

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث 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 Sciences de la Terre et de l'Univers
Département Sciences de la Terre et de l'Univers



MÉMOIRE

Présenté par

BENICHOU Asmae & BAB EL AYAT Hadjer

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

CONTRIBUTION A L'ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN SEFRA, CHETOUANE (TLEMCEN-OUEST ALGERIEN)

Soutenu le, devant le jury composé de :

Président	DJELAD Rahima	M.A.A	Université de Tlemcen.
Encadrant	GUETTAIA Sabrine	M.C.A	Université de Tlemcen.
Co-Encadrant	BOUDJEMA Abderrezak	M.C.A	Université de Tlemcen.
Examinateur	CHIKH Mourad	M.A.A	Université de Tlemcen.

Année universitaire 2021/2022.

Remerciements

Nous remercions "ALLAH" le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force, la volonté et le courage afin de réaliser ce modeste travail.

*Tous d'abord, nous présentons nos remerciements à nos encadreurs :
M^{me} S. GUETTALA et Mr A. BOUDJEMA pour leurs conseils et pour leur disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos profonds remerciements vont aux membres du jury :
M^{me} R. DJELAD et Mr M. CHIKH pour l'honneur qu'ils nous ont fait, afin d'évaluer ce travail.*

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

En fin, nous adressons notre reconnaissance à nos collègues pour leur aide et soutien moral toutes ces années d'études.

Merci à tous.

Dédicaces

Après des longues années d'études, pleines de travail et d'assiduité, nous voici en train de récolter les fruits de nos efforts et de notre travail...

A cette occasion, j'ai le grand plaisir d'adresser mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à m'aider et à m'encourager dans mon parcours universitaire, je dédie ce travail :

A mon paradis sur terre..... A ma compagne de vie

A la bien-aimée de mon âme A la source de ma vie

Ma chère Mère * **HAFIDA** *

A celui qui m'a soutenu dans ma vie

A celui qui a été et il est pour moi le modèle ... La référence

A mon cher Père * **AHMED** *

Que dieu leur préserve bonne santé et longue de vie, tous mes sentiments de reconnaissance pour vous.

A mon ami d'enfance, à mon âme sœur, à mon bras droit, à la personne la plus spéciale de ma vie ... malgré la distance, mais il est toujours une source d'encouragement, **Sidi Mohammed**.

A ma chère sœur **Chaimae** et mon cher frère **Abdel Samad**, source de joie et de bonheur.

A toute ma famille, source de motivation.

A mon professeur de l'école coranique : **M^{me} SOUR Fouzia** et mes collègues de prière pour l'encouragement durant la période de ce travail.

A la plus belle amie et sœur...

Mon binôme **BAB EL AYAT Hadjer**.

A toute la promotion de Master 2 Hydrogéologie : Année 2021/2022.

Asmae

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...

Avec l'expression de ma gratitude et de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quoi que je dise, Je ne pourrai jamais exprimer mon amour sincère pour eux.

A la femme qui fait partie de mon âme, qui a souffert sans me laisser souffre, qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère
"NACERA".

A l'homme, Cher à mon cœur et don de Dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **"IBRAHIM"**.

Que Dieu les donne une longue et joyeuse vie.

A ma chère sœur **"FAWZIA"** et mon cher frère **"SID-AHMED"**, la source à laquelle je bois l'amour et la tendresse, qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études.

A mon adorable petit frère **"OUSSAMA"** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille et surtout pour moi.

À mes deux adorables copines **"IMANE"** et **"NABILA"**, les amants de mes yeux, les amis de mon cœur, les propriétaires de ma vie et mes sœurs d'enfance, que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

Sans oublier mon binôme **"BINCHOU Asmae"** ma sœur et meilleur compagnon, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce travail.

A toute ma famille

A tous mes collègues de la promotion de la 2ème année Master

Hydrogéologie : 2021/2022.

Hadjer

ملخص

المساهمة في الدراسة النوعية لمياه منبع عين الصفرة، شتوان (تلمسان، غرب الجزائر)

الهدف من هذا العمل المتواضع هو تحديد مصدر تمعدن مياه منبع عين الصفرة الواقع في شتوان (تلمسان). أظهرت التحليلات الفيزيوكيميائية أن مياه عين الصفرة كانت صالحة للشرب خلال فترات الدراسة، عندما استوفت جميع العناصر والمعايير الجزائرية لصلاحية الشرب. أظهر التحليل البكتريولوجي الذي تم إجراؤه في 5 أبريل 2022 أن مياه المنبع تجاوزت المعايير المسموح بها للجراثيم الإجمالية (عند 37 درجة مئوية) والجراثيم البرازية (عند 44 درجة مئوية). سمح لنا نقل العناصر الكيميائية على الرسوم البيانية لشولر - بيركالوف وستابلر بتصنيف هذه المياه في فئتين: بيكربونات الكالسيوم والبيكربونات المغنيسية.

أظهر تقدير المياه لأغراض الري، باستخدام مؤشرات، مثل النسبة المئوية في K^+ و Na^+ أنها جيدة وجداً للري. أظهر الرسم البياني ريفرسايد أن مياه مصدر عين الصفرة مصنفة في فئتين: C2-S1: جيدة للري بالنسبة لمعظم المياه C3-S1 : العينة من 2008/06/29 (مؤهلة للري).

وفقاً ل ويلكوس ، تم تقسيم مياه المنبع إلى فئتين : ممتازة وجيد .
أظهر لنا نقل العناصر الكيميائية إلى مخطط PHREEQ C أن مؤشرات التشبع لجميع المعادن غير مشبعة بشكل عام ، مما يشير إلى قدرة ذوبان هذه المياه إلى تكوينات الكربونات والعناصر الكيميائية. سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم أصل تمعدن مياه المنبع بسبب انحلال تكوينات البيكربونات في الجزء العلوي من الجوراسي، وتسلسل مياه الري ومياه الصرف الصحي.

الكلمات الرئيسية: منبع عين الصفرة، شتوان (تلمسان)، التحليلات الفيزيائية و الكيميائية، صالح للشرب، الري، الرسوم البيانية، دراسة إحصائية، التمدن

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN SEFRA, CHETOUANE (TLEMCCEN, OUEST ALGERIEN)

Le but de ce modeste travail est d'identifier l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'Ain Sefra, située à Chetouane (Tlemcen).

Les analyses physico-chimiques ont montré que les eaux de la source d'Ain Sefra étaient potables durant les périodes d'étude, où tous les paramètres étaient conformes aux normes algériennes de potabilité. L'analyse bactériologique faite le 5 avril 2022, a montré que les eaux de la source dépassent les normes admissibles en germes totaux (à 37 °C) et en germe fécaux (44°C).

Le report des éléments chimiques sur les diagrammes de Schöeller –Berkaloff et Stabler, nous a permis de classer ces eaux en deux faciès : faciès bicarbonaté calcique et faciès bicarbonaté magnésien.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na⁺ et le KR a fait révéler qu'elles sont très bonnes à bonnes pour l'irrigation. Le diagramme de RIVERSIDE a montré que les eaux de la source d'Ain Sefra étaient classées dans deux classes : C2-S1 : pour la plupart des eaux (Bonnes pour l'irrigation), C3-S1 : pour l'échantillon du 29/06/2008 (admissible pour l'irrigation). Selon WILCOX, les eaux de la source étaient réparties en deux classes : Excellente et bonne.

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les tous les minéraux sont généralement sous-saturés, indiquant le pouvoir de dissolution de ces eaux aux formations carbonatées et aux éléments des produits chimiques. L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation des eaux d'Ain Sefra qui est due à la dissolution des formations bicarbonatées du Jurassique supérieur, des infiltrations des eaux d'irrigation et celles des eaux usées.

Mots clés : Source d'Ain Sefra, Chetouane (Tlemcen), Analyses physico-chimiques, Potabilité, statistique, Irrigation, Diagrammes, Minéralisation.

ABSTRACT:

CONTRIBUTION TO THE QUALITATIVE STUDY OF THE WATERS FROM THE AIN SEFRA, CHETOUANE SOURCE (TLEMCCEN, WEST ALGERIAN)

The aim of this modest work is to identify the origin of the mineralization of the waters of the Ain Sefra source, located in Chetouane (Tlemccen).

The physico-chemical analyses showed that the waters of the Ain Sefra source were drinkable during the periods of study, where all the parameters were in conformity with the algerian standards of potability. The bacteriological analysis made on 05 April 2022, showed that the source water exceeded the admissible standards in total germs (at 37°C) and in fecal germs (44°C).

The report of chemical elements on the Schöeller-Berkaloff and Stabler diagrams allowed us to classify these waters in two facies: Calcium bicarbonate facies and magnesium bicarbonate facies.

The estimation of the waters for irrigation purposes, using indices such as the percentage of Na^+ and KR, revealed that they are very good to good for irrigation. The RIVERSIDE diagram showed that the waters of Ain Sefra source were classified in two classes: C2-S1: for most of the waters (Good for irrigation), C3-S1: for the sample of 29/06/2008 (admissible for irrigation). According to WILCOX, the waters of the source were classified in two classes: Excellent and Good.

The transfer of the chemical elements on the diagram of PHREEQ C, showed us that the saturation indices for all the minerals are generally undersaturated, indicating the power of dissolution of these waters to the carbonate formations and the elements of the chemicals. The statistical study allowed us to understand the origin of the mineralization of the waters of Ain Sefra, which is due to the dissolution of the bicarbonate formations of the Upper Jurassic, the infiltration of irrigation water and wastewater.

Key words: Ain Sefra source, Chetouane (Tlemccen), Physico-chemical analyses, Potability, Statistical, Irrigation, Diagrams, Mineralization.

LISTE DE ABRÉVIATIONS

P : Précipitation

T : Températures.

ETP : Evapo Transpiration Potentielle.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

BI : Balance Ionique.

Meq/L : Milliéquivalent par litre.

r : quantité en réaction.

pH : potentiel Hydrogène.

TH : Titre d'Hydrotimétrique.

RS : Résidu Sec.

CE : Conductivité électrique.

Ca²⁺ : Ion Calcium.

Mg²⁺ : Ion Magnésium.

Na⁺ : Ion Sodium.

K⁺ : Ion potassium.

HCO₃⁻ : Ion Bicarbonate.

Cl⁻ : Ion Chlorure.

SO₄⁻ : ion sulfates.

NO₃⁻ : Nitrates.

C.M.A : Concentration maximale admissible.

Kr : Indice de Kelly's Ratio.

Na% : Pourcentage du sodium.

SAR : Sodium Alkalinity Ratio.

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

CAH : Classification ascendante hiérarchique.

A.D.E. : Algérienne Des Eaux.

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

E.P.S.P : Etablissements Publics de Santé de Proximité.

C.E.A.E.Q : Centre D'Expertise en Analyse Environnementale de Québec.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1.1: Situation géographique de la wilaya de Tlemcen (Direction du parc de Tlemcen, 2017)..2	2
Figure I.1.2: Situation géographique de la source « Ain Sefra- Chetouane ».....3	3
Figure I.2.1: Variations des précipitations moyennes annuelles à la station De Tlemcen (1995-2020).....5	5
Figure I.2.2: Histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....6	6
Figure I.2.3: Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen.....7	7
Figure I.2.4: Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à station de Tlemcen (1995-2020) 8	8
Figure I.2.5: Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2020). 9	9
Figure I.2.6: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne..... 10	10
Figure I.2.7: Climagramme d'Emberger..... 12	12

Chapitre II

Figure II.1.1: Colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen (D'après BENEST et al,1999 in BENZINA.M, 2012).....17	17
Figure II.1.2: Extrait de la carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922) 19	19
Figure II.2.1: Coupe transversale aux Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères (Collignon.B, 1986).....22	22

Chapitre III

Figure III.1: Photos exclusives du captage la source d'Ain Sefra-Chetouane (28/02/2022).....23	23
Figure III.2: L'origine d'émergence de la source d'Ain Sefra 24	24
Figure III.3: Le tuyau d'alimentation à l'intérieur de l'origine de la source.....24	24
Figure III.4: Variation du pH..... 25	25
Figure III.5: Variation de la conductivité électrique..... 26	26
Figure III.6: Variation du Résidu sec. 29	29
Figure III.7: Variation de Calcium 29	29
Figure III.8: Variation de Magnésium..... 30	30
Figure III.9: Variation de Sodium 30	30
Figure III.10: Variation de Potassium 31	31
Figure III.11: Variation des Chlorures..... 31	31
Figure III.12: Variation de Sulfates 32	32
Figure III.13: Variation de Bicarbonate..... 32	32
Figure III.14: Variation des Nitrates..... 33	33
Figure III.15: Analyses bactériologique de l'eau étudiée. 35	35
Figure III.16: Distribution des faciès chimiques de la source étudiée. 37	37
Figure III.17: Classification des eaux, selonSchöeller- Berkaloff.....37	37
Figure III.18: Classification des eaux, selonSchöeller- Berkaloff..... 38	38
Figure III.19: Diagramme de Stabler..... 39	39
Figure III.20: Diagramme de Piper..... 40	40
Figure III.21: Diagramme de Wilcox. 43	43

Figure III.22: Diagramme de Riverside.....	44
Figure III.23: Classification Ascendante Hiérarchique.....	49

LISTE DES FIGURES EN ANNEXES

Figure 01 : Photos exclusives de la source d'Ain Sefra-Chetouane	60
Figure 02: Les analyses chimiques de la source d'Ain Sefra-Chetouane, laboratoire n° 25 (Les analyses incomplètes).....	60
Figure 03: Analyse bactériologique de la source d'Ain Sefra-Chetouane (E.S.P.E 05 Avril 2022)....	61

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.2.1: Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen (A.N.R.H).....	4
Tableau I.2.2: Précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	4
Tableau I.2.3: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Tlemcen (1995-2020).	5
Tableau I.2.4: Précipitations saisonnières.....	6
Tableau I.2.5: Températures moyennes, maximales et minimales.	7
Tableau I.2.6: Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020)	8
Tableau I.2.7: Indice d'aridité de DE Martonne.	10
Tableau I.2.8: Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.	11
Tableau I.2.9: Indice d'Emberger de la station de Tlemcen.	11

Chapitre III

Tableau III.1: Relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau (Rodier J., 2009).....	26
Tableau III.2: Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J., 2009).....	27
Tableau III.3: Minéralisation des eaux étudiées.....	27
Tableau III.4: Classification des eaux en fonction de la dureté.....	28
Tableau III.5: Dureté totale de l'eau de la source étudiée.	28
Tableau III.6: Classification des eaux de la source d'Ain Sefra- Chetouane, selon les normes Algériennes.....	34
Tableau III.7: Analyse bactériologique de la source d'Ain Sefra-Chetouane (E.S.P.E 05 Avril 2022).	34
Tableau III.8: Classification des eaux, selon leur faciès chimique.	36
Tableau III.9: Classification des eaux étudiées selon l'indice de KR.	41
Tableau III.10: Classification des eaux d'irrigation, selon le pourcentage de sodium.	41
Tableau III.11: Pourcentages en sodium des eaux de la source étudiée.....	42
Tableau III.12: Indice de saturation d'après PHREEQ C.....	45
Tableau III.13: Corrélations entre les éléments chimiques majeurs des eaux de la source d'Ain Sefra.....	46
Tableau III.14: Paramètres statistiques des variables.....	47
Tableau III.15: Pourcentage des facteurs cumulés	48
Tableau III.16: Corrélations entre les variables et les facteurs.....	48
Tableau III.17: Contribution des éléments chimiques dans la minéralisation.....	48

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des Abréviations.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des tableaux.....	III
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Situation Géographique et Climat de la région d'étude.

I. Situation Géographique et Climat de la région d'étude.....	2
I. 1 Situation Géographique.....	2
I.1.1 Situation géographique générale :	2
I.1.2 Situation géographique de la zone d'étude (Ain Sefra /Chetouane) :	2
I.2 Climat de la région d'étude.....	4
I.2.1 Introduction :	4
I.2.2 L'étude des paramètres climatologiques :	4
I.2.2.1 Précipitations :	4
a) Précipitations moyennes annuelles :	4
b) Précipitations moyennes mensuelles :	5
c) Les précipitations saisonnières :	6
I.2.2.2 Températures :	7
a) Les températures moyennes mensuelles.....	7
I. 2.3 L'étude du climat :	8
a) Méthodes graphiques (méthodes de visualisation) :	8
• Les courbes pluvio-thermiques :	9
B- Les indices climatiques :	9
B-1 Indice d'Aridité de DE Martonne (1923) :	9
• Indice d'aridité annuel :	9
• Indice d'aridité mensuel :	10
II.2.3 Climagramme d'EMBERGER :	11
II.3 Conclusion :	12

Chapitre II : Etude Géologique et Hydrogéologique

II. Etude Géologique et Hydrogéologique.....	13
II.1 Géologie.....	13
II.1.1 La litho-stratigraphie des Monts de Tlemcen :	13
A. Le secondaire :.....	13
✓ Le TRIAS :.....	13
✓ LE LIAS ET LE DOGGER :	13
✓ LES ARGILES DE SAIDA :	13
✓ LES GRÈS DE BOUMEDIÈNE :	13
✓ LES CALCAIRES DE ZARIFET :	14
✓ LES DOLOMIES DE TLEMCEN :	14
✓ LES CALCAIRES DE STAH :	14
✓ LES MARNO- CALCAIRES DE RAOURAI :	14
✓ LES CALCAIRES DE LATO :	14
✓ LES DOLOMIES DE TERNI :	14
✓ LES MARNO-CALCAIRES DE HARIGA :	15
✓ LES MARNO-CALCAIRES D’OUELD MIMOUNE :	15
✓ LE CRÉTACÉ :	15
▪ Les argiles de Lamoricière :.....	15
▪ Les grès de Berthelot :	15
▪ Les calcaires de Zigyne :	15
B. Le Tertiaire :.....	15
a) L’ÉOCÈNE :	15
b) LE MIOCÈNE :	15
▪ Inférieur :	15
▪ Moyen (Serravallien) :	16
▪ Supérieur (Tortonien) :	16
C. Le Plio-Quaternaire :	16
II.1.2 Analyse structurale :	17
• Principales phases tectoniques :	17
• Les unités structurales :	17
1) Zone synclinale de Terni :	17
2) Zone effondrée de Tlemcen :	17
3) Zone supérieure des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz :	17
4) Zone d’Er-Ramlya :	17
Contexte Géologique de la zone étudiée :	17
II.2 Hydrogéologie.....	20

II.2.1 Propriétés hydrogéologiques des formations.....	20
A. Les formations du Jurassique supérieur :.....	20
B. Les formations du Crétacé :.....	20
C. Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :.....	20
1. Les formations calcaires du Jurassique :.....	20
2. Les dolomies de Tlemcen :.....	20
3. Les dolomies de Terni :.....	20
4. Les grès de Boumediène :.....	21
5. Les marno-calcaires de Raouraï, d'Hariga et de Lamoricière :.....	21
6. Les grès de Merchiche :.....	21
7. Les conglomérats du Miocène inférieur :.....	21
8. Les grès tortoniens :.....	21
II.3 Conclusion :.....	22

Chapitre III : Hydrogéochimie

III.1 Introduction :.....	23
• Etat du lieu.....	23
III. 2 Balance ionique:.....	24
III.3 Etudes des paramètres physico-chimiques :.....	25
❖ Les paramètres physiques :.....	25
❖ Les paramètres chimiques :.....	25
Interprétation et discussion :.....	25
❖ Les paramètres physiques :.....	25
▪ Le potentiel d'hydrogène pH :.....	25
▪ La conductivité :.....	26
▪ Minéralisation (mg/L) :.....	26
▪ La dureté totale (TH) :.....	27
▪ Résidu sec :.....	28
❖ Les paramètres chimiques :.....	29
▪ Les cations :.....	29
➤ L'ion calcium (Ca^{2+}) :.....	29
➤ L'ion magnésium (Mg^{2+}) :.....	30
➤ L'ion sodium Na^+ :.....	30
➤ L'ion potassium K^+ :.....	31
▪ Les anions :.....	31
➤ L'ion chlorure (Cl^-) :.....	31
➤ L'ion sulfate SO_4^{2-} :.....	32

➤ L'ion bicarbonate HCO_3^- :	32
➤ L'ion nitrate NO_3^- :	33
III.4 Classification des eaux :	33
a) Potabilité de l'eau étudiée (Classification selon les normes Algériennes).....	34
• Classification des eaux selon les paramètres physico-chimique :	34
• Classification des eaux selon les analyses microbiologiques :	34
b) Diagramme logarithmique de H. SHOELLER et E. BERKALOFF :	36
c) Diagramme logarithmique de Stabler :	38
d) Diagramme de Piper :	39
e) Aptitude des eaux destinées à l'irrigation :	40
• L'indice de Kelly's Ratio (KR) :	40
• Pourcentage du sodium (Na^+) et classification des eaux par la méthode de Wilcox :	41
• Diagramme de Wilcox :	42
• Sodium Alcalinité Ratio (S.A.R) :	43
III.5 Origine de la minéralisation :	45
a) Indice de saturation :	45
III. 6 Etude statistique.....	46
A. Matrice des corrélations et matrice des covariances :	46
B. Coefficient de variation :	46
C. Analyse en Composante Principale :	47
D. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :	48
III.7 Conclusion :	49
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	51
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE.....	53
ANNEXES.....	56



Introduction générale

Introduction générale

L'eau pour l'environnement ce que le sang est à l'organisme humain : c'est une richesse importante pour tous les êtres vivants, il est indispensable à toutes les activités humaines et un facteur de production essentiel au développement durable. Les ressources en eau à Tlemcen sont diverses, et l'exploitation de ces ressources, que ce soit pour la consommation ou l'irrigation, se fait selon leurs caractéristiques à cause des risques de pollution de l'eau, sa qualité est devenue ces dernières années un processus important et obligatoire, afin de protéger les organismes vivants et de préserver l'environnement.

Dans ce travail, nous allons étudier, du point de vue hydro- géochimique, les eaux de la source d'Ain Sefra qui se trouve dans la Daïra de Chetouane (Tlemcen), dans le but d'identifier leur origine de minéralisation et d'interpréter les paramètres physico-chimiques du point de vue potabilité et aux fins d'irrigation.

Ce travail englobe trois parties :

-Chapitre I : Situation Géographique et Climat de la région d'étude : il s'étale en deux parties :

- **1^{ère} partie :** présentation géographique générale et localisation de la zone d'étude.
- **2^{ème} partie :** détermination du type du climat qui caractérise la zone d'étude, ainsi que les changements des paramètres climatiques qui affectent le régime de la source.

- Chapitre II : Etude Géologique et Hydrogéologique : il englobe :

- **La géologie :** son objectif est de déterminer les différentes formations géologiques et les grands traits structuraux présents dans la région d'étude.
- **L'Hydrogéologie :** englobe la description des formations géologiques qui peuvent être aquifères.

- Chapitre III : Hydrogéochimie : Le but principal de ce chapitre est de déterminer l'origine de la minéralisation des eaux de la source. A partir des analyses physico-chimiques que nous disposons, nous avons caractérisé la qualité des eaux pour la consommation, leurs faciès chimiques et leur aptitude pour l'irrigation.

À la fin, ce travail sera clôturé par une **Conclusion Générale**.

CHAPITRE I : Situation Géographique et Climat de la région d'étude

I. Situation Géographique et Climat de la région d'étude :

I.1 Situation géographique :

I.1.1. Situation géographique générale :

La wilaya de Tlemcen, ou comme on l'appelle * le Joyau de l'Ouest*, est située sur le côté nord-ouest de l'Algérie, avec une longueur du littoral de 120 Km et une superficie de 9017.67 km² (Wikipédia).

Géographiquement, Elle est limitée (figure I.1.1) :

- Au Nord, par la mer méditerranéenne,
- Au Nord-Est, par la wilaya d'Ain Témouchent,
- 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.



FigI.1.1 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen (Direction du parc de Tlemcen, 2017).

I.1.2 Situation géographique de la zone d'étude (Ain Sefra /Chetouane) :

Tlemcen..... Ville des sources,

Cette ville est connue par sa richesse en eaux souterraines et de surface. Parmi les sources d'eau, nous allons étudier la source d'Ain Sefra.

La source d'Ain Sefra est située à Chetouane dans la zone appelée « Zwinate » que les habitants de la région appellent également « Ain Mazouta », elle a pour coordonnées : (X : 655278 UTM, Y : 3866188 UTM, Z : 564 m). Elle est située à environ 302 m à l'Est du centre de la municipalité. Cette source émerge à côté d'Oued Saf Saf. Elle est limitée :

- Au Nord, par Ouzidane.
- A l'Est, par Oued en Nachef.
- A l'Ouest, par Djebel Chetouane.
- Au Sud, par Ain Defla.

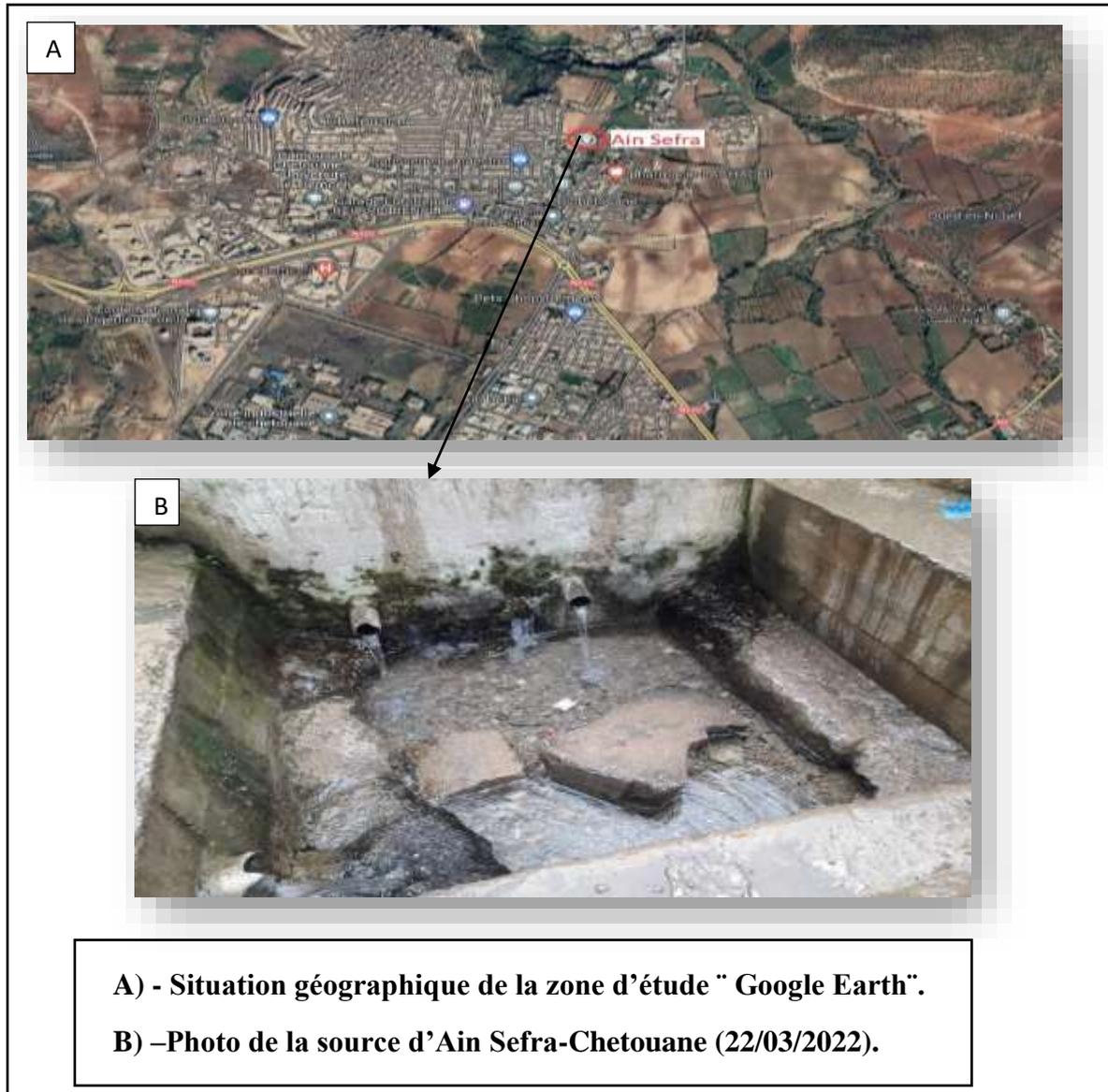


Fig. I.1.2 : Situation géographique de la source « Ain Sefra- Chetouane ».

I.2 Climat de la région d'étude :

I.2.1 Introduction :

La climatologie est l'étude du climat. Elle s'appuie sur l'analyse de la distribution des variables météorologiques, principalement la température et les précipitations d'une région donnée, sur une période de trente ans (www.universalis.fr).

Déterminer le type du climat qui prévaut dans la zone d'étude, est notre objectif dans ce chapitre. Pour mener cette étude, nous avons utilisé les données climatologiques de la station de Tlemcen, durant la période comprise entre 1995 et 2020.

Tableau. I.2.1 : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen (A.N.R.H).

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

I.2.2 L'étude des paramètres climatologiques :

I.2.2.1 Précipitations :

Les précipitations sont toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, en provenance directe ou indirecte de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Il peut s'agir de solides (neige ou grêle) ou de liquides (pluie).

a) Précipitations moyennes annuelles :

Tableau. I.2.2 : Précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

Année	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000
P(mm)	660.2	409.7	528.2	474.5	338.8
Année	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005
P(mm)	465.1	577.6	546.3	642.3	376.0
Année	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
P(mm)	485.8	403.8	376.3	817.3	605.9
Année	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
P(mm)	584.7	492.0	902.4	658.6	565.6
Année	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
P(mm)	561.4	545.1	310.4	283	314.2

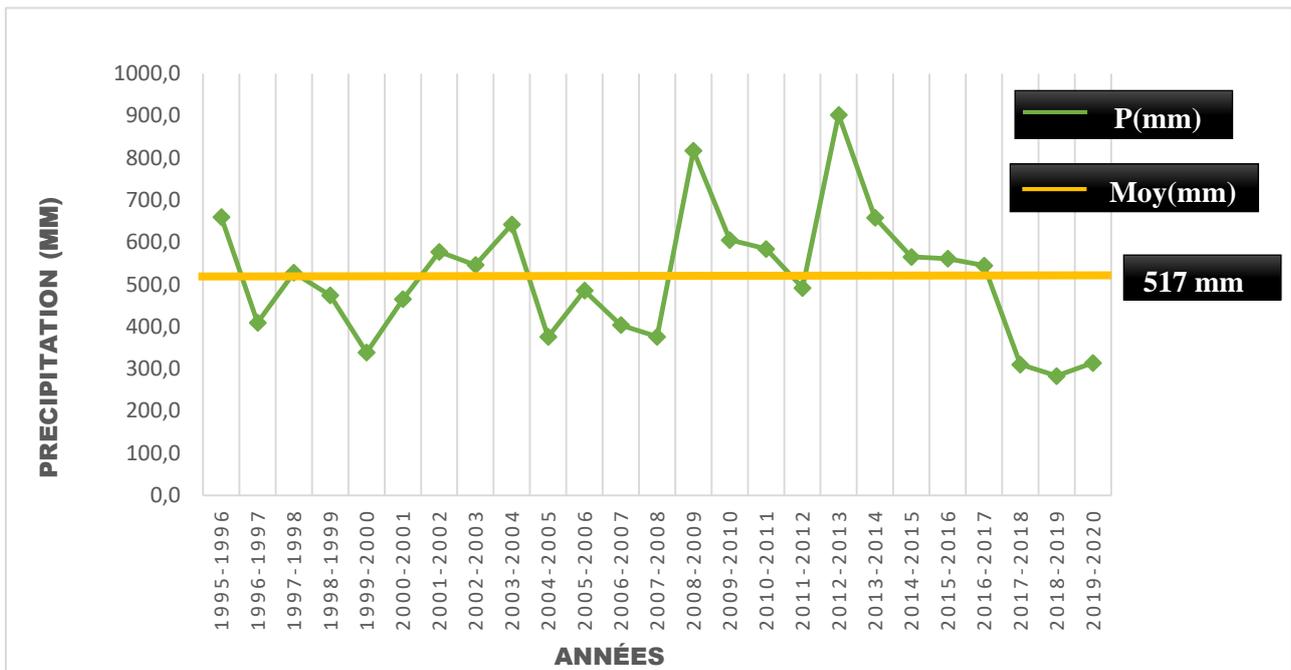


Fig. I.2.1 : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station De Tlemcen (1995-2020).

La pluviométrie moyenne annuelle à la station de Tlemcen montre qu'elle varie comme suit:(Fig. I.2.1) :

- La valeur maximale est enregistrée en 2012 - 2013 avec 902.4mm.
- La valeur minimale est enregistrée en 2018 - 2019 avec 283 mm
- La moyenne annuelle des précipitations est de 517 mm

b) *Précipitations moyennes mensuelles* :(Tableau annexe n° 01)

Tableau. I.2.3 : Précipitations moyennes mensuelles de la station de Tlemcen (1995-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	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

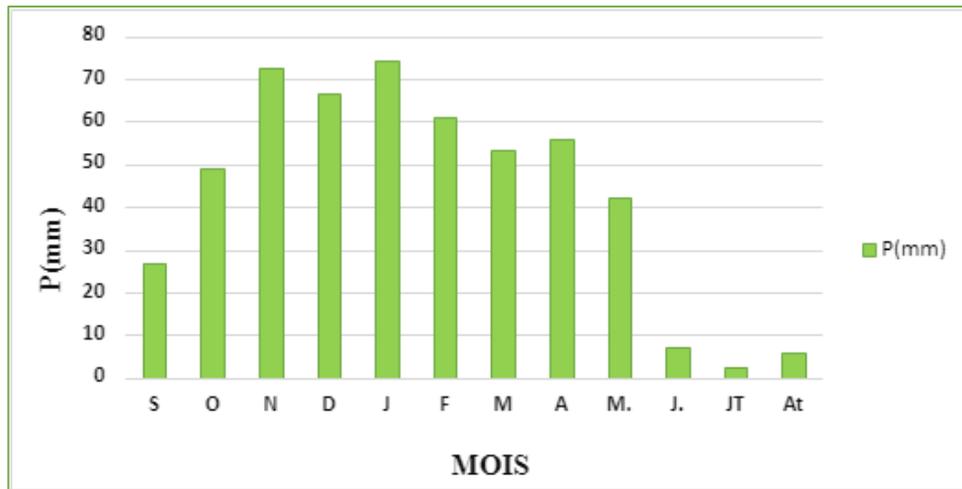


Fig. I.2.2 : Histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

→ D'après la Fig. I.2.2, qui représente l'histogramme des précipitations mensuelles moyennes pour la station de Tlemcen, nous remarquons que janvier est le mois le plus humide avec 74,3 mm, tandis que juillet est le plus sec (2,6 mm).

c) *Les précipitations saisonnières :*

Représentées par les quatre saisons de l'année :

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

Les précipitations saisonnières de la station étudiée sont données au tableau I.2.4 :

Tableau. I.2.4 : Précipitations saisonnières.

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été
Précipitations (mm)	148.4	201.8	151.3	15.5

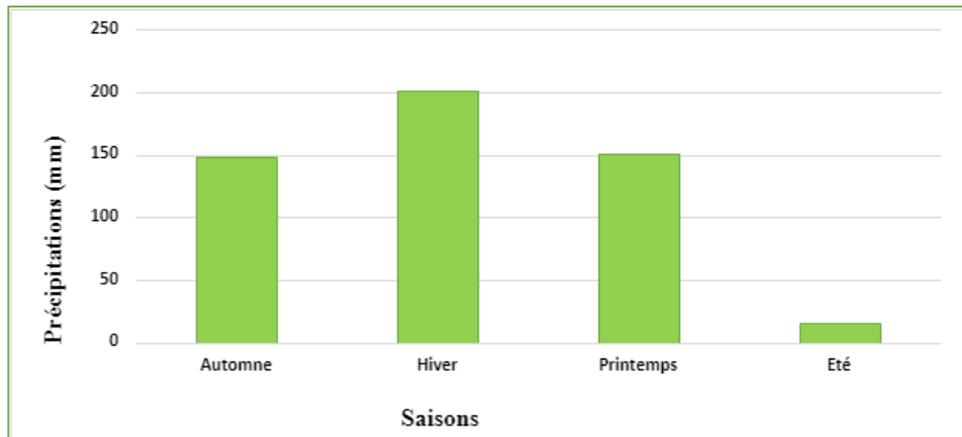


Fig. I.2.3 : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen.

→ L'observation de l'histogramme des précipitations saisonnières, permet de constater que l'hiver est la saison la plus humide tandis que l'été est la saison la plus sèche.

I.2.2.2 Températures :

La température régit directement le climat, interagissant avec les facteurs météorologiques et biogéographiques. Elle Permet avec les précipitations de calculer les indicateurs climatiques.

a) Les températures moyennes mensuelles :

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des températures moyennes, maximales et minimales pour la station de Tlemcen (Tableau annexe n° 02) :

Tableau I.2.5: Températures moyennes, maximales et minimales.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	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

- Les Températures moyennes maximales =23.6 (°C)
- Les Températures moyennes minimales =12 (°C)
- Les Températures moyennes mensuelles =17.8(°C).

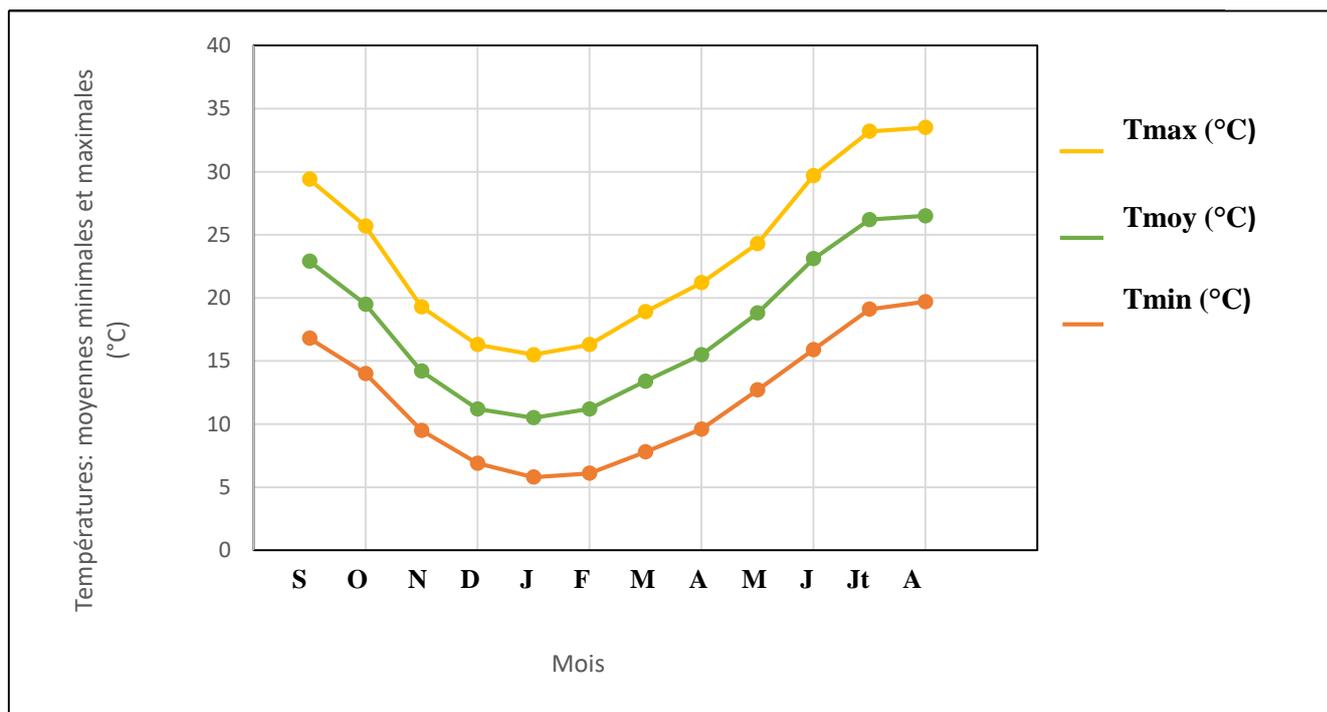


Fig. I.2.4 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à station de Tlemcen (1995-2020).

→ La figure ci-dessus montre que la température mensuelle moyenne atteint un maximum en juillet et août (26,2 et 26,5 °C), la température moyenne maximale est de 33,2 à 33,5 °C. Le minimum a été enregistré en janvier (10,5°C), ce qui équivaut à un minimum de 5,8°C.

I.2.2.3 L'étude du climat :

Pour l'étude du climat, nous disposons de plusieurs indicateurs et méthodes à partir des données météorologiques, afin de déterminer le type du climat qui règne dans la région étudiée.

L'étude du climat peut être faite à partir :

- Des méthodes d'imagination, les périodes sèches et les périodes humides.
- Du calcul des indices climatiques annuels et mensuels, à partir des données climatiques.

a) Méthodes graphiques (méthodes de visualisation) :

Tableau. I.2.6: Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	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
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

• **Les courbes pluvio-thermiques :**

D'après Gaussen et Bagnouls, un mois est dit sec, si la courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations. Il sera dit humide, si la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures. Cette relation permet d'établir des diagrammes pluvio-thermiques sur lesquels la température est portée à une échelle double de celle des précipitations ($P = 2T$).

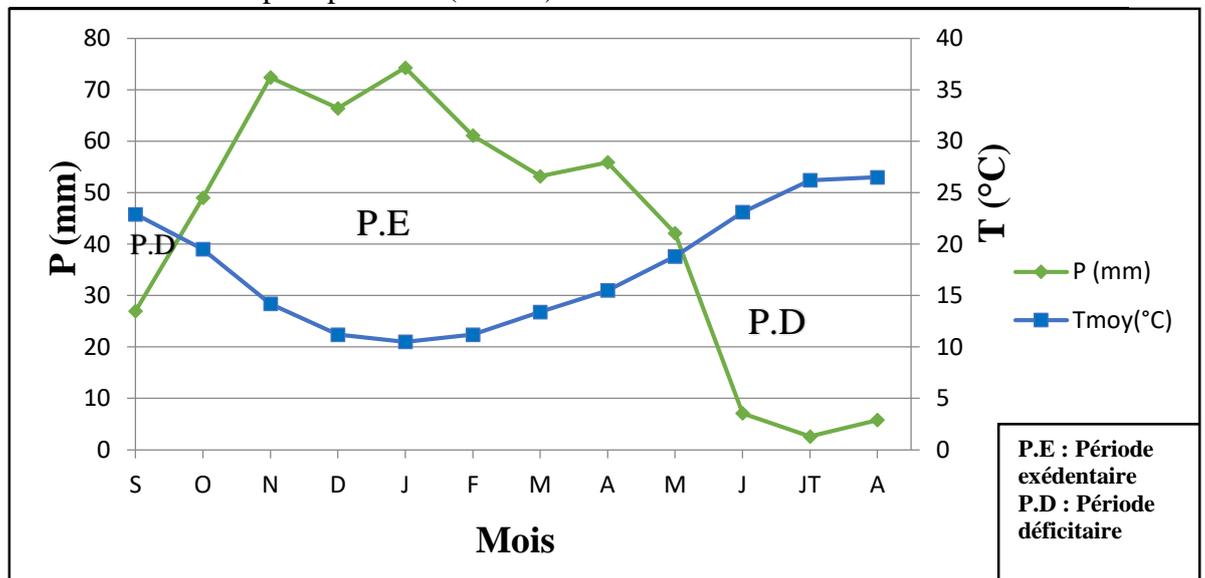


Fig. I.2.5 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2020).

→ Le diagramme pluvio-thermique 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 : Elle occupe le reste des mois de l'année.

B- Les indices climatiques :

B-1 Indice d'Aridité de DE Martonne (1923) :

Il est considéré comme un indicateur utile pour décrire le phénomène d'aridité, sur la base de la quantité annuelle de précipitations et de la température annuelle.

• **Indice d'aridité annuel :**

Selon DE Martonne, l'indice annuel d'aridité est déterminé comme suit :

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

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

I : indice d'aridité annuel.

DE Martonne propose la classification suivante :

Tableau I.2.7 : Indice d'aridité de DE Martonne.

Valeur de I	Type de climat
20 < I < 30	Climat tempéré
10 < I < 20	Climat Semi-aride
7. < I < 10	Climat steppique
5 < I < 7.5	Climat désertique
I < 5	Climat hyper- aride

Selon l'abaque de DE Martonne (Fig. I.2.6), la valeur calculée de I varie entre 10 et 20, c'est-à-dire que la zone d'étude est caractérisée par un climat **semi-aride**, avec des écoulements temporaires.

Où : P=517mm, T=17.8 C° donc Ia=18,59.

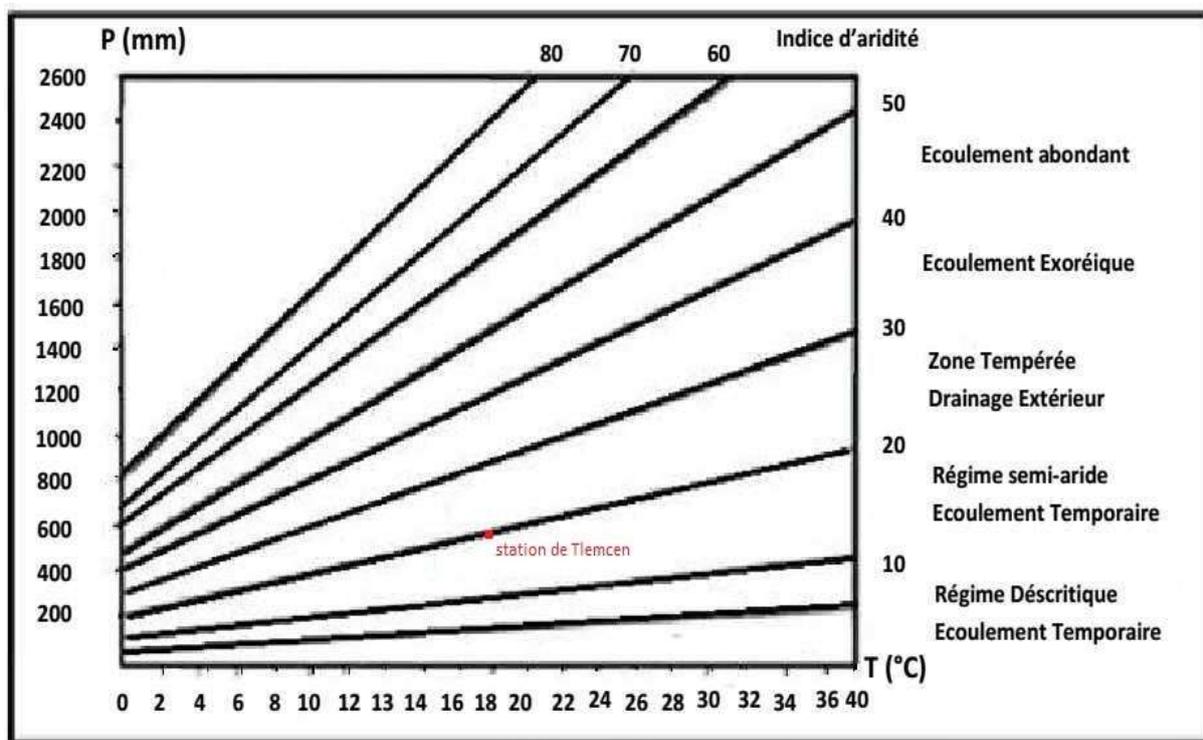


Fig. I.2.6: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.

• **Indice d'aridité mensuel :**

Il est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{12P}{t+10}$$

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

t : Températures moyennes mensuelles (°C)

i: indice d'aridité mensuelle

Tableau I.2.8 : Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
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

Avec :

-S : Semi-aride

- D : Désertique.

- St : Steppique.

I.2.3 Climagramme d'EMBERGER :

Ce climagramme permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région donnée.

Il est déterminé à partir de la formule suivante :

$$\rightarrow Q_2 = \frac{1000 \times P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)}$$

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 : $K = T (^{\circ}C) + 273$

Tableau I.2.9 : Indice d'Emberger de la station de Tlemcen.

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

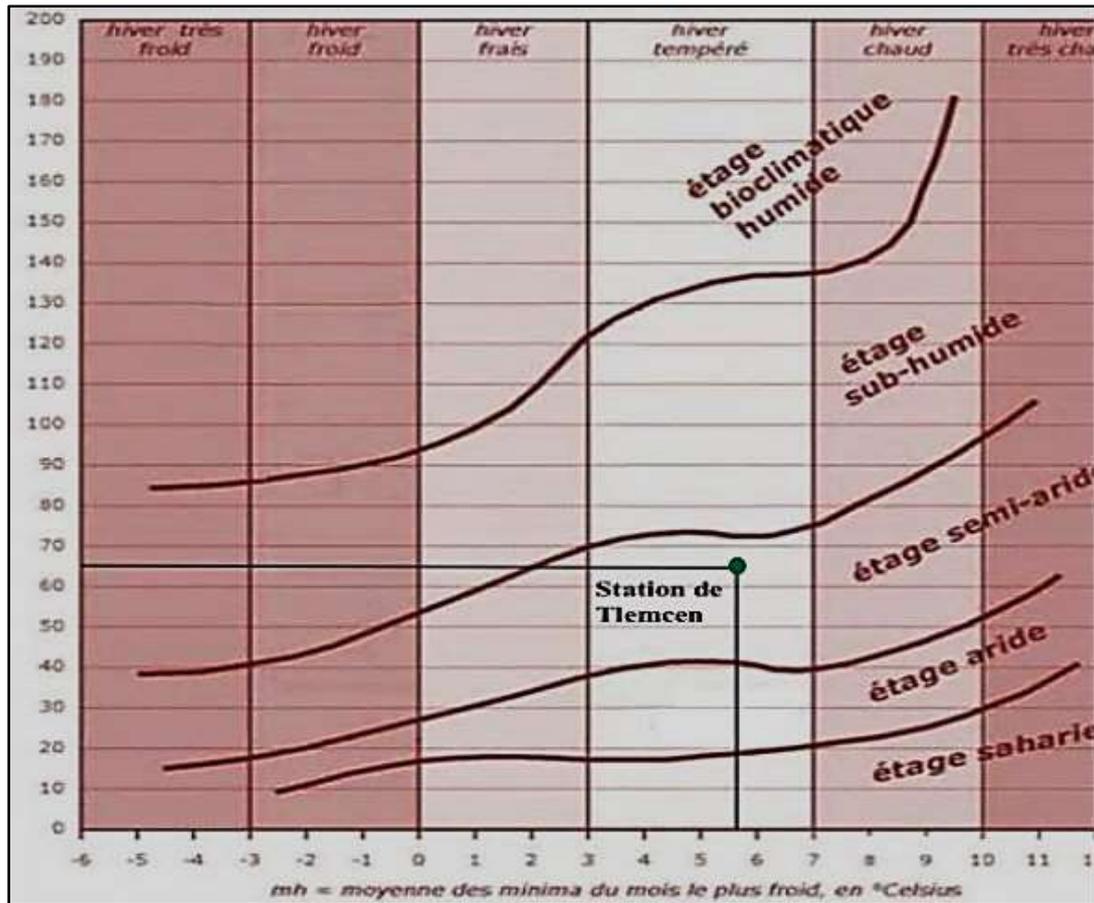


Fig. I.2.7 : Climagramme d'Emberger.

I.3 Conclusion :

A travers l'étude des paramètres climatologiques (Températures et précipitations) enregistrés à la station de Tlemcen, nous pouvons conclure que :

La région de Tlemcen appartient à un climat semi-aride, caractérisée par deux saisons contrastées : l'hiver qui est une saison relativement froide et pluvieuse et l'été, une saison chaude et sèche.

Les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 517 mm, tandis que la température moyenne mensuelle est de 17,8°C. Le mois de Janvier est le mois le plus froid (10,5°C). Tandis que les mois de juillet et août sont les plus chauds (26,2°C et 26,5°C).

La méthode des courbes pluvio-thermiques de Bagnouls et Gaussen, nous a permis de définir une période excédentaire allant du la fin du mois de Septembre jusqu'à le début du mois de Mai, et une période déficitaire couvrant le reste des mois de l'année.

Chapitre II : Etude Géologique et Hydrogéologique

II. Etude Géologique et Hydrogéologique :

II.1 Géologie :

Les Monts de Tlemcen.... Cette chaîne montagneuse de 800 à 1400 m d'altitude (Wikipédia), situés au Nord-Ouest algérien, 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. Ces formations sont masquées par des sédiments épais du tertiaire représenté par des sédiments fluviaux de l'éocène au sud des marnes du miocène et des sédiments continentaux du Plio-Quaternaire au Nord.

II.1.1 La litho-stratigraphie des Monts de Tlemcen :

La description des formations suivantes est principalement inspirée des travaux de Clair et Concaret, 1973 ; Benest, 1985,1987, Bensaoula, 1994,2006, Bouanani.A, 2004, Ablaoui,2013, et Keddah et Médjahedi, 2018.

A. Le secondaire :

Il forme l'ossature des Monts de Tlemcen, on distingue de la base vers le sommet :

✓ *Le TRIAS :*

Il se compose d'argile rouge-violet, qui emballant avec des couches de gypse fibreux. On peut le voir clairement à Ain Tellout et au Djebel Larbi. Sevent accompagné de basalt, de tuf calcaire. Ce dernier se développe en grande partie à proximité de grandes sources qui émergent de la dolomie et du calcaire kimméridgien, avec des fossiles végétaux (F. Doumergue). Les argiles à gypses seules affleurent au Djebel El Arbi (Auclair D. et Biehler J., 1967).

✓ *LE LIAS ET LE DOGGER :*

Les sols carbonisés du Lias et du dogger définissent de deux horsts : GharRoubane et Djebel Tenouchfi.

Le Lias inférieur et moyen correspond à des calcaires massifs de plus de 200m d'épaisseur. Ces calcaires massifs et karstifiés sont connus par les filons de Blende et de galène exploités jadis au pied sud-ouest du Koudiat Er Ressass. 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 Sud-Ouest de ce massif, en direction de Sidi Aissa (Benest et al.).

✓ *LES ARGILES DE SAIDA :*

C'est une formation qui peut atteindre 300 à 500 m d'épaisseur (Bensaoula.F., 2006) représentées par des dépôts argileux et marneux à passées gréseuses. Elle est attribuée au Callovo-Oxfordien, et apparaissent dans la région de Sabra et plus près du Barrage de Beni-Bahdel.

✓ *LES GRÈS DE BOUMEDIÈNE :*

Ils sont d'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur. Ce sont des grès blancs parfois bruns ferrugineux à la surface, durs avec des intercalations de bancs marneux multicolores. C'est une série épaisse comportant à son sommet des passages de bancs de calcaires bleus appelés calcaires de Zarifet (Ablaoui H., 2013).

Les grès de Boumediene sont particulièrement développés dans la forêt de Zarifet, qui peut atteindre une épaisseur de 500m, et au sud-ouest de Terni, au niveau d'El Ourit, de la forêt d'Hafir et vers l'Est, dans la région d'Oum El Alou (Ablaoui H., 2013).

✓ **LES CALCAIRES DE ZARIFET :**

Ils sont d'âge Kimméridgien supérieur. Ils ont été définis par F. Doumergue (1910) sous le nom de calcaires blues à géodes M. Benest (1972) les désigne sous ce nom, car ils sont particulièrement bien exposés au col de Zarifet, au Sud de Tlemcen.

Il s'agit de bancs calcaires séparés par de minces intercalations de calcaires marneux écailleux, parfois quelque peu fossilifère, marquant presque partout la base très nette du Kimméridgien et reposent directement la consistance du grès de Boumédiène, formant les falaises autour de Tlemcen. (BOUANANI A., 2004).

✓ **LES DOLOMIES DE TLEMCCEN :**

Les dolomies de Tlemcen appartiennent à l'ère du Moyen-Kimérid-Haut-kimérid et elles marquent les Monts de Tlemcen d'un style morphologique.

Il s'agit de dolomies cristallines grises, avec de nombreuses cavités remplies de calcite avec une épaisseur de 300 m dans la région de Tlemcen. Il est situé autour d'Ain Fezza, de la forêt de Zarifet, du Nord de Tlemcen, des Djebels Teffatisset, Ain El Houtz et du plateau de Terni et du Nord de Tlemcen (Ablaoui H., 2013).

✓ **LES CALCAIRES DE STAH :**

Ils sont des micrites en bancs épais, épargnés de la dolomitisation à dépôt gris clair, d'après Benest M. (1972). Ces énormes calcaires massifs ont peu ou pas de marne du passé. En revanche, dans d'autres secteurs, cette formation admet des intercalations marneuses (Ablaoui H., 2013).

✓ **LES MARNO- CALCAIRES DE RAOURAI :**

Ce sont des marnes grises d'âge Tithonique inférieur, blanchâtres en surface, où s'intercalent de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs. La formation est délimitée par le calcaire de Stah à sa base et par la première couche de calcaire de Lato ou dolomite de Terni à son sommet. Leur épaisseur varie de 90m à 150m. Cette formation affleure particulièrement sur le plateau de Terni, dans le Djebel Lato et à l'Est d'Ain Fezza (Ablaoui H., 2013).

✓ **LES CALCAIRES DE LATO :**

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

✓ **LES DOLOMIES DE TERNI :**

Doumergue (1910) les placés dans la partie supérieure de kimméridgien, tandis que Benest M. (1982) les a placés dans la partie inférieure de Tithonique. Correspondent à la corniche au-dessus des calcaires du Lato, leur épaisseur est d'environ 50m dans la zone de Sebdu et de 100m au plateau de Terni. Elles correspondent à des dolomies parfois vacuolaires, parfois massives avec de nombreuses stratifications obliques qui permettent de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen (Ablaoui H., 2013).

✓ **LES MARNO-CALCAIRES DE HARIGA :**

Visibles au Djebel Hariga, épaisseur de 165 m, appartenant à la période de Tithonien moyen, c'est une alternance de calcaires et de marnes, plus ou moins tendres, composée de microcristaux à patine gris-clair (Ablaoui H., 2013).

✓ **LES MARNO-CALCAIRES D'OUELD MIMOUNE :**

Cette formation est constituée principalement de grès et d'argiles du Tithonique supérieur au fond du Berriasien inférieur (grès de Merchiche), suivie d'une alternance de calcaires et de marnes. La limite inférieure de cette formation correspond à la présence des grès de Merchiche sur la marge sud du plateau de Terni. A OuledMimoune, ces bancs marno-calcaires peuvent avoir une épaisseur de 500 à 700 m. Au fond, on note la présence de couches de grès (Ablaoui H., 2013).

✓ **LE CRÉTACÉ :**

Le Crétacé représente la chaîne du Crétacé inférieur. Distinguer de bas vers haut :

▪ **Les argiles de Lamoricière :**

Il s'agit d'une formation argilo-gréseuse de l'ère Berriasien-Valangini moyenne et nettement calcaire au sommet qui affleurement au niveau de HassiZerga.

▪ **Les grès de Berthelot :**

Sont caractérisés par une récurrence de la smectite, mais surtout par la présence du chlorite (10 m à 15 m). Le fond est riche stratifications obliques, marquées par un banc de dolomie pulvérulente (d'âge Hauterivien).

▪ **Les calcaires de Zigyne :**

Cette formation d'âge Barrémien – Aptien, représente la transition entre le Crétacé et l'Eocène (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

B. Le Tertiaire :

Représenté par des dépôts essentiellement marins. On distingue les formations suivantes de bas en haut :

a) **L'ÉOCÈNE :**

Ensemble gréseux avec passage de bancs en poudingues. Il affleure sur une très faible surface, il est constitué de grès siliceux jaunes rougeâtres, assez friables, à ciment argileux, alternant avec des marnes argileuses verdâtres d'une puissance de 100 m à 150 m attribuées à l'Eocène supérieur (Ablaoui H., 2013).

b) **LE MIOCÈNE :**

▪ **Inférieur :**

Partent de la formation rocheuse poudingue, avec des éléments calcaires dolomitiques en ciment calcaire-gréseux très dur avec des blocs hétérogènes et polygéniques bien roulés (DOUMERGUE. F) jusqu'à 20 m d'épaisseur. Ce faciès, très résistant et fissuré, montre un grano-classement normal avec des intercalations marneuses à la base. La partie supérieure est composée d'argiles marneuses olivâtre, entrecoupées de couches dans lesquelles décimétriques de grès ferrugineux, formant un ensemble de plus de 100 m d'épaisseur (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

▪ **Moyen (Serravallien) :**

Souvent en discordance au Miocène inférieur, déformé et partiellement érodé. Il est composé d'une série de marnes grises ou bleues épaisses qui deviennent ocres lorsqu'elles sont altérées. 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 (Ablaoui H., 2013).

▪ **Supérieur (Tortonien) :**

Il est représenté par des grès durs dorés ou citronnés, parfois avec des marnes passées plus minces, rarement consolidées, jusqu'à 20 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 S.M., 1983 in Ablaoui H., 2013).

C. Le Plio-Quaternaire :

C'est une série complexe de dépôts discontinus composés d'éléments hétérogènes et hétérométrique. Où il n'est représenté que par des sédiments continentaux dont la date exacte est difficile à établir.

On trouve les faciès suivants :

- Travertin villafranchien, solidement consolidés, en bordure des Monts de Tlemcen et des calcaires lacustres.
- Un complexe de sédiments plio-villafranchiens dont les limites sont constituées de massifs secondaires et dont l'épaisseur est très variable.
- Marnes peu ou pas de galets.
- Les alluvions anciennes, des marnes alluviales olivâtres aux galets, en passant par les limons et les graviers (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

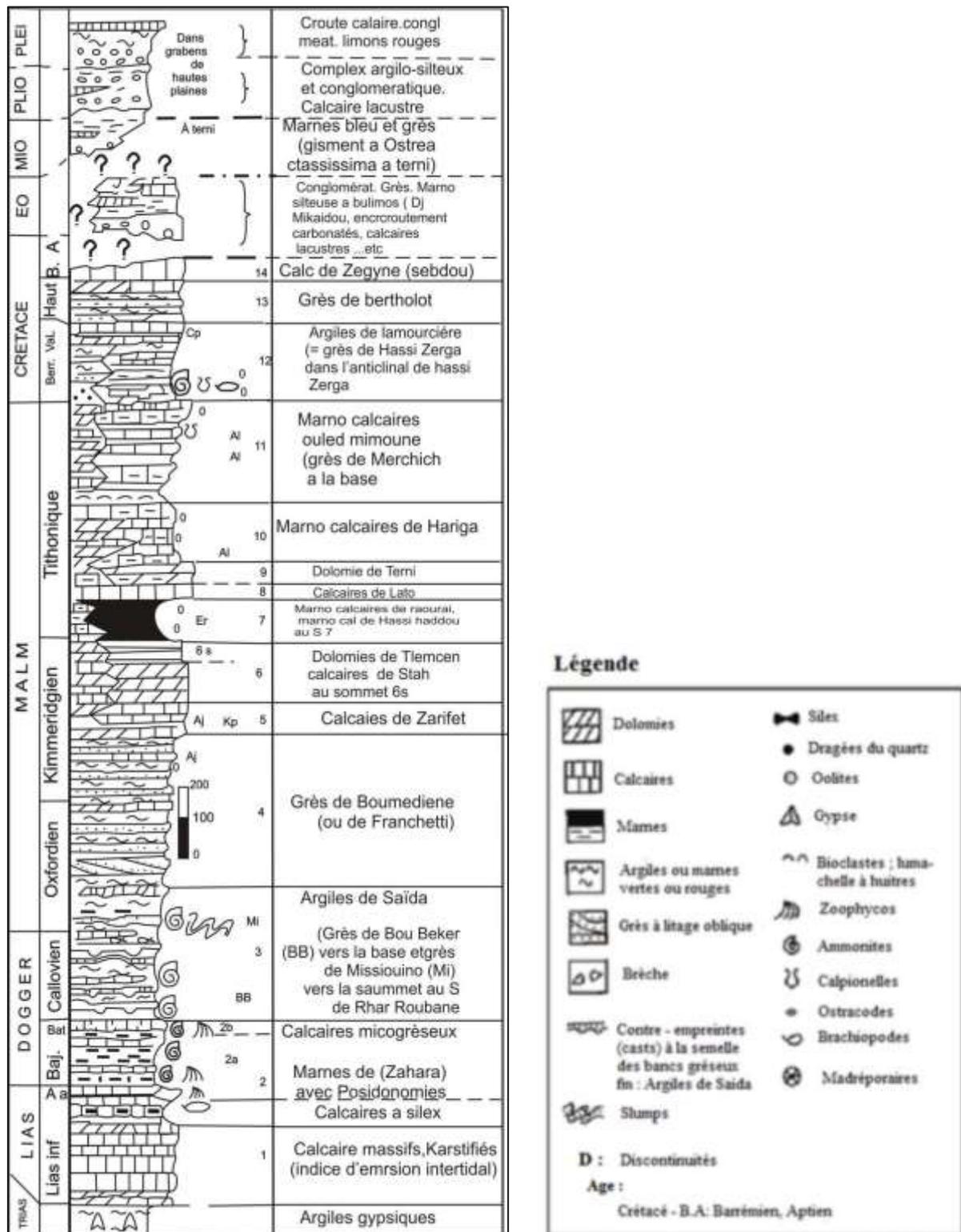


Fig. II.1.1: Colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen (D'après BENEST et al,1999 in BENZINA.M, 2012).

II.1.2 Analyse structurale :

L'orientation WSW-ENE représente la direction générale des grandes fractures (direction tellienne), qui exprime une tectonique distensive cassante 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, 2018).

- **Principales phases tectoniques :**

C'est surtout la tectogenèse tertiaire et quaternaire qui a le plus conditionné l'évolution morpho-structurale de l'avant-pays tlemcénien (Benest, 1982 et 1985). Cinq étapes tectoniques sont mises en évidence :

- 1) *Une phase distensive Eo-crétacée.*
- 2) *Une phase atlasique.*
- 3) *Une phase à dominante distensive.*
- 4) *Une phase récente.*
- 5) *Déformations actuelles.*

- **Les unités structurales :**

Les Monts de Tlemcen est constitué de plusieurs unités structurales (ELMI 1970) :

- 1) **Zone synclinale de Terni :**

Limitée par deux accidents de direction moyenne N 70° 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 dans la série jurassique, s'enfoncé légèrement vers l'Est. Dans cette zone, la plupart des contacts entre les formations se font par des failles (Ablaoui H., 2013).

- 2) **Zone effondrée de Tlemcen :**

Elle fait partie du même ensemble effondrements que la plaine de Maghnia, séparée par le Djebel Tefatisset (Smail Fozia., 2017). Elle est confinée au Sud et au Nord par des failles passant par Bréa et Chetouane reliant les panneaux Djebels Tefatisset et Ain El Houtz (Ablaoui H., 2013).

- 3) **Zone supérieure 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 (Ablaoui H., 2013).

- 4) **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 (Ablaoui H., 2013).

➤ **Contexte Géologique de la zone étudiée :**

Le secteur d'étude se situe dans la partie nord-ouest algérienne (Fig. II.1.2) et occupe les piémonts nord des Monts de Tlemcen. Les formations carbonatées du Jurassique, constituant essentiellement les Monts de Tlemcen, s'envoient sous les dépôts du Mio-Plio-Quaternaire qui deviennent de plus en plus épais lorsqu'on se déplace vers le Nord. (HAYANE S.M., 1983).

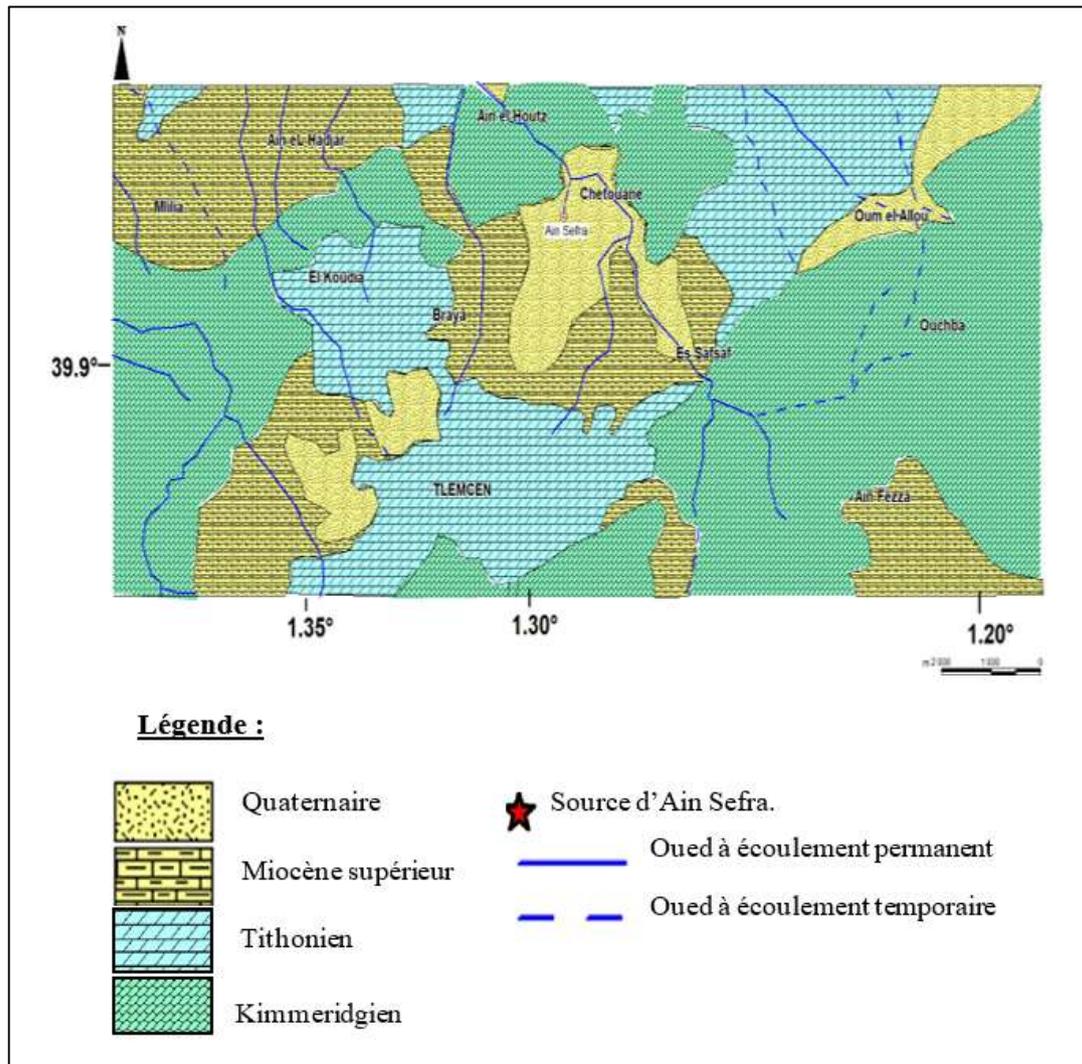


Fig. II.1.2: Extrait de la carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922).

Les formations qui affleurent dans cette région (Fig.II.1.2) sont des formations carbonatées appelées dolomies de Tlemcen et qui correspondent à deux membres calcaréo-dolomitiques séparés par les marno-calcaires datées du Kimméridgien et du Tithonien. Cette dernière est surmontée par une série de formation d'âge Miocène supérieur et est constituée par des grès et des calcaires à la base, puis par des marnes bleues, devenant vers le sommet des calcaires crayeux. Les formations datées du Quaternaire sont formées par des accumulations de piémont (Sables, Gravieres et Argiles...).

II.2 Hydrogéologie :

Les Monts de Tlemcen, ou comme on l'appelle "le château d'eau naturel de l'Ouest algérien", est connu par ses aquifères à potentiel hydrique lié à la nature des formations géologiques. Le plus important est celui où affleurent principalement les formations carbonatées du Jurassique supérieur et du Crétacé basal, représentant un vaste horst.

Les ressources en eau karstiques des Monts de Tlemcen constituent la ressource en eau la plus mobilisée qui alimente, pour une grande part, la population de Tlemcen (Bensaoula F., 2006).

II.2.1 Propriétés hydrogéologiques des formations :

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

A. Les formations du Jurassique supérieur :

Selon les études de Hayane (1981), Collignon (1986) et Bensaoula (1992 et 2006), les formations calcaires et dolomitiques sont en grande partie fissurées et karstiques, ce qui confère aux formations une très bonne perméabilité et constitue ainsi les principaux réservoirs d'eaux souterraines de la région. Au niveau des grès, la perméabilité dépend de la nature géologique des formations intercalées, de leurs épaisseurs et du degré de la fissuration.

B. Les formations du Crétacé :

- Les niveaux calcaires sont parfois fissurés.
- Les marnes constituent un ensemble imperméable.

C. Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :

Ce sont des formations alluvionnaires et gréseuses, dont la perméabilité dépend du degré de cimentation ainsi que de leur teneur en éléments fins.

1. 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).

2. Les dolomies de Tlemcen :

Occupent une grande partie du massif tlemcenien avec les calcaires de Zarifet à leur base. Ces roches sont diaclasées et intensément karstifiées.

3. Les dolomies de Terni :

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

4. Les grès de Boumédiène :

Les grès de Boumédiène ne sont pas poreux et leur perméabilité d'interstice 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.
- Si ces grès sont fissurés, il y aura une certaine perméabilité. Les bancs de marne intercalés dans les niveaux gréseux sont considérés comme un écran étanche dans son ensemble qui joue le rôle d'un mur à l'aquifère des dolomies du Jurassique.

5. Les marno-calcaires de Raouraï, d'Hariga et de Lamoricière :

Ils sont relativement imperméables, où tout est imperméable dans le sens vertical si les niveaux calcaires admettent une certaine perméabilité dans le sens horizontal.

6. Les grès de Merchiche :

Ils couvrent de grandes étendues en bordure du fossé de Sebdoou et de la Tafna. Sa perméabilité mixte ne leur permet pas de former un grand aquifère, du fait de son faible extension et de son épaisseur réduite.

7. Les conglomérats du Miocène inférieur :

En raison de sa faible surface d'affleurement, se caractérise par l'absence de réserves, bien qu'elle soit fortement fissurée.

8. Les grès tortoniens :

Cette formation est présente dans le grand Tlemcen, son épaisseur est importante près des reliefs. Sa perméabilité dépend des formations intercalées, du degré de fissuration et de son épaisseur, par endroits.

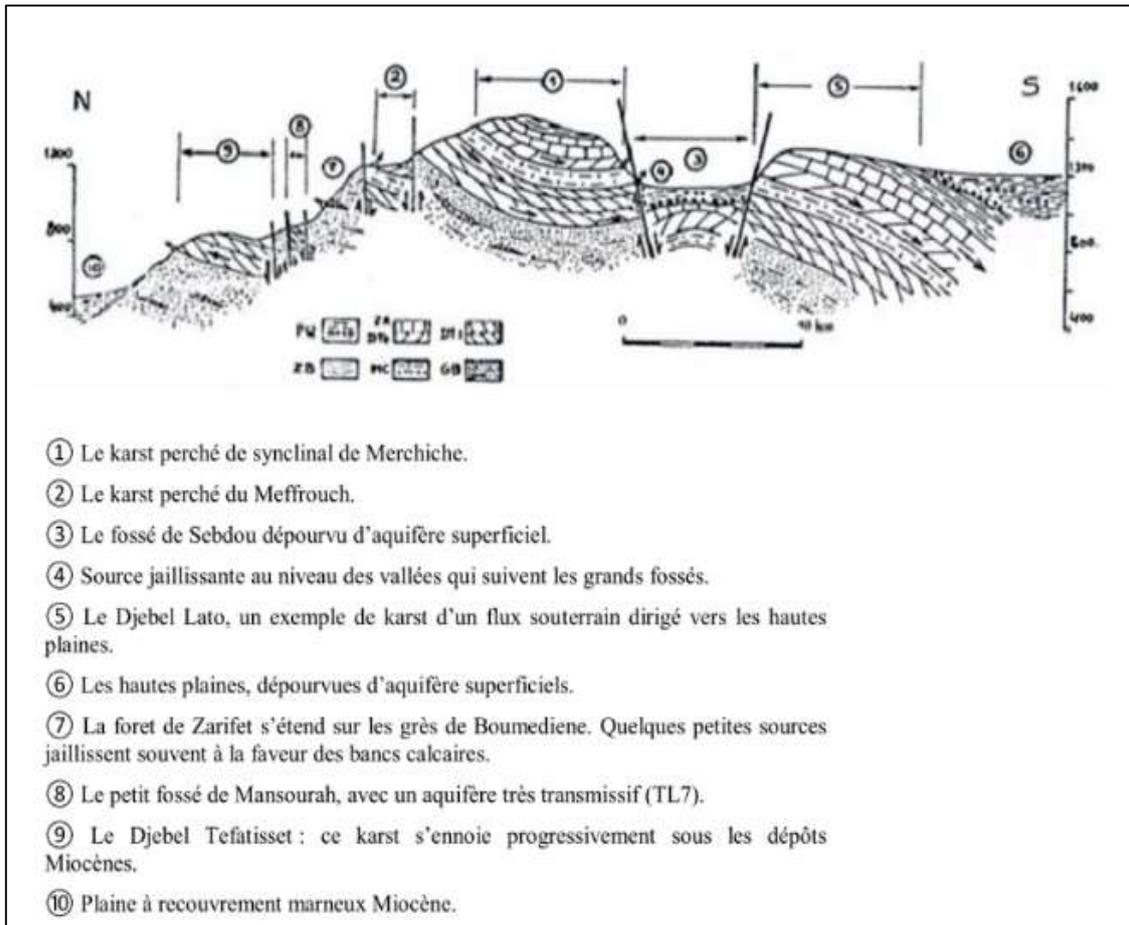


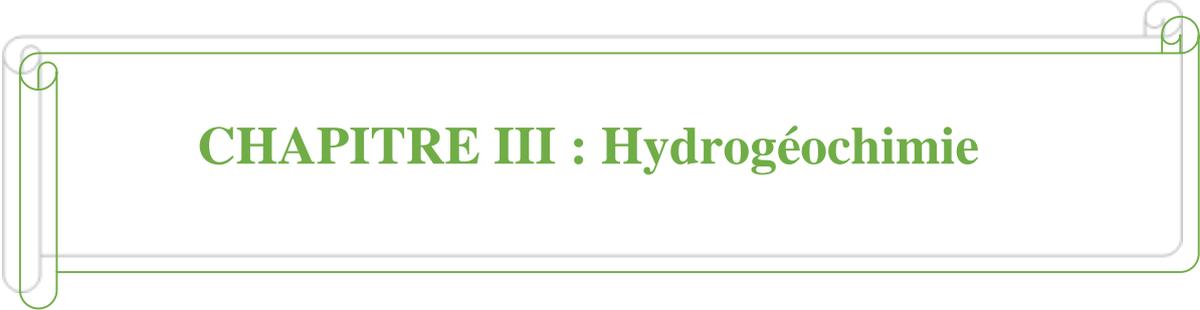
Fig. II.2.1: Coupe transversale aux Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères (Collignon.B, 1986).

II.3 Conclusion :

Les Monts de Tlemcen sont constitués de différentes formations. L'analyse stratigraphique nous a permis de mettre en évidence leur diversité ; elles sont essentiellement d'âge Jurassique supérieur et Crétacé inférieur.

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 rejet d'accidents distensifs SW-NE à WSW ENE, parfois compressifs, selon (M. Benest., 1982). La tectonique joue un rôle important dans la structure géologique du secteur étudié. Les nombreuses failles et diaclases ont contribué dans le développement de la karstification et l'émergence des sources.

Les formations calcaires et les formations calcaire-dolomitiques du Jurassique supérieur et du Crétacé constituent les principales formations aquifères qui présentent un intérêt hydrogéologique dans la zone d'étude, ainsi que les formations des grès Tortonien du Plio-Quaternaire qui sont les plus représentatifs dans le grand Tlemcen.



CHAPITRE III : Hydrogéochimie

III.1 Introduction :

L'étude hydrochimique a pour but de comprendre le cycle des eaux souterraines et les échanges d'eau avec les formations géologiques. Elle met en évidence le risque et les effets des activités humaines qui détériorent la qualité physico-chimique des eaux souterraines.

Dans cette section, nous présenterons l'évolution des paramètres physico-chimiques de la source d'Ain Sefra, sa qualité relative à la consommation humaine et à l'irrigation et l'origine de sa minéralisation.

Dans cette étude, nous avons utilisé les résultats des analyses physico-chimiques disponibles réalisées au laboratoire de l'A.D.E, allant de 09/10/1999 au 04/03/2001 et du 29/06/2008 (Tableau n°03 en annexes).

- **Etat du lieu :**

Après de nombreuses visites dans la zone d'étude (Ain Sefra-Chetouane), et des discussions avec les habitants de la région sur la qualité de l'eau de la source, nous avons pu recueillir des informations grâce à leurs déclarations, qui sont divisées entre des avis contre et d'autres avis ont été exprimés en faveur de sorte que :

Le premier groupe de personnes a dit que l'eau de la source n'est pas potable ; mais elle peut être utilisée à d'autres fins. Le propriétaire de la ferme à côté, par exemple, l'utilise pour l'irrigation.

Alors que le deuxième groupe des gens nous a assuré la fiabilité de l'eau d'Ain Sefra pour la consommation, en disant que ses eaux traitent également les maladies rénales. Les habitants de la région ont refusé l'année dernière la fermeture de la source par les organismes responsables.

Les photos ci-dessous, montrent que les gens utilisent les eaux de la source pour la consommation.



Fig. III.1 : photos exclusives du captage la source d'Ain Sefra-Chetouane (28/02/2022).

Dans l'autre côté de la route, nous avons trouvé l'origine d'émergence de la source d'Ain Sefra (Figure III.2). Les propriétaires des fermes à côté et les habitants de la région ont mis un tuyau à l'intérieur de la source (Figure III.3) qui s'étend jusqu'aux fermes équipé d'une pompe, car la topographie de cette zone ne permet pas à l'eau de s'écouler par gravité.



Fig. III.2 : L'origine d'émergence de la source D'Ain Sefra



Fig. III.3 : Le tuyau d'alimentation à l'intérieur de l'origine de la source.

III.2 La balance ionique :

Le calcul de la balance ionique permet de vérifier le pourcentage d'erreur, en appliquant la formule suivante :

$$BI = \frac{|\Sigma r^+ - \Sigma r^-|}{|\Sigma r^+ + \Sigma r^-|} \times 100 (\%)$$

➤ Avec :

r : quantité en réaction, en meq/l.

Σr^- : Somme des quantités en réaction des anions.

Σr^+ : Somme des quantités en réaction des cations.

BI : balance ionique, en %.

Si :

- $BI \leq 2\%$ Bonne analyse.
- $2\% < BI < 5\%$ Analyse acceptable.
- $BI > 5\%$ Mauvaise analyse.

La balance ionique calculée pour les eaux de la source d'Ain Sefra sont bonnes à acceptables (Voir tableau n°04 en annexes).

III.3 Etudes des paramètres physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques ont porté sur :

❖ *Les paramètres physiques :*

- Le pH
- La conductivité.
- La minéralisation.
- La dureté totale
- Le résidu sec.

❖ *Les paramètres chimiques :*

Les éléments majeurs :

- Les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .
- Les anions: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- .

Interprétation et discussion :

❖ **Les paramètres physiques :**

▪ *Le potentiel d'hydrogène pH :*

Le pH (potentiel d'Hydrogène) traduit la balance entre acide et base à travers la variation de concentration des ions (H_3O^+) ou (H^+), déserte que :

- Le pH peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 14.
- Le pH ne possède pas d'unité.
- Le pH compris entre 0 et 7 : une solution acide.
- Le pH compris entre 7 et 14 : une solution basique.
- Le pH exactement égal à 7 : Une solution neutre.

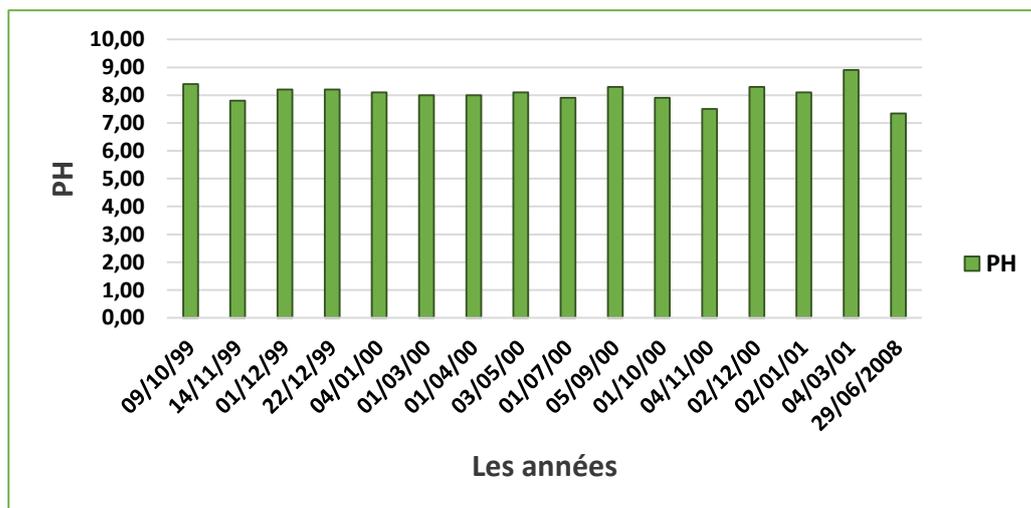


Fig. III.4 : Variation du pH.

- ✓ Les valeurs des pH de la source étudiée varient entre 7,34 dans la période de (29/06/2008) et 8,90 de (04/03/2001). Elles sont au-dessous de la norme prescrite par le JORA ($\geq 6,5$ et ≤ 9).

- **La conductivité :**

La mesure de la conductivité électrique permet une évaluation rapide de la minéralisation globale d'eau. Le tableau suivant montre la relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau (Rodier J., 2009).

Tableau III.1 : Relation entre la conductivité et la minéralisation de l'eau (Rodier J., 2009).

<i>Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)</i>	<i>Minéralisation (mg/L)</i>
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, varient entre 440 $\mu\text{S/cm}$ en (09/10/1999) et 956 $\mu\text{S/cm}$ en (29/06/2008). Toutes les valeurs sont inférieures à la norme (2800 $\mu\text{S/cm}$).

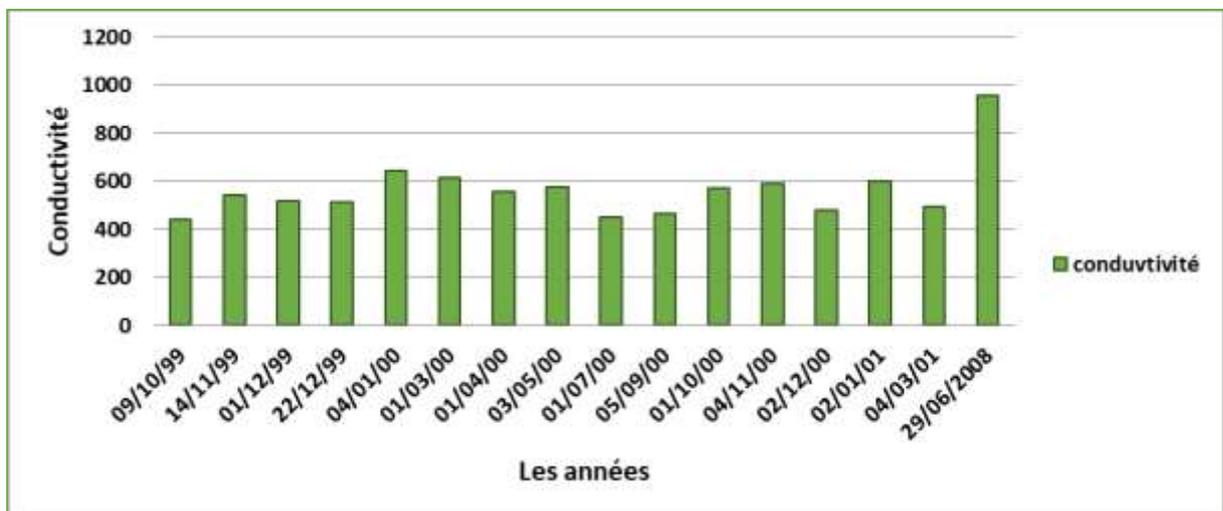


Fig. III.5 : Variation de la conductivité électrique.

- **Minéralisation (mg/L) :**

La minéralisation est le teneur d'une eau en éléments minéraux solubles, plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux de surface, en fonction de la géologie des terres traversés (Rodier J., 2009).

Tableau III.2 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J., 2009).

Conductivité (µs/cm)	Minéralisation (mg/L)
Conductivité <50	1,365079 x conductivité
50 < Conductivité < 166	0,947658 x conductivité
166 < Conductivité < 333	0,769574 x conductivité
333 < Conductivité < 833	0,715920 x conductivité
833 < Conductivité < 10000	0,758544 x conductivité
Conductivité >10000	0,850432 x conductivité

- Le tableau suivant résume les valeurs de la conductivité et la classification des minéralisations dans notre secteur étudié :

Tableau III.3 : Minéralisation des eaux étudiées .

Périodes	Conductivité (µs/cm)	Minéralisation (mg/L)	Classement
09/10/1999	440	317,01	Moyenne
14/11/1999	544	389,46	Moyenne à accentuée
01/12/1999	520	372,27	Moyenne à accentuée
22/12/1999	514	367,98	Moyenne à accentuée
04/01/2000	643	460,33	Moyenne à accentuée
01/03/2000	614	439,57	Moyenne à accentuée
01/04/2000	556	398,05	Moyenne à accentuée
03/05/2000	577	413,08	Moyenne à accentuée
01/07/2000	452	323,59	Moyenne
05/09/2000	467	334,33	Moyenne à accentuée
01/10/2000	573	410,22	Moyenne à accentuée
04/11/2000	590	422,39	Moyenne à accentuée
02/12/2000	480	343,64	Moyenne à accentuée
02/01/2001	602	430,98	Moyenne à accentuée
04/03/2001	493	352,94	Moyenne à accentuée
29/06/2008	956	725,16	Importante

▪ *La dureté totale (TH) :*

La dureté totale d'une eau, encore appelée **TH** (abréviation de Titre Hydrotimétrique), correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. L'usage a limité cette notion à la dureté due aux ions calcium (dureté calcique) et aux ions magnésium (Rodier J., 2009). Elle est aussi très souvent donnée en degrés français. 1°F correspond à 5 meq/L.

La dureté totale ainsi définie peut-être calculée par :

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

Tableau III.4 : Classification des eaux en fonction de la dureté.

<i>TH (°F)</i>	<i>Eau</i>
0	Eau pure
0-5	Très douce
5-15	Douce
15-25	Moyennement dure
25-35	Dure
≥35	Très dure

- Les valeurs de la dureté totale des eaux analysées sont présentées dans le tableau III.5 :

Tableau III.5 : Dureté totale de l'eau de la source étudiée.

<i>Périodes</i>	<i>TH (°F)</i>	<i>Dureté totale (TH) mg/L en CaCO₃</i>	<i>Classification</i>
09/10/1999	24,33	243,3	Moyennement dure
14/11/1999	31,92	319,2	Dure
01/12/1999	31	310	Dure
22/12/1999	31	310	Dure
04/01/2000	33,92	339,2	Dure
01/03/2000	31,59	315,9	Dure
01/04/2000	31,42	314,2	Dure
03/05/2000	36,42	364,2	Très dure
01/07/2000	25,25	252,5	Dure
05/09/2000	27,41	274,1	Dure
01/10/2000	33,83	338,3	Dure
04/11/2000	35,83	358,3	Très dure
02/12/2000	24,08	240,8	Moyennement dure
02/01/2001	35,33	353,3	Très dure
04/03/2001	27,42	274,2	Dure
29/06/2008	43,25	432,5	Très dure

- ✓ Les valeurs de la dureté totale des eaux de la source d'Ain Sefra- Chetouane sont variées entre 240,8 mg/L et 432,5 mg/L en CaCO₃, elles sont classées entre :
 - Moyennement dures (09/10/1999) et (02/12/2000).
 - Dures et Très dures pour les autres périodes.
- ✓ Toutes les valeurs sont au-dessous de la norme algérienne (500 mg/L en CaCO₃).

▪ **Résidu sec :**

A travers la détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée, nous pouvons évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles, obtenue après une évaporation de l'eau (Rodier J.,2005). L'eau avec de très faibles niveaux de résidus secs peut être inacceptable à la consommation, en raison de son goût insipide (WHO., 1994in K. BOULIFA, 2016).

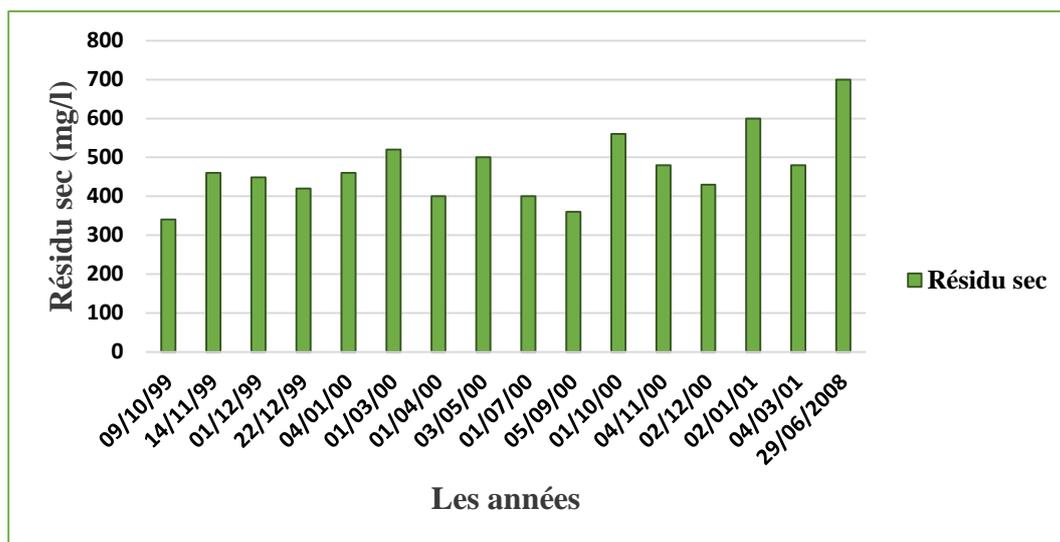


Fig. III.6 : Variation du Résidu sec.

- ✓ Les valeurs du résidu sec sont comprises entre 340mg/Len (09/10/1999) à 700mg/L en (29/06/2008). Elles sont conformes à la norme (1500mg/L).

❖ Les paramètres chimiques :

- Les cations :

- L'ion calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium, est le plus léger des métaux alcalinoterreux, de couleur grise à blanche, assez dur, et n'existe jamais à l'état naturel. Il représente environ 3,45 % du poids de la croûte terrestre, répandu notamment dans les roches calcaires sous forme de carbonates (Rodier, 2009).

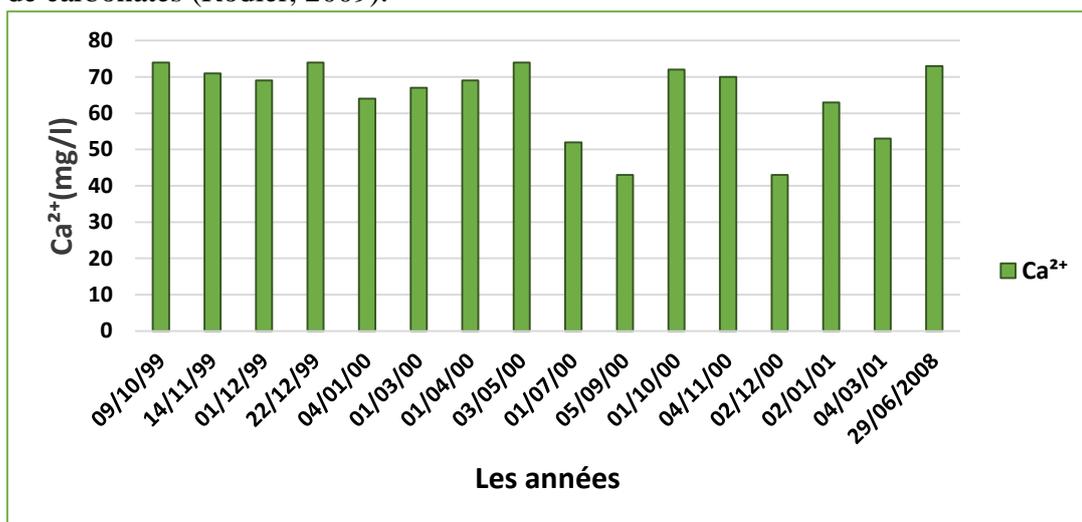


Fig. III.7 : Variation de Calcium.

- ✓ Pour l'eau de la source étudiée, les valeurs du calcium varient entre 43 mg/L (05/09/2000 et 02/12/2000) et 74 mg/L (09/10/1999, 22/12/1999 et 03/05/2000). Toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme algérienne (200mg/L).

➤ **L'ion magnésium (Mg^{2+}) :**

Le magnésium est un métal d'aspect argenté ou blanc, l'un des éléments les plus courants dans la nature, il représente environ 2,1 % de la croûte terrestre.

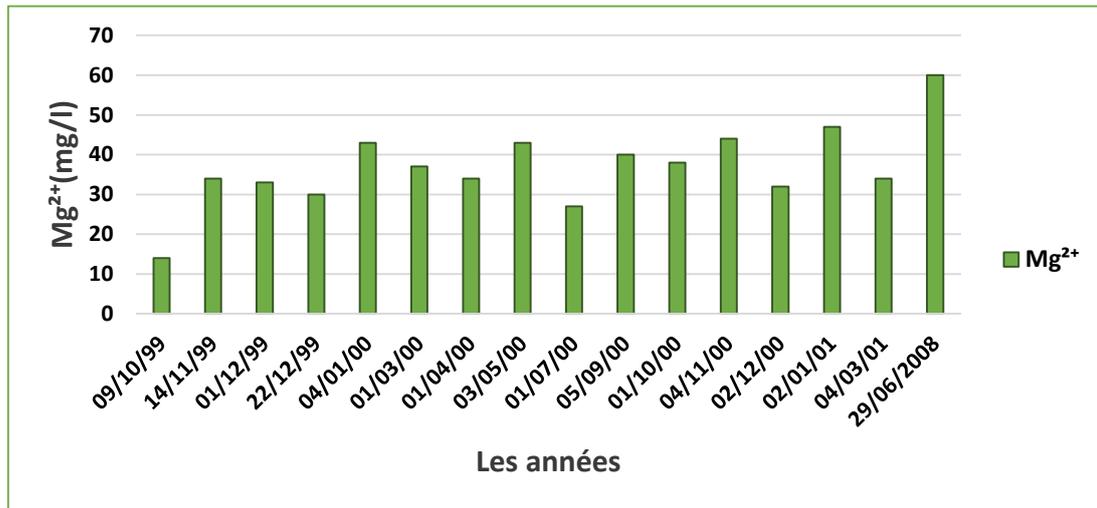


Fig. III.8 : Variation de Magnésium.

- ✓ Les eaux de la source étudiée ont des teneurs en ion magnésium comprises entre 14 mg/L (09/10/1999) et 60 mg/L (29/06/2008). Ce résultat est conforme à la norme algérienne (150mg/L).

➤ **L'ion sodium Na^+ :**

Le sodium est le métal alcalin le plus abondant du milieu naturel sous la forme de composés chimiques, notamment dans le sel de cuisine où il est couplé à un atome de chlore.

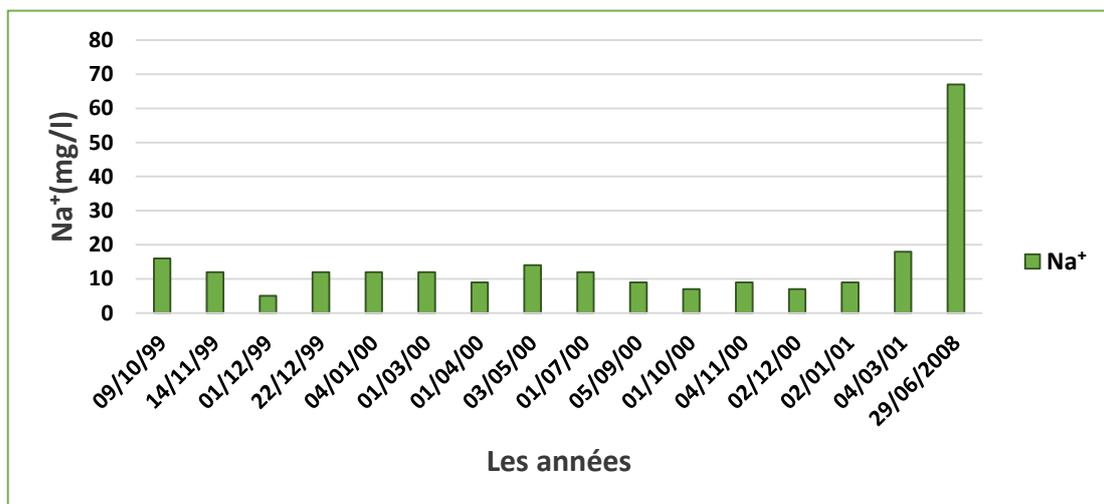


Fig. III.9 : Variation de Sodium.

- ✓ Les résultats obtenus sont conformes à la norme prescrite (200 mg/L). Ces derniers sont compris entre 5mg/L (01/12/1999) et 67 mg/L (29/06/2008).

➤ **L'ion potassium K^+ :**

Sa présence est permanente dans les eaux naturelles pour deux raisons, la première est la nature géologique et la seconde est l'utilisation de détergents et d'engrais.

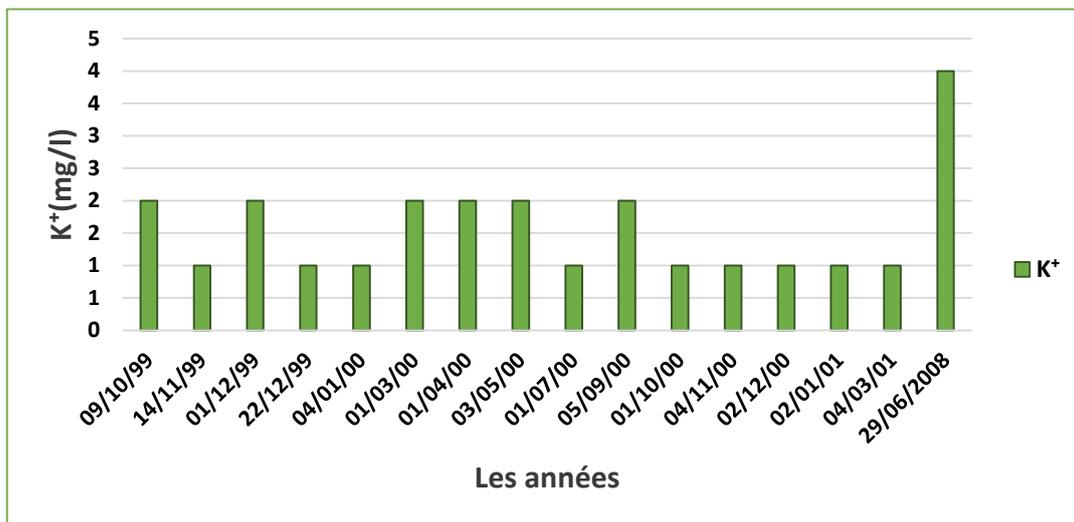


Fig. III.10 : Variation de Potassium.

- ✓ Les normes algériennes recommandent pour le potassium une valeur limite de 12 mg/L. Les concentrations sont au-dessous de la norme prescrite, Où la valeur la plus élevée est de 4 mg/L en 29/06/2008.

▪ **Les anions :**

➤ **L'ion chlorure (Cl^-) :**

Sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl) ; ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. La teneur en Cl^- des eaux souterraines est essentiellement fonction de la nature des terrains traversés (RODIER J., 2009).

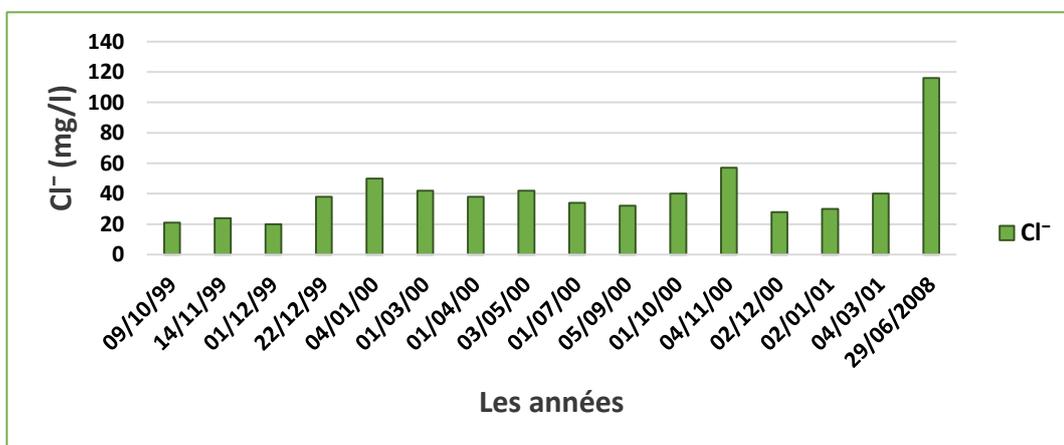


Fig. III.11 : Variation des Chlorures.

- ✓ La concentration maximale admissible dans la norme algérienne c'est 500mg/L. Pour les eaux de la source étudiée, Les teneurs varient entre 20 mg/L (01/12/1999) 116 mg/L (29/06/2008), donc toutes les valeurs sont dans la norme recommandée.

➤ **L'ion sulfate SO_4^{2-} :**

La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation. La présence de l'ion sulfate dans l'eau est liée à la dissolution du gypse en concentrations très variables (RODIER J., 2009).

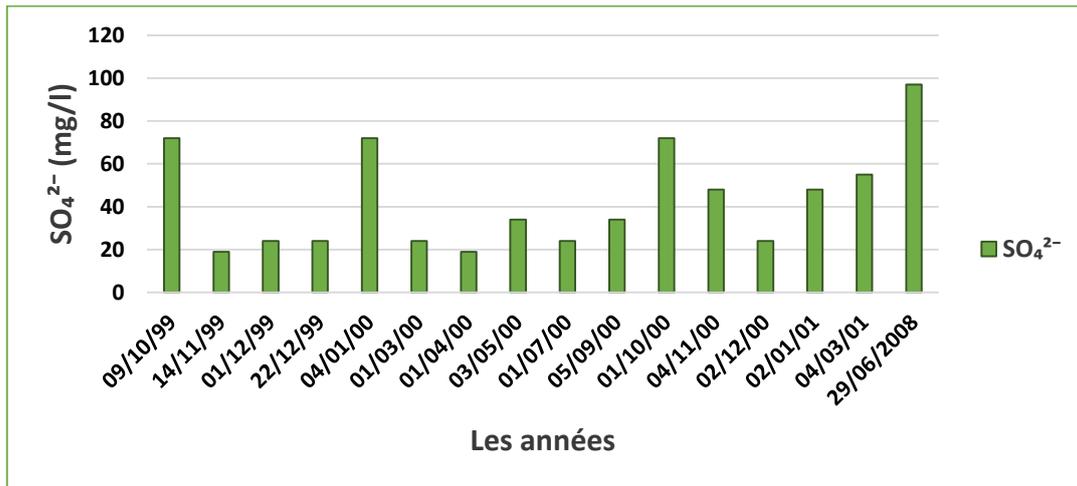


Fig. III.12 : Variation de Sulfates.

- ✓ La réglementation de notre pays fixe 400 mg/L comme teneur limite. Les teneurs en sulfate varient entre 19 mg/L à (14/11/1999) et (01/04/2000), à 97 mg/L à 29/06/2008, elle reste inférieure à la norme déterminée.

➤ **L'ion bicarbonate HCO_3^- :**

Les bicarbonates jouent un rôle majeur dans la régulation du pH, sa teneur dans l'eau dépend des terrains traversés (RODIER J., 2005).

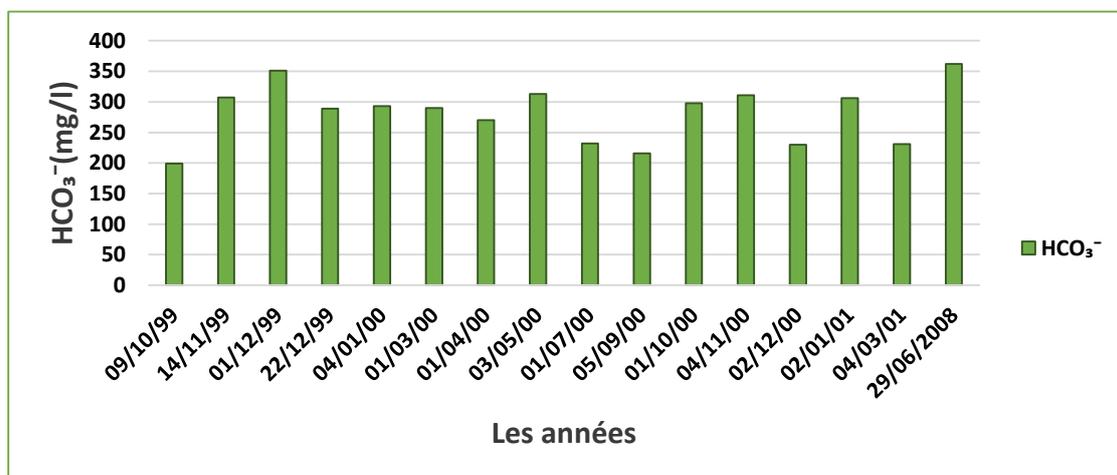


Fig. III.13 : Variation de Bicarbonate.

- ✓ Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, donc quel que soit les teneurs en bicarbonates dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. La valeur des bicarbonates trouvée au niveau de la source étudiée est comprise entre 199 mg/L (09/10/1999) et 362 mg/L (29/06/2008).

➤ **L'ion nitrate NO_3^- :**

D'après Rodier 2009, les nitrates dans les eaux souterraines proviennent principalement :

- Du développement des élevages,
- De la fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais,
- Des excréments et fumiers divers, voire les boues de stations d'épuration (transformation de la matière organique en nitrates).
- Des rejets des collectivités et occasionnellement de certaines industries.

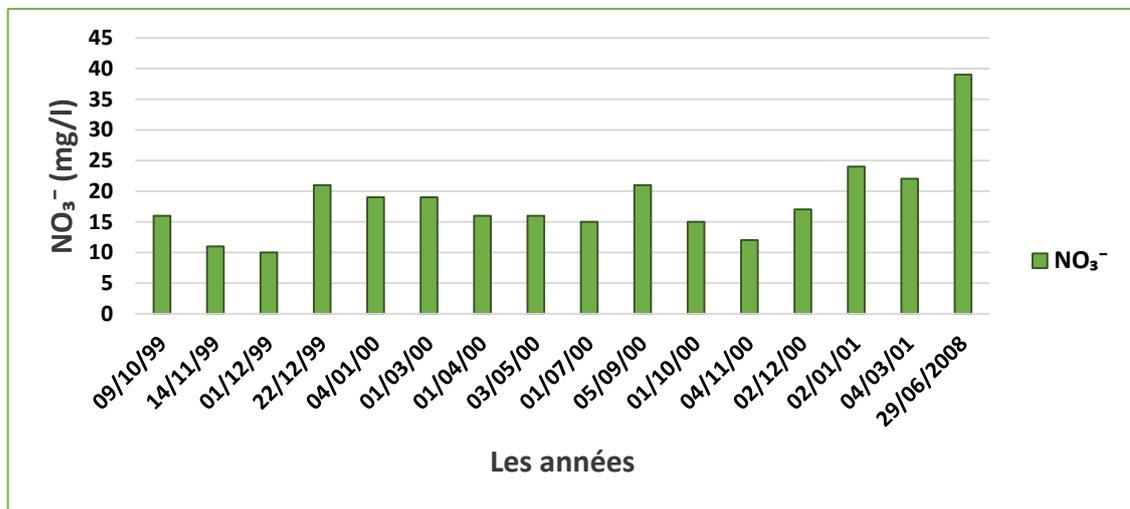


Fig. III.14 : Variation des Nitrates.

- ✓ La valeur limite pour les eaux destinées à la consommation humaine donnée par la norme algérienne est de 50 mg/L. Les valeurs des nitrates des eaux analysées varient entre 10 mg/L en (01/12/1999) et 39 mg/L en (29/06/2008), donc elles restent inférieures à la concentration maximale admissible.

III.4 Classification des eaux :

En se référant aux normes algériennes, nous avons fait une récapitulation des résultats sur la potabilité des eaux étudiées dans la période que nous disposons. Après, nous avons procédé à la représentation graphique en utilisant le logiciel Diagrammes, nous avons utilisé les méthodes suivantes :

- Le diagramme de H. SHOELLER et E. BERKALOFF.
- Le diagramme de Stabler.
- Le diagramme triangulaire de PIPER.

Par la suite, nous avons évalué l'aptitude des eaux destinées à l'irrigation, par un certain nombre d'indices et de diagrammes.

a) Potabilité de l'eau étudiée (Classification selon les normes Algériennes) :

- Classification des eaux selon les paramètres physico-chimique :

Le tableau III.6 représente la classification des eaux de la source d'Ain Sefra-Chetouane. Tous les paramètres étaient inférieurs aux normes prescrites dans les périodes allant du 09/06/1999 au 29/06/2008. Malheureusement, nous ne disposons pas des analyses bactériologiques de ces périodes, pour voir la qualité des eaux de cette source (Tableau annexe n° 6).

Tableau III.6 : Classification des eaux de la source d'Ain Sefra- Chetouane, selon les normes algériennes.

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration Maximale admissible	Résultats des analyses physico-chimiques	
				Conformes aux normes	Non conformes aux normes
Ca ²⁺	mg/L	-	200	Dans toutes les dates	/
Mg ²⁺	mg/L		150	Dans toutes les périodes	/
Na ⁺	mg/L		200	Dans toutes les périodes	/
K ⁺	mg/L		12	Dans toutes les périodes	/
Cl ⁻	mg/L		500	Dans toutes les périodes	/
SO ₄ ²⁻	mg/L		400	Dans toutes les périodes	/
NO ₃ ⁻	mg/L		50	Dans toutes les périodes	/
pH	-	6,5	9	Dans toutes les périodes	/
Résidu sec	mg/L		1500	Dans toutes les périodes	/
Conductivité	µS/cm		2800	Dans toutes les périodes	/
Dureté total	mg/L		500	Dans toutes les périodes	/

- Classification des eaux selon les analyses microbiologiques :

L'eau destinée à la consommation humaine doit être exempte de tout micro-organisme pathogène. L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser.

Malheureusement nous n'avons pas pu avoir les résultats des analyses physico-chimiques récents de la source d'Ain Sefra (nous n'avons pas pu réaliser tous les paramètres physico-chimiques au laboratoire de l'université). Nous avons pu réaliser seulement les analyses microbiologiques dans le laboratoire de l'E.S.P. E / Remchi-Tlemcen.

Tableau III.7 : Analyse bactériologique de la source d'Ain Sefra-Chetouane (E.S.P.E 05 Avril 2022).

Source	Coliformes totaux		Coliformes fécaux		Streptocoques fécaux	
	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A
Ain Sefra	23	00	23	00	00	00

C.M.A. : Concentration Maximale Admissible.

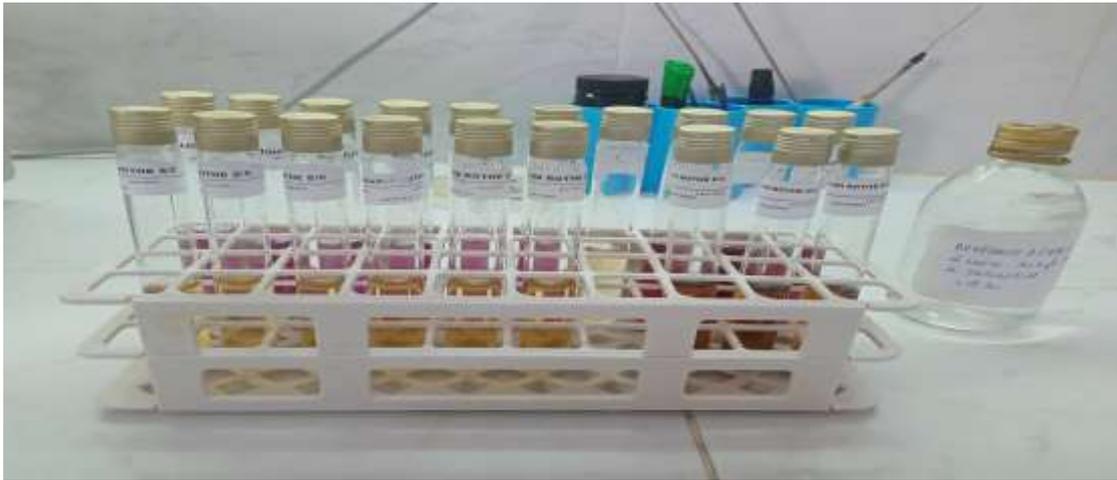


Fig. III.15 : Analyses bactériologique de l'eau étudiée.

▪ **Recherche et dénombrement des coliformes totaux :**

Les coliformes totaux sont entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes, mais aussi dans l'environnement. Ce groupe bactérien est aussi comme indicateur de la qualité microbienne parce qu'il contient notamment des bactéries d'origine fécale, comme *Escherichia coli* (CEAEQ, 2015).

- D'après les résultats obtenus, la valeur des coliformes totaux est de 23 germes/ml à 37°C, donc ce résultat est supérieur à la norme prescrite par la réglementation algérienne (00).

▪ **Recherche et dénombrement des coliformes fécaux :**

Ce sont un sous-groupe des coliformes totaux, mais ils sont présents uniquement dans l'intestin des humains et des animaux. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia Coli* (ADDA., 2013).

- Selon le tableau ci-dessus, la valeur 23germes/ml à 44°C, dépasse la norme prescrite

▪ **Recherche et dénombrement des Streptocoque fécaux :**

Ce sont d'excellents indicateurs de pollution et sont généralement pris en compte des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (ADDA., 2013).

- D'après les analyses bactériologiques, nous constatons l'absence des Streptocoque fécaux dans l'eau.

- ✓ Les résultats des analyses microbiologiques du (05/04/2022) montrent que les eaux de la source d'Ain Sefra sont de qualité microbiologique mauvaise. Nous devons confirmer son aptitude pour la consommation humaine, par les analyses physico-chimiques, mais malheureusement nous n'avons pas pu les avoir.

b) Diagramme logarithmique de H. SHOELLER et E. BERKALOFF :

Le diagramme de Schœller- Berkaloff montre que les eaux de la source d'Ain Sefra-Chetouane ont deux types de faciès (Tableau III.8 et Fig. III.14 et III.15) :

Tableau III.8 : Classification des eaux, selon leur faciès chimique.

PERIODES	Formules caractéristiques		Faciès chimique
	Anions	Cations	
09/10/1999	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	Bicarbonaté Calcique
14/11/1999	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
01/12/1999	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
22/12/1999	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
04/01/1999	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
01/03/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
01/04/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
03/05/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
01/07/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
01/10/2000	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ > Mg ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
05/09/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	Bicarbonaté Magnésien
04/11/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
02/12/2000	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
02/01/2001	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
04/03/2001	r HCO ₃ ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r Cl ⁻ > r NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	
29/06/2008	r HCO ₃ ⁻ > r Cl ⁻ > r SO ₄ ⁻ > r NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ > Ca ²⁺ > Na ⁺ + K ⁺	

Interprétation des résultats selon le diagramme de Schœller- Berkaloff :

- **Faciès bicarbonaté calcique** : ce faciès est le plus dominant par 62,5%, qui englobe les périodes suivantes : (09/10/1999, 14/11/1999, 01/12/1999, 22/12/1999, 04/01/1999, 01/03/2000, 01/04/2000, 03/05/2000, 01/07/2000, 01/10/2000).
- **Faciès Bicarbonaté Magnésien** : représente 37,5% de la totalité des périodes étudiées, il englobe ce qui reste des périodes.

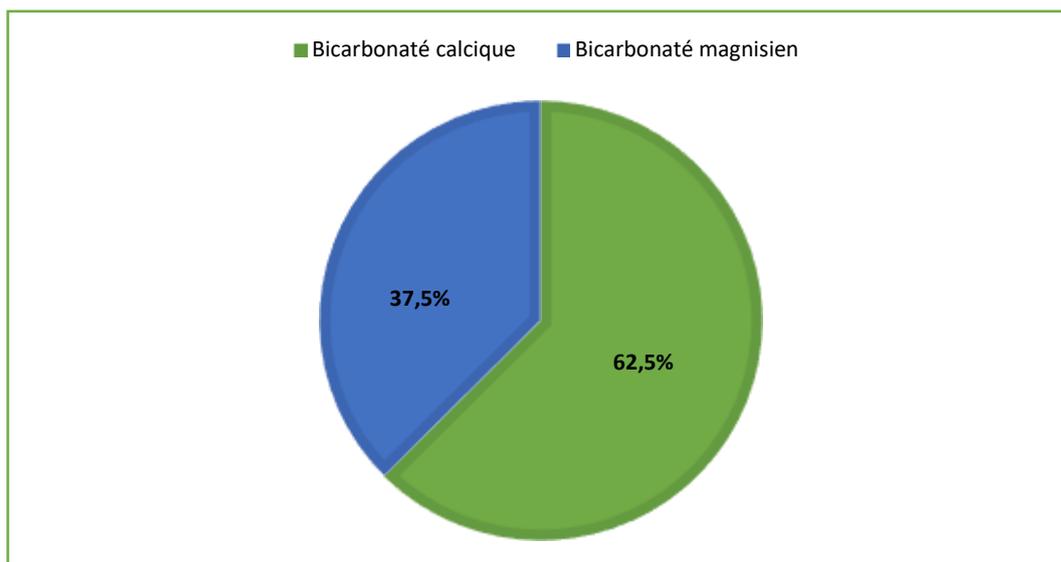


Fig. III.16 : Distribution des faciès chimiques de la source étudiée.

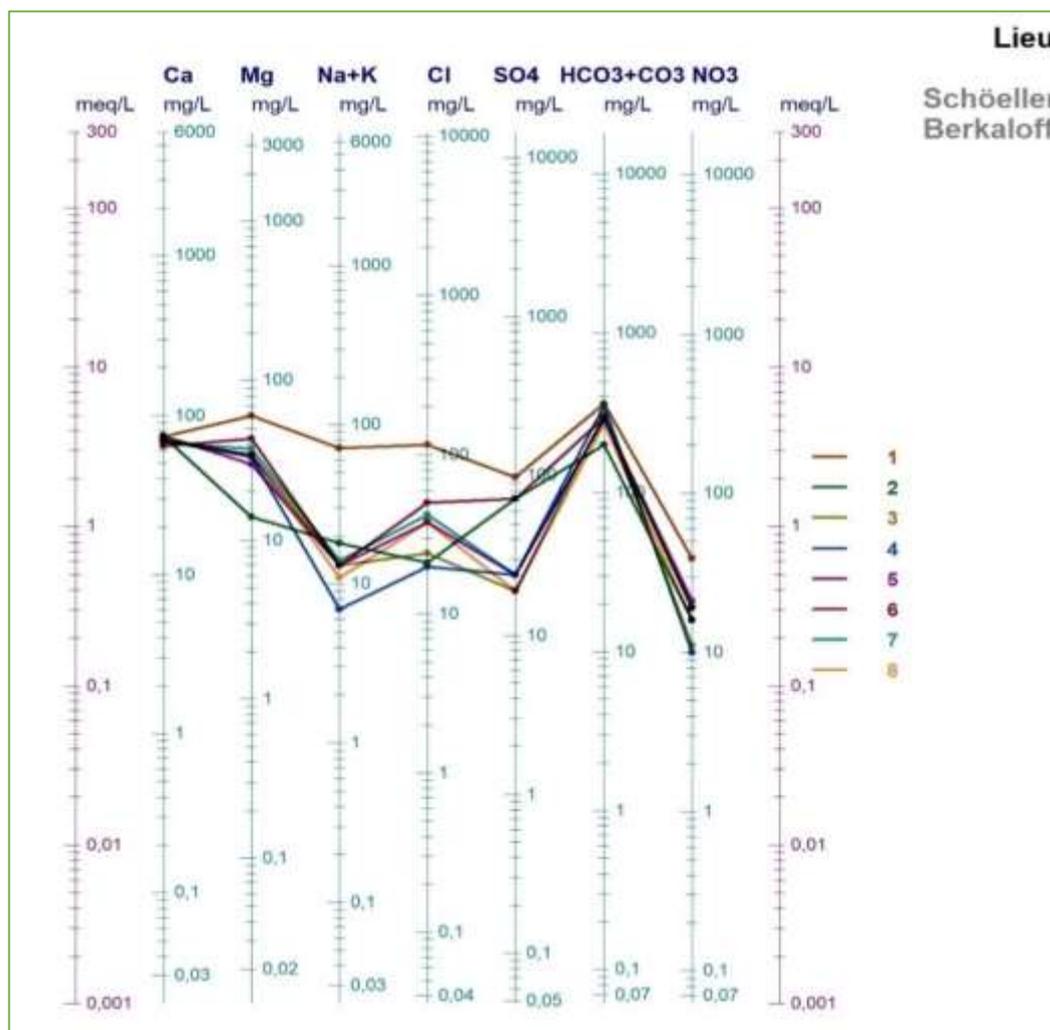


Fig. III.17 : Classification des eaux, selon Schöeller- Berkaloff.

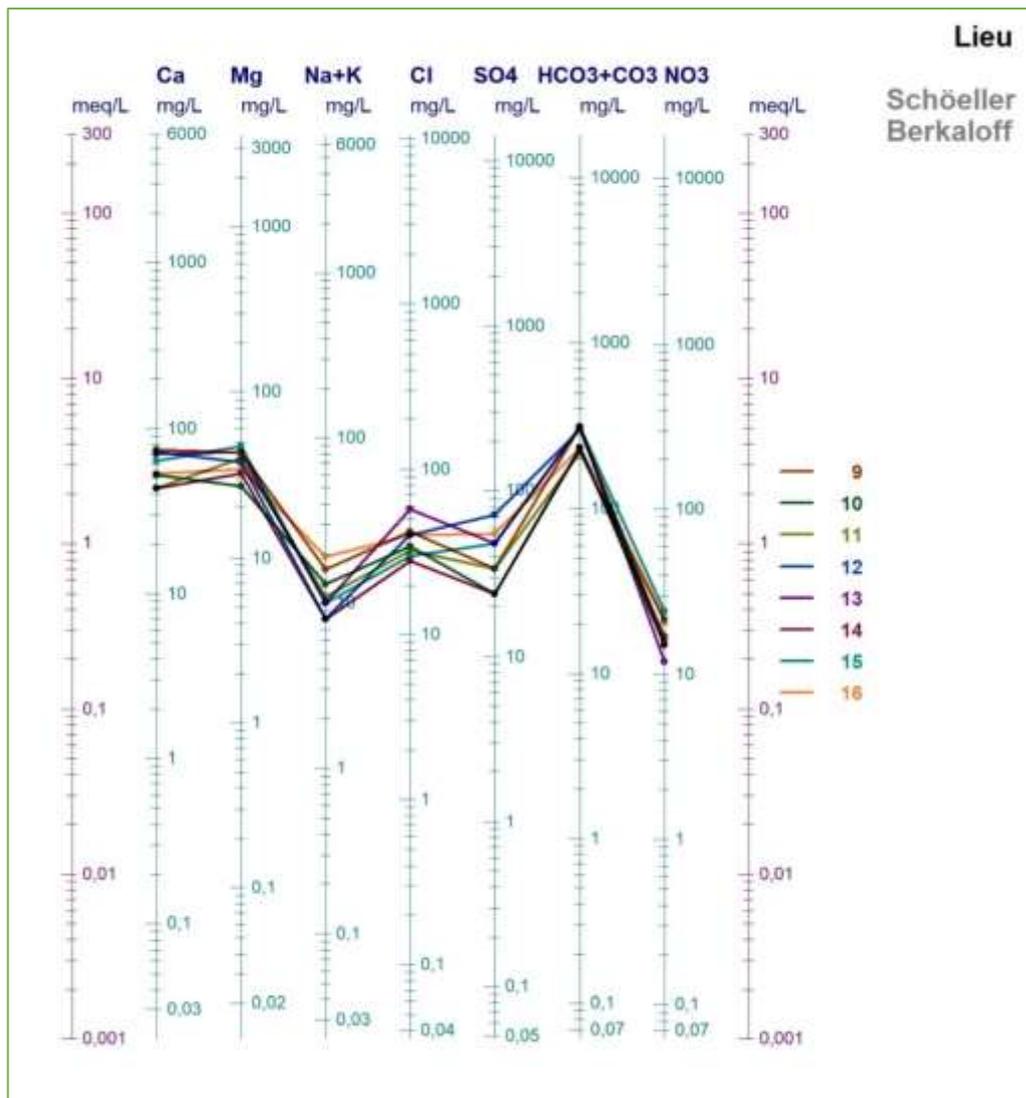


Fig. III.18 : Classification des eaux, selon Schöeller- Berkaloff.

c) Diagramme logarithmique de Stabler :

A l'aide du diagramme de STABLER, nous pouvons déterminer les différents faciès chimiques d'eau sur 16 diagrammes (Fig. III.19).

Ce dernier décrit en fonction des pourcentages (%) classés par ordre de grandeur, d'abord les anions et ensuite les cations, pour chaque élément dans les eaux étudiées

- Les résultats de STABLER, montrent que :
 - ✓ **Le faciès bicarbonaté calcique** : comprend les dates représentées par les échantillons numéros : 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 et 12.
 - ✓ **Le faciès bicarbonaté magnésien** : comprend le reste des dates. Les périodes et numéros des échantillons sont portés dans le tableau n°04, en annexes.

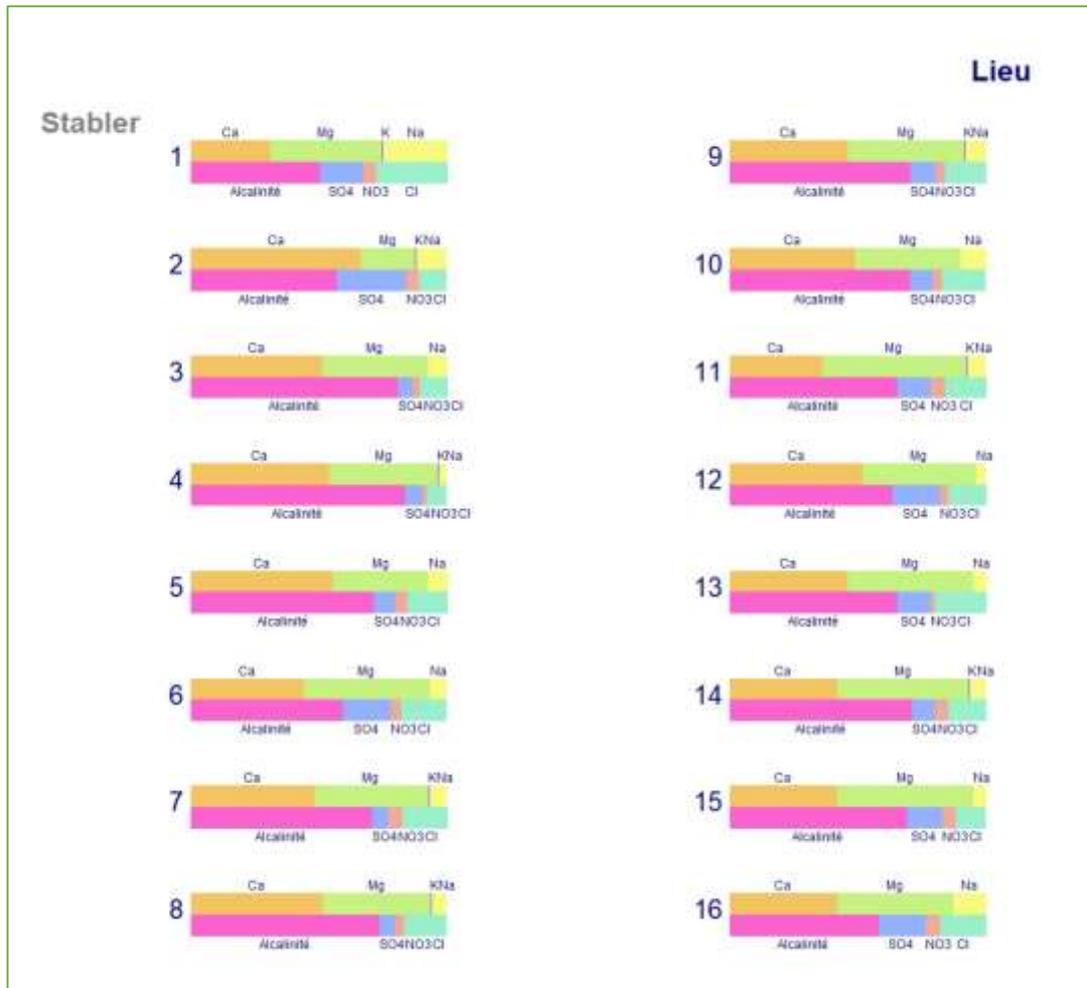


Fig. III.19 : Diagramme de Stabler.

d) Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettent de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global (Dominique, V, 2009).

Les résultats sont affichés sur le graphique de Piper. Les représentants des anions et des cations caractérisent la composition chimique de l'eau.

A partir du diagramme de Piper (Fig. III.20), toutes les eaux appartiennent à une seule famille : **Bicarbonatée calcique et magnésienne**. L'échantillon (1), représenté par la période du (29/06/2008) est situé au milieu entre les deux familles :chlorurée sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne.

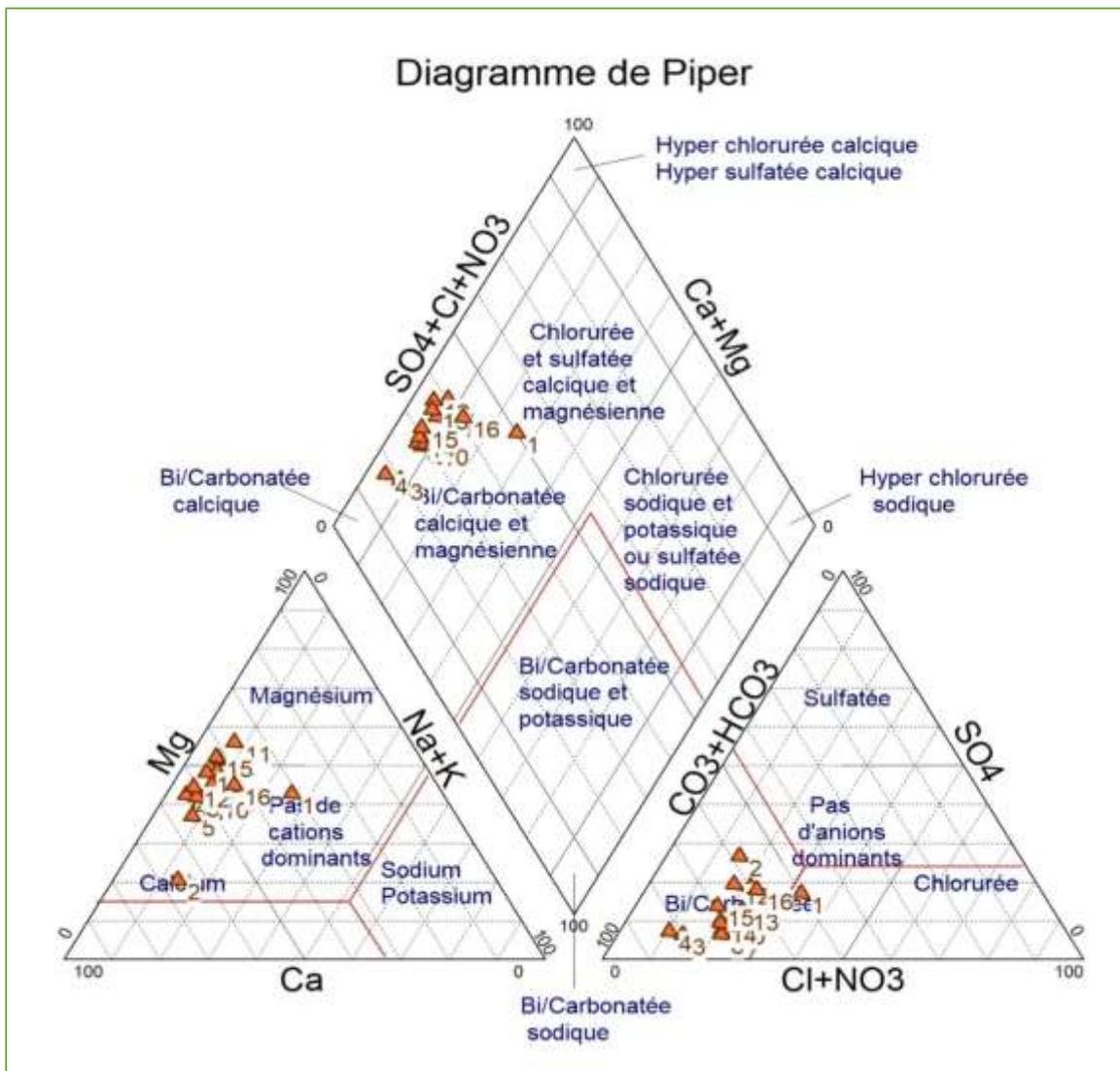


Fig. III.20 : Diagramme de Piper.

e) Aptitude des eaux destinées à l'irrigation :

Pour évaluer la pertinence de l'eau pour l'irrigation dans la période d'étude, nous nous sommes appuyées sur plusieurs indices et diagrammes, parmi lesquels :

- L'indice de Kelly's Ratio (KR) :

C'est la base pour la détermination de l'aptitude des eaux d'irrigation, représenté par le rapport des concentrations de (Na⁺) et la somme de (Ca²⁺ et Mg²⁺) (Paliwal. 1967).

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

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

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

Si : $KR > 1$: l'eau est mauvaise pour l'irrigation.

- ✓ Les concentrations de (Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+}) sont en meq/L.

Tableau III.9 : Classification des eaux étudiées selon l'indice de KR.

PERIODES	KR
09/10/1999	0,14
14/11/1999	0,08
01/12/1999	0,04
22/12/1999	0,08
04/01/2000	0,08
01/03/2000	0,08
01/04/2000	0,06
03/05/2000	0,08
01/07/2000	0,11
05/09/2000	0,07
01/10/2000	0,04
04/11/2000	0,05
02/12/2000	0,06
02/01/2001	0,06
04/03/2001	0,14
29/06/2008	0,34

- ✓ D'après les résultats obtenus, les pourcentages en KR varient entre 0,04 et 0,34.
- ✓ Les valeurs du KR indiquent que les eaux étudiées sont inférieures à 1, donc elles étaient bonnes pour l'irrigation.

- **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 Na^+ doit être inférieur à 60% (seuil maximal admissible), est donnée par la formule suivante :

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

Tableau III.10 : Classification des eaux d'irrigation, selon le pourcentage de sodium.

Classe	Eau très bonne	Eau bonne	Eau admissible	Eau médiocre	Eau mauvaise
$Na^+(\%)$	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80

- Le tableau III.11 représenté les pourcentages en sodium des eaux analysées ainsi que leurs classifications :

Tableau III.11 : Pourcentages en sodium des eaux de la source étudiée.

PERIODES	Na+%	Classe
09/10/1999	16,98	Eau très bonne
14/11/1999	11,5	Eau très bonne
01/12/1999	6,42	Eau très bonne
22/12/1999	11,11	Eau très bonne
04/01/2000	10,83	Eau très bonne
01/03/2000	11,86	Eau très bonne
01/04/2000	9,65	Eau très bonne
03/05/2000	12,03	Eau très bonne
01/07/2000	14,13	Eau très bonne
05/09/2000	11,7	Eau très bonne
01/10/2000	6,8	Eau très bonne
04/11/2000	8,06	Eau très bonne
02/12/2000	9,63	Eau très bonne
02/01/2001	8,33	Eau très bonne
04/03/2001	17,92	Eau très bonne
29/06/2008	34,8	Eau bonne

Selon les résultats du tableau présenté ci-dessus, les eaux étudiées de la source d'Ain Sefra avaient un taux de sodium inférieur à 60%, Elles étaient de très bonne qualité pour la majorité des périodes, et bonne en (29/06/2008). Donc, elles étaient aptes à être utilisées en irrigation.

- **Diagramme de Wilcox :**

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (S.A.R) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau (Harkat et Benaceur, 2019), définissant en cinq classes la qualité d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise).

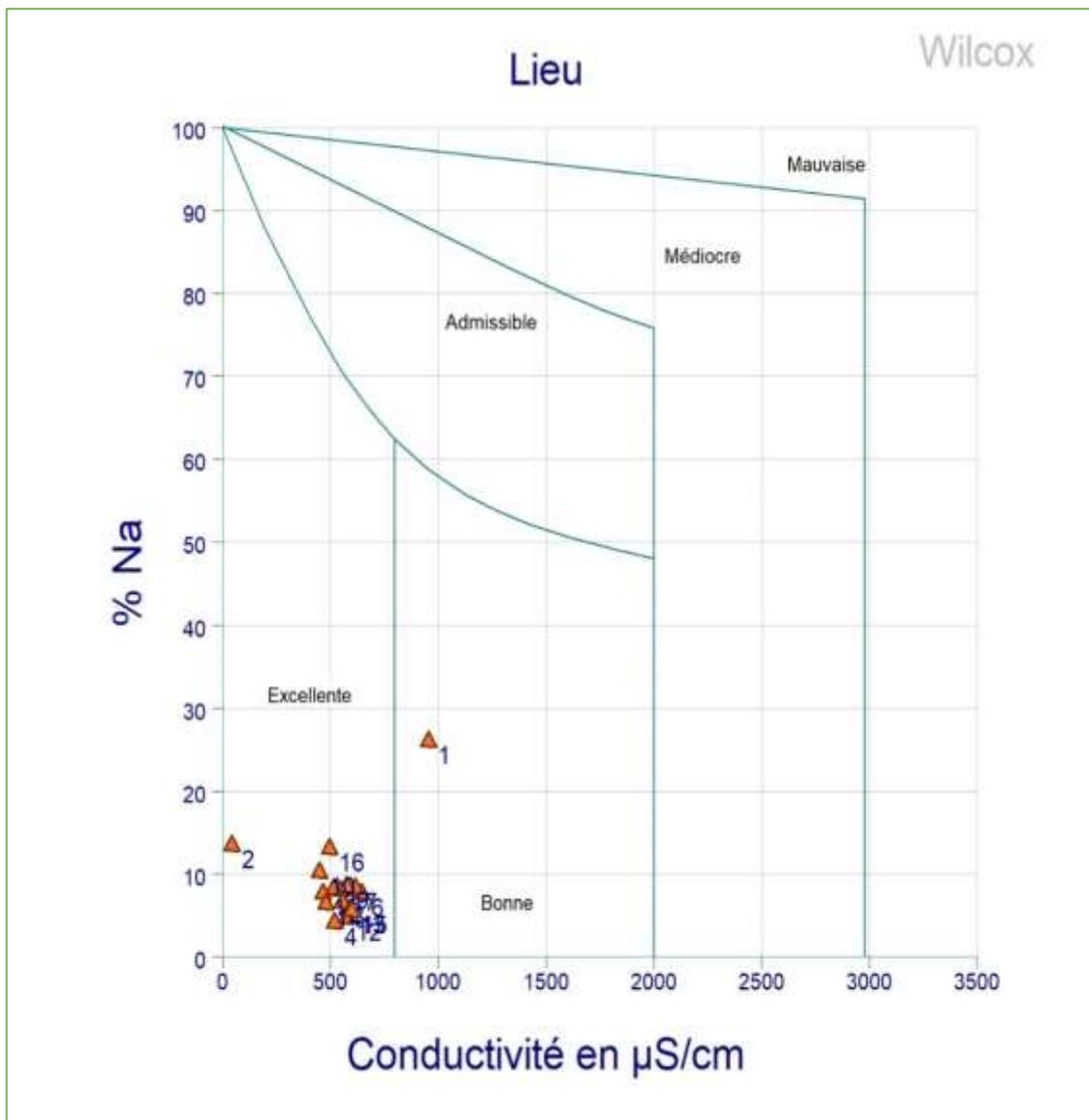


Fig. III.21 : Diagramme de Wilcox.

D'après le diagramme de Wilcox (Fig. III.21), les eaux de source d'Ain Sefra sont réparties en deux classes :

- ✓ La majorité des eaux était excellentes pour l'irrigation.
- ✓ En période du : 29/06/2008, les eaux étaient bonnes pour être utilisées en irrigation.

• **Sodium Alcalinité Ratio (S.A.R) :**

Le SAR est défini par la relation suivante:

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

Avec :

- S.A.R. < 10 : eau excellente, à faible danger d'alcalinisation des sols.
- $10 < \text{S.A.R.} < 18$: eau de bonne qualité, danger d'alcalinisation assez appréciable.
- $18 < \text{S.A.R.} < 26$: eau convenable, danger d'alcalinisation important.
- S.A.R. > 26 : eau de qualité médiocre, danger de forte alcalinisation.

- ✓ Selon le diagramme de Riverside (Fig. III.22) et en se basant sur le tableau n°05 en annexes, les eaux étudiées sont réparties en deux classes : toutes les eaux sont classées en C2-S1 (eaux bonnes pour l'irrigation) à l'exception du point 1 représenté par la période du (29/06/2008) qui était classé en C3-S1 (eau admissible pour l'irrigation).

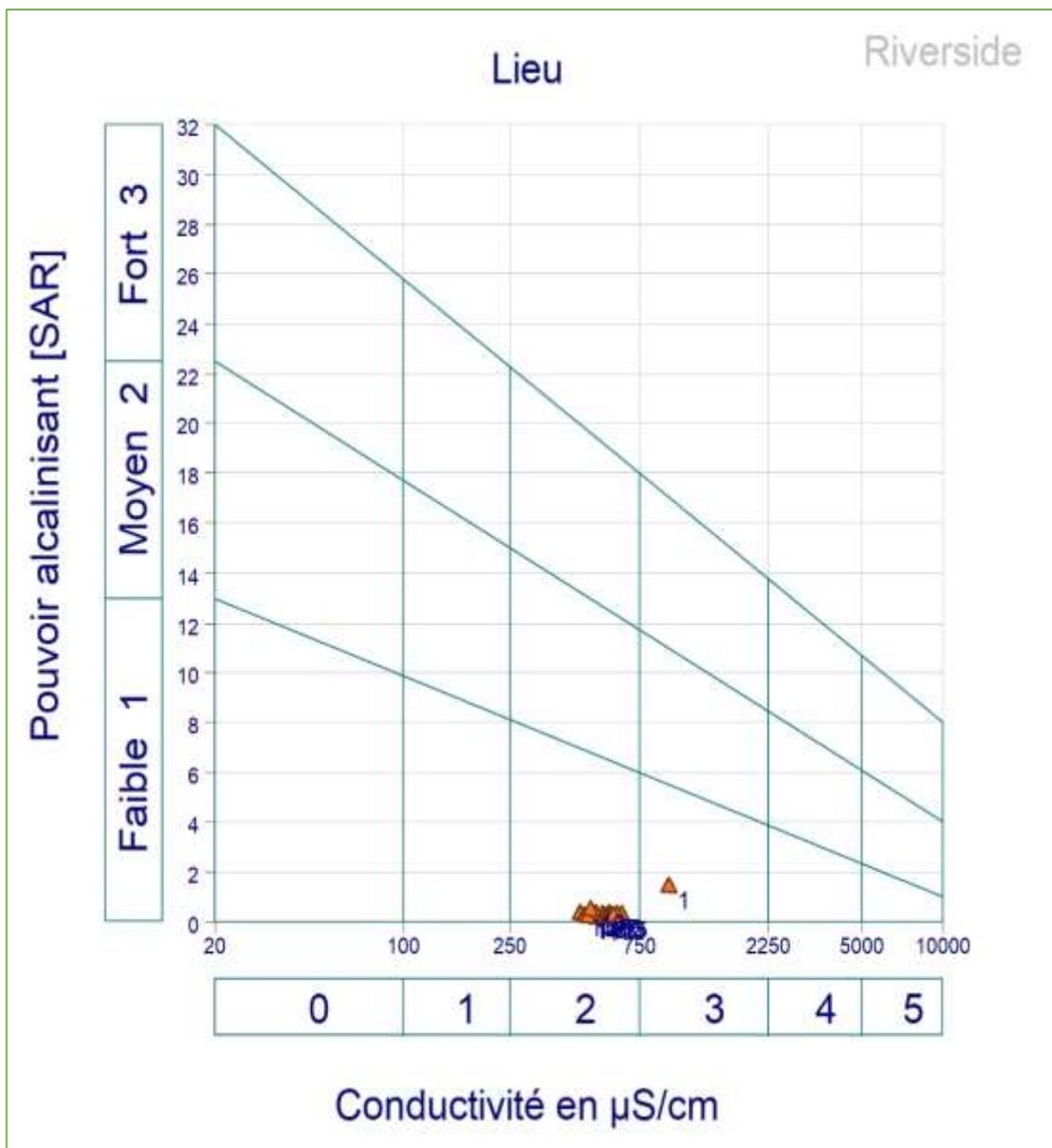


Fig. III.22: Diagramme de Riverside.

III.5 Origine de la minéralisation :

a) Indice de saturation :

La dissolution d'un minéral dans l'eau peut être décrite par un état d'équilibre : quand l'eau est en contact avec un minéral, la concentration de la solution augmente pour atteindre un maximum pour des conditions physico-chimiques données. On dit alors que la solution est saturée en ce minéral. L'état de saturation est exprimé par l'indice de saturation (CIDU et al., 2009).

$$Is = \log (K) - \log (PI)$$

Avec **K** : la constante d'équilibre et **PI** : le produit ionique.

Si on admet que :

IS < 0 indique un état de sous-saturation

IS = 0 indique un état de saturation

IS > 0 indique un état de sursaturation.

À cette fin, le programme PHREEQ C a été utilisé, ce qui nous a permis de calculer les indices de saturation de l'eau d'Ain Sefra par rapport aux minéraux : anhydrite, aragonite, calcite, CO₂ (g), dolomite et gypse.

Tableau III.12 : Indice de saturation d'après PHREEQ C.

PERIODE	Anhydrite	Aragonite	Calcite	CO ₂ (g)	Dolomite	Dolomite(d)	Gypsum
29/06/2008	-1,96	-0,28	-0,13	-1,47	0	-0,55	-1,74
09/10/99	-1,94	-0,46	-0,31	-1,72	-1	-1,55	-1,72
14/11/99	-2,57	-0,29	-0,15	-1,53	-0,26	-0,81	-2,35
01/12/99	-2,48	-0,25	-0,11	-1,47	-0,18	-0,73	-2,26
22/12/99	-2,45	-0,3	-0,16	-1,56	-0,35	-0,9	-2,23
04/01/00	-2,07	-0,38	-0,24	-1,56	-0,3	-0,85	-1,85
01/03/00	-2,5	-0,34	-0,2	-1,56	-0,31	-0,86	-2,28
01/04/00	-2,58	-0,36	-0,21	-1,59	-0,38	-0,93	-2,36
03/05/00	-2,34	-0,28	-0,14	-1,53	-0,16	-0,71	-2,12
01/07/00	-2,56	-0,53	-0,38	-1,65	-0,7	-1,25	-2,34
05/09/00	-2,51	-0,65	-0,5	-1,68	-0,69	-1,24	-2,29
01/10/00	-2,02	-0,32	-0,18	-1,55	-0,29	-0,84	-1,8
04/11/00	-2,21	-0,31	-0,17	-1,53	-0,19	-0,74	-1,99
02/12/00	-2,64	-0,61	-0,47	-1,65	-0,71	-1,26	-2,42
02/01/01	-2,25	-0,36	-0,22	-1,54	-0,22	-0,77	-2,03
04/03/01	-2,22	-0,54	-0,4	-1,65	-0,64	-1,19	-2

- ✓ L'observation du tableau III.12 montre que les indices de saturation sont négatifs, indiquant une sous saturation vis-à-vis tous les minéraux mentionnés précédemment.

III.6 Etude statistique :

A. Matrice des corrélations et matrice des covariances :

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 (Tableau III.13). La matrice de corrélation montre une forte corrélation positive (0.539 à 0.884) entre tous les éléments chimiques. Tandis qu'aucune corrélation négative n'a été identifiée.

Tableau III.13 : Corrélation entre les éléments chimiques majeurs des eaux de la source d'Ain Sefra.

Variables	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Ca ²⁺	1							
Mg ²⁺	0.091	1						
Na ⁺	0.230	0.539	1					
K ⁺	0.267	0.402	0.775	1				
Cl ⁻	0.243	0.749	0.884	0.644	1			
SO ₄ ²⁻	0.256	0.381	0.629	0.373	0.626	1		
HCO ₃ ⁻	0.611	0.674	0.353	0.336	0.488	0.157	1	
NO ₃ ⁻	-0.032	0.596	0.835	0.605	0.768	0.579	0.175	1

- ✓ L'analyse corrélatrice entre les éléments nous a permis de dire qu'il y a une corrélation significative entre le Ca²⁺ et HCO₃⁻ d'une part et le Mg²⁺ et le HCO₃⁻ d'autre part ce qui témoigne d'une dissolution de la formation carbonatée. D'autres corrélations entre (Mg²⁺ - Cl⁻), (Na⁺ - K⁺ - Cl⁻ - SO₄²⁻ - NO₃⁻), (Cl⁻ - SO₄²⁻ - NO₃⁻), témoignant d'une contamination par les eaux usées et d'irrigation.

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 14) ont montré que les coefficients de variation pour les éléments (Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺) sont supérieurs à 50%, indiquant à la fois une forte hétérogénéité dans leurs répartitions temporelles et une contamination par les engrais organiques temporellement.

Tandis que les autres éléments chimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^-), leurs coefficients de variation sont inférieurs à 50% indiquant une homogénéité dans la répartition temporelle de ces éléments qui sont indicateurs de la dissolution des formations carbonatées et des infiltrations des eaux usées.

Tableau III.14 : Paramètres statistiques des variables.

Variable	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (%)
Ca^{2+}	64,438	10,752	16,69
Mg^{2+}	36,875	10,019	27,17
Na^+	14,375	14,435	100,42
K^+	1,563	0,814	52,09
Cl^-	40,750	22,410	54,99
SO_4^{2-}	43,125	24,155	56,01
HCO_3^-	281,125	47,494	16,89
NO_3^-	18,313	6,789	37,08

C. Analyse en Composante Principale :

L'ACP est une méthode descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique le maximum d'informations contenues dans une base de données. Cette base est constituée, en lignes par des « individus » (forages, sources, ...) sur lesquels sont mesurées des « variables quantitatives » (les éléments majeurs et les éléments traces) disposées en colonnes. Elle permet de réduire le nombre de variables, afin de projeter le nuage de points dans un sous-espace bidimensionnel, engendré par des couples d'axes factoriels ou facteurs (Cloutier et al., 2008 ; Yidana et al., 2008).

Les résultats analytiques portés sur les 16 échantillons ont généré 13 variables. Seuls les quatre premiers facteurs qui représentent 89.244% de la variance totale (Tableau.III.15) peuvent interpréter d'une manière satisfaisante la minéralisation des eaux de ce système aquifère. Cette analyse nous a permis de constater que ces éléments chimiques réagissent d'une manière significative comme suit :

- ↻ Tous les éléments chimiques à l'exception du Ca^{2+} réagissent avec le facteur F1.
- ↻ Le HCO_3^- et le NO_3^- réagissent avec le facteur F2.
- ↻ Le Ca^{2+} réagi avec le facteur F3.
- ↻ Le SO_4^{2-} réagi avec le facteur F4.

Ces corrélations entre variables et facteurs (Tableau III.16), nous montrent que la minéralisation des eaux d'Ain Sefra est due, d'une part aux infiltrations des eaux d'irrigation (F1, F3 et F4) et à la dissolution des formations carbonatées et aux infiltrations des eaux usées.

Cette analyse (Tableau III.17) nous a montré que :

1. Les éléments chimiques Cl^- , SO_4^{2-} et le Ca^{2+} issue des eaux d'irrigation contribuent d'une manière significative dans la minéralisation des eaux d'Ain Sefra.

2. Les éléments chimiques HCO_3^- et NO_3^- issus de la dissolution des formations et les infiltrations des eaux usées contribuent d'une manière aussi significative dans la minéralisation de ces eaux.

Tableau III.15 : Pourcentage des facteurs cumulés.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	7,784	1,751	1,286	0,781
Variabilité (%)	59,874	13,472	9,889	6,009
% cumulé	59,874	73,345	83,234	89,244

Tableau III.16 : Corrélations entre les variables et les facteurs.

	F1	F2	F3	F4
Ca^{2+}	0,38	0,49	0,67	0,29
Mg^{2+}	0,81	0,18	-0,50	0,07
Na^+	0,88	-0,39	0,17	-0,10
K^+	0,69	-0,29	0,31	-0,34
Cl^-	0,93	-0,17	-0,04	-0,03
SO_4^{2-}	0,59	-0,40	0,19	0,59
HCO_3^-	0,69	0,66	0,00	0,07
NO_3^-	0,75	-0,54	-0,19	0,04

Tableau III.17 : Contribution des éléments chimiques dans la minéralisation.

	F1	F2	F3	F4
Ca^{2+}	1.82	13.67	34.98	11.01
Mg^{2+}	8.47	1.76	19.14	0.67
Na^+	9.85	8.72	2.19	1.30
K^+	6.19	4.95	7.47	14.73
Cl^-	11.20	1.59	0.12	0.10
SO_4^{2-}	4.55	9.30	2.74	44.76
HCO_3^-	6.05	24.57	0.00	0.71
NO_3^-	7.23	16.74	2.80	0.23

D. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :

La représentation des observations dans l'arbre de classification ascendante hiérarchique (CAH) permet d'identifier une typologie des eaux à partir de leurs données chimiques (Fig. III.23). L'application de cette technique aux eaux échantillonnées montre l'existence de deux classes :

- La classe 1 : comprend les eaux issues des formations carbonatées et les infiltrations des eaux usées.
- La classe 2 : représentée par les eaux issues d'irrigation.

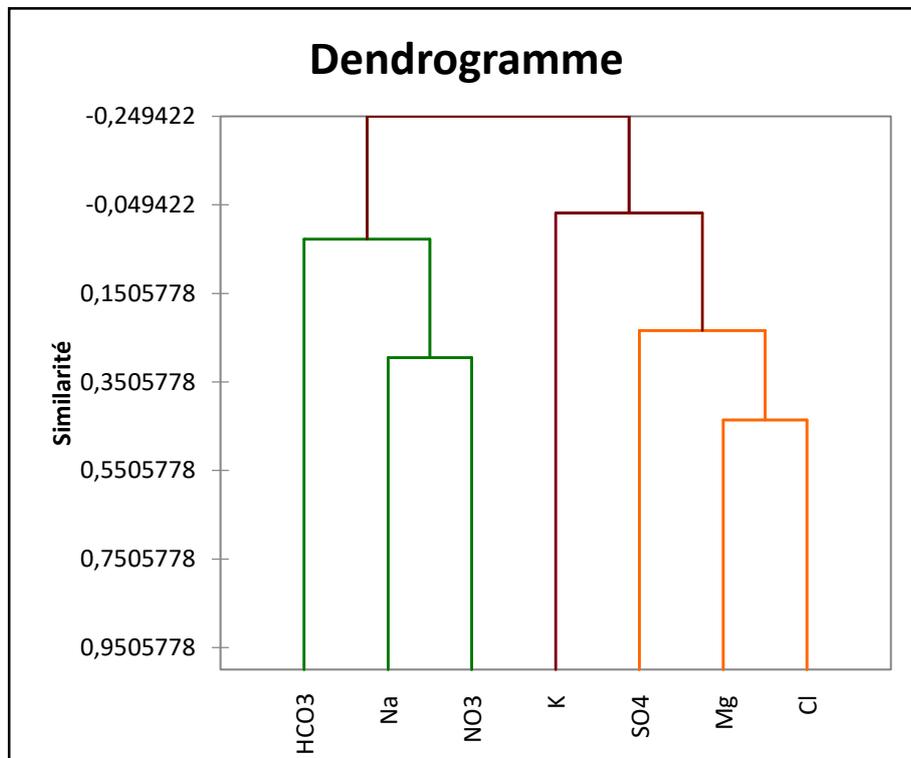


Fig. III.23 : Classification Ascendante Hiérarchique.

Conclusion :

L'étude hydrogéochimique réalisée à partir des analyses physico- chimiques disponibles et bactériologiques effectuées sur les eaux d'Ain Sefra a montré les résultats suivants :

-Du point de vue potabilité, tous les paramètres étaient conformes aux normes de potabilité algériennes durant les périodes d'étude.

L'analyse bactériologique faite le 05 avril 2022 a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germes totaux (à 37°C) et en germes fécaux (à 44°C).

→ Le report des éléments chimiques sur le diagramme de **Schöeller -Berkaloff**, nous a permis de classer ces eaux en deux faciès :

- **Faciès bicarbonaté calcique**
- **Faciès Bicarbonaté Magnésien.**

→ Le diagramme de **Stabler** a montré l'existence de deux faciès :

- **Bicarbonaté calcique.**
- **Bicarbonaté Magnésien.**

- Le diagramme de **Piper** a classé toutes les eaux de la source étudiée dans la famille **Bicarbonatée calcique et magnésienne**.
- L'estimation des eaux à des fins d'irrigation dans la période d'étude, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na⁺, et le KR a fait révéler que :

Les eaux de la source étaient classées en de très bonne qualité (% Na⁺) et de bonne qualité (Kr inférieur à 1) pour l'irrigation.

- Le diagramme de **Wilcox** a fait ressortir deux classifications :
 - La majorité des eaux étaient excellentes pour l'irrigation.
 - En période du (29/06/2008), les eaux étaient bonnes pour être utilisées en irrigation.
- Le diagramme de **RIVERSIDE** a montré que les eaux de la source d'Ain Sefra étaient classées dans deux classes :
 - C2-S1 : la plupart des eaux (Bonnes pour l'irrigation).
 - C3-S1 : L'échantillon du 29/06/2008 (admissible pour l'irrigation).

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de **PHREEQ C**, nous a montré que les indices de saturation pour les tous les minéraux sont généralement sous-saturés, indiquant le pouvoir de dissolution de ces eaux aux formations carbonatées et aux éléments des produits chimiques.

L'analyse statistique a montré que la minéralisation de ces eaux est influencée par deux facteurs, l'un par la dissolution des formations carbonatées du Jurassique supérieur et les infiltrations des eaux usées (représenté par le facteur F2), et le deuxième facteur par l'infiltration des eaux d'irrigation (représentée par les facteurs F1, F3 et F4). Notons que les éléments chimiques Cl⁻, SO₄²⁻ et le Ca²⁺ issus des eaux d'irrigation contribuent d'une manière significative dans la minéralisation des eaux d'Ain Sefra et les HCO₃⁻ et NO₃⁻ issus de la dissolution des formations bicarbonatées et des infiltrations des eaux usées contribuent aussi d'une manière significative dans la minéralisation de ces eaux.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Au terme de ce modeste travail lié à l'identification de l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'Ain Sefra, nous sommes arrivées à ce qui suit :

- ❖ Tout d'abord, l'étude climatologique, menée sur la période allant de 1995 à 2020, a montré que la région de Tlemcen se caractérise par un climat semi-aride avec un hiver tempéré, avec :
 - La moyenne annuelle des précipitations est de 517 mm.
 - 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 Gaussen, nous a permis de définir une période excédentaire (humide) allant du la fin du mois de septembre jusqu'à le début du mois de mai et une période déficitaire (Sèche) qui occupe le reste des mois de l'année.
- ❖ La synthèse des travaux géologiques réalisés dans la zone d'étude nous a permis de conclure que les Monts de Tlemcen sont constitués principalement du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur. Ces formations sont masquées par une sédimentation tertiaire, représentée par des dépôts fluviatiles éocènes au Sud et par des marnes miocènes, ainsi que les formations des grès Tortonien du Plio-Quaternaire au Nord.

L'analyse structurale de la région montre qu'elle présente une tectonique cassante, avec des déformations qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux, ce qui a favorisé le développement de la karstification et l'émergence de plusieurs sources.

- ❖ L'étude hydrogéologique nous a permis de constater que les formations calcaires et les formations calcaire-dolomitiques du Jurassique supérieur constituent les principales formations aquifères qui présentent un intérêt hydrogéologique, ainsi que les formations du Plio-Quaternaire et les grès lorsqu'ils sont fissurés.
- ❖ L'étude hydrogéochimique réalisée à partir des analyses physico-chimiques disponibles et bactériologiques des eaux de la source étudiée « Ain Sefra » a permis d'aboutir aux résultats suivants :
 - La classification de la source, selon les normes algériennes de potabilité a révélé que la source d'Ain sefra était conforme à ces normes en ce qui concerne les paramètres physico-chimiques, mais renferme des germes totaux (à 37°C) et des germes fécaux (à 44°C) supérieures aux normes admissibles (analyse du 05 avril 2022) ce qui la rend impropre à la consommation et reste à compléter par des analyses physico-chimiques.

→ 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 calcique et magnésienne** : tous les échantillons.
 - **Bicarbonatée sulfatée calcique et magnésienne** : un seul échantillon.

- ✓ Le report des éléments chimiques sur le diagramme de **Schöeller -Berkaloff**, nous a permis de classer ces eaux en deux faciès :
 - **Faciès bicarbonaté calcique.**
 - **Faciès Bicarbonaté Magnésien.**
- 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^+ et le Kr est classée : eau de très bonne qualité (% Na^+) et de bonne qualité (KR inférieur à 1) pour l'irrigation.
- ✓ Le diagramme de **RIVERSIDE** a montré que la source d'Ain Sefra est classée dans deux classes :
 - La majorité classée : C2-S1 (bonne pour l'irrigation).
 - L'échantillon (29/06/2008) classé : C3-S1 (admissible pour l'irrigation).
- ✓ Le diagramme de **Wilcox** a fait ressortir deux classifications :
 - La majorité était excellente pour l'irrigation.
 - Le point d'eau représenté par la date du (29/06/2008) : était bon pour être utilisé en irrigation.

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de **PHREEQ C**, nous a montré que les indices de saturation pour tous les minéraux sont généralement sous-saturés, indiquant le pouvoir de dissolution de ces eaux aux formations carbonatées et aux éléments des produits chimiques.

- Les résultats obtenus de l'étude statistique faite à l'aide du logiciel « **XLSTAT** » ont montré que la minéralisation des eaux d'Ain Sefra est influencée par deux facteurs, l'une par la dissolution des formations carbonatée du Jurassique supérieur et les infiltrations des eaux usées (représenté par le facteur F2), et le deuxième facteur par l'infiltration des eaux d'irrigation (représentée par les facteurs F1, F3 et F4).

Recommandations : (d'après les analyses bactériologiques)

Au terme de cette étude, nous proposons quelques recommandations, contribuant à préserver et à mieux gérer la source d'Ain Sefra, du point de vue qualitatif et quantitatif :

- ↪ Établir un périmètre de protection des sources pour éviter les risques de contamination, surtout s'ils sont connus, et les maîtriser.
- ↪ Surveillance stricte et continue de la quantité et de la qualité de l'eau de la source, tout au long de l'année, pour connaître l'évolution de son débit et de l'indice de pollution pour lutter contre les maladies à transmission hydriques (MTH).
- ↪ Traiter l'eau de cette source, avant son utilisation (du point de vue bactériologique) et sensibiliser les gens sur la consommation de l'eau de cette source.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **ABLAOUI.H (2013).**- Structure et fonctionnement de trois émergences karstiques des Monts de Tlemcen à partir des réponses hydrogéologiques et hydrochimiques (période de 12/12/2005 au 16/01/2007). Mém. Magister, Univ. Oran, pp.33, 35.
- **ADDA .M (2013).**- Caractérisation hydrochimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : cas de l'agglomération oranaise (Algérie). Mém. Magister, Univ. Oran, p170.
- **AUCLAIR D. et BEIHLER J (1976).**- Etude géologique des hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saida. Pub. Serv. géol. Algérie. Ann. Ser. N°34.
- **BELBACHIR.A et BENDAOU.D.I (2020).**-Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen (Nord-Ouest algérien), Mémoire. Master. Univ.Tlemcen.98 p.
- **BELOUAFI .A & KHEDIM .S (2021).** - Contribution à l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de la source d'Ain El Houtz (Tlemcen, Ouest Algérien). Mémoire. Master, Univ. Tlemcen, 112p.
- **BENEST.M (1978).**- Modalités de l'apparition de la sédimentation carbonatée de plateforme interne sur la frange méridionale du domaine Tlemcenien pendant l'Aalénien et le Bajocien : Les dolomies du Tenouchfi (Algérie Nord-Occidentale). Livre jubilaire Jacques.F Docum. Lab.Géol.Fac.Sci.Lyon, H-S.4, p.29-69.
- **BENEST.M (1981).**-la marge gondwanienne de l'ouest Algérien au Jurassique supérieur et à l'Eocrétacé : les grands traits de l'évolution tectono-aédimentaire mégarythmique. Bull. So.Géol. France.t. XXIII, n°6.
- **BENEST.M (1982).**- Importance des décrochements senestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daia (Algérie occidentale). Revue Géologie Dynamique et Géographie Physique, 23 (5). 345-362.
- **BENEST .M (1985).**- Evolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse Sc. Lyon, Laboratoire Géologique, 95: 581 p.
- **BENEST Michel et ELMI Serge (1969).**- Précisions stratigraphiques sur le jurassique inférieur et moyen de la partie méridionale des monts de Tlemcen (Algérie). C.R..som. Soc. Géol. France, Paris, fasc.8.
- **BENEST M., BENSALAH M., BOUABDELLAH H., OURDAS T. (1999).** La couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine Tlemcenien (Avant pays Tellien d'Algérie occidentale): Stratigraphie, paleoenvironnement, dynamique sédimentaire et tectogenese alpine. Bulletin du service géologique de l'Algérie, vol.10, no 2.
- **BENSAOULA F., ADJIM M., BENSALAH M. (2007).** L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen, Larhyss journal, n°6, pp.57-64.
- **BENSAOULA F., BENSALAH M., ACHACHI A. (2005)** Etude des circulations d'eaux profondes dans les dolomies du dogger de Zouia (bordure occidentale des Monts de Tlemcen, nord ouest algérien). Bulletin d'hydrogéologie, 21, 17-31.

- **BENSAOULA .F(2006).**- Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen – Ouest Oranais). Thèse Doctorat, Univ. Tlemcen.203p.
- **BENSAOULA F. (2007).** Etude de la karstification à partir des données de forages : le cas des monts de Tlemcen (Algérie), *Karstologia*, 49, 15-24.
- **BENZINA. M (2012).**-Evolution tectono-sédimentaire du bassin de la Tafna (Tlemcen, Algérie Nord Occidentale), Mémoire. Magister. Univ.Tlemcen. 73 p.
- **BOUANANI A. (2004).** : Hydrologie, transport solide et modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse Doct. Univ. Tlemcen.250p.
- **CIDU, R., BIDDAU, R. & FANFANI, L., 2009.** Impact of past mining activity on the quality of groundwater in SW Sardinia (Italy). *Journal of Geochemical Exploration*, 100: 125–132.
- **COLLIGNON Bernard (1986).**- Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Tome 1). Thèse. Doc. Univ. d'Avignon. 216p.
- **DERROUCHE .S & LAHOUEL .Z (2021).**- Contribution à l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de la source de Kobet El Djouz (Tlemcen, Ouest Algerien). Mémoire. Master, Univ. Tlemcen, 99p.
- **DOMINIQUE.V (2009).**-Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des Neiges Ile de La Réunion. Master 1 Géosphère, 33p.
- **ELMI .S (1970).**- Rôle des accidents décrochant de direction SSW/NNW dans la structure des Monts de Tlemcen (Ouest algérien).Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Algérie, fasc. 3-4, pp. 3-8.
- **GUARDIA.P (1975).**- Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Relation structurales et paléogéographiques.
- **HAYANE S.M (1983).**- Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse. Doc. 3eme cycle, Univ.Oran, 236 p, 91f.
- **KEDDAH .K et MEDJAHDI .N (2018).**- Contribution à l'étude physico-chimique de quelques sources dans le groupement urbain de Tlemcen, Mémoire. Master. P37, p40.p49.
- **KEROUCHE .A et GUNCHI .L (2008).**- Inventaire des sources captées du grand Tlemcen, étude hydrogéologique et hydrochimique. Mém. Ing. Univ. Tlemcen, 68 p, 27 f, 29 t.
- **LARMARANGE .J (2020).**-Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R et R Studio-Statistique intermédiaire. Article, Analyse-R, p599.
- **LUCAS G. (1942).**-Description Géologique et pétrographique des Monts de Ghar Rouban et de Sidi El Abed Monographie.539p.
- **MEDJAHDI 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.
- **MAKHOUKH .M (2011).**- Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc. Mém. Master.
- **MENS et DEROUANE (2000).**- État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie. Mém. Master.
- **RODIER .J (1996).**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 6ème édition, Dunod, Paris, 1383p.

- **RODIER .J (2005).**- l'Analyse de l'eau. 5ème édition .Dunod, Paris 1383p.
- **RODIER .J (2009).**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 9ème édition, Dunod, Paris, 1383p.
- **SMAIL. F (2017).**-Ressources en eau et urbanisation cas du groupement urbain Tlemcen. Mémoire. Magister en Hydraulique, Univ. Tlemcen, 143p.
- **SOLTANI .W (2013).**-Gestion des ressources en eau dans le groupement urbain de Tlemcen- Bilan et Perspectives. Mémoire. Master, Univ. Tlemcen, 77 p, 28 f, 26 t.
- **WHO (World Health Organization)(1994).**- Directive de qualité de l'eau de boisson critères d'hygiène, 2e édition, vol, Genève.
- **YIDANA, S.M., OPHORI, D. & BANOENG-YAKUBOB, B., 2008.** A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data-The Ankobra Basin, Ghana. Journal of Environmental Management, 86: 80–87.

Site internet :

www.aps.dz

<https://www.rapport-gratuit.com/etude-du-relief/>

<https://www.rapport-gratuit.com/implementation-du-modele-weap-dan-le-bassin-de-la-tafna/>

<https://fr.wikipedia.org/static/images/mobile/copyright/wikipedia-wordmark-fr.svg>

<https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-chloride-chlorure-eau/alt/water-chloride-chlorure-eau-fra.pdf>

Carte consultées :

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

Logiciels :

- ➡ Diagrammes version 6.57.
- ➡ XLSTAT
- ➡ Mapinfo 8



Annexes

Annexes

Annexe n° 01 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station de Zenata-Tlemcen (1995-2020).

Mois Année	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 : A.N.R.H (1995/2017), complété par le site Tutiempo.

**Annexe n° 02 : Températures moyennes mensuelles enregistrées à la station de Zenata-Tlemcen
(1995- 2020).**

Mois Année	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1995-1996	20,8	19,5	16,5	13,2	12,3	9,5	12,5	14,7	17,2	23	25	24,6
1996-1997	20,7	17,2	14,3	12,6	11,5	12,9	14	16,1	17,9	21,6	23,3	24,8
1997-1998	21,1	16,9	13,5	11,5	11,9	13,7	13,9	15,3	20,9	25,2	26,6	26,9
1998-1999	21,2	15,6	12,4	10,2	9,7	11,1	15,3	18,5	21,6	25	25,9	26,5
1999-2000	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 : A.N.R.H (1995/2017), complété par le site Tutiempo.

Annexe n° 03 : Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres physico-chimiques de la source d'Ain Sefra.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne
Ca²⁺	43	74	64,438
Mg²⁺	14	60	36,875
Na⁺	5	67	14,375
K⁺	1	4	1,563
Cl⁻	20	116	40,750
SO₄²⁻	19	97	43,125
HCO⁻	199	362	281,125
NO₃⁻	10	39	18,313
pH	7,34	8,9	8,065
Conductivité	44	956	539,063
Résidu sec	340	700	472,438

Annexe n° 04 : Balance ionique.

N° des échantillons	Période	Balance ionique (%)	Classification
1	09/10/1999	1%	Bonne analyse
2	14/11/1999	0%	Bonne analyse
3	01/12/1999	5%	Acceptable
4	22/12/1999	4%	Bonne analyse
5	04/01/2000	0%	Bonne analyse
6	01/03/2000	5%	Bonne analyse
7	01/04/2000	2%	Acceptable
8	03/05/2000	4%	Acceptable
9	01/07/2000	4%	Acceptable
10	05/09/2000	1%	Bonne analyse
11	01/10/2000	3%	Acceptable
12	04/11/2000	5%	Bonne analyse
13	02/12/2000	2%	Bonne analyse
14	02/01/2001	2%	Bonne analyse
15	04/03/2001	1%	Bonne analyse
16	29/06/2008	1%	Bonne analyse

Annexe n° 05 : Classification des eaux d'irrigation d'après Servant, 1975 (U.S Salinity Lab).

Degré	Qualité	Classe	Description
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger dans 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 sol ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échanges d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation cultures tolérantes aux sels, 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 C3-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 utilisées sous certaines conditions sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Annexe n° 06 : Normes algériennes des paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Unité	Concentration maximale admissible
Calcium	mg/l	200
Magnésium	mg/l	150
Sodium	mg/l	200
Chlorures	mg/l	500
Potassium	mg/l	12
Sulfates	mg/l	400
Nitrates	mg/l	50
Résidu sec	mg/l après séchage à 105°C	1500
pH	-	≥ 6.5 et ≤ 9
Conductivité	µS/cm à 20°C	2800
Dureté totale	mg/l CaCO ₃	200

JORA 2011-2014.



Fig. 01 : Photos exclusives de la source d'Ain Sefra-Chetouane.



Fig. 02: Les analyses chimiques de la source d'Ain Sefra-Chetouane, laboratoire n° 25
(Les analyses incomplètes).



Figure 03: Analyse bactériologique de la source d'Ain Sefra-Chetouane (E.S.P.E 05 Avril 2022).

ملخص

المساهمة في الدراسة النوعية لمياه منبع عين الصفرة، شتوان (تلمسان، غرب الجزائر)

الهدف من هذا العمل المتواضع هو تحديد مصدر تمعدن مياه منبع عين الصفرة الواقع في شتوان (تلمسان). أظهرت التحليلات الفيزيوكيميائية أن مياه عين الصفرة كانت صالحة للشرب خلال فترات الدراسة، عندما استوفت جميع العناصرو المعايير الجزائرية لصلاحية الشرب. أظهر التحليل البكتريولوجي الذي تم إجراؤه في 5 أبريل 2022 أن مياه المنبع تجاوزت المعايير المسموح بها للجراثيم الإجمالية (عند 37 درجة مئوية) والجراثيم البرازية (عند 44 درجة مئوية). سمح لنا نقل العناصر الكيميائية على الرسوم البيانية لشولر - بيركالوف وستابلر بتصنيف هذه المياه في فئتين: بيكرونات الكالسيوم والبيكرونات المغنيسية. أظهر تقدير المياه لأغراض الري، باستخدام مؤشرات، مثل النسبة المئوية في K^+ و Na^+ أنها جيدة وجيدة جداً للري. أظهر الرسم البياني ريفرسايد أن مياه مصدر عين الصفرة مصنفة في فئتين: C2-S1:جيدة للري بالنسبة لمعظم المياه C3-S1 : لعينة من 2008/06/29 (مؤهلة للري). وفقاً ل ويلكس ، تم تقسيم مياه المنبع إلى فئتين : ممتازة وجيد . أظهر لنا نقل العناصر الكيميائية إلى مخطط PHREEQ C أن مؤشرات التشبع لجميع المعادن غير مشبعة بشكل عام ، مما يشير إلى قدرة ذوبان هذه المياه إلى تكوينات الكربونات والعناصر الكيميائية. سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم أصل تمعدن مياه المنبع بسبب انحلال تكوينات البيكرونات في الجزء العلوي من الجوراسي، وتسلسل مياه الري ومياه الصرف الصحي. **الكلمات الرئيسية:** منبع عين الصفرة، شتوان (تلمسان)، التحليلات الفيزيائية والكيميائية، صالح للشرب، الري،الرسوم البيانية، دراسة إحصائية ، التمعدن،

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA SOURCE D'AIN SEFRA, CHETOUANE (TLEMEN, OUEST ALGERIEN)

Le but de ce modeste travail est d'identifier l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'Ain Sefra, située à Chetouane (Tlemcen). Les analyses physico-chimiques ont montré que les eaux de la source d'Ain Sefra étaient potables durant les périodes d'étude, où tous les paramètres étaient conformes aux normes algériennes de potabilité. L'analyse bactériologique faite le 5 avril 2022, a montré que les eaux de la source dépassent les normes admissibles en germes totaux (à 37 °C) et en germe fécaux (44°C). Le report des éléments chimiques sur les diagrammes de Schöeller –Berkaloff et Stabler, nous a permis de classer ces eaux en deux faciès : faciès bicarbonaté calcique et faciès bicarbonaté magnésien. L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na^+ et le KR a fait révéler qu'elles sont très bonnes à bonnes pour l'irrigation. Le diagramme de RIVERSIDE a montré que les eaux de la source d'Ain Sefra étaient classées dans deux classes : C2-S1 : pour la plupart des eaux (Bonnes pour l'irrigation), C3-S1 : pour l'échantillon du 29/06/2008 (admissible pour l'irrigation). Selon WILCOX, les eaux de la source étaient réparties en deux classes : Excellente et bonne. Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les tous les minéraux sont généralement sous-saturés, indiquant le pouvoir de dissolution de ces eaux aux formations carbonatées et aux éléments des produits chimiques. L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation des eaux d'Ain Sefra qui est due à la dissolution des formations bicarbonatées du Jurassique supérieur, des infiltrations des eaux d'irrigation et celles des eaux usées. **Mots clés :** Source d'Ain Sefra, Chetouane (Tlemcen), Analyses physico-chimiques, Potabilité, Irrigation, Diagrammes, statistique, Minéralisation.

ABSTRACT:

CONTRIBUTION TO THE QUALITATIVE STUDY OF THE WATERS FROM THE AIN SEFRA, CHETOUANE SOURCE (TLEMEN, WEST ALGERIAN)

The aim of this modest work is to identify the origin of the mineralization of the waters of the Ain Sefra source, located in Chetouane (Tlemcen). The physico-chemical analyses showed that the waters of the Ain Sefra source were drinkable during the periods of study, where all the parameters were in conformity with the algerian standards of potability. The bacteriological analysis made on 05 April 2022, showed that the source water exceeded the admissible standards in total germs (at 37°C) and in fecal germs (44°C). The report of chemical elements on the Schöeller-Berkaloff and Stabler diagrams allowed us to classify these waters in two faciès: Calcium bicarbonate faciès and magnesium bicarbonate faciès. The estimation of the waters for irrigation purposes, using indices such as the percentage of Na^+ and KR, revealed that they are very good to good for irrigation. The RIVERSIDE diagram showed that the waters of Ain Sefra source were classified in two classes: C2-S1: for most of the waters (Good for irrigation), C3-S1: for the sample of 29/06/2008 (admissible for irrigation). According to WILCOX, the waters of the source were classified in two classes: Excellent and Good. The transfer of the chemical elements on the diagram of PHREEQ C, showed us that the saturation indices for all the minerals are generally undersaturated, indicating the power of dissolution of these waters to the carbonate formations and the elements of the chemicals. The statistical study allowed us to understand the origin of the mineralization of the waters of Ain Sefra, which is due to the dissolution of the bicarbonate formations of the Upper Jurassic, the infiltration of irrigation water and wastewater.

Key words : Ain Sefra source, Chetouane (Tlemcen), Physico-chemical analyses, Potability, Irrigation, Diagrams, Statistical, Mineralization,.