Na^+ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation, cet indice est donné par la relation suivante :

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

Si : $KR < 1$: l'eau est considérée comme bonne pour l'irrigation.

Si : $KR > 1$: l'est est mauvaise pour l'irrigation (elle est déconseillée).

Les concentrations de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sont en méq/L.

Tableau V.6 : Classification des eaux selon l'indice de Kelly's Ratio.

DATE	KR	DATE	KR	DATE	KR	DATE	KR
13.03.99	0,39	02/11/2003	0,18	15/10/2007	0,31	05/04/2011	0,29
05/04/1999	0,4	01/12/2003	0,19	04/11/2007	0,35	05/06/2011	0,28
11/05/1999	0,38	03/01/2004	0,27	03/12/2007	0,25	06/07/2011	0,46
01/06/1999	0,45	03/02/2004	0,29	02/01/2008	0,49	08/08/2011	0,37
07/04/1999	0,36	01/03/2004	0,22	02/02/2008	0,24	08/09/2011	0,25
28/08/1999	0,43	06/04/2004	0,12	01/03/2008	0,25	05/10/2011	0,29
08/09/1999	0,52	01/06/2004	0,16	01/04/2008	0,3	03/11/2011	0,29
09/10/1999	0,3	11/07/2004	0,24	12/05/2008	0,51	04/12/2011	0,35
14/11/1999	0,38	08/09/2004	0,34	16/06/2008	0,24	02/01/2012	0,22
01/12/1999	0,28	02/10/2004	0,25	02/07/2008	0,27	01/03/2012	0,31
22/12/1999	0,25	12/12/2004	0,28	18/08/2008	0,29	03/05/2012	0,23
02/01/2000	0,33	09/01/2005	0,29	09/09/2008	0,26	03/06/2012	0,25
02/02/2000	0,19	12/02/2005	0,22	03/11/2008	0,25	01/07/2012	0,25
03/05/2000	0,22	01/03/2005	0,43	06/12/2008	0,31	02/09/2012	0,34
03/06/2000	0,56	12/04/2005	0,38	04/01/2009	0,33	02/10/2012	0,27
02/07/2000	0,49	09/05/2005	0,13	04/02/2009	0,37	04/11/2012	0,33
01/08/2000	0,28	13/06/2005	0,29	03/03/2009	0,2	02/12/2012	0,25
05/09/2000	0,51	10/09/2005	0,24	04/04/2009	0,38	09/05/2013	0,34
01/10/2000	0,41	08/10/2005	0,45	04/05/2009	0,4	02/06/2013	0,27
02/12/2000	0,28	13/11/2005	0,25	02/06/2009	0,45	01/07/2013	0,28
02/01/2001	0,22	11/12/2005	0,26	01/07/2009	0,23		
03/02/2001	0,25	12/02/2006	0,25	06/09/2009	0,22		
03/03/2001	0,27	04/03/2006	0,31	05/10/2009	0,25		
02.05.01	0,38	02/04/2006	0,26	04/11/2009	0,26		
17/06/2001	0,31	02/05/2006	0,33	02/12/2009	0,26		
02/07/2001	0,3	05/06/2006	0,45	14/01/2010	0,25		
01/08/2001	0,48	02/07/2006	0,14	02/02/2010	0,25		
01/09/2001	0,41	21/08/2006	0,27	01/03/2010	0,28		
02/10/2001	0,42	17/09/2006	0,26	04/04/2010	0,28		
03/11/2001	0,34	02/10/2006	0,34	04/05/2010	0,26		
01/12/2001	0,3	08/10/2006	0,18	07/06/2010	0,23		
07/01/2002	0,46	04/11/2006	0,31	05/08/2010	0,3		
11/02/2002	0,34	02/11/2006	0,27	12/09/2010	0,26		
02/03/2002	0,4	06/02/2007	0,31	06/10/2010	0,33		
23/04/2002	0,28	07/04/2007	0,31	02/11/2010	0,31		
08/05/2002	0,27	03/03/2007	0,44	05/12/2010	0,21		
08/06/2002	0,27	02/06/2007	0,25	09/01/2011	0,24		
02/07/2002	0,36	07/07/2007	0,22	06/02/2011	0,25		
01/10/2003	0,31	01/09/2007	0,34	07/03/2011	0,25		

Les valeurs du KR indiquent que les eaux sont de bonne qualité pour l'irrigation, toutes les années étudiées ont un $KR < 1$.

b) Pourcentage du sodium (Na%) et classification des eaux par la méthode de Wilcox :

L'usage agricole d'une eau est basé sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de sodium par rapport aux autres sels dans l'eau (Wilcox, 1955). Le pourcentage en sodium doit être inférieur à 60% (seuil maximal admissible):

$$Na^+ = \frac{Na^+ + K^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$$

Tableau V.7 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na

Classe	Classe 1 Très bonne	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 Mauvaise
%Na ⁺	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80

Les pourcentages en sodium des eaux analysées ainsi que leurs classifications sont donnés au tableau V. 8.

Tableau V. 8: Pourcentages en sodium de la source étudiée.

DATE	Na ⁺ %	CLASSE
13.03.99	28,90	Bonne qualité
05/04/99	29,24	Bonne qualité
11/05/99	28,63	Bonne qualité
01/06/99	31,81	Bonne qualité
07/04/99	27,44	Bonne qualité
28/08/99	30,81	Bonne qualité
08/09/99	34,57	Bonne qualité
09/10/99	23,68	Bonne qualité
01/12/99	22,52	Bonne qualité
22/12/99	21,12	Bonne qualité
02/01/00	25,45	Bonne qualité
02/02/00	16,38	Très bonne qualité
03/05/00	18,84	Très bonne qualité
03/06/00	37,03	Bonne qualité
02/07/00	33,63	Bonne qualité
01/08/00	22,52	Bonne qualité

05/09/00	34,52	Bonne qualité
01/10/00	29,83	Bonne qualité
02/12/00	22,42	Bonne qualité
02/01/01	18,63	Très bonne qualité
03/02/01	20,69	Bonne qualité
03/03/01	21,68	Bonne qualité
02.05.01	28,51	Bonne qualité
17/06/01	25,13	Bonne qualité
02/07/01	24,42	Bonne qualité
01/08/01	33,42	Bonne qualité
01/09/01	30,27	Bonne qualité
02/10/01	30,31	Bonne qualité
03/11/01	26,21	Boone qualité
01/12/01	24,04	Bonne qualité
07/01/02	32,01	Bonne qualité
11/02/02	25,89	Bonne qualité
02/03/02	29,06	Bonne qualité
23/04/02	22,55	Bonne qualité
08/05/02	22,27	Bonne qualité
08/06/02	22,45	Bonne qualité
02/07/02	27,19	Bonne qualité
01/10/03	25,81	Bonne qualité
02/11/03	16,20	Très bonne qualité
01/12/03	17,15	Très bonne qualité
03/01/04	22,25	Bonne qualité
03/02/04	23,81	Bonne qualité
01/03/04	18,84	Très bonne qualité
06/04/04	12,27	Très bonne qualité
03/05/04	21,83	Bonne qualité
01/06/04	14,59	Très bonne qualité
11/07/04	20,18	Bonne qualité
08/09/04	25,99	Bonne qualité
02/10/04	20,96	Bonne qualité
12/12/04	22,92	Bonne qualité
09/01/05	23,83	Bonne qualité
12/02/05	19,23	Très bonne qualité
01/03/05	31,97	Bonne qualité
12/04/05	28,35	Bonne qualité
09/05/05	12,69	Très bonne qualité
13/06/05	23,68	Bonne qualité
10/09/05	20,45	Bonne qualité
08/10/05	32,05	Bonne qualité
13/11/05	21,04	Bonne qualité
11/12/05	21,51	Bonne qualité
12/02/06	21,26	Bonne qualité

04/03/06	24,77	Bonne qualité
02/04/06	22,19	Bonne qualité
02/05/06	26,22	Bonne qualité
05/06/06	32,45	Bonne qualité
02/07/06	13,13	Très bonne qualité
21/08/06	22,95	Bonne qualité
17/09/06	21,97	Bonne qualité
02/10/06	25,92	Bonne qualité
08/10/06	16,14	Très bonne qualité
04/11/06	24,58	Bonne qualité
02/11/06	21,91	Bonne qualité
06/02/07	25,47	Bonne qualité
07/04/07	24,12	Bonne qualité
02/06/07	20,80	Bonne qualité
07/07/07	18,87	Très bonne qualité
01/09/07	26,18	Bonne qualité
15/10/07	24,63	Bonne qualité
04/11/07	26,35	Bonne qualité
03/12/07	20,05	Bonne qualité
02/01/08	34,04	Bonne qualité
02/02/08	19,90	Très bonne qualité
01/03/08	21,31	Bonne qualité
01/04/08	23,42	Bonne qualité
12/05/08	34,45	Bonne qualité
16/06/08	20,52	Bonne qualité
02/07/08	22,30	Bonne qualité
18/08/08	23,52	Bonne qualité
09/09/08	21,69	Bonne qualité
06/10/08	13,77	Très bonne qualité
03/11/08	20,49	Bonne qualité
06/12/08	24,15	Bonne qualité
04/01/09	25,41	Bonne qualité
04/02/09	27,52	Bonne qualité
03/03/09	18,47	Très bonne qualité
04/04/09	28,51	Bonne qualité
04/05/09	29,55	Bonne qualité
02/06/09	32,11	Bonne qualité
01/07/09	20,17	Bonne qualité
06/09/09	18,92	Très bonne qualité
05/10/09	21,98	Bonne qualité
04/11/09	21,51	Bonne qualité
02/12/09	21,91	Bonne qualité
14/01/10	20,86	Bonne qualité
02/02/10	21,13	Bonne qualité
01/03/10	23,00	Bonne qualité

04/04/10	22,69	Bonne qualité
04/05/10	21,53	Bonne qualité
07/06/10	19,66	Très bonne qualité
05/08/10	23,97	Bonne qualité
12/09/10	21,41	Bonne qualité
06/10/10	26,57	Bonne qualité
02/11/10	24,58	Bonne qualité
05/12/10	18,00	Très bonne qualité
09/01/11	20,42	Bonne qualité
06/02/11	20,98	Bonne qualité
07/03/11	20,89	Bonne qualité
05/04/11	23,37	Bonne qualité
05/06/11	22,97	Bonne qualité
06/07/11	32,54	Bonne qualité
08/08/11	27,89	Bonne qualité
08/09/11	21,00	Bonne qualité
05/10/11	23,78	Bonne qualité
03/11/11	28,94	Bonne qualité
02/01/12	19,33	Très bonne qualité
09/02/12	26,94	Bonne qualité
01/03/12	24,32	Bonne qualité
03/05/12	19,87	Très bonne qualité
03/06/12	21,25	Bonne qualité
01/07/12	21,36	Bonne qualité
02/09/12	25,94	Bonne qualité
02/10/12	21,84	Bonne qualité
04/11/12	25,21	Bonne qualité
02/12/12	20,51	Bonne qualité
18/03/13	24,06	Bonne qualité
09/05/13	26,15	Bonne qualité
02/06/13	22,59	Bonne qualité
01/07/13	23,10	Bonne qualité

Selon ce tableau, les eaux de la source ont un taux de sodium inférieur à 60 %, elles sont de qualité bonne à très bonne, donc elles sont aptes à être utilisées en irrigation.

***Classification de Wilcox :**

Le report des valeurs du pourcentage en sodium en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de Wilcox (fig V.14.) permet de voir une autre classification des eaux souterraines concernant leur aptitude à l'irrigation.

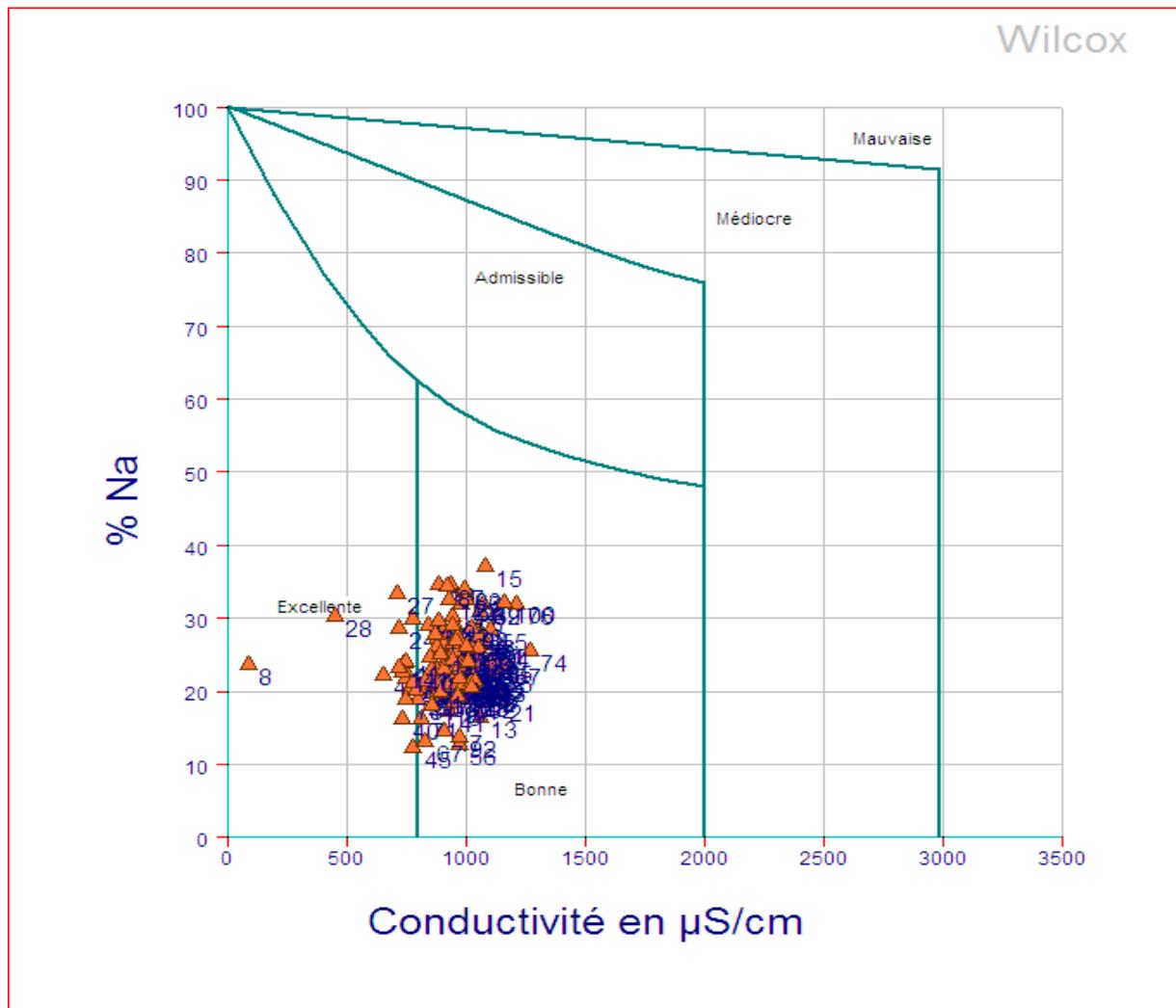


Figure V.14 : Diagramme de Wilcox.

D’après la fig V.14. nous remarquons que les eaux de la source étudiée appartiennent aux classes : excellente et la majorité bonne pour l’irrigation.

c) Sodium Alcalinity Ratio “SAR” :

Le S.A.R.s'exprime par l'équation suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Si :

- a) S.A.R. < 10 : eau excellente, à faible danger d’alcalinisation des sols.
- b) 10 < S.A.R. < 18 : eau de bonne qualité, danger d’alcalinisation assez appréciable.
- c) 18 < S.A.R. < 26 : eau convenable, danger d’alcalinisation important.
- d) S.A.R. > 26 : eau de qualité médiocre, danger de forte alcalinisation.

Nous reportons les valeurs calculées du S.A.R en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation qui comporte des classes de différentes qualités d'eau (fig. V.15).

Tableau V.9 : Classification des eaux destinées à l'irrigation (Servant 1975).

Degré	Qualité	Classe	Description
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C4-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

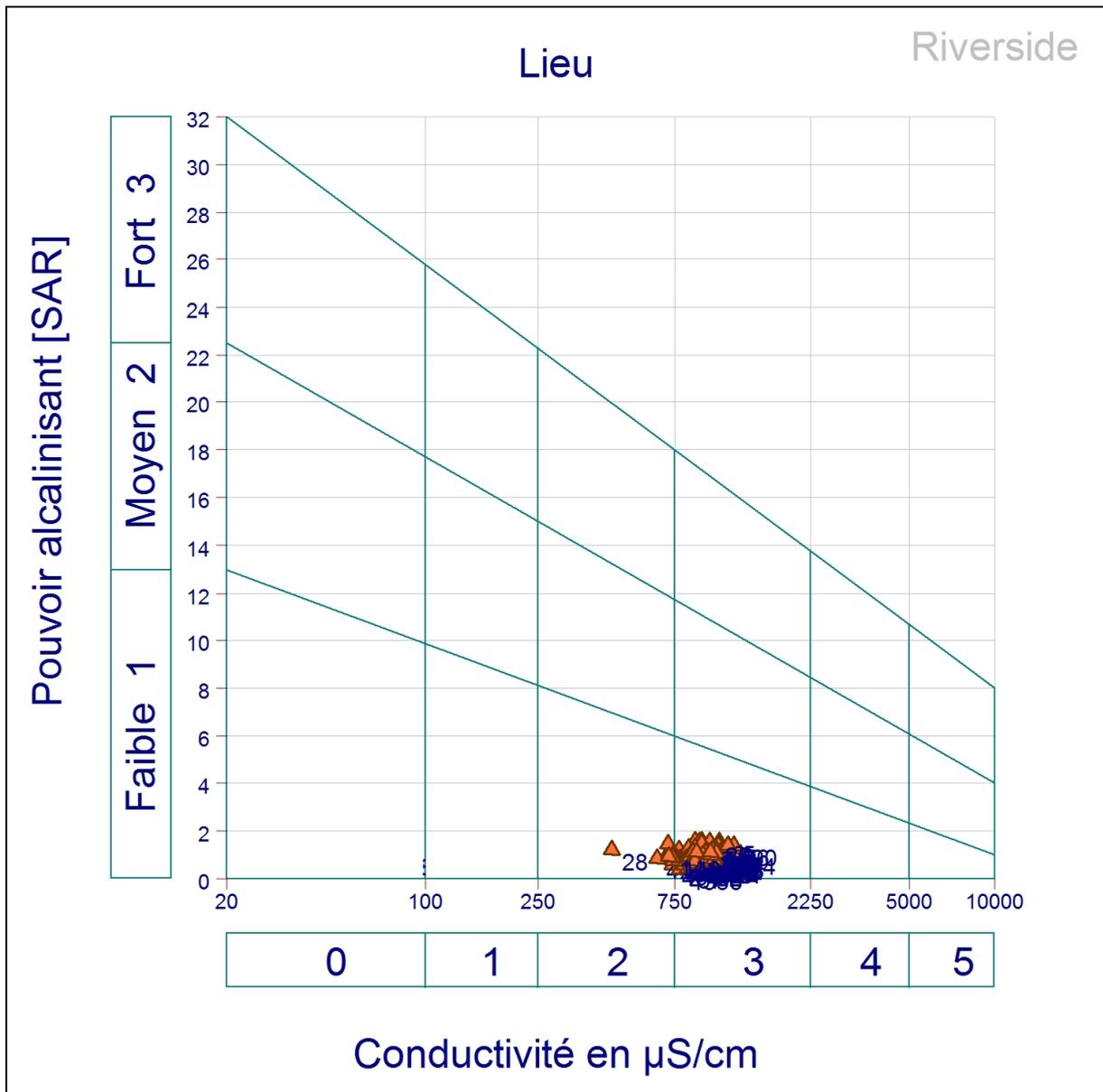


Figure V.15 : Diagramme de Riverside.

D'après (figV.15.) ,nous remarquons que la majorité des échantillons d'eau s'inscrivent dans la classe : C3-S1 elles sont admissibles pour l'irrigation. Certains sont dans la classe C2-S1 . Elles sont de qualité bonne pour l'irrigation.

V.6 Origine de la minéralisation :

e) Indice de saturation :

L'indice de saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche (KEDDAH.K, MEDJAHEDI.N, 2018).

L'utilisation du programme « PHREEQ C » nous a permis de calculer les indices de saturation de la calcite, de l'aragonite, de la dolomite, du gypse, de l'anhydrite, et de la halite.

Si on admet que:

- $Is < -0.5$: l'eau est sous saturée.
- $-0.5 < Is < 0.5$: l'eau est en équilibre avec la roche.
- $Is > 0.5$: l'eau est sursaturée.

Les indices de saturation calculés ont permis de constater que les eaux d'Ain El Houtz sont sursaturées en formation carbonatée. Tandis que pour les formations évaporitiques sont en état d'équilibre (voir tableau V.10). Les résultats sont illustrés dans le tableau V.10

Tableau V.10.: Indice de saturation d'après PHREEQ C.

DATE	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypsum
13.03.99	-0,2	2,96	3,1	5,57	0,01
05/04/99	0,03	3,09	3,23	5,9	0,24
11/05/99	-0,33	3,02	3,17	5,7	-0,12
01/06/99	-0,15	2,74	2,88	5,26	0,06
07/04/99	-0,25	3,11	3,25	5,84	-0,04
28/08/99	-0,21	3,26	3,4	6,2	0
08/09/99	-0,19	3,26	3,4	6,08	0,02
09/10/99	0	3,23	3,37	5,99	0,21
14/11/99	-0,13	2,99	3,14	5,68	0,08
01/12/99	-0,1	2,67	2,82	5,06	0,11
22/12/99	-0,14	3,11	3,26	5,85	0,07
02/01/00	-0,11	2,57	2,72	4,73	0,1
02/02/00	0,04	3,06	3,21	5,61	0,25
03/05/00	-0,3	2,78	2,92	5,25	-0,09
03/06/00	-0,35	2,54	2,68	5,04	-0,14
02/07/00	-0,04	2,56	2,7	4,7	0,17
01/08/00	-0,13	3,25	3,4	6,22	0,08
05/09/00	-0,11	2,85	2,99	5,23	0,1

01/10/00	-0,02	3,09	3,23	5,59	0,19
02/12/00	-0,23	3,02	3,16	5,73	-0,02
02/01/01	-0,19	3,02	3,16	5,73	0,02
03/02/01	-0,21	2,55	2,7	4,83	0
03/03/01	0,01	2,42	2,57	4,62	0,22
02.05.01	-0,19	2,93	3,07	5,37	0,02
17/06/01	-0,2	2,57	2,71	4,64	0,01
02/07/01	-0,33	3	3,14	5,72	-0,12
01/08/01	-0,52	3,13	3,28	5,71	-0,31
01/09/01	-0,53	2,56	2,7	4,7	-0,32
02/10/01	-0,17	3,02	3,16	5,66	0,04
03/11/01	0,05	2,16	2,31	4	0,26
01/12/01	-0,05	2,53	2,67	4,86	0,16
07/01/02	-0,06	2,16	2,31	4	0,15
11/02/02	-0,18	1,89	2,04	3,47	0,03
02/03/02	-0,11	3,24	3,38	6,19	0,1
23/04/02	-0,03	2,8	2,95	5,22	0,18
08/05/02	-0,83	2,72	2,86	5,18	-0,62
08/06/02	0,04	2,79	2,94	5,22	0,25
02/07/02	-0,35	3,11	3,25	5,7	-0,14
01/10/03	-0,26	3,43	3,57	6,37	-0,05
02/11/03	-0,07	3,16	3,31	5,94	0,14
01/12/03	-0,54	2,53	2,67	4,58	-0,33
03/01/04	-0,4	3,51	3,65	6,68	-0,19
03/02/04	-0,09	3,24	3,38	6,13	0,12
01/03/04	-0,08	3,13	3,27	5,74	0,13

DATE	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite(d)	Gypsum
06/04/04	-0,19	3,08	3,23	5,79	0,02
03/05/04	-0,1	3,44	3,58	6,46	0,11
01/06/04	-0,05	3,16	3,31	5,89	0,16
11/07/04	0,01	3,29	3,44	6,18	0,22
08/09/04	-0,19	3,08	3,23	5,62	0,02
02/10/04	0,06	3,28	3,43	6,18	0,27
12/12/04	-0,07	3,23	3,37	6	0,14
09/01/05	-0,14	3,1	3,25	5,7	0,07
12/02/05	-0,23	2,97	3,11	5,48	-0,02
01/03/05	-0,22	3	3,15	5,47	0
12/04/05	0,17	2,8	2,95	5,32	0,38
09/05/05	-0,53	2,58	2,73	4,79	-0,32
13/06/05	0,07	2,69	2,83	5,02	0,28
10/09/05	0,05	3,34	3,48	6,24	0,26
08/10/05	-0,11	3,21	3,35	5,76	0,1
13/11/05	-0,19	3,09	3,23	5,72	0,02
11/12/05	-0,09	2,75	2,89	5,01	0,12

12/02/06	-0,13	2,55	2,7	4,53	0,08
04/03/06	-0,27	2,17	2,31	3,95	-0,06
02/04/06	-0,25	2,72	2,87	4,95	-0,04
02/05/06	-0,68	2,86	3	5,3	-0,47
05/06/06	-0,09	2,91	3,05	5,17	0,12
02/07/06	-0,18	2,53	2,67	4,47	0,03
21/08/06	-0,03	2,64	2,78	4,69	0,18
17/09/06	-0,64	2,68	2,82	4,85	-0,43
02/10/06	-0,21	2,81	2,96	5,12	0
08/10/06	0,05	2,42	2,57	4,3	0,26
04/11/06	0,11	2,51	2,66	4,41	0,32
02/11/06	-0,14	2,44	2,59	4,43	0,07
06/02/07	-0,23	2,8	2,95	5	-0,02
07/04/07	0,05	2,67	2,81	4,7	0,26
03/03/07	-0,06	2,43	2,57	4,28	0,15
02/06/07	-0,28	2,33	2,47	4,21	-0,07
07/07/07	0,02	2,58	2,72	4,54	0,23
01/09/07	-0,03	2,51	2,65	4,58	0,18
15/10/07	-0,01	2,59	2,73	4,74	0,2
04/11/07	-0,18	2,71	2,86	4,92	0,03
03/12/07	-0,3	2,61	2,76	4,66	-0,09
02/01/08	0,12	2,37	2,51	4,27	0,33
02/02/08	0	2,71	2,86	4,82	0,21
01/03/08	-0,11	2,56	2,7	4,55	0,1
01/04/08	0,46	2,84	2,98	5,06	0,67
12/05/08	-0,15	2,22	2,37	3,95	0,06
16/06/08	0,05	2,62	2,76	4,69	0,26
02/07/08	0,06	2,5	2,64	4,42	0,27
18/08/08	0,08	2,67	2,81	4,73	0,29
09/09/08	0,01	2,74	2,88	5,08	0,22
06/10/08	0,14	2,59	2,74	4,62	0,35
03/11/08	-0,03	2,81	2,96	5,14	0,18
06/12/08	0,02	2,92	3,06	5,3	0,23
04/01/09	-0,1	2,17	2,31	3,86	0,11
04/02/09	0,05	2,74	2,88	4,9	0,26
03/03/09	-0,12	2,46	2,61	4,41	0,09
04/04/09	0,13	2,94	3,09	5,34	0,34
04/05/09	0,11	3,11	3,25	5,64	0,32
02/06/09	-0,02	3	3,15	5,64	0,19
01/07/09	0,01	2,98	3,12	5,51	0,22
06/09/09	-0,08	3,01	3,16	5,64	0,13
05/10/09	0,04	2,61	2,76	4,68	0,25
04/11/09	-0,01	2,8	2,95	5,11	0,2
02/12/09	0,09	2,73	2,87	4,86	0,3
14/01/10	-0,09	2,57	2,71	4,63	0,11

02/02/10	-0,15	2,69	2,84	5,04	0,06
01/03/10	0,1	2,86	3	5,16	0,31
04/04/10	-0,01	3,15	3,3	5,57	0,2
04/05/10	0,06	2,89	3,03	5,14	0,27
07/06/10	0,06	2,7	2,84	4,76	0,27
05/08/10	0,01	3,08	3,22	5,77	0,22
12/09/10	0	2,79	2,94	5,1	0,21
06/10/10	-0,5	2,54	2,68	4,6	-0,29
02/11/10	-0,51	2,25	2,39	4,1	-0,3
05/12/10	-0,12	2,7	2,84	4,94	0,09
09/01/11	-0,21	2,29	2,43	4,1	0
06/02/11	-0,01	2,52	2,66	4,48	0,2
07/03/11	-0,16	2,44	2,59	4,48	0,05
05/04/11	-0,07	2,46	2,61	4,35	0,14
05/06/11	-0,08	2,59	2,74	4,73	0,13
06/07/11	-0,17	2,74	2,88	4,91	0,04
08/08/11	-0,25	2,45	2,59	4,46	-0,04
08/09/11	-0,17	2,49	2,63	4,59	0,04
05/10/11	-0,12	2,77	2,91	5,03	0,09
03/11/11	-0,11	2,5	2,65	4,52	0,1
04/12/11	-0,05	2,51	2,66	4,54	0,16
02/01/12	-0,03	3,01	3,16	5,64	0,18
09/02/12	-0,12	2,76	2,9	4,97	0,09
01/03/12	-0,12	2,48	2,63	4,4	0,09
03/05/12	-0,02	2,73	2,87	4,87	0,19
03/06/12	-0,2	2,55	2,7	4,61	0,01
01/07/12	0,1	2,49	2,63	4,4	0,31
02/09/12	-0,04	2,88	3,03	5,21	0,17
02/10/12	-0,04	2,56	2,7	4,62	0,17
04/11/12	0,01	2,9	3,04	5,2	0,22
02/12/12	0,04	2,24	2,38	3,89	0,25
18/03/13	0,05	2,16	2,3	3,83	0,26
09/05/13	-0,08	2,37	2,52	4,19	0,13
02/06/13	-0,1	3,25	3,4	6,01	0,11
01/07/13	-0,05	2,69	2,84	4,94	0,15

V.7. Etude statistique :

a) Matrice de corrélation :

La matrice Pearson corrélation entre les paramètres physico-chimiques pour les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche. Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient de corrélation « r » est comprise entre +0,5 et 1 (relation positive) et -0,5 et -1 (relation négative). Dans

notre cas, plusieurs liaisons sont significatives, mais à des degrés variables. La matrice de corrélation montre une forte corrélation positive (0.746 à 0.959) entre les éléments chimiques (HCO_3^- , Mg^{2+}) et (Ca^{2+} , Na^+), (Mg^{2+} , Na^+), (HCO_3^- , Na^+), (Mg^{2+} , Ca^{2+}). Tandis qu'une forte corrélation négative est marquée entre le débit et les éléments chimiques (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} et le HCO_3^-).

Tableau V. 11 : Matrice de corrélation

Variables	Q L/S	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻⁻	NO ₃ ⁻
Q L/S	1								
Ca ²⁺	-0.784	1							
Mg ⁺⁺	-0.945	0.887	1						
Na ⁺	-0.813	0.884	0.959	1					
K ⁺	0.033	-0.031	-0.022	-0.010	1				
Cl ⁻	-0.071	0.051	0.054	0.033	-0.050	1			
SO ₄ ⁻⁻	-0.030	0.045	0.046	0.055	-0.017	0.083	1		
HCO ₃ ⁻	-0.952	0.746	0.900	0.774	-0.022	0.104	0.042	1	
NO ₃ ⁻	0.116	-0.085	-0.103	-0.082	0.250	-0.105	0.038	-0.096	1

b) Coefficient de variation :

Le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne. Les calculs des coefficients de variation portés sur les paramètres physico- chimiques (tableau n°...) ont montré que les CV pour la plupart des éléments chimiques sont inférieurs à 50% (Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻) témoignant ainsi d'une certaine homogénéité, suite à une répartition assez régulière de la concentration de ces paramètres dans l'espace aquifère. Tandis que les débits sont très variables dans le temps, suite à l'irrégularité des précipitations dans cette région.

Tableau V.12: Paramètres statistiques des variables.

Variable	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (%)
Q L/S	17,832	9,979	55,95
Ca ²⁺	187,635	10,793	5,75
Mg ²⁺	77,076	7,813	10,13
Na ⁺	72,033	6,688	9,28
K ⁺	2,837	1,491	52,55
Cl ⁻	82,028	13,974	17,03
SO ₄ ²⁻	75,624	28,064	37,11
HCO ₃ ⁻	400,190	8,764	2,1899
NO ₃ ⁻	77,270	16,783	21,72

c) Analyse en Composantes Principales :

L'outil d'analyse en composantes principales (ACP) permet de comparer simultanément tous les éléments en question entre eux et de quantifier les relations qui les lient. C'est une méthode exploratoire et descriptive qui a pour but le traitement est d'identifier les principaux facteurs qui contrôlent la chimie des eaux souterraines. Cette méthode statistique multi-variée a été largement appliquée pour étudier les phénomènes environnementaux. Ce travail vise à faire la caractérisation des variations hydro-chimiques des éléments présents dans les eaux de cette source.

Les résultats analytiques portés sur l'ensemble des analyses ont généré huit facteurs variables. Seuls les quatre premiers facteurs qui représentent 85.983% de la variance totale (Tableau V.13) peuvent interpréter d'une manière satisfaisante la minéralisation des eaux de ce système aquifère. F1 représente 49.838% de la variance et il est déterminé négativement par le débit et positivement avec Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , C'est un facteur qui représente le temps de contact de l'eau avec la roche (pouvoir de dissolution de la roche). Par contre, les facteurs F2, F3, F4 représentés respectivement par les 14.188%, 11.805% 10.152%, de la variance et représentent les facteurs de pollution anthropique.

Tableau V.13 : Pourcentage des facteurs cumulés

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	4.485	1.277	1.062	0.914
Variabilité (%)	49.838	14.188	11.805	10.152
% cumulé	49.838	64.026	75.831	85.983

Tableau. V 14. : Distribution des facteurs.

	F1	F2	F3	F4
Q L/S	-0.952	-0.013	0.024	-0.019
Ca^{++}	0.909	0.042	-0.019	-0.029
Mg^{++}	0.993	0.044	-0.022	-0.013
Na^+	0.936	0.067	-0.019	-0.040
K^+	-0.043	0.739	0.142	0.379
Cl^-	0.090	-0.394	0.584	0.680
SO_4^{--}	0.060	-0.027	0.812	-0.549
HCO_3^{--}	0.926	0.016	0.013	0.045
NO_3^-	-0.136	0.753	0.199	-0.032

Conclusion :

À partir de l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, nous pouvons dire que les eaux de la source d'Ain El Houtz étaient non potables dans les périodes d'étude, vu les taux très élevés en nitrates, à l'exception des périodes du : 02/10/2001 (7mg/l), 08/10/2006 (26mg/l), 28/08/1999 (30mg/l), 04/01/2009 (42mg/l), 03/06/2000 (48mg/l) et 03/03/2007 (48mg/l).

L'analyse bactériologique (14 juin 2021) a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C et à 22°C) et en Streptocoques fécaux.

- Le diagramme de Stabler a montré que le faciès dominant est bicarbonaté calcique.
- Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles :
 - **Bicarbonatée et sulfatée calcique et magnésienne** : représenté par le point d'eau n°86 de la période du 01/04/2008.
 - **Bicarbonatée calcique et magnésienne** : Englobe toutes les périodes.
- L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na⁺, et le KR a fait révéler que :
 - L'eau de source, en calculant le % en Na⁺ est de qualité bonne à très bonne. Pour le KR, elles sont classées de bonne qualité pour l'irrigation (KR inférieur à 1).

*Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source d'Ain El Houtz est classée dans deux classes :

* C3-S1 : représentée par la plupart des points, elle est admissible pour l'irrigation

* C2-S1 : représentée par les échantillons n°4, 8 et 28 ils sont de bonne qualité.

*Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne pour la majorité des points analysés.

L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation qui est due à la nature carbonatée de l'aquifère (facteur chimique), aux facteurs entropiques et aux débits de la source.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce modeste travail, concernant l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la source d'Ain El Houtz , nous avons conclu que :

Le secteur d'étude fait partie des piémonts- nord des Monts de Tlemcen. Il est caractérisé par un climat semi-aride à hiver tempéré avec :

- La température moyenne mensuelle est de 17.8 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds, tandis que le mois de Janvier est le plus froid.
- La moyenne annuelle des précipitations est de 517 mm.
- La méthode des courbes pluvio-thermiques de Bagnouls et Gausсен, nous permis de définir une période excédentaire allant de la fin septembre au début du mois de mai et une période déficitaire qui occupe les autres mois de l'année.

L'étude de bilan hydrologique a fait ressortir les résultats suivants :

- L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à environ 889.9mm.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de 454.4 mm.
- L'écoulement de surface annuel est de 62mm.
- L'infiltration annuelle est de 60 mm.

La synthèse des travaux géologiques effectués sur la région d'étude nous a permis de constater que le massif drainé par la source est un terrain karstique du Jurassique supérieur partiellement couvert par des terrains du Mio-Pio-Quaternaire, affecté d'une tectonique cassante.

L'étude hydrogéologique nous a permis de constater que les formations calcaires et calcaire-dolomitiques du Jurassique supérieur forment les principales formations aquifères qui présentent un intérêt hydrogéologique dans le secteur d'étude.

L'étude hydrogéochimique portée sur les eaux de la source d'Ain El Houtz a fait ressortir les résultats suivants:

*D'après les paramètres physico-chimiques et bactériologiques, nous pouvons dire que les eaux de la source d'Ain El Houtz étaient non potables dans les périodes d'étude, vu les taux très élevés en nitrates, à l'exception des dates du : 02/10/2001 (7mg/l), 08/10/2006 (26mg/l), 28/08/1999 (30mg/l), 04/01/2009 (42mg/l), 03/06/2000 (48mg/l) et 03/03/2007 (48mg/l). L'analyse bactériologique faite le 14 juin 2021 au laboratoire de l'ADE/Tlemcen a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C et à 22°C) et en Streptocoques fécaux.

La représentation des paramètres étudiés par des diagrammes a fait ressortir :

- Le diagramme de Stabler a montré que le faciès dominant est *bicarbonaté calcique*.
- Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles :
- *Bicarbonatée et sulfatée calcique et magnésienne* : représenté par le point d'eau n°86 de la période du 01/04/2008.
- *Bicarbonatée calcique et magnésienne* : Englobe toutes les périodes.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na⁺, et le KR a fait révéler que :

- Les eaux de la source, en calculant le % en Na⁺ est de qualité bonne à très bonne. Pour le KR, elles sont classées de bonne qualité pour l'irrigation (KR inférieur à 1).

*Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source d'Ain El Houtz est classée dans deux classes :

* C3-S1 : représentée par la plupart des points, elle est admissible pour l'irrigation

* C2-S1 : représentée par les échantillons n°4,8et 28 ils sont de bonne qualité.

*Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne pour la majorité des points analysés.

L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation qui est due à la nature carbonatée de l'aquifère (facteur chimique), aux facteurs anthropiques et aux débits de la source.

Recommandations :

A la fin de cette étude, nous proposons quelques recommandations, afin de mieux préserver et gérer la source d'Ain El Houtz, du point de vue qualité et quantité :

- Etablir un périmètre de protection de la source, afin de la protéger de la pollution qui la menace et faire une enquête sur terrain, pour rechercher les sources de pollution et lutter contre cette dernière.
- L'interdiction de la consommation d'eau de la source, car elle est de mauvaise qualité, par les organismes concernés pour éviter la propagation des maladies à transmission hydrique.
- Sensibiliser les gens quant à la consommation des eaux de cette source, vue sa pollution.
- Traiter l'eau de cette source, avant son utilisation.
- Une surveillance quantitative et qualitative continue des eaux de la source tout au long de l'année, pour voir l'évolution de son débit et des paramètres indicateurs de pollution.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- **ABLAOUI Halima (2013)**- Structure et fonctionnement de trois émergences karstiques des Monts de Tlemcen à partir des réponses hydrogéologiques et hydrochimiques (période du 12/12/2005 au 16/01/2007). Mém. Magister, Univ. Oran, 169 p, 91 f, 26 t.
- BENSAOULA Fouzia (2006)**- Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques, mise au point d’outil pour leur protection (application au Monts de Tlemcen Ouest Oranais). Thèse. Doc. Univ. Tlemcen, 184 p.
- BOUGUERRA Sid Ahmed (2014)**- Quantification et modélisation du transport solide dans un cours d’eau de l’Algérie septentrionale : cas du bassin versant de l’Oued Boumessaoud (Tlemcen).Thèse. Magister. Univ. Tlemcen. 65p.
- BOUANANI Abderrezak, (2004)**-Hydrologie, Transport solide et modélisation. Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérien). Thèse de Doctorat d’état, Univ. Tlemcen.250p.
- **BENEST Michel et ELMY Serge (1969)**- Précisions stratigraphiques sur le Jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des Monts de Tlemcen (Algérie). C.R. Géol. France, Paris, fasc.8
- **BENEST Michel (1985)**- Evolution de la plate forme de l’Ouest Algérien et du Nord-Est Marocain au cours du Jurassique supérieur et de début du Crétacé stratigraphie ; milieu de dépôt et dynamique sédimentaire. Thèse Doc. Lab. Géol. Univ. Lyon. Fasc.
- **COLLIGNON Bernard (1986)**- Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Tome 1). Thèse. Doc. Univ. d’Avignon. 216p.
- **HAYANE Sidi Mohamed (1983)**- Contribution à l’étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l’Oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse. Doc. 3 ème cycle, Univ. Oran, 236 p, 91 f
- KEDDAH Karima et MEDJAHEDI Naïma (2018)**.- Contribution à l’étude physico-chimique de quelques sources dans le groupement urbain de Tlemcen, Mémoire. Master. p49, p57.
- **KEROUCHE Abderrahim et GUNCHI Lahcene (2008)**- Inventaire des sources captées du grand Tlemcen, étude hydrogéologique et hydrochimique. Mém. Ing. Univ. Tlemcen, 68 p, 27 f, 29 t.

- **MEDJAHEDI Naima (2010)** - Interaction des paramètres climatiques -application à l'Atlas Tellien Occidental - Algérie. Mém. Ing. sci. Terre, Univ. Tlemcen, 144 p, 97 f, 55 t
- **NEBIA Riad et SOUFI MERZOUK Sofiane (2005)**- Etude de la source d'Ain EL Houtz hydrogéologie et pollution. Mém. Ing. Univ. Tlemcen, 65 P, 25 f, 17 t.
- **RODIER Jean (1996)**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 6ème édition, Dunod, Paris, 1383p.
- **RODIER Jean (1999)**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 7ème édition, Dunod, Paris, 1383.
- **RODIER Jean (2005)**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 8ème édition, Dunod, Paris, 1383p.
- **RODIER Jean (2009)**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 9ème édition, Dunod, Paris, 1383p.
- **SFERDJLI Fouzia (2016)**- Les périmètres de protection des ouvrages de captages des eaux souterraines, bibliographie et étude de cas. Mém. Master, Univ. Tlemcen, 89 p, 32 f, 12 t.
- SOLTANI Wafaâ (2013)**- Gestion des ressources en eau dans le groupement urbain de Tlemcen- Bilan et perspectives. Mém. Master, 77 p, 28 f, 26 t.

Site internet :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Tlemcen

- Google Map.

Carte consultées :

-Carte géologique de Tlemcen, au 1/50000.Doumergue.1922

Logiciels :

-Diagrammes version 6.57.

-XLSTAT

- Mapinfo 8

ANNEXES

ANNEXE 01 : Précipitations moyennes annuelles de la station de Tlemcen 1995 à 2020.

ANNEE/Mois	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août
1995-1996	15,6	43,4	20,7	82,5	123,4	106,1	119,9	52,1	54,9	21,0	10,8	9,8
1996-1997	36,2	26,9	0,2	39,2	119,6	0,1	15,4	104,0	16,3	2,8	18,0	31,0
1997-1998	54,4	29,4	73,3	100,5	39,2	52,2	62,2	34,5	79,4	0,8	0,0	2,3
1998-1999	14,1	6,9	46,4	16,9	164,0	94,4	120,8	0,0	0,4	7,4	0,5	2,7
1999-2000	40,4	34,1	93,7	105,2	0,0	0,0	2,4	26,6	36,4	0,0	0,0	0,0
2000-2001	21,6	108,9	68,0	47,9	84,2	80,2	7,9	10,0	28,6	7,8	0,0	0,0
2001-2002	43,7	51,4	158,2	35,1	2,3	14,8	40,0	120,6	78,0	0,7	0,0	32,8
2002-2003	0,0	45,2	105,2	30,8	172,3	103,4	19,6	49,5	14,1	5,8	0,0	0,4
2003-2004	14,2	72,3	63,8	139,4	50,3	25,5	115,0	49,2	90,7	14,9	3,3	3,7
2004-2005	1,8	32,2	44,5	88,7	26,6	71,4	72,1	27,4	5,2	5,1	0,0	1,0
2005-2006	20,5	31,7	56,4	49,0	79,3	95,7	32,0	39,3	74,5	1,9	5,5	0,0
2006-2007	36,6	15,7	7,9	71,7	29,8	46,3	52,8	127,0	15,2	0,0	0,0	0,8
2007-2008	21,5	93,7	66,6	14,0	34,7	22,1	20,1	24,0	71,1	7,2	1,3	0,0
2008-2009	58,7	97,6	106,9	202,3	175,7	50,2	39,5	54,5	21,7	5,5	4,5	0,2
2009-2010	95,3	2,0	59,0	60,9	64,5	82,0	118,7	50,9	40,1	20,6	0,8	11,1
2010-2011	24,3	98,7	61,5	45,4	47,6	53,0	28,0	93,4	102,6	20,2	0,0	10,0
2011-2012	6,5	123,7	122,1	35,3	21,6	72,1	33,1	47,0	14,7	2,3	5,4	8,2
2012-2013	21,6	50,7	309,2	18,6	160,8	113,5	100,8	45,6	74,9	0,0	2,2	4,5
2013-2014	43,6	0,0	61,3	198,5	129,4	84,6	64,9	19,2	26,8	30,1	0,2	0,0
2014-2015	28,7	13,5	71,8	145,2	80,3	98,9	33,5	11,3	63,0	2,4	0,8	16,2
2015-2016	21,0	48,7	31,5	0,0	52,8	151,9	80,3	137,5	30,6	4,5	1,5	1,1
2016-2017	29,5	48,9	77,5	71,6	79,0	67,5	56,1	53,5	44,7	7,7	2,6	6,5
2017-2018	1,0	15,0	7,6	34,8	38,6	31,2	80,8	77,0	15,3	8,6	0,0	0,5
2018-2019	15,24	79,24	35,81	2,03	63,23	10,92	6,35	34,55	26,23	0,25	8,12	1,02
2019-2020	8,39	55,87	59,69	24,63	17,53	0	8,88	108,72	28,19	0	0,25	2,03

Source : ANRH (1995-2017) complété par le site.

**ANNEXE 02 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de
Tlemcen 1995-2020.**

Année/Mois	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août
95-96	20,8	19,5	16,5	13,2	12,3	9,5	12,5	14,7	17,2	23	25	24,6
96-97	20,7	17,2	14,3	12,6	11,5	12,9	14	16,1	17,9	21,6	23,3	24,8
97-98	21,1	16,9	13,5	11,5	11,9	13,7	13,9	15,3	20,9	25,2	26,6	26,9
98-99	21,2	15,6	12,4	10,2	9,7	11,1	15,3	18,5	21,6	25	25,9	26,5
99-00	21,7	20,5	12,5	10	9,1	13,4	13,7	14,5	18,9	24,3	26,3	27,1
2000-2001	22,9	17,1	13,7	13,4	11,5	11,5	16	15,7	17,9	25	26,5	27,1
2001-2002	22,9	21,8	12,6	11,1	10,9	12,7	14	14,4	17,9	23,9	25,5	24,4
2002-2003	22,3	19,3	14,3	12,5	8,8	9,7	13,9	15,2	16,2	24,9	28,2	27,7
2003-2004	23,8	19,8	14,9	11,4	11,9	12,5	12,9	14,6	15,6	24	27,5	27,9
2004-2005	24,9	21,5	13,2	10,8	8,4	8,2	12,3	14,3	20,4	24,3	26,7	27,1
2005-2006	22,2	19,9	13,7	10,4	9,5	9,9	13,9	17,7	20,1	23	28,1	26,6
2006-2007	23,4	21,6	17,1	10,9	11,6	12,3	12,3	13,1	18,5	21,5	25,7	26,9
2007-2008	23	18,4	13,8	10,2	10,3	11,3	11,7	16,7	16,3	21,9	26,7	27
2008-2009	22,8	18,2	11,2	8,6	8,3	9,5	12,4	14	19,9	24,3	28,4	26,5
2009-2010	21,5	20,1	17,5	13,3	11,1	12,8	13,1	15,4	17	20,9	27,8	27,7
2010-2011	24,1	18,5	13,5	8,4	10,5	9,5	11,8	16,4	18,6	22,5	26,5	26
2011-2012	24,3	20,7	15,1	10,6	9,6	7,9	12	13,7	20,4	25,1	26,7	29,3
2012-2013	24,1	19,6	14,8	11,7	10,9	9,6	13,5	14,3	16,6	20,6	24,8	26,2
2013-2014	23,1	21	12,8	10,5	11,4	11,3	12,2	17,1	19,4	20,7	24,7	26
2014-2015	22,6	21,4	15,8	10,6	12,3	12,1	12,9	16,8	19,6	20,8	22	22,7
2015-2016	22,9	20,1	14,4	11,9	13	13,1	12,6	15,9	19	23,7	26,2	26,4
2016-2017	24,1	20,8	15,1	12,1	9	13,1	14,2	16,3	20,2	24,8	26,7	26,9
2017-2018	23,4	20	13,9	10,8	11	10,1	14	14,9	17,4	21,9	25,6	27,1
2018-2019	24,1	18,7	14,1	11,69	9,9	10,6	13,4	15,5	20,1	22	25,9	26,7
2019-2020	23,6	19,4	14,5	12,8	9,2	12,6	15,4	17,5	22,8	23,4	27	27,5

Source : ANRH (1995-2017) complété par le site

ANNEXE 03 : Balance Ionique.

N° des échantillons	Balance calculée	classification
1	0%	Acceptable
2	4%	Acceptable
3	4,68%	Acceptable
4	3%	Acceptable
5	4%	Acceptable
5	3%	Acceptable
6	3%	Acceptable
8	0%	Acceptable
7	4,2%	Acceptable
8	4,13%	Acceptable
9	2%	Acceptable
10	4%	Acceptable
11	4,8%	Acceptable
12	4%	Acceptable
13	4,3%	Acceptable
14	4,8%	Acceptable
15	4,5%	Acceptable
16	4,6%	Acceptable
17	-8%	Bonne
18	4,6%	Acceptable
19	1%	Acceptable
20	4%	Acceptable
24	-2%	Bonne
21	-4%	Bonne
22	4%	Acceptable
24	-1%	Bonne
25	1%	Acceptable
26	4%	Acceptable
30	0%	Acceptable
27	4%	Acceptable
28	4%	Acceptable
33	5%	Acceptable
29	4%	Acceptable
30	2%	Acceptable
31	4%	Acceptable
32	4%	Acceptable

33	5%	Acceptable
39	3%	Acceptable
34	4%	Acceptable
35	-1%	Bonne
42	2%	Bonne
37	0%	Bonne
38	4.65%	Acceptable
39	4%	Acceptable
40	1%	Bonne
41	-1%	Bonne
48	3%	Acceptable
43	4%	Acceptable
50	1%	Acceptable
44	3%	Acceptable
45	-4%	Bonne
46	1%	Bonne
47	0%	Bonne
48	3%	Acceptable
56	4,5%	Acceptable
49	4%	Acceptable
50	1%	Bonne
59	1%	Bonne
51	4%	Acceptable
57	0%	Bonne
58	-2%	Bonne
63	2%	Acceptable
60	4%	Acceptable
61	2%	Acceptable
63	1%	Bonne
64	0%	Bonne
65	1%	Bonne
66	3%	Acceptable
68	3%	Acceptable
69	0%	Bonne
70	3%	Acceptable
73	4%	Acceptable
71	-1%	Bonne
72	2%	Acceptable
73	1%	Bonne
74	3%	Acceptable
75	3%	Acceptable
79	5%	Acceptable

76	-2%	Bonne
77	5%	Acceptable
78	2%	Acceptable
79	-2%	Bonne
80	0%	Bonne
81	-1%	Bonne
82	-2%	Bonne
83	3%	Acceptable
84	-4%	Bonne
85	-2%	Bonne
86	5%	Acceptable
91	3%	Acceptable
87	4%	Acceptable
88	1%	Bonne
89	-3%	Bonne
95	2%	Bonne
90	1%	Bonne
91	2%	Bonne
92	-3%	Bonne
93	4%	Acceptable
94	3%	Acceptable
101	3%	Acceptable
99	4,6%	Acceptable
100	-1%	Bonne
102	1%	Bonne
105	1%	Bonne
103	0%	Bonne
104	-1%	Bonne
105	3%	Acceptable
106	2%	Acceptable
107	2%	Acceptable
108	1%	Bonne
109	4.5%	Acceptable
113	1%	Bonne
111	4%	Acceptable
115	4%	Acceptable
112	3%	Acceptable
113	4%	Acceptable
116	-1%	Bonne
117	0%	Bonne
118	-1%	Bonne
119	4.33%	Acceptable

122	3%	Acceptable
120	1%	Bonne
121	0%	Bonne
122	3%	Acceptable
123	-2%	Bonne
124	4.32%	Acceptable
125	3%	Acceptable
126	2%	Acceptable
130	2%	Acceptable
128	0%	Bonne
129	1%	Bonne
133	-2%	Bonne
132	-3%	Bonne
133	-1%	Bonne
134	4.2%	Acceptable
135	-3%	Bonne
138	4%	Acceptable
136	4%	Acceptable
140	0%	Bonne
141	3%	Acceptable

Annexe 04 : Statistiques descriptives.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	cv
Q L/S	5,700	65,000	17,832	9,979	55,958
Ca ⁺⁺	106,000	198,269	187,635	10,793	5,7521
Mg ⁺⁺	42,950	86,239	77,076	7,813	10,137
Na ⁺	37,000	78,929	72,033	6,688	9,2844
K ⁺	0,000	17,000	2,837	1,491	52,559
Cl ⁻	26,000	119,000	82,028	13,974	17,035
SO ₄ ⁻⁻	15,000	245,000	75,624	28,064	37,11
CO ₃ ⁻⁻	0,000	7,000	0,050	0,590	1187,4
HCO ₃ ⁻	359,000	410,269	400,190	8,764	2,1899
NO ₃ ⁻	7,000	170,000	77,270	16,783	21,721
pH	6,700	8,600	7,591	0,357	4,7022
Conductivité	88,000	1270,000	930,723	137,408	14,764
RS	540,000	1100,000	762,340	111,051	14,567



Figure1 : diagramme de stabler



Figure 2 : Source d'Ain El Houtz

ملخص

المساهمة في دراسة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه منبع عين الحوت (تلمسان ، غرب الجزائر). الهدف من هذا العمل هو دراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية وأصل التمدن لمنبع عين الحوت ببلدية شتوان بقرية عين الحوت التي تحمل اسمه. وبحسب نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبكتيولوجية التي تمكنا من الحصول عليها تبين أن مياه منبع عين الحوت لم تكن صالحة للشرب خلال فترات الدراسة نظرا لارتفاع معدلات النترات مع ارتفاع نسبة النترات. باستثناء تواريخ قليلة. أظهر التحليل البكتيولوجي الذي تم إجراؤه في 14 يونيو 2021 في مختبر ADE / تلمسان ، أن المنبع يتجاوز المعايير المسموح بها لمجموع الجراثيم (عند درجة مئوية و 22 درجة مئوية) والمكورات العقدية البرازية.

أظهر مخطط Stabler أن السحنات السائدة هي بيكربونات الكالسيوم. صنف مخطط Piper مياه منطقة الدراسة إلى عائلتين: بيكربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم وهي السائدة. أظهر تقدير المياه المستخدمة في الري، باستخدام المؤشرات ، مثل Na^+ و KR ، أن مصدر المياه ، بحساب Na^+ ، من جودة جيدة إلى جيدة جدًا. بالنسبة إلى KR ، يتم تصنيفها على أنها ذات نوعية جيدة للري.

أظهر الرسم البياني RIVERSIDE أن مصدر عين الحوت مصنف إلى فئتين:

* C3-S1 : ممثلة بمعظم النقاط وهي مقبولة للري

* C2-S1 : تمثلها العينات رقم 4 و 8 و 28 وهي ذات نوعية جيدة.

وفقًا لـ WILCOX ، ينقسم المصدر إلى فئتين: ممتاز وجيد لغالبية النقاط التي تم تحليلها.

سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم أصل التمدن الذي يرجع إلى الطبيعة الكربونية للخران الجوفي ، والعوامل البشرية ، ومعدلات تدفق المصدر.

الكلمات المفتاحية: عين الحوت - تحاليل فيزيوكيميائية - بكتيولوجية - Diagrammes - صالحة للشرب - الري - A.C.P. - XLSTAT - PHREEQ-C

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN EL HOUTZ(TLEMCEN, OUEST ALGERIEN).

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité physico-chimique et l'origine de la minéralisation de la source d'Ain El Houtz, située dans la commune de Chetouane, au village d'Ain El Houtz, qui porte son nom.

D'après les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques que nous avons pu obtenir, il s'est avéré que les eaux de la source d'Ain El Houtz étaient non potables dans les périodes d'étude, vu les taux très élevés en nitrates, à l'exception de quelques dates. L'analyse bactériologique faite le 14 juin 2021 au laboratoire de l'ADE/Tlemcen a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C et à 22°C) et en Streptocoques fécaux.

Le diagramme de Stabler a montré que le faciès dominant est bicarbonaté calcique.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles : Bicarbonatée et sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne qui est la plus dominante.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na^+ , et le KR a fait révéler que les eaux de la source, en calculant le % en Na^+ est de qualité bonne à très bonne. Pour le KR, elles sont classées de bonne qualité pour l'irrigation.

Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source d'Ain El Houtz est classée dans deux classes :

* C3-S1 : représentée par la plupart des points, elle est admissible pour l'irrigation

* C2-S1 : représentée par les échantillons n°4, 8 et 28 ils sont de bonne qualité.

Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne pour la majorité des points analysés.

L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation qui est due à la nature carbonatée de l'aquifère, aux facteurs anthropiques et aux débits de la source.

Mots clés : Ain El Houtz- Analyses physico-chimiques et bactériologiques- Diagrammes- Potabilité- Irrigation - XLSTAT - PHREEQ C - ACP.

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF THE PHYSICO-CHEMICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE SOURCE OF AIN EL HOUTZ (TLEMCEN, WEST ALGERIA).

The objective of this work is to study the physico-chemical quality and the origin of the mineralization of the spring of Ain El Houtz, located in the commune of Chetouane, in the village of Ain El Houtz, which bears its name

According to the results of the physico-chemical and bacteriological analyses, that we were able to obtain, it turned out that the waters of the spring of Ain El Houtz were not drinkable in the periods of study, seen the very high levels of nitrates, except for some dates. The bacteriological analysis made on June 14, 2021 at the ADE/Tlemcen laboratory showed that the spring water exceeds the admissible standards in total germ (at 37°C and 22°C) and in fecal Streptococci. The Stabler diagram showed that the dominant facies is calcic bicarbonate. The Piper diagram classified the waters of the study area into two families: Bicarbonate and sulfate calcic and magnesian and bicarbonate calcic and magnesian which is the most dominant.

The estimation of the waters for irrigation purposes, using indices, such as the percentage in Na^+ , and the KR revealed that the waters of the source, by calculating the % in Na^+ is of good to very good quality. For KR, they are classified as good quality for irrigation. The RIVERSIDE diagram showed that the spring of Ain El Houtz is classified in two classes:

* C3-S1: represented by most points, it is eligible for irrigation.

* C2-S1: represented by the samples n°4, 8 and 28, they are of good quality.

According to WILCOX, the source is divided into two classes: Excellent and good for the majority of the analyzed points. The statistical study allowed us to understand the origin of the mineralization which is due to the carbonate nature of the aquifer, anthropic factors and the flow rates of the source.

Key words : Ain El Houtz- Physico-chemical and bacteriological analyses- Diagrams- Potability- Irrigation - XLSTAT - PHREEQ C - ACP.

