

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

AISSAOUIA WISSAM & BOUKACEM WIDAD

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE D'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ
PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA SOURCE DE
TAMEKCHENT (AIN FEZZA, TLEMCEN, OUEST ALGERIEN).**

Soutenu le **25/06/2023**, devant le jury composé de :

Président	Mr BENCHOUK Mustapha	M.A.A	Université de Tlemcen.
Encadrant	Mme GUETTAIA Sabrina	M.C.A	Université de Tlemcen.
Co-Encadrant	Mr BOUDJEMA Abderrezak	M.C.A	Université de Tlemcen.
Examinatrice	Mme DJELAD Rahima	M.A.A	Université de Tlemcen.

Année universitaire 2022 /2023

Remerciements

*Nous remercions «**ALLAH**» le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné tout au long de ce travail.*

*Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude à Madame **GUETTAIA Sabrina** et Monsieur **BOUDJEMA Abderrezak** d'avoir dirigé ce mémoire, nous avons eu le plaisir de travailler sous votre direction. Nous vous remercions pour votre gentillesse et spontanéité ainsi que pour votre disponibilité, vos conseils et critiques, avec lesquels nous avons pu améliorer nos connaissances. Nous n'espérons que la confiance que vous nous avez accordée et que ce mémoire est à la hauteur de vos espérances.*

*C'est un honneur pour nous de voir dans notre jury : Monsieur **BENCHOUK Mustapha** et Madame **DJELAD Rahima** qu'ils soient vivement remerciés.*

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

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

Merci à tous.

Dédicaces

Tout d'abord, Grâce à Dieu tout puissant de m'avoir donné la force pour dépasser toutes les difficultés et ma volonté pour mener ce travail à terme ... Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, je leur souhaite une bonne santé et une longue vie inchaallah.

À ma chère sœur pour son encouragement permanent, et son soutien moral, merci d'être toujours là pour moi, je prie Dieu de protéger vos enfants

À mes frères et mes belles sœurs pour leurs appuis et leurs encouragements

À ma tante, ma deuxième maman Kalima pour son soutien tout au long de mon parcours.

À Mon binôme : ASSAOUA Wissam, avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À mes amies et ms collègues de la promotion de la 2ème année Master Hydrogéologie : 2022/2023

Widad

Dédicaces

Les premiers remerciements vont à Dieu Tout-Puissant, qui m'a donné la force et la patience pour réaliser ce travail que je dédie :

À mon cher père Chadli qui m'a donné tous ses efforts financièrement et moralement et n'a cessé de m'encourager tout au long de mon parcours d'études.

À ma chère mère Samira, qui m'a accompagné de ses prières, bénis pour son soutien, et qui a le mérite de qui je suis telle que je suis.

À ma grand-mère Yamina à qui je souhaiterai une longue vie. À ma sœur Nesrine à qui je souhaiterai que ses rêves se réalisent. À ma petite princesse Kind à qui je souhaiterai la réussite dans ses études. À mon frère Hocine, je lui souhaiterai de réussir dans sa carrière universitaire. À ma sœur Asma et sa fille Wissal, à qui je souhaiterai une vie heureuse.

À l'âme de mon grand-père Hocine et ma tante Medjahdia que j'ai souhaité être avec moi.

Pour toute ma famille, en particulier ma tante et ses enfants.

À Mon binôme: Widad Boukacem.

À tous mes collègues de la promotion de la 2ème année Master Hydrogéologie : 2022/2023.

Wissam.

ملخص

المساهمة في دراسة تطور الجودة الفيزيوكيميائية لمياه منبع تمكشنت (عين فزة، تلمسان، غرب الجزائر).

الهدف من هذا العمل هو دراسة الجودة الفيزيوكيميائية وأصل تمعدن منبع عين تمكشنت الواقعة في عين فزة(تلمسان). أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن مياه منبع عين تمكشنت كانت صالحة للشرب خلال فترات الدراسة، حيث كانت جميع المعايير مطابقة للمواصفات الجزائرية لمياه الشرب.

سمح لنا نقل العناصر الكيميائية على الرسوم البيانية لشولر-بيركالوف وستابلر بتصنيف المياه إلى وجهتين: بيكربونات الكالسيوم (الأكثر شيوعاً) و بيكربونات المغنيسيوم.

صنف مخطط بايير مياه النبع المدروس إلى عائلتين: بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والكلوريد وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم.

أظهر تقدير المياه لأغراض الري باستخدام مؤشرات مثل $Na^+ KR$ أنها جيدة جداً للري. أظهر مخطط ويلكوكس أن مياه النبع كانت ممتازة للري.

أظهر الرسم البياني RIVERSIDE أن مياه نبع عين تمكشنت صنفت إلى فئتين: C2-S1 لمعظم المياه (جيدة للري) و C3-S1 للعين (رقم 28)، بتاريخ 2014/04/04 (مسموح بها للري).

أظهر تقرير العناصر الكيميائية على مخطط PHREEQ C أن مياه المصدر مشبعة بشكل عام بالكالسيت والدولوميت طوال الفترة، باستثناء فترات قليلة، في حين أن الجبس والانيدرت غير مشبعين.

أتاحت لنا الدراسة الإحصائية أن نستنتج أن تمعدن مياه عين تمكشنت ناتج عن عامل صخري (انحلال تكوينات الكربونات) و / أو عوامل بشرية وكيميائية (التبادل الأساسي بين Ca^{++} و Mg^{++}).

الكلمات المفتاحية: منبع عين تمكشنت، عين فزة (تلمسان)، التحليلات الفيزيوكيميائية، صالح للشرب، الري الرسوم البيانية،

التمعدن، CAH، ACP، PHREEQ C

RÉSUMÉ

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE D'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA SOURCE DE TAMEKCHENT (AIN FEZZA, TLEMCEN, OUEST ALGERIEN).

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité physico-chimique et l'origine de la minéralisation de la source d'Ain Tamekchent, située à Ain Fezza (Tlemcen).

Les analyses physico-chimiques ont montré que les eaux de la source d'Ain Tamekchent étaient potables durant les périodes d'étude, où tous les paramètres étaient conformes aux normes algériennes de potabilité.

Le report des éléments chimiques sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Stabler, nous a permis de classer les eaux en deux faciès : faciès bicarbonaté calcique (le plus dominant) et faciès bicarbonaté magnésien.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la source étudiée en deux familles : bicarbonatée calcique et magnésienne et chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

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 Wilcox a montré que les eaux de la source étaient excellentes pour l'irrigation.

Le diagramme de RIVERSIDE a montré que les eaux de la source d'Ain Tamekchent étaient classées dans deux classes : C2-S1 pour la plupart des eaux (Bonnes pour l'irrigation) et C3-S1 pour l'échantillon (n°28), daté du 04/04/2014 (admissible pour l'irrigation).

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les eaux de la source sont généralement saturées par la calcite et la dolomie durant toute la période, à l'exception de quelques-unes, alors que les gypses et les anhydrites sont sous-saturés.

L'étude statistique nous a permis de conclure que la minéralisation des eaux d'Ain Tamekchent est due à un facteur lithologique (dissolution des formations carbonatées) et/ou aux facteurs anthropiques et chimiques (échange de base entre le Ca^{++} et le Mg^+).

Mots clés : Source d'Ain Tamekchent, Ain Fezza (Tlemcen), Analyses physico-chimiques, Potabilité, Irrigation, Diagrammes, Minéralisation, PHREEQ C, ACP, CAH.

ABSTRACT:

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF THE PHYSICO-CHEMICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE SOURCE OF TAMEKCHENT (AIN FEZZA, TLEMCEN, WEST ALGERIAN).

The objective of this work is to study the physico-chemical quality and the origin of mineralization of the source of Ain Tamekchent, located in Ain Fezza (Tlemcen).

The physico-chemical analyses showed that the waters of the Ain Tamekchent source were drinkable during the periods of study, where all the parameters were in conformity with the Algerian standards of potability.

By plotting the chemical elements on the Schoeller-Berkaloff and Stabler diagrams, we were able to classify the waters into two facies: Calcium bicarbonate facies (the most dominant) and magnesium bicarbonate facies.

The Piper diagram classified the waters of the studied source in two families: calcium and magnesium bicarbonate and chloride and sulfate calcium and magnesium.

Estimation of the waters for irrigation purposes using indices such as Na^+ and KR revealed that they are very good to good for irrigation. The Wilcox diagram showed that the source waters were excellent for irrigation.

The RIVERSIDE diagram showed that the waters of Ain Tamekchent source were classified in two classes: C2-S1 for most of the waters (Good for irrigation) and C3-S1 for the sample (n°28), dated 04/04/2014 (eligible for irrigation).

The transfer of chemical elements on the diagram of PHREEQ C, showed us that the waters of the source are generally saturated by calcite and dolomite throughout the period, with the exception of a few periods, while the gypsum and anhydrite are under saturated.

The statistical study allowed us to conclude that the mineralization of Ain Tamekchent waters is due to a lithological factor (dissolution of carbonate formations) and/or to anthropic and chemical factors (basic exchange between Ca^{++} and Mg^{++}).

Key words: Ain Tamekchent source, Ain Fezza (Tlemcen), Physico-chemical analyses, Potability, Irrigation, Diagrams, Mineralization, PHREEQ C, ACP, CAH.

LISTE DES ABRÉVIATIONS.

P : Précipitations.

T : Températures.

BI : Balance ionique.

Meq/L : Milliéquivalent par litre.

r: Quantité en réaction.

pH : Potentiel Hydrogène.

TH : Titre Hydrotimétrique.

RS : Résidu Sec.

CE : Conductivité Electrique.

Ca²⁺ : Ion Calcium.

Mg²⁺: Ion Magnésium.

Na⁺: Ion Sodium.

K⁺ : Ion potassium.

HCO₃⁻ : Ion Bicarbonate.

Cl⁻ : Ion Chlorure.

SO₄⁻ : Ion Sulfate.

NO₃⁻ : Nitrates.

C.M.A : Concentration maximale admissible.

KR : Indice de Kelly's Ratio.

%Na : Pourcentage du Sodium.

S.A.R : Sodium Alkalinity Ratio.

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

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique.

A.D.E : Algérienne Des Eaux.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure.1: Situation géographique de la wilaya de Tlemcen (Direction du parc de Tlemcen,2017)	2
Figure 2: Situation géographique de la source Ain Tamekchent	3
Figure 3: Variation des précipitations moyennes annuelles (1980-2021).....	5
Figure 4: Variation des précipitations moyennes mensuelles (1980-2021).....	5
Figure 5: Variation des précipitations saisonnières	6
Figure 6: Températures moyennes, maximales et minimales	7
Figure 7: Diagramme pluvio-thermiques de la région d'étude.....	8
Figure 8: Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martonne	9
Figure 9: Climagramme d'Emberger.....	11

Chapitre II

Figure 1: Colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu' aux hautes plaines .(Benest .M et al,1999).....	13
Figure 2: Extrait de la carte géologique du secteur d'étude. (ANRH, 2008) 1/200000.....	17
Figure 3:Schéma tectonique du bassin de la Tafna (Auclair et Biehler,1967in Gherissi.R2018)	18
Figure 4:Zones aquifères de Tlemcen (Collignon. B, 1984;in Ben moussat .A,2012).....	20

Chapitre III

Figure 1(A et B): Variation de pH	23
Figure 2(A et B): Variation des conductivités électriques	25
Figure 3(A et B): Variation des résidus secs.....	27
Figure 4(A et B): Variation de Calcium.....	28
Figure 5(A et B): Variation du Magnésium	29
Figure 6(A et B): Variation du Sodium	30
Figure 7(A et B): Variation du Potassium	31
Figure 8(A et B): Variation des Chlorures.....	32
Figure 9(A et B): Variation des sulfates	33
Figure 10(A et B):Variation des Nitrates	34
Figure 11(A et B):Variation des Bicarbonates.....	35
Figure 12: Distribution des faciès chimiques de la source d'Ain Tamekchent	37
Figure A: Classification des eaux ,selon H.SHOELLER et E. BERKALOFF.....	38
Figure B: Classification des eaux ,selon H.SHOELLER et E. BERKALOFF	39
Figure C: Classification des eaux ,selon H.SHOELLER et E. BERKALOFF.....	40
Figure D: Classification des eaux ,selon H.SHOELLER et E. BERKALOFF.....	41
Figure A:Diagramme de Stabler	42
Figure B: Diagramme de Stabler	43
Figure A:Diagramme de Piper :.....	44
Figure B:Diagramme de Piper :	45
Figure A:Diagramme de Wilcox :.....	48
Figure B:Diagramme de Wilcox :.....	49
Figure A:Diagramme de Riverside :	50
Figure B:Diagramme de Riverside :	51

Figure 18:Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	58
--	----

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau 01:Précipitations moyennes annuelles (1980-2021)	4
Tableau 02:Précipitations moyennes mensuelles (1980-2021).....	5
Tableau 03:Précipitations saisonnières	6
Tableau 04:Les températures moyennes, maximales et minimales	6
Tableau 05:Précipitations et températures moyennes mensuelles (1980-2021)	7
Tableau 06:Indice d'aridité de DE Martonne	9
Tableau 07:Indice d'aridité annuel de DE Martonne	9
Tableau 08:Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.....	10
Tableau 09:Indice d'Emberger de la région d'étude	10

Chapitre III

Tableau 01:Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier.J,2009).....	24
Tableau 02:Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier .J,2009).....	25
Tableau 03:Classification des eaux en fonction du titre hydrotimétrique	26
Tableau 04:Valeurs et classification de la dureté totale	26
Tableau 05: Classification des paramètres physico-chimique.....	36
Tableau 06: Classification des eaux étudiées selon l'indice de KR :.....	46
Tableau 07: Classification des eaux d'irrigation selon %Na ⁺	47
Tableau 08:Pourcentages en sodium de la source étudiée.....	47
Tableau 09: Classification des eaux d'irrigation, d'après Servant, 1975 (U.S SalinityLab)	50
Tableau 10: Indice de saturation d'après PHREEQ C	53
Tableau 11:Corrélation entre les éléments chimiques majeurs	55
Tableau 12:Paramètres statistiques des variables	55
Tableau 13: Pourcentage des facteurs cumulés	56
Tableau 14:Corrélation entre les variables et les facteurs	56
Tableau 15: Contribution des variables (%).....	57

TABLE DES MATIERES.

Remerciements.	
Dédicaces.	
Résumés.	
Liste des abréviations.	
Liste des figures.	
Liste des tableaux.	

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre I: Situation géographique et étude climatologique de la région d'étude

I.1. Situation géographique	2
I.1.1. Situation géographique générale :	2
I.1.2 Situation géographique de la zone d'étude (Ain Tamekchent):	3
I.2. Étude climatologique 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 :	6
Les températures moyennes mensuelles :	6
I.2.2.3. L'étude du climat :	7
a) Méthodes graphiques (méthodes de visualisation) :	7
Les courbes pluvio-thermiques :	8
B) Les indices climatiques :	8
1. Indice d'Aridité de DE Martonne (1923) :	8
Classification de DE Martonne:	9
2. Indice d'aridité mensuel :	9
3. Climagramme EMBERGER :	10
I.3 Conclusion	11

Chapitre II : Synthèse géologique et hydrogéologique

II.1 Introduction	12
II. 2. Géologie de la région	12
II .2 .1. Description litho-stratigraphique :	12
A. Le Secondaire :	14
1 .Jurassique :	14
➤ Le Lias et le Dogger :	14
➤ Les argiles de Saida :	14
➤ Les Grès de Boumediène :	14
➤ 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 :	15
➤ Les Dolomies de Terni :	15
➤ Les Marno-calcaires d'Hariga :	15
➤ Les Marno-Calcaires d'Ouled Mimoune :	15
2. Le Crétacé :	15
➤ Les argiles de Lamoricière :	15
➤ Les grès de Berthelot :	15
➤ Les calcaires de Zigyne :	15
B .Le Tertiaire :	15
3 .L'Eocène :	16
4. Le Miocène :	16
❖ Inférieur :	16
❖ Moyen : (Serravallien).....	16
❖ Supérieur : (Tortonien)	16
C. Le Plio-Quaternaire:	16
II.2.3. Analyse structurale :	18
II.2 4. Les principales phases tectoniques :	19
1. Une phase distensive éo-crétacée :	19
2. Phase atlasique :	19
-Les mouvements compressifs :	19
-Les mouvements distensifs :	19
3. Une importante phase de compression N-S à NO-SE avec un paroxysme miocène :	19
4. Une phase à dominante distensive :	19
5. Une phase récente (Plio-Quaternaire) :	19
II.3. Hydrogéologie.....	20
II.3.1. Introduction :	20
II.3.2 Propriétés hydrogéologiques des formations :	20
A. Les formations du Jurassique :	20
1. Les formations carbonatées du Lias et du Dogger :	21
2. Les grès de Boumediene :	21
3. Les dolomies de Tlemcen :	21
4. Les dolomies de Terni :	21
B. Les formations du Crétacé :	21
C. Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :	21
II.4. Conclusion :	21

Chapitre III : Étude hydrogéochimique

III.1. Introduction:	22
III.2. La balance ionique:	22
III.3. Études des paramètres physico-chimiques :	22
1 Les paramètres physique:	22
2 Les paramètres chimiques :	22
III 4. Interprétation et discussion :	23
4 .1. Les paramètres physiques :	23
4.1.1. Le potentiel d'hydrogène pH :	23
4.1.2 La conductivité électrique (CE) :	24
4.1.3 La minéralisation :	25
4.1.3 La dureté totale (TH) :	25
4.1.4 Le résidu sec :	27
4.2. Les paramètres chimiques :	27
4.2.1 Les cations :	27

a) L'ion calcium (Ca^{2+}):	27
b) L'ion magnésium (Mg^{2+}):	28
c) L'ion sodium Na^+ :	29
d) L'ion potassium K^+ :	30
4.2. 3 Les anions:	31
a) L'ion chlorure (Cl^-):	31
b) L'ion sulfate SO_4^{2-} :	32
c) L'ion nitrate NO_3^- :	33
d) L'ion bicarbonate HCO_3^- :	34
III 5. Potabilité des eaux étudiées selon les paramètres physico-chimiques:	35
III 6. Classification des eaux:	36
a) Diagramme logarithmique de H. SHOELLER et E. BERKALOFF:	36
b) Diagramme logarithmique de Stabler:	41
c) Diagramme de Piper:	44
d) Aptitude des eaux destinées à l'irrigation:	46
1) Indice de Kelly's Ratio (KR):	46
2) Pourcentage en sodium ($\%\text{Na}^+$):	47
3) Classification de Wilcox:	48
4) Sodium Alkalinity Ratio "SAR":	49
6.2 Origine de la minéralisation:	53
6.2.1 Indice de saturation:	53
6.2.2 Étude statistique:	54
a) Matrice de corrélation:	54
b) Coefficient de variation:	55
c) Analyse en Composantes Principales:	56
d) Classification Ascendante Hiérarchique (CAH):	57
7-Conclusion:	58
Conclusion Générale	61
Références Bibliographique	
Annexes.	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'importance de l'eau en tant que support de la vie et régulateur du développement d'une nation est universellement reconnue. Il est donc nécessaire de la quantifier et de la gérer le plus rigoureusement possible.

Plusieurs sources émergent dans la ville de Tlemcen et ses localités. Ces ressources sont principalement utilisées pour l'irrigation et la consommation en eau potable, mais elles sont de qualité variable. Au cours des dernières années, la qualité de l'eau est devenue un processus important et essentiel pour protéger la santé humaine ainsi que l'environnement.

Ce travail est une contribution à l'étude physico-chimique et à la détermination de l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'Ain Tamekchent. Il s'étale en trois chapitres :

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

- ✓ **1ère partie :** présentation géographique générale et localisation de la zone d'étude.
- ✓ **2ème 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 : Synthèse 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 : Étude hydrogéochimique: son but est la détermination de la qualité physico-chimique des eaux de la source, ses faciès, sa potabilité selon les normes algériennes et aussi son aptitude pour l'irrigation. Une étude statistique va dévoiler l'origine de la minéralisation des eaux de la source.

Enfin, nous résumons les résultats de ce travail sous forme d'une **Conclusion Générale**.

CHAPITRE I :
**Situation géographique et étude climatologique de
la région d'étude**

I.1 Situation géographique :

I.1.1. Situation géographique générale :

La région d'étude fait partie de la wilaya de Tlemcen, limitrophe au Maroc et occupe la zone occidentale de l'Oranie. Elle est située sur le littoral nord-ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 120 km (Wikipédia).

Géographiquement, Elle est limitée (figure 1) :

- Au Nord-Ouest, par la mer méditerranéenne,
- Au Nord-est, par la wilaya d'Ain Témouchent,
- A l'Est, par la wilaya de Sidi Bel-Abbés,
- A l'Ouest, par la frontière Alger- marocaine,
- Au Sud, par la wilaya de Naâma.

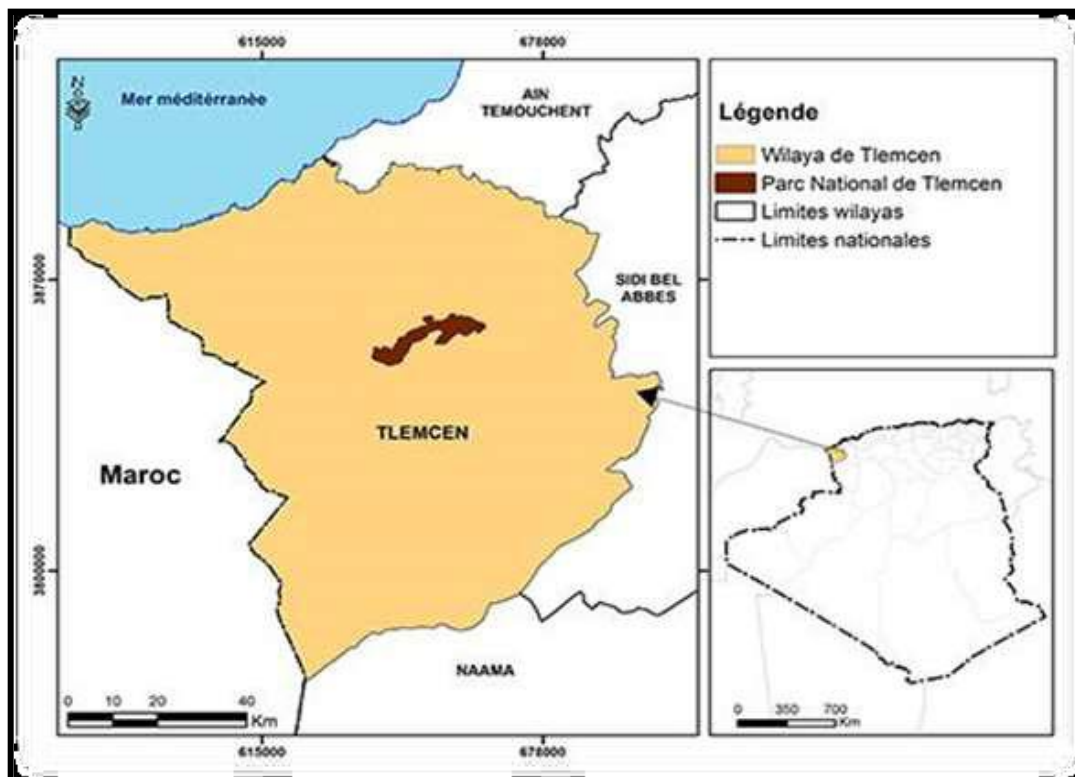


Figure.1:situation géographique de la wilaya de Tlemcen (Direction du parc de Tlemcen, 2017).

La wilaya de Tlemcen correspond au vaste bassin de l'oued Tafna. La diversité du relief explique la vocation de cette région qui constitue un paysage diversifié, où l'on rencontre quatre ensembles physiques distincts du Nord au Sud :

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

I.1.2 Situation géographique de la zone d'étude (Ain Tamekchent) :

La source d'eau « Ain Tamekchent » est située après le village de Béni Add (commune d'Ain Fezza), en allant vers Oued Lakhdar et Ouled Mimoun.

Elle a pour coordonnées :

$\left. \begin{array}{l} X : 667\ 600 \\ Y : 3859800 \\ Z : 680 \end{array} \right\}$

C'est une source à régime irrégulier, avec un débit moyen de 15.27L/s (Bensaoula.F, 2006).

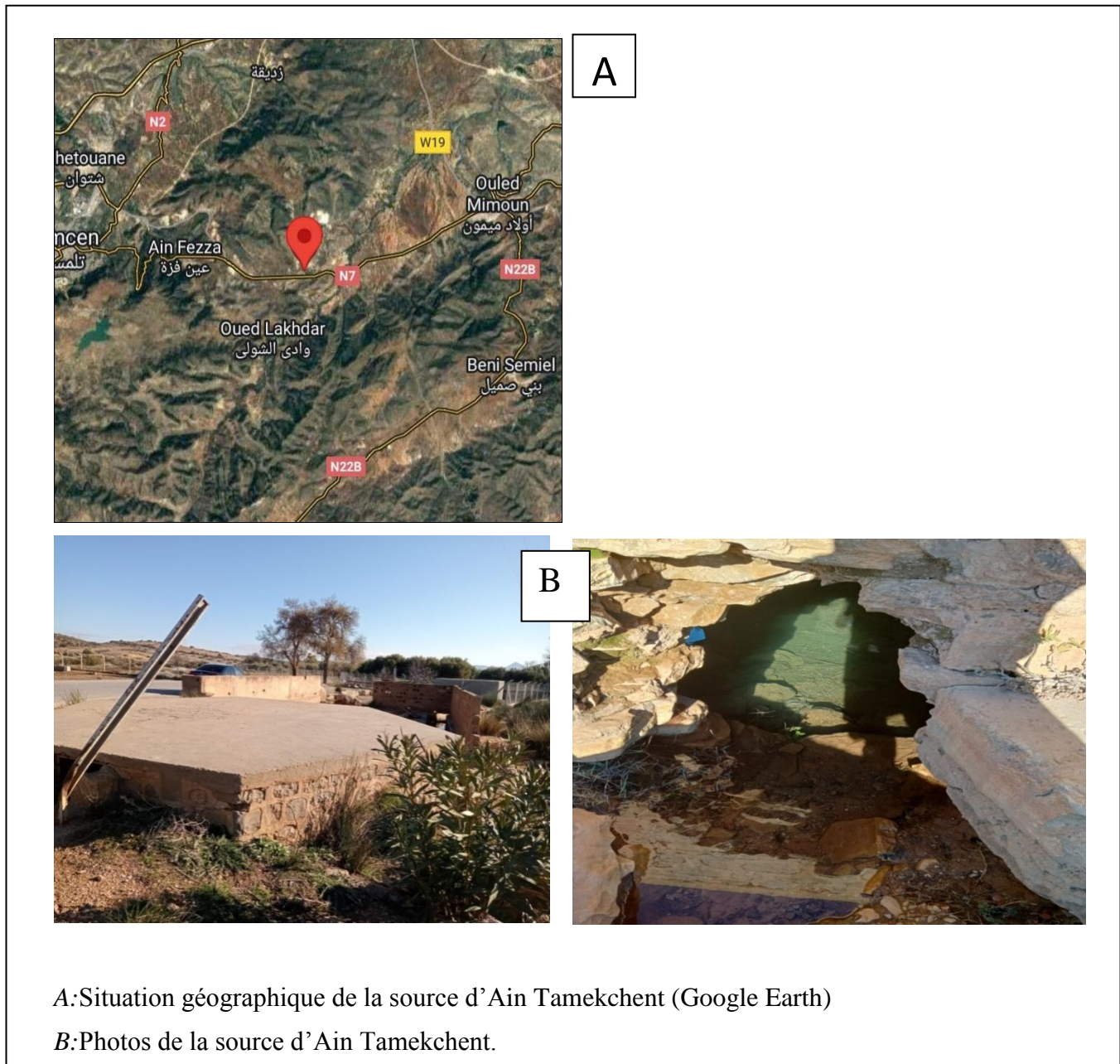


Figure 2: Situation géographique de la source Ain Tamekchent.

I.2. Etude climatologique de la région d'étude :

I.2.1 Introduction

Le climat est un ensemble de phénomènes qui se produisent dans une région, sur une longue période de temps et concerne l'étude des paramètres représentatifs, tels que la température et les précipitations.

Pour étudier le climat de la région, et par manque de données complètes sur la station d'Oued Chouly, nous avons utilisé les données du site « Nasa Power Data », pour la période allant de 1980 à 2021.

I.2.2 L'étude des paramètres climatologiques :

I. 2.2.1 Précipitations :

Les précipitations sont la quantité d'eau qui tombe sur le sol et qui se présente sous forme solide ou liquide.

a)Précipitations moyennes annuelles :

Tableau 01:Précipitations moyennes annuelles (1980-2021).

Année	1980-1981	1981-1982	1982-1983	1983-1984	1984-1985
P (mm)	348.04	511.52	184.56	363.86	268.93
Année	1985-1986	1986-1987	1987-1988	1988-1989	1989-1990
P (mm)	548.43	332.22	290.04	384.95	448.24
Année	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995
P (mm)	474.6	406.06	448.24	321.68	390.23
Année	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000
P (mm)	485.14	321.66	221.5	421.88	263.65
Année	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005
P (mm)	379.68	374.42	553.72	537.89	337.49
Année	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010
P (mm)	369.13	506.25	590.62	437.7	548.43
Année	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015
P (mm)	527.34	558.97	606.44	427.14	400.78
Année	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
P (mm)	416.59	348.03	632.8	326.95	290.03
Année	2020-2021				
P (mm)	309.61				

Les Variations des précipitations moyennes annuelles montrent que :

- La valeur maximale est enregistrée en 2017-2018 avec 632.8mm.
- La valeur minimale est enregistrée en 1982-1983 avec 184.56mm.
- La moyenne annuelle des précipitations est de 413.65mm.

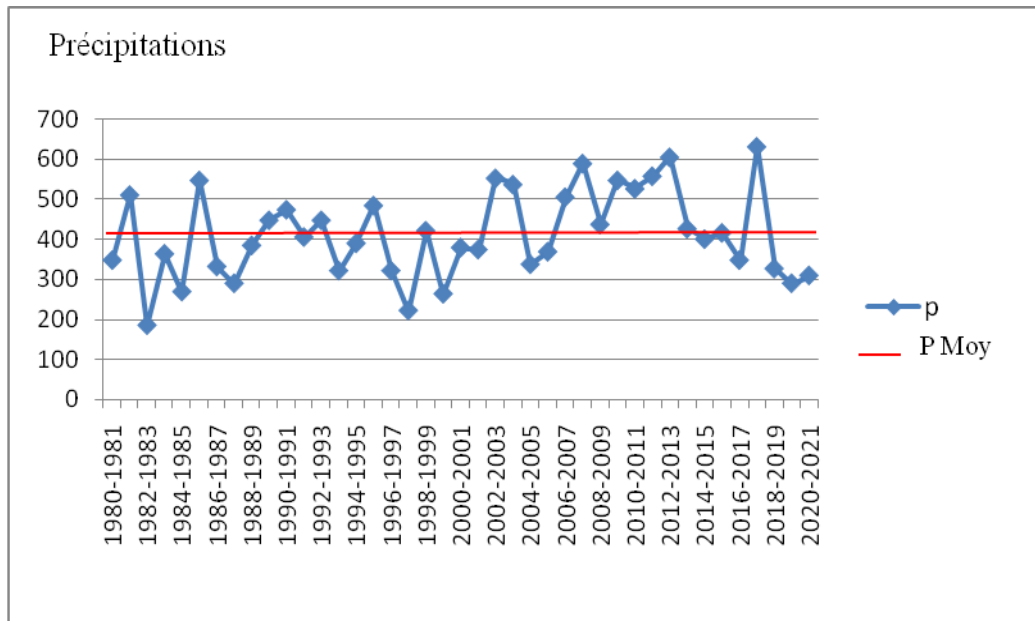


Figure 3: Variation des précipitations moyennes annuelles (1980-2021).

b) Précipitations moyennes mensuelles :

Tableau 02: Précipitations moyennes mensuelles (1980-2021).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	AT
P (mm)	24.56	38.75	60.89	42.72	54.15	44.76	49.13	44.18	35.09	9.84	2.28	7.31

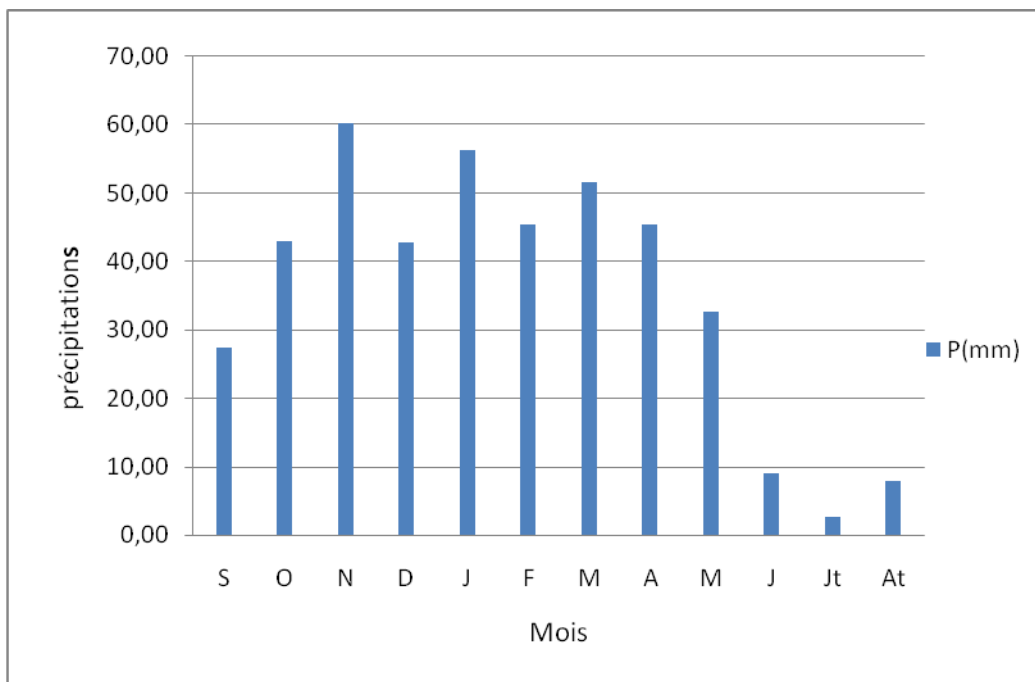


Figure 4: Variation des précipitations moyennes mensuelles (1980-2021).

D'après l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Fig.4), nous avons remarqué que le mois le plus humide est celui de novembre (60.89 mm) et juillet est le mois le plus sec (2.28 mm).

c) Les précipitations saisonnières :

Les quatre saisons de l'année sont :

-Automne : Septembre, Octobre, Novembre

-Hiver : Décembre, Janvier, Février

-Printemps : Mars, Avril, Mai

-Eté : Juin, Juillet, Août

Tableau 03:Précipitations saisonnières.

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Précipitations (mm)	124,20	141,63	128,40	19,42

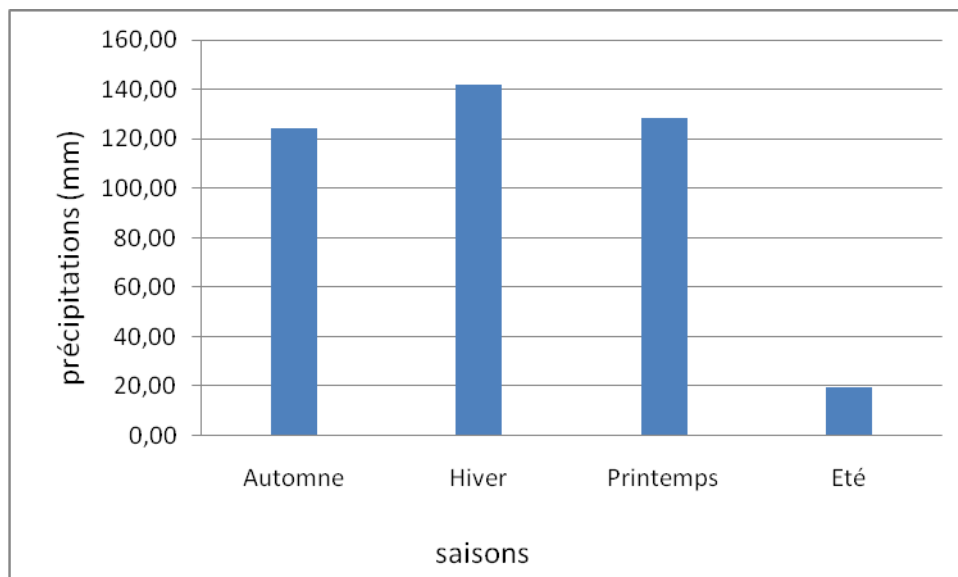


Figure 5: Variation des précipitations saisonnières.

En observant l'Histogramme des précipitations saisonnières, nous avons constaté que la quantité de pluie tombant en été est faible, ce qui provoque la sécheresse. L'hiver est la saison la plus humide, suivie du printemps et l'automne.

I .2.2.2 Températures :

Les températures moyennes mensuelles :

Tableau 04 : Températures moyennes, maximales et minimales.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	AT	Moyenne
Tmax	25,35	21,29	15,58	13,26	11,58	13,58	15,01	17,43	21,05	25,49	29,11	29,01	19,81
T min	20,01	16,03	10,67	8,31	7,14	6,62	10,39	12,16	14,38	18,27	23,9	24,65	14,38
T moy	22,68	18,66	13,12	10,78	9,36	10,10	12,70	14,79	17,71	21,88	26,50	26,83	17,09

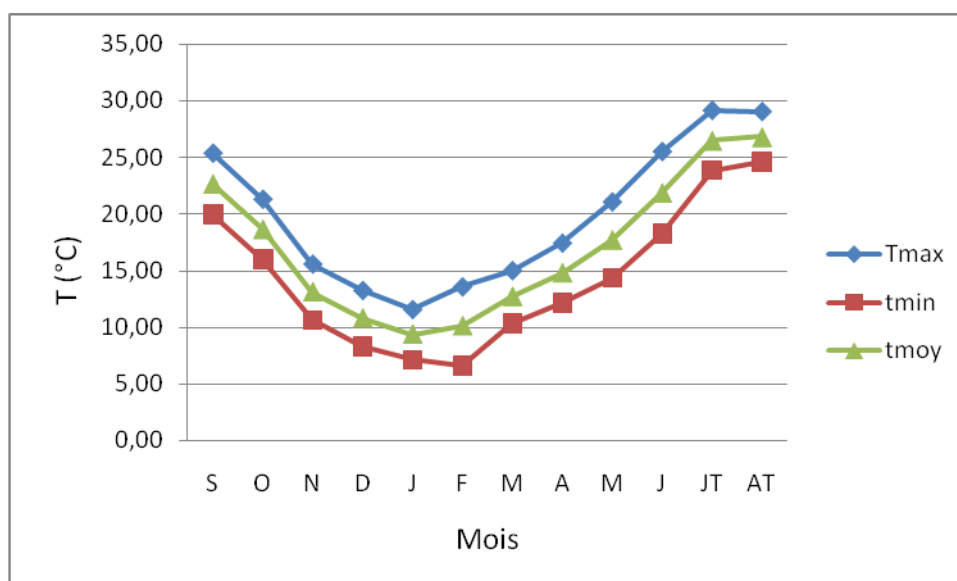


Figure 6: Températures moyennes, maximales et minimales.

Nous avons remarqué de la courbe des températures moyennes mensuelles (Fig.6) que la température moyenne maximale est enregistrée en août et juillet (26.87 °C et 26.66°C), tandis que la température moyenne minimale est observée en janvier (9.25°C). La température moyenne mensuelle est de 17.09°C.

I.2.2.3. L'étude du climat :

Pour étudier le climat, il existe plusieurs façons de calculer les données météorologiques, pour savoir quel type de climat existe dans cette région. Une étude climatique peut être réalisée à partir de :

- Méthodes de visualisation (graphiques), périodes sèches et périodes pluvieuses.
- Calcul d'indices climatiques, annuels et mensuels.

a) Méthodes graphiques (méthodes de visualisation) :

Tableau 05: Précipitations et températures moyennes mensuelles (1980-2021).

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	AT
P (mm)	24,56	38,75	60,89	42,72	54,15	44,76	49,13	43,10	35,09	9,84	2,28	7,31
T °C	22,68	18,66	13,12	10,78	9,36	10,10	12,70	14,79	17,71	21,88	26,50	26,83

Les courbes pluvio-thermiques :

D'après Gausson et Bagnouls, quand la courbe des précipitations dépasse celle de la température, on parle des mois humides, mais si la courbe des températures est au-dessus de celle des précipitations, on dit que les mois sont secs. Le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P=2T$).

T : Températures moyennes mensuelles

P : Précipitations moyennes mensuelles.

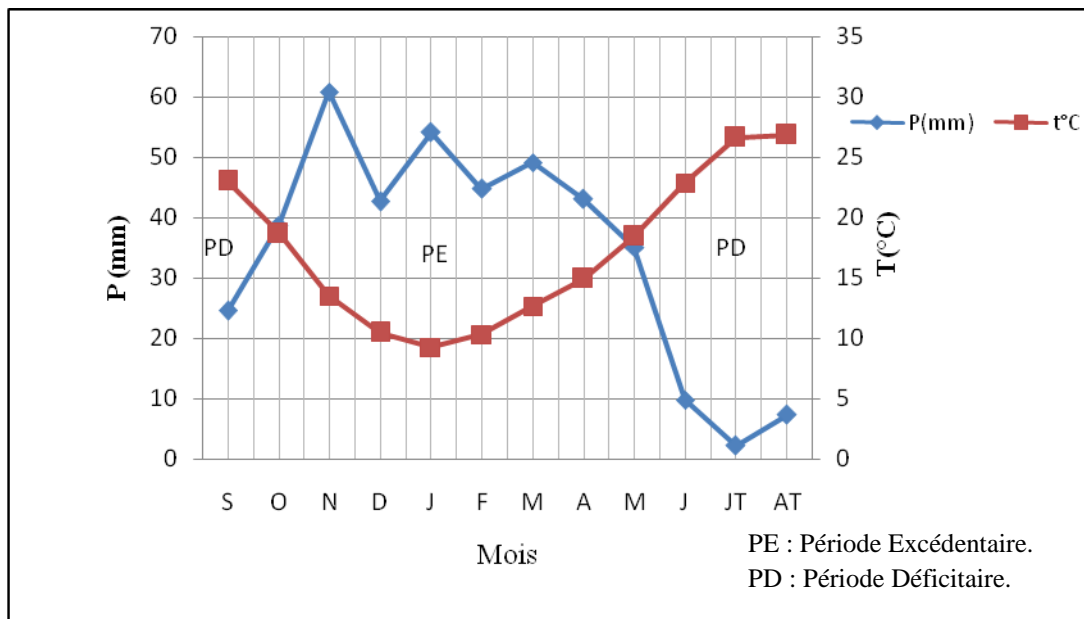


Figure 7: Diagramme pluvio-thermique de la région d'étude.

Le diagramme pluvio-thermique de la région d'étude montre :

- Une période excédentaire : commence du début d'octobre et se termine jusqu'au début du mois de mai.
- Une période déficitaire : s'étale sur le reste des mois de l'année.

B) Les indices climatiques :

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

Il est considéré comme l'un des indicateurs les plus importants qui jouent un rôle dans l'occurrence de la sécheresse, sur la base du rapport annuel des températures et des précipitations annuelles.

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

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

I_a : Indice d'aridité annuel.

Classification de DE Martonne.

Tableau 06:Indice d'aridité de DE Martonne

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

Tableau 07:Indice d'aridité annuel de DE Martonne.

P moy (mm)	Tmoy (°C)	Ia
413.65	17.09	15.26

La valeur calculée de l'indice d'aridité annuel est de 15.26, elle varie entre 10 et 20, donc le climat est **semi-aride** d'après les intervalles donnés, confirmé par le graphe ci-dessous.

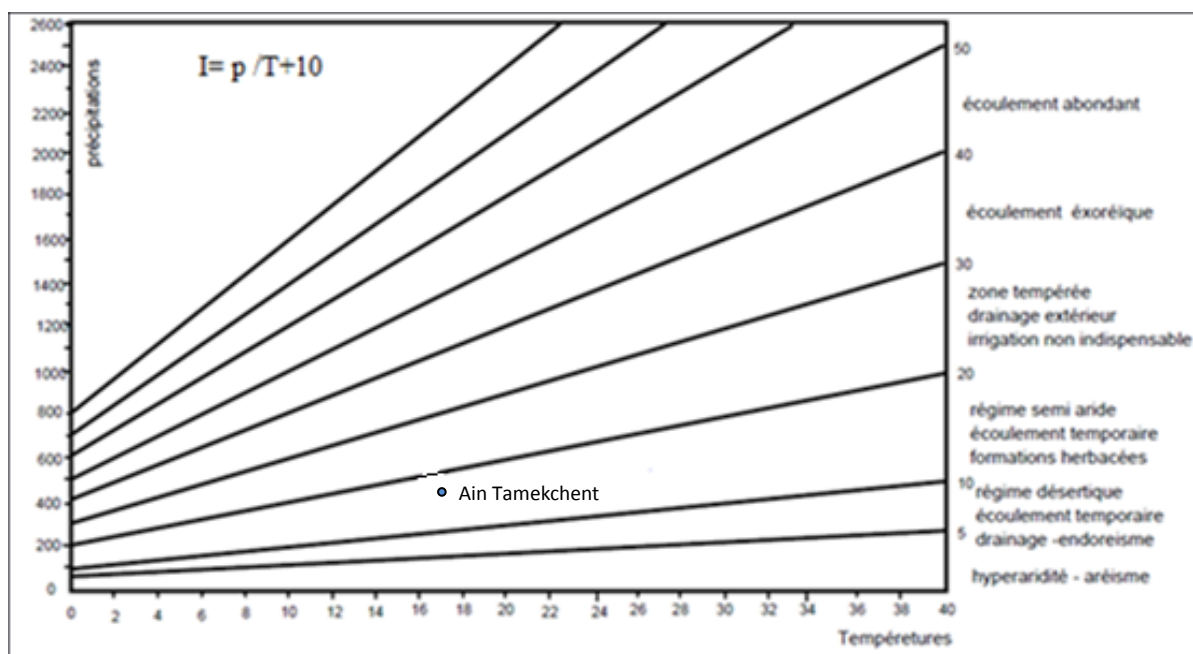


Figure 8: Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martonne.

2. 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 08:Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	AT
i	9.01	16.22	31.57	24.65	33.56	26.72	26.00	20.85	15.20	3.70	0.75	2.38
Type du Régime	St	S	T	T	T	T	T	T	S	Ha	Ha	Ha

Avec :

- **Ha** : Hyperaride.
- **D** : Désertique.

- **S:** Semi-arid.
- **St:** Step piqué.
- **T :** Tempéré.

3. Climagramme d'EMBERGER :

Consiste à reporter sur le Climagramme établi par Emberger, en ordonnées la valeur de Q_2 et en abscisses, la moyenne des minimas du mois le plus froid.

$$Q_2 = \frac{(1000 * p)}{\left(\frac{M+m}{2}\right) (M - m)}$$

-**P** : Précipitations moyennes annuelles (mm)

-**M** : moyenne des Maximas de la température en ($^{\circ}$ K) du mois le plus chaud.

-**m** : moyenne des minimas de la température en ($^{\circ}$ K) du mois le plus froid.

- **Q_2** : Quotient pluvio-thermique d'Emberger.

-Avec : $K = T (^{\circ}\text{C}) + 273$.

Tableau 09:Indice d'Emberger de la région d'étude.

P (mm)	M ($^{\circ}$k)	m ($^{\circ}$k)	Q_2
413.65	302.19	279.62	63

Le quotient Q_2 est égal à 62.83 calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de 41 ans (1980/2021). Cette valeur caractérise un climat semi-aride (Fig.9).

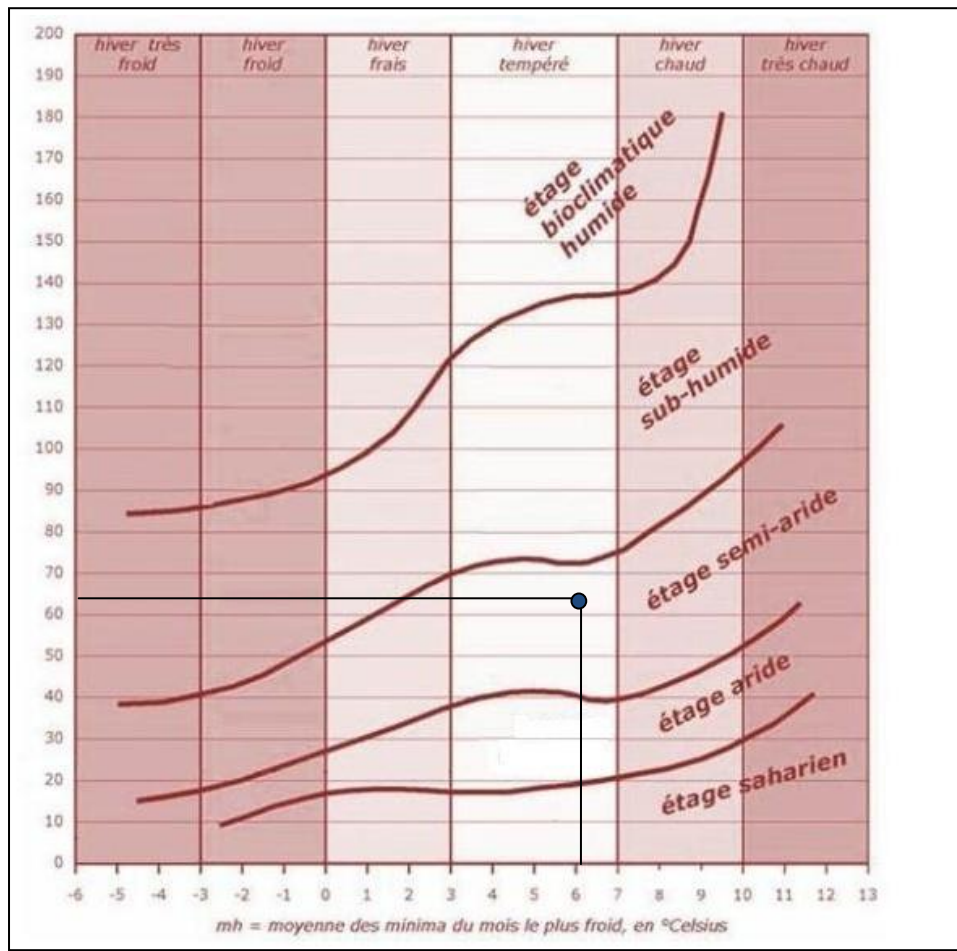


Figure 9: Climagramme d'Emberger.

I.3 Conclusion :

La région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride. Les précipitations moyennes annuelles sont de 413.65 mm et la température moyenne mensuelle est de 17.09 °C. La température moyenne maximale est enregistrée en août et juillet (26.87 °C et 26.66 °C), tandis que la température moyenne minimale est observée en janvier (9.25 °C).

La méthode des courbes pluvio-thermiques, nous a permis de déterminer la période excédentaire, allant du début octobre jusqu'au début du mois de mai et une période déficitaire qui s'étend sur les autres mois de l'année.

Chapitre II : Synthèse Géologique et Hydrogéologique

II.1 Introduction

La qualité physico-chimique des eaux souterraines et l'origine de leur minéralisation sont influencées par les formations géologiques qui l'encaissent. Pour cela, il sera judicieux d'étudier la nature lithologique et le comportement hydrogéologique des formations où émerge la source d'Ain Tamekchent.

II. 2. Géologie de La Région.

II .2 .1. Description litho-stratigraphique :

La région d'étude fait partie du couloir Est des Monts de Tlemcen qui constituent un édifice régulier, comportant essentiellement des terrains mésozoïques et cénozoïques. Les assises sédimentaires attribuées au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur sont principalement formées de carbonates.

La figure, ci-dessous, montre la succession litho-stratigraphique des formations géologiques. Notons qu'elles présentent un changement de faciès latéral, une variation d'épaisseur ainsi qu'une dolomitisation très irrégulière (d'après les travaux de Benest, 1985, Collignon, 1986, Bensaoula.F, 2006 ...etc.). La description des formations est inspirée de leurs travaux.

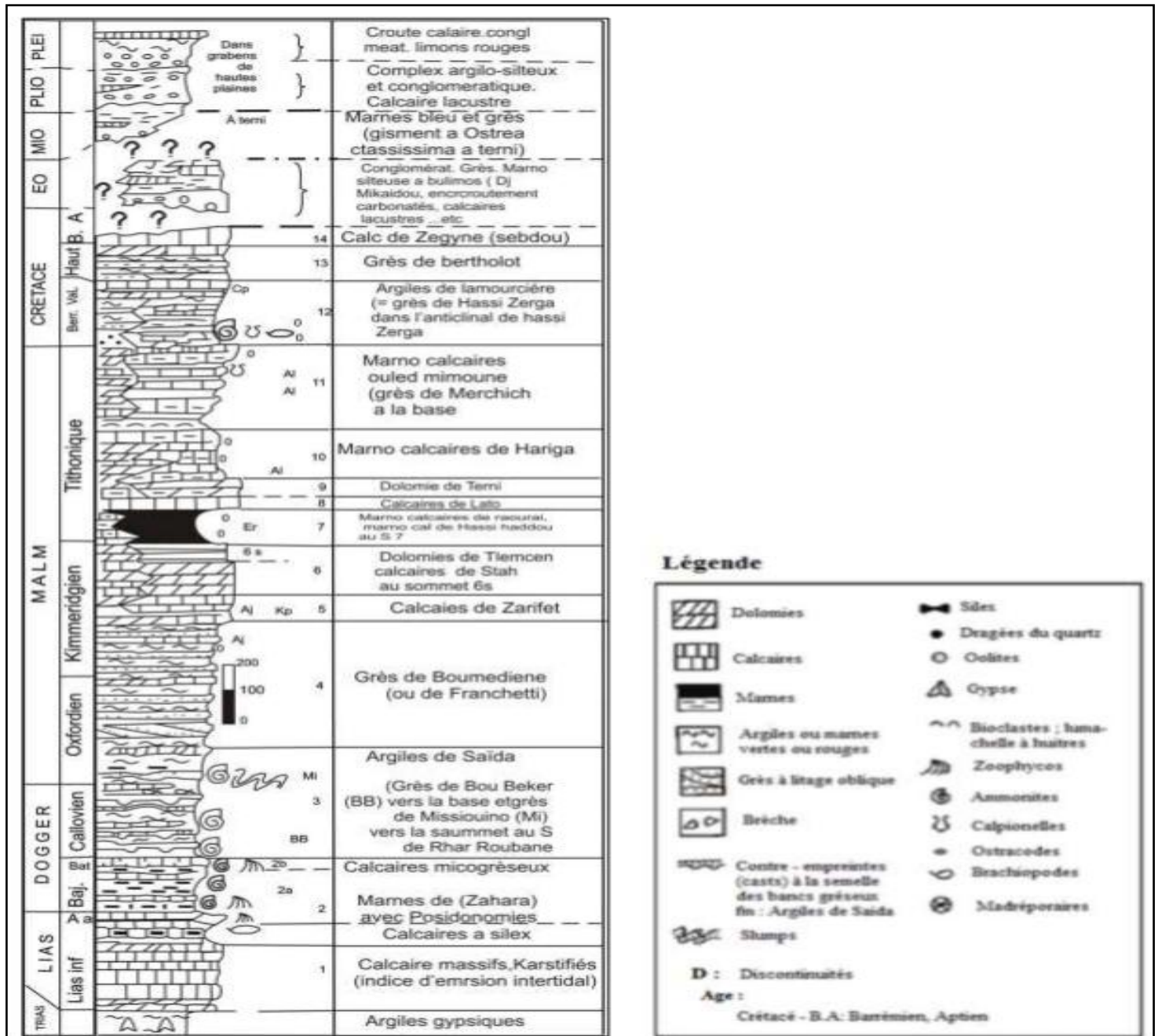


Figure 01: Colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu' aux hautes plaines.

(Benest .M et al, 1999).

A. Le Secondaire :

1 .Jurassique :

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

➤Le lias et le dogger :

Les terrains carbonatés du Lias et du Doggerne sont visibles qu'à la faveur des horsts de Ghar Roubane et du Djebel Tenouchéfi. Le Lias inférieur et moyen correspond à des calcaires massifs de plus de 200m d'épaisseur (Bensaoula.F, 2006).

➤Les argiles de Saïda :

Elles constituent la base du Jurassique. Elles correspondent à des dépôts argileux et marneux parfois schisteux, à passées gréseuses. Cette formation est attribuée au Callovo-Oxfordien.

➤Les grès de Boumediene :

Il s'agit d'un ensemble lithologique à dominance gréseuse qui affleure aux environs de Tlemcen, d'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur. Ces grès forment de gros bancs séparés par des inter-lits argileux de couleur verte et parfois brune. Dans le tiers supérieur, on note la présence d'argile «lie de vin», avec au sommet quelques passées marneuses et calcaires. Cette formation reposerait sur les argiles de Saïda.

➤Les calcaires de Zarifet :

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

➤Les Dolomies De Tlemcen :

Largement représentées dans la zone d'étude, elles affleurent autour d'Ain Fezza, et dans le bassin versant d'Oued Lakhdar. Ces dolomies donnent des reliefs ruiniformes dans lesquels la stratification est difficilement reconnaissable. Il s'agit de dolomies cristallines grises à patine rousse à cassure grise, parfois rousse avec de nombreuses cavités remplies de calcite. Benest. M (1982) donne à l'ensemble des calcaires de Zarifet et des dolomies de Tlemcen un âge Kimméridgien supérieur.

➤Les calcaires de Stah :

Ils sont définis par Benest. M en 1972 comme des calcaires massifs micrites en bancs épais, épargnés de la dolomitisation à patine gris clair. Ces calcaires sont dépourvus de passées marneuses. En revanche, dans d'autres secteurs cette formation admet des intercalations marneuses (Bensaoula.F, 2006).

➤Les Marno- calcaires de Raourai :

D'âge Tithonique inférieur, en 1972, Benest.M les désigne sous le nom de " Marno calcaires de Raourai", car ils sont bien exposés au Djebel Raourai. Ces des marnes grises, blanchâtres en surface, où s'intercalent de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs. Cette formation est limitée à sa base par les calcaires de Stah et à son sommet par les calcaires du Lato ou par les premières assises des dolomies de Terni. Cette formation affleure particulièrement sur le plateau de Terni, dans le Djebel Lato, à l'Est d'Ain Fezza et à Ouled Mimoun.

➤ **Les calcaires de lato :**

Définis par Benest.M en 1972 : Il s'agit de micrites et de pelmicrites à stratifications obliques, en bancs épais. A leur partie supérieure, se trouvent des laminites noires qui peuvent contenir quelques rubanements de silex.

➤ **Les dolomies de terni :**

Correspondent à la corniche au-dessus des calcaires du Lato, leur épaisseur est d'environ 50m dans la zone de Sebdou. Dans une grande partie des Monts de Tlemcen, les dolomies de Terni peu fossilifères montrent un faciès constant (Bensaoula.F, 2006). Elles ont un aspect ruiniforme et forment les sommets des Djebels Nador et Terni. Ces dolomies sont parfois vacuolaires, parfois massives avec de nombreuses stratifications obliques qui permettent de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen. Doumergue (1910) les a rangées dans le Kimméridgien supérieur, alors que Benest .M (1982) leur donne un âge Tithonique inférieur.

➤ **Les Marno-calcaires d'Hariga :**

Ont été définis par F. Doumergue (1910) sous le nom de «calcaires, marnes et grès de Merchich». Benest. M (1972) les désigne sous le nom de "Marno -calcaires d'Hariga", car ils sont bien représentés au Djebel Hariga. Cette formation comprend une alternance de marnes et de calcaires. Benest. M (1982) lui donne un âge Tithonique inférieur.

➤ **Les Marno-Calcaires d'Ouled Mimoun :**

Cette formation est composée essentiellement de grès et d'argiles à la base (grès de Merchich), puis d'une alternance de calcaires et de marnes. La limite inférieure de cette formation correspond à l'apparition des grès de Merchich sur les rebords sud du plateau de Terni (Benest.M, 1985). La formation dans la région d'Ouled Mimoun atteint une épaisseur de 500 à 700 m. A la base, on note l'existence de bancs gréseux. La série est attribuée au Tithonien supérieur et Berriasien inférieur (Bensaoula.F, 2006).

2 .Le Crétacé :

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

➤ **Les argiles de Lamoricière :**

D'âge (Hauterivien à Berriasien inférieur). Cette formation est argilo-gréseuse, nettement calcaires au sommet qui affleure au niveau de Hassi –Zerga.

➤ **Les grès de Berthelot :**

D'âge Hauterivien, ces grès caractérisés par une récurrence de la smaltite mais surtout par la présence du chlorite La base, riche en stratifications obliques, est marquée par un banc de dolomie pulvérulente (Benest.M, 1985).

➤ **Les calcaires de Zigyne :**

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

B .Le Tertiaire :

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

3 .L'Eocène :

Ensemble gréseux, avec passage de bancs en poudingues. Dans des endroits, il affleure sur une très faible surface, parfois, le massif est constitué de grès siliceux jaunes à rougeâtres, assez friables à ciment argileux, alternant avec des marnes argileuses verdâtres.

4. Le Miocène :

❖Inférieur :

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

❖Moyen : (Serravallien)

Il est constitué par une épaisse série de marnes grises ou bleutées, qui par altération deviennent ocres par altération. Au sein de cette série s'intercalent de nombreux lits de grès jaunes à gris (Benest M.1985).

❖Supérieur : (Tortonien)

Représenté par des grès durs de couleur jaune d'or ou citron avec, par endroit, de minces passées marneuses, peu consolidées. 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).

C. Le plio-quadernaire :

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

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

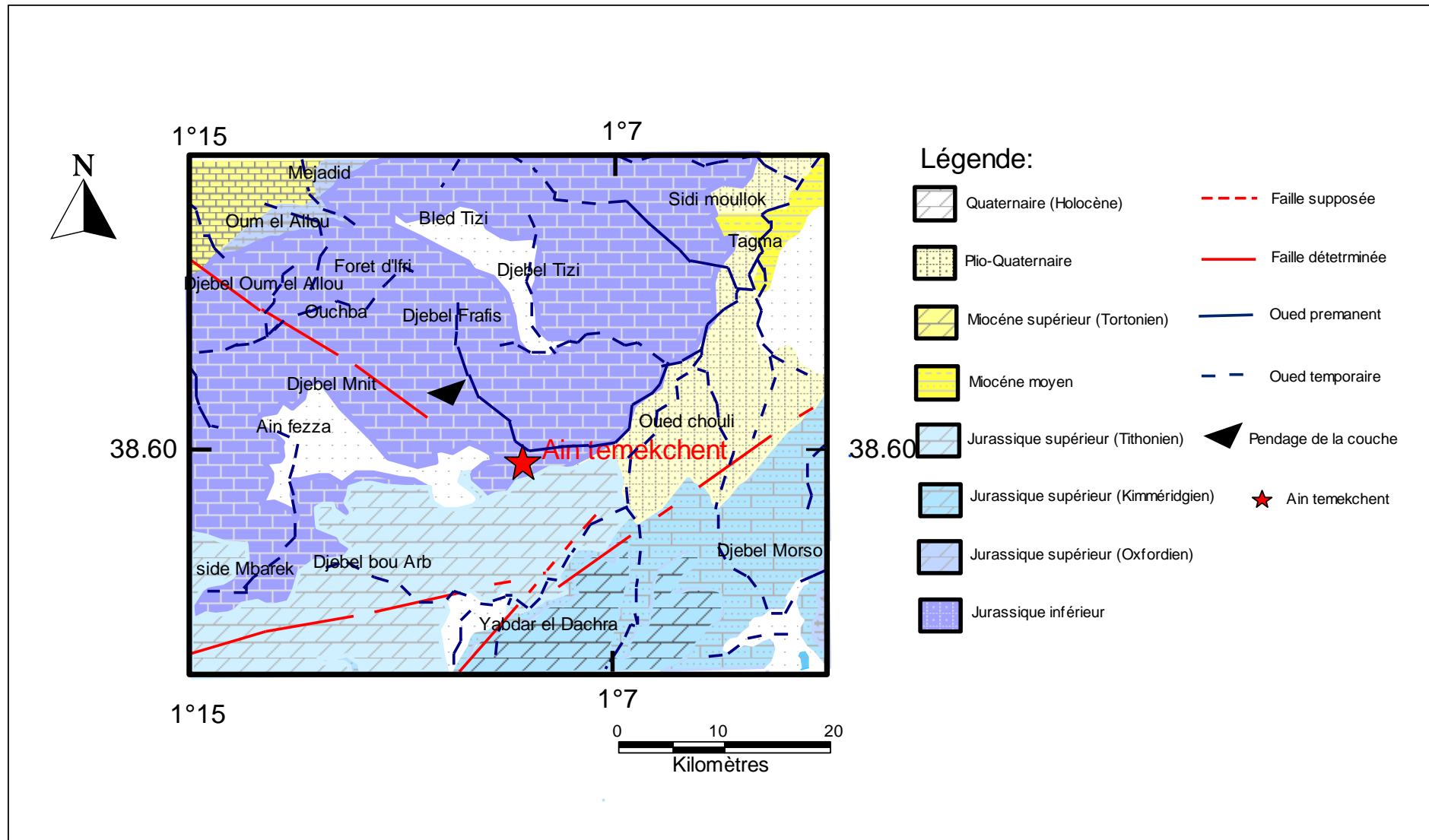


Figure 2: Extrait de la carte géologique du secteur d'étude. (ANRH, 2008) 1/200000

L'analyse litho- stratigraphique des différentes formations (Fig. n°2) nous a permis de mettre en évidence leurs diversités ; ce sont surtout des formations carbonatées du Jurassique et du Crétacé : calcaires, dolomies, grès....etc.

II.2.3. Analyse Structurale :

La tectonique se traduit par un massif jurassique carbonaté peu plissé. La chaîne montagneuse nord-sud forme un anticlinal : c'est un pli de couverture souple bordé sur son flanc et représente un repli synclinal, sa forme en cuvette en fait un bassin de réception des eaux et il donne naissance à Oued Tafna et à Oued Lakhdar. La faille d'effondrement Nord (F2) est orientée Sud –Ouest, Nord-Est. Plus à l'Est, une direction Est- Ouest est présente jusqu'à l'agglomération de l'Oued Lakhdar où elle rencontre l'accident du fossé d'effondrement de Tlemcen (Fig. 03).

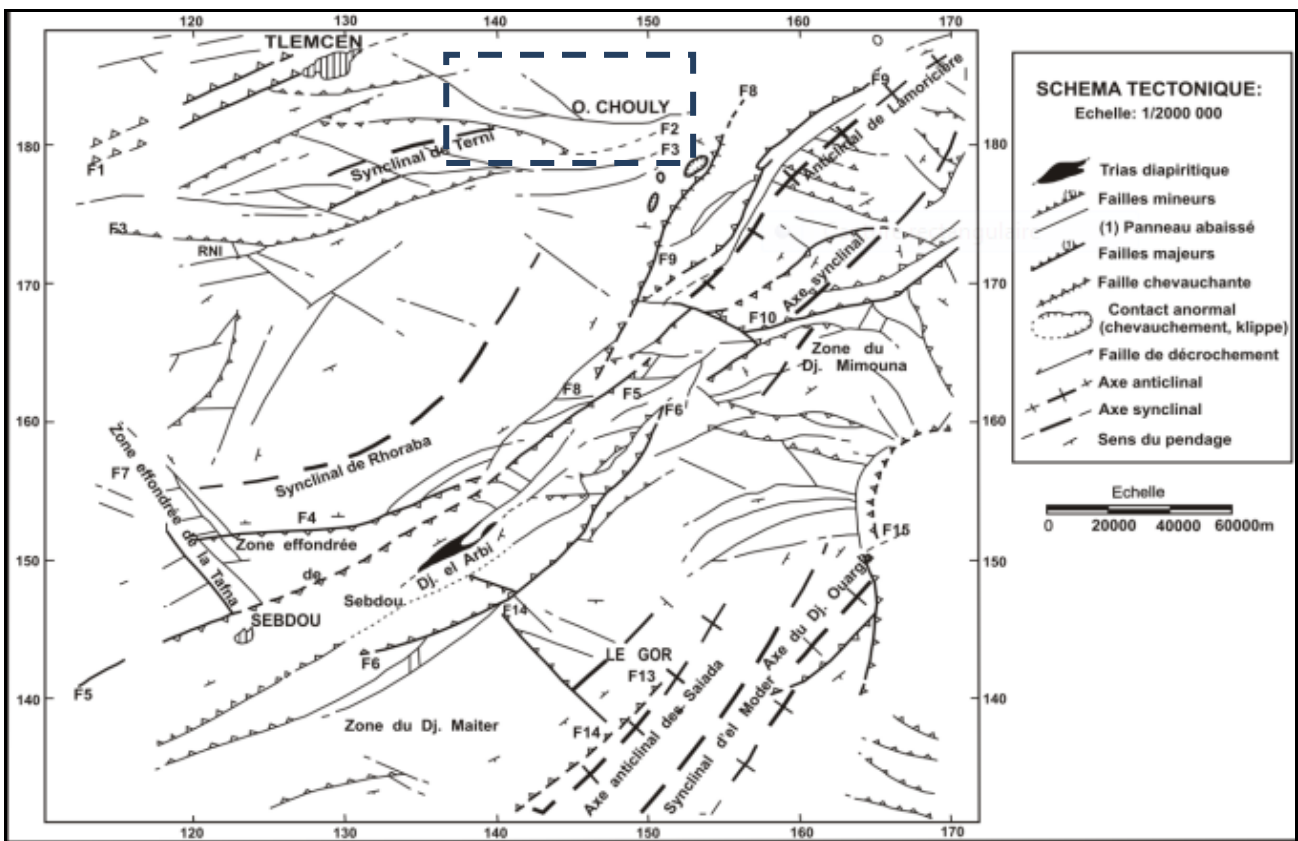


Figure 3:Schéma tectonique du bassin de la Tafna (Auclair et Biehler, 1967 in Gherissi. R 2018)

II.2 4. Les principales phases tectoniques :

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

1. Une Phase Distensive éo Eocrétacé :

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

2. Phase atlasique :

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

-Les mouvements compressifs :

Développés dans un pays émergé, à la suite d'un important épisode régressif consécutif au soulèvement de certaines régions de l'avant pays alpin, bordant au Nord les hautes plaines oranaises. Ces mouvements donnent des plis d'orientation moyenne E-W, à grand rayon de courbure.

-Les mouvements distensifs :

Sont contrôlés par le ré-jeu des grands accidents du socle. La fracturation s'est traduite par un système de failles conjuguées N 55°-80 et N 140° responsables de la mise en place des principales structures : horst de Ghar Roubane (Elmi S, 1973), massif de Tenouchefi (Dubel, 1971), fossé de Sebdou et de la Tafna. Ces failles ont eu pour conséquence d'accentuer le processus d'érosion.

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

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

4. Une phase à dominante distensive :

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

5. Une phase récente (Plio-Quaternaire) :

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

II.3. Hydrogéologie.

II.3.1. Introduction :

Mis à part les nappes alluviales, telles que la nappe de Maghnia, la nappe de Zriga, la nappe d'Hennaya, la nappe de Remchi... (Fig.4) qui sont intensément exploitées à des fins agricoles et d'alimentation en eau potable, les Monts de Tlemcen sont souvent appelés le château d'eau naturel de l'Ouest algérien, ils occupent la partie centrale de la wilaya et représentent 28% de la superficie totale (Bensaoula.F, 2006). En effet, par leur structure géologique, ils représentent un vaste horst où affleurent principalement les formations carbonatées du Jurassique supérieur et du Crétacé basal. Ces formations sont largement karstifiées et constituent les aquifères les plus importants de la wilaya (Bensaoula.F, 2006).

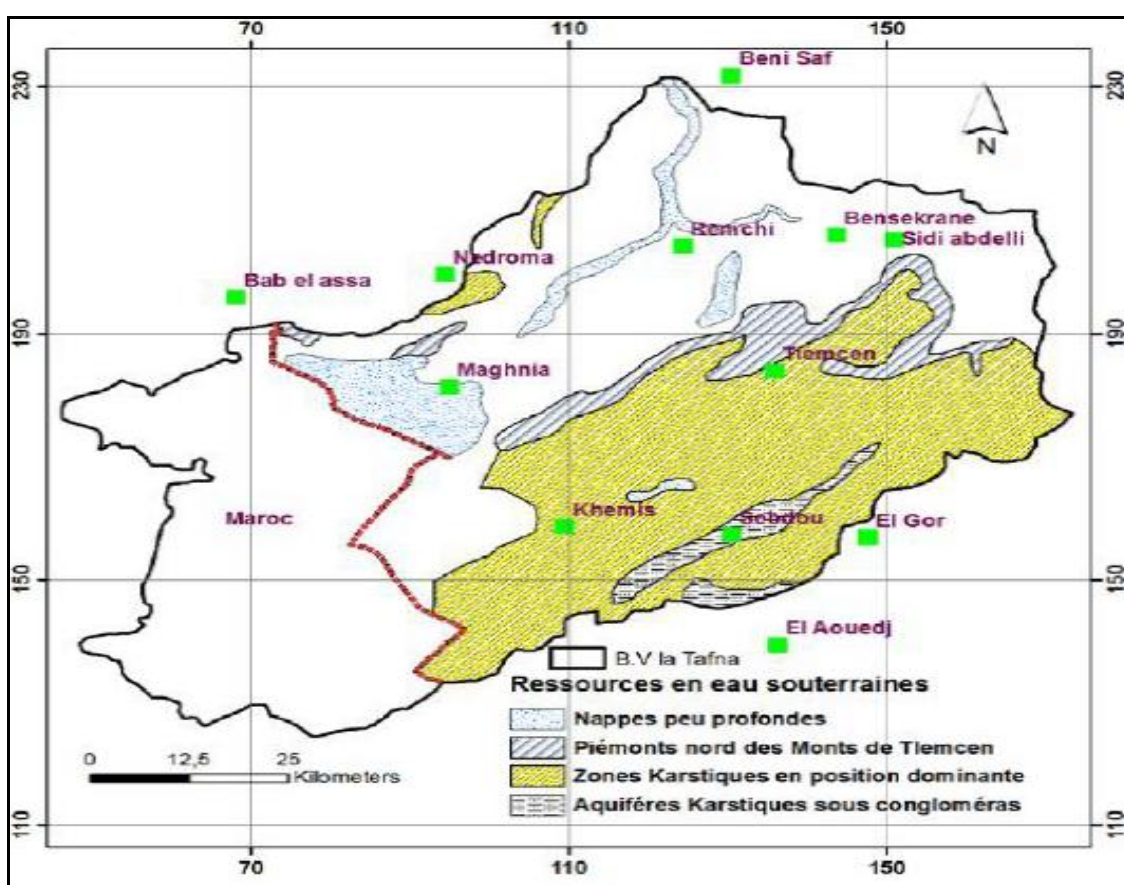


Figure 4: Zones aquifères de Tlemcen (Collignon. B, 1984 ; in Ben moussat .A, 2012).

II.3.2 Propriétés hydrogéologiques des formations :

A. Les formations du Jurassique :

Selon les études antérieures, Collignon (1986) et Bensaoula.F (1992 et 2006), les formations calcaires et dolomitiques sont en grande partie fissurées et karstifiées, ce qui leur confère 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.

1. Les formations carbonatées du Lias et du Dogger :

Elles sont très fissurées et karstifiées. Leurs aquifères sont très productifs.

2. Les grès de Boumediene :

Les grès de Boumediene 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.

3. Les dolomies de Tlemcen :

Occupent une grande partie du massif tlemcenien avec les calcaires de Zarifet à leur base. Ces roches sont diaclases et intensément karstifiées. Elles présentent une perméabilité de fissures favorable à l'établissement d'un parcours des eaux souterraines, d'où des changements fréquents de directions.

4. Les dolomies de Terni :

Elles sont plus micritique 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).

Les calcaires et les dolomies du Jurassique sont les formations qui contiennent les meilleures propriétés transmissives (Ben saoula. F, 2006).L'intensité de la Karstification et des fissures confèrent à ces formations un grand intérêt hydrogéologique.

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.

II. 4. Conclusion :

L'analyse litho- stratigraphique et structurale portée sur les différentes formations de la zone d'étude nous a permis d'identifier leurs caractéristiques et de conclure que les calcaires et les dolomies du Jurassique est la formation qui a les plus vastes affleurements. La tectonique joue un rôle important dans la structure géologique du secteur étudié. Les failles et les diaclases ont contribué dans le développement de la Karstification en profondeur et l'émergence de la source.

CHAPITRE III : Étude Hydrogéochimique

III 1.Introduction :

La chimie des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie beaucoup d'informations afin de comprendre les phénomènes qui se produisent entre la roche et l'eau, sachant que la minéralisation des eaux souterraines provient de l'acquisition des éléments chimiques par dissolution des sels minéraux.

Cette étude nous a permis de suivre l'évolution temporelle des différents éléments chimiques, d'apprécier leur qualité vis-à-vis de la potabilité et de l'irrigation et d'identifier leurs origines. Les données physico-chimiques que nous avons utilisées, ont été effectuées par les laboratoires de l'ADE et de l'ANRH, sur une période allant de 06/03/2004 au 01/07/2018.

III 2. La Balance Ionique :

Pour contrôler le pourcentage d'erreur, nous avons calculé la balance ionique donnée par la loi suivante :

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

r : Quantité en réaction, en Meq/L.

r⁻ : Quantités en réaction des anions.

r⁺ : Quantités en réaction des cations.

BI : balance ionique, en %.

Si :

BI ≤ 2% Bonne analyse.

2% < BI < 5% Analyse acceptable.

BI > 5% Mauvaise analyse.

La balance ionique calculée pour les eaux de la source d'Ain Tamekchent varie entre bonne et acceptable. Les résultats obtenus sont portés dans l'annexe n°01.

III.3. Études des paramètres physico-chimiques :

-Les analyses physico-chimiques sont déterminés par :

1- Les paramètres physiques :

-Le pH.

-La conductivité.

-La minéralisation.

-Le résidu sec.

2- Les paramètres chimiques :

Les éléments majeurs :

Cations : Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺.

Anions: Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻², NO₃⁻

III .4. Interprétation et discussion :

4 .1. Les paramètres physiques :

4.1.1. Le potentiel d'hydrogène pH :

Il indique la concentration d'ions d'hydrogène (H^+) présents dans l'eau, c'est à dire si une eau est acide ou basique (alcaline). Le pH est une échelle logarithmique qui varie de 0 à 14 et qui traduit l'acidité ou l'alcalinité d'une solution, la neutralité étant à pH 7.

Une solution à pH=7 est dite neutre.

Une solution à pH<7 est dite acide.

Une solution à pH>7 est dite basique.

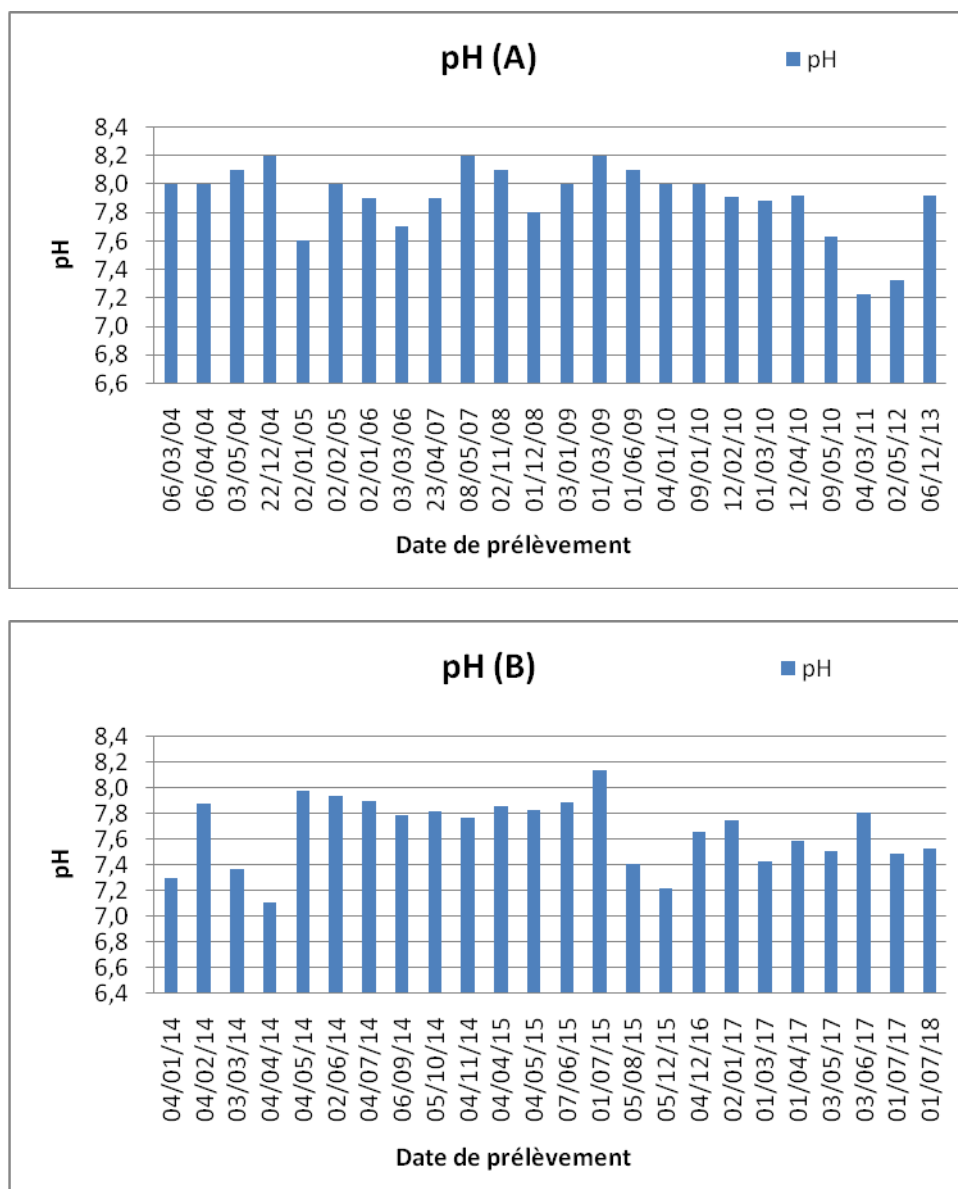


Figure 1(A et B) : Variation de pH.

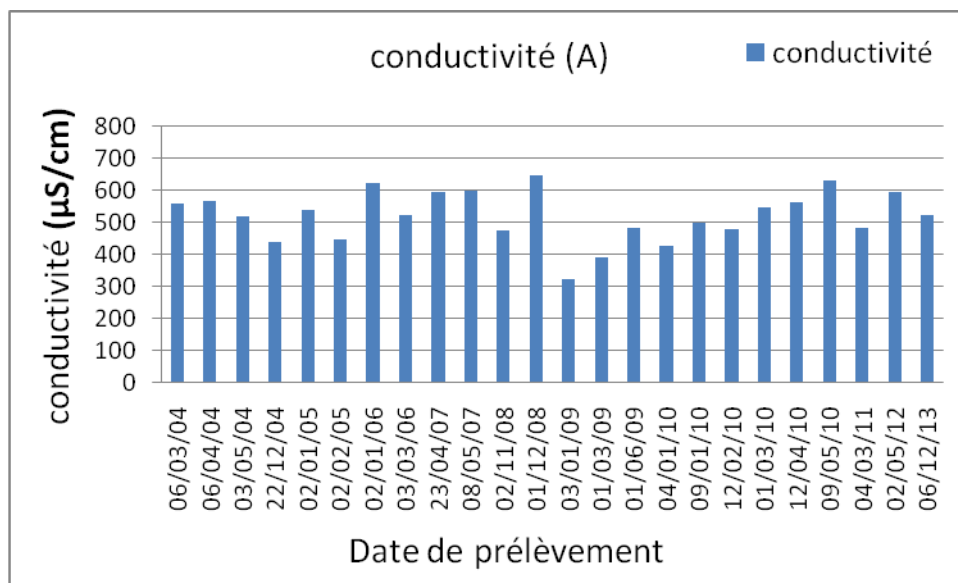
Les valeurs du pH sont comprises entre 8,2 et 7,1. La norme définie par la réglementation algérienne est comprise entre 6,5 et 9. Les eaux de la source sont conformes à cette norme.

4.1.2 La conductivité électrique (CE) :

La mesure de la conductivité électrique des minéraux de l'eau est utilisée avec une évaluation rapide. Dans le tableau suivant, la relation entre le métal et la conductivité dans l'eau est indiquée. (Rodier .J, 2009)

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

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



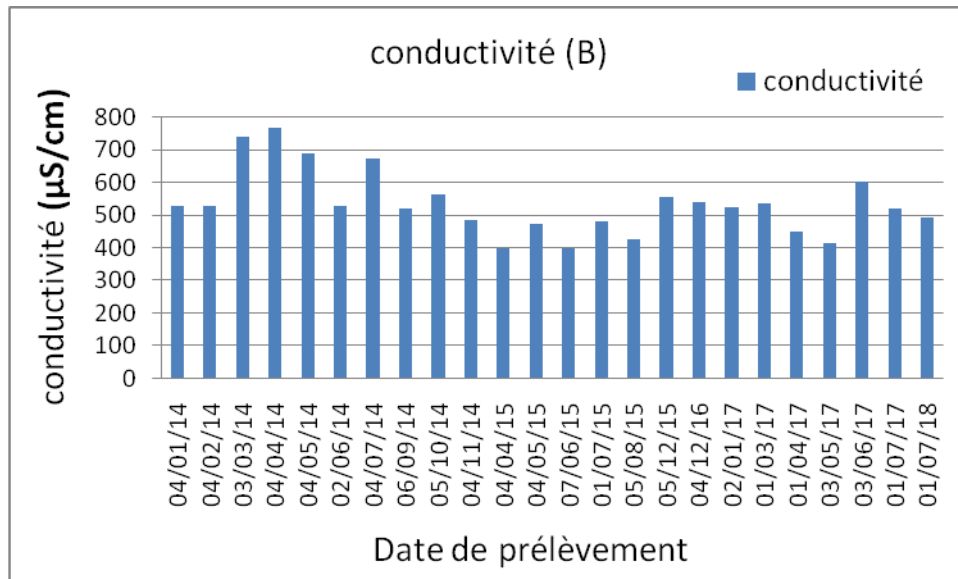


Figure 2: Variation des conductivités électriques.

Les données des conductivités électriques étudiées montrent que la valeur la plus basse était de 324 µS/cm (03/01/09) et la valeur la plus élevée était de 765 µS/cm (04/04/2014). Elles sont inférieures à la norme (2800 µS/cm).

4.1.3 La minéralisation :

La minéralisation correspond aux éléments présents dans l'eau qui ont la capacité de se décomposer ou de se dissoudre. Selon Rodier .J, 2009.

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

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

L'annexe n°03 donne les valeurs de la minéralisation et la classification de la conductivité.

4.1.3 La dureté totale (TH) :

Appelée Titre Hydrotimétrique d'une eau. Il correspond surtout aux ions calcium et magnésium. La dureté est appelée calcique ou magnésienne. Elle s'exprime en Milliéquivalent par litre (Meq/L) ou en degré français (F°).

Quant au calcul de la dureté totale, il se présente sous la forme suivante :

$$TH = THCa^{2+} + THMg^{2+}$$

Tableau 3: Classification des eaux en fonction du titre hydrotimétrique.

TH (F°)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 35	≥35
Eau	Très douce	Douce	Moyennement Dure	Dure	Très dure

Tableau 4: Valeurs et classification de la dureté totale.

Date	TH (F°)	TH mg/L en CaCO ₃	Classification	Date	TH (F°)	TH mg/L en CaCO ₃	Classification
06/03/04	29,91	299,11	Dure	04/01/14	29,77	297,67	Dure
06/04/04	31,23	312,33	Très dure	04/02/14	31,73	317,32	Dure
03/05/04	25,59	255,94	Dure	03/03/14	33,06	330,65	Dure
22/12/04	22,53	225,30	Moyennement Dure	04/04/14	30,43	304,28	Dure
02/01/05	31,35	313,52	Très dure	04/05/14	32,66	326,56	Dure
02/02/05	21,21	212,08	Moyennement Dure	02/06/14	29,03	290,27	Dure
02/01/06	37,34	373,37	Très dure	04/07/14	29,63	296,27	Dure
03/03/06	27,04	270,35	Dure	06/09/14	27,60	276,04	Dure
23/04/07	43,05	430,50	Très dure	05/10/14	31,16	311,59	Dure
08/05/07	29,79	297,89	Dure	04/11/14	26,79	267,86	Dure
02/11/08	25,29	252,88	Dure	04/04/15	24,88	248,85	Moyennement Dure
01/12/08	35,20	352,05	Très dure	04/05/15	24,76	247,63	Moyennement Dure
03/01/09	15,24	152,45	Moyennement Dure	07/06/15	22,89	228,94	Moyennement Dure
01/03/09	18,59	185,90	Moyennement Dure	01/07/15	24,24	242,37	Moyennement Dure
01/06/09	35,60	355,98	Très dure	05/08/15	26,63	266,32	Dure
04/01/10	24,32	243,25	Moyennement Dure	05/12/15	31,24	312,38	Dure
09/01/10	26,07	260,72	Dure	04/12/16	31,36	313,60	Dure
12/02/10	24,76	247,63	Moyennement Dure	02/01/17	33,15	331,47	Dure
01/03/10	26,04	260,37	Dure	01/03/17	32,14	321,36	Dure
12/04/10	25,81	258,14	Dure	01/04/17	23,27	232,73	Moyennement Dure
09/05/10	26,22	262,20	Dure	03/05/17	25,38	253,84	Dure
04/03/11	22,92	229,20	Moyennement Dure	03/06/17	33,85	338,51	Dure
02/05/12	28,51	285,06	Dure	01/07/17	26,83	268,34	Dure
06/12/13	32,94	329,37	Dure	01/07/18	22,23	222,27	Moyennement Dure

Les valeurs de la dureté totale des eaux sont comprises entre 152,45 mg/L et 430,50 mg/L en CaCO₃. Elles sont classées entre moyennement dures, dures et très dures. Elles sont au-dessous de la norme prescrite à 500 mg/L.

4.1.4 Le résidu sec :

Le résidu sec est déterminé sur l'eau non filtrée, ce qui permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles, obtenues après évaporation de l'eau (RODIER. J ,2009).

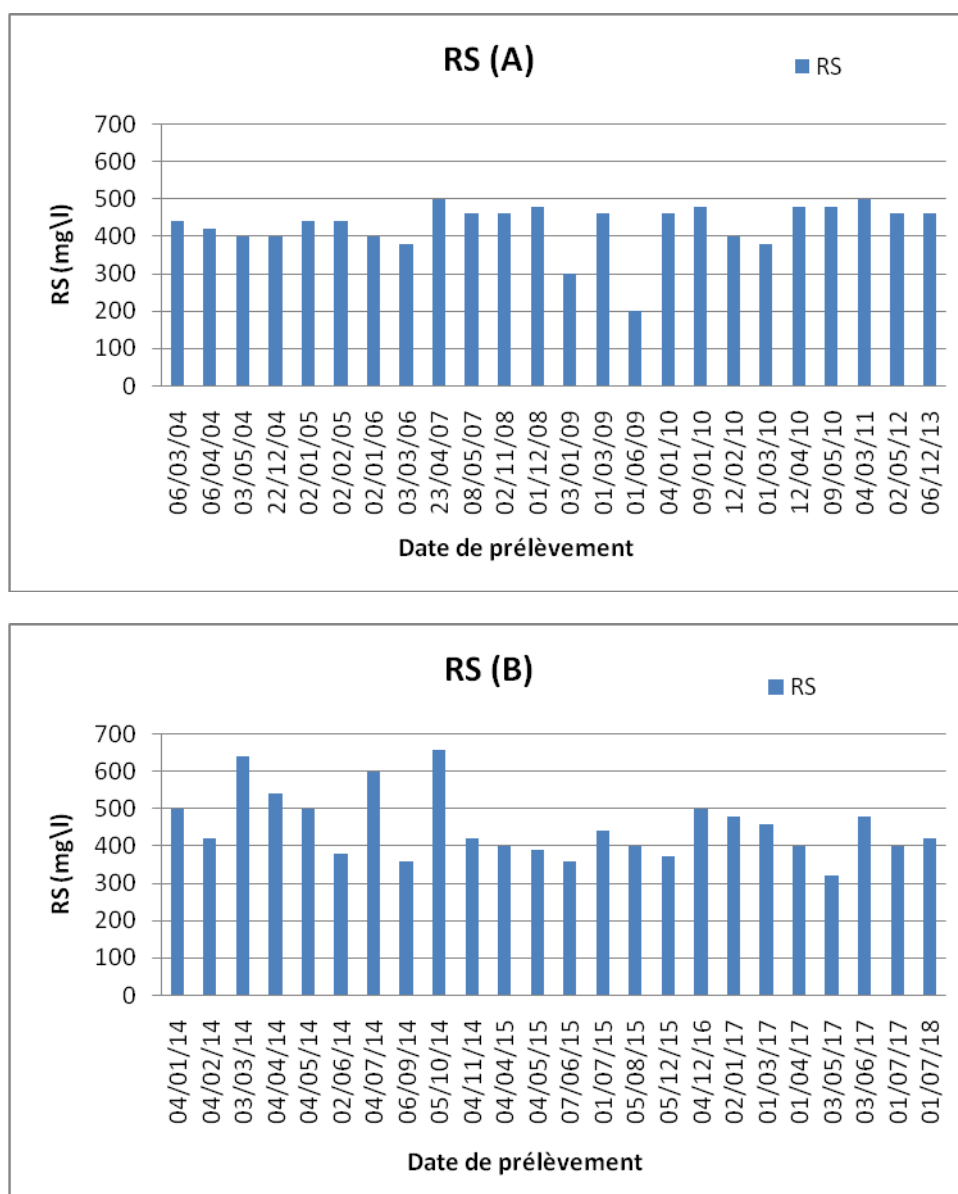


Figure 3 :(AetB) : Variation des résidus secs.

Les valeurs des résidus secs de la source d'Ain Tamekchent sont comprises entre deux intervalles : le plus élevé est de 660 mg/L et le plus faible est égale à 200 mg/L, elles sont conformes à la norme 1500 mg/L.

4.2. Les paramètres chimiques :

4.2.1 Les cations :

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

Il est un élément de la dureté totale. Les normes algériennes préconisent une concentration de 200 mg/L. Pour les eaux étudiées, nous avons remarqué que les valeurs sont comprises entre 24 mg/L et 116 mg/L. Elles sont dans l'intervalle de la norme.

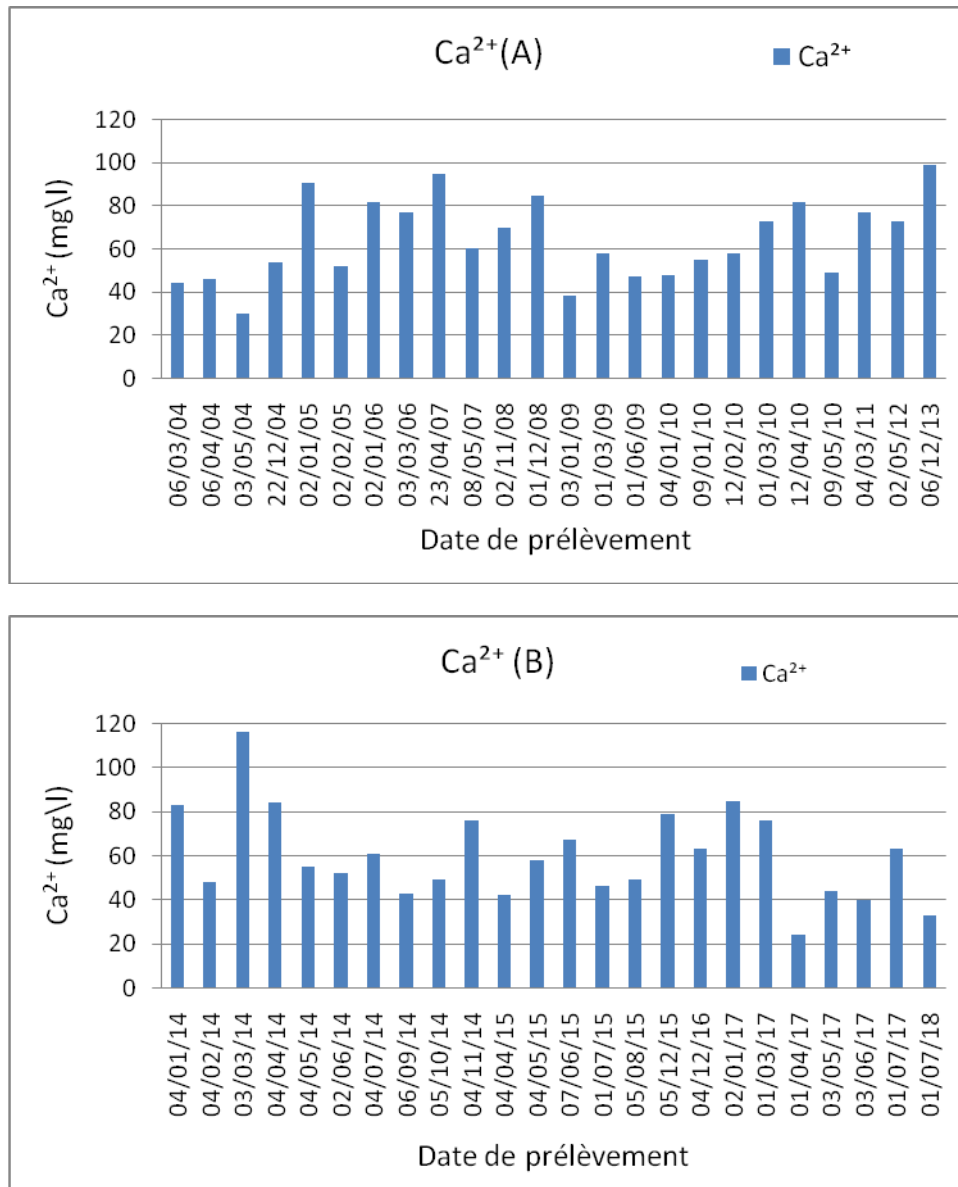


Figure 4 :(AetB) : Variation de Calcium.

b) L'ion magnésium (Mg²⁺) :

Le magnésium est l'élément le plus répandu dans la nature et il est un élément de la dureté totale. La valeur la plus élevée du magnésium de la source d'Ain Tamekchent est de 58 mg/L et la plus faible est de 9 mg/L. Elles sont conformes à la norme de 150 mg/L.

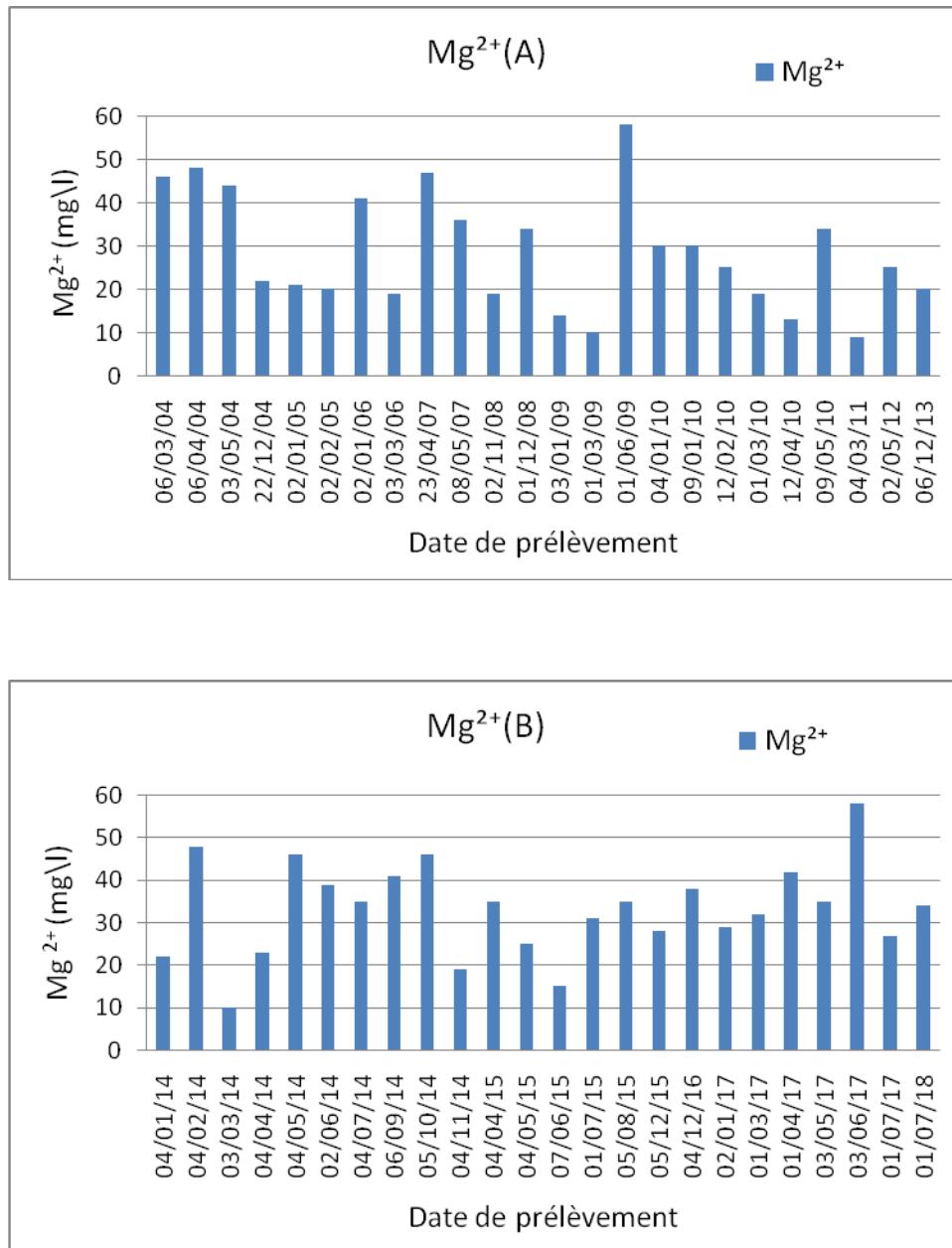


Figure 5 :(AetB) : Variation du Magnésium.

c) L'ion sodium Na^+ :

Le sodium fait partie des éléments présents dans la nature et il est principalement lié au sel, qui est le métal le plus alcalin et possède plusieurs propriétés, dont le sel de cuisine, lié à l'atome du chlore.

Les eaux étudiées de la source d'Ain Tamekchent enregistrent la valeur la plus élevée qui est de 32 mg/L, et la plus faible est de 7 mg/L, ces teneurs sont au-dessous de la norme algérienne recommandée (200 mg/L).

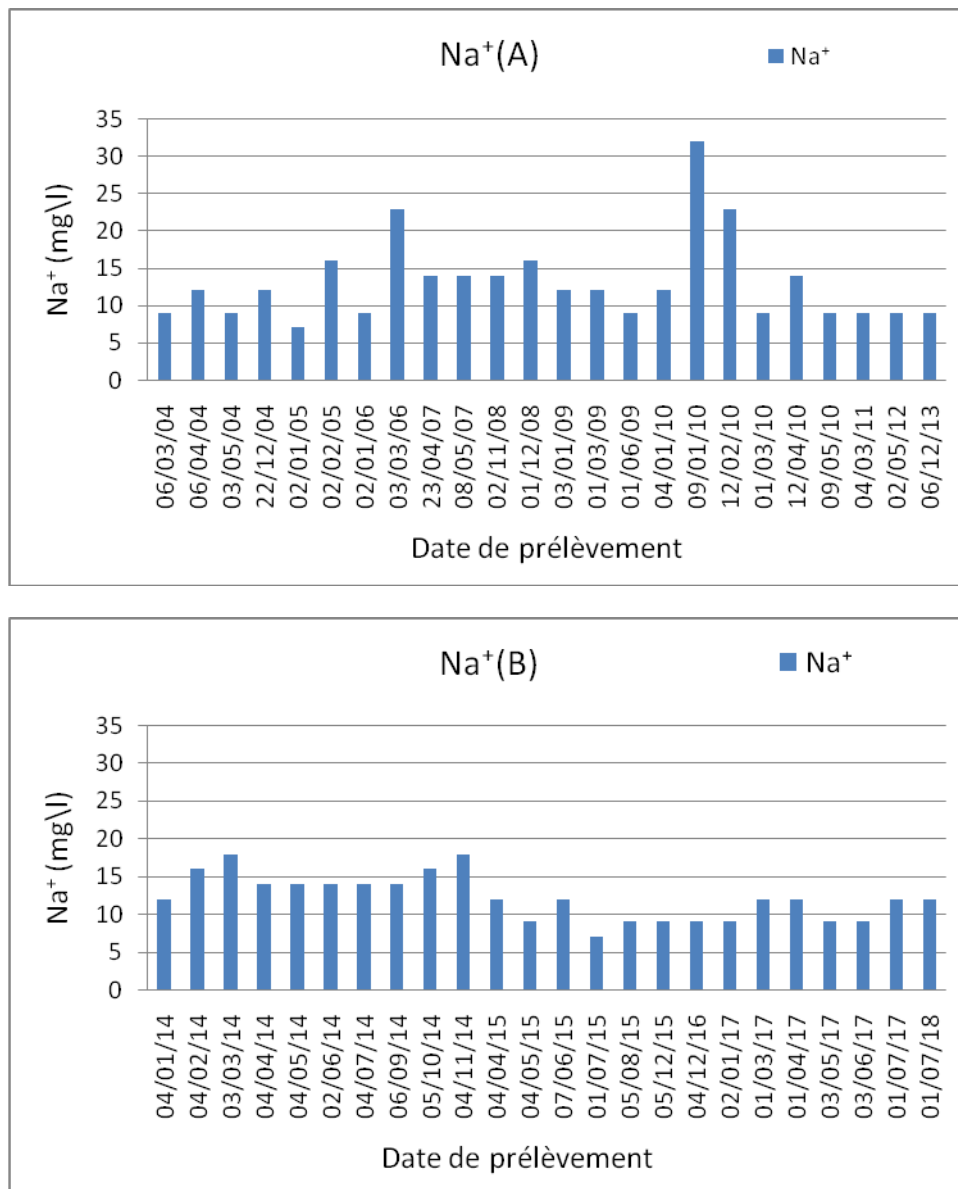


Figure 6 :(A et B) : Variation du Sodium.

d) L'ion potassium K⁺ :

Le potassium se trouve en abondance dans la terre. Il est facilement absorbé par le sol. Sa principale source est la nature géologique des terrains, et on le trouve dans l'eau à faibles concentrations. Les teneurs en potassium sont entre 0 et 1 mg/L, elles sont inférieures à la norme de 12 mg/L.

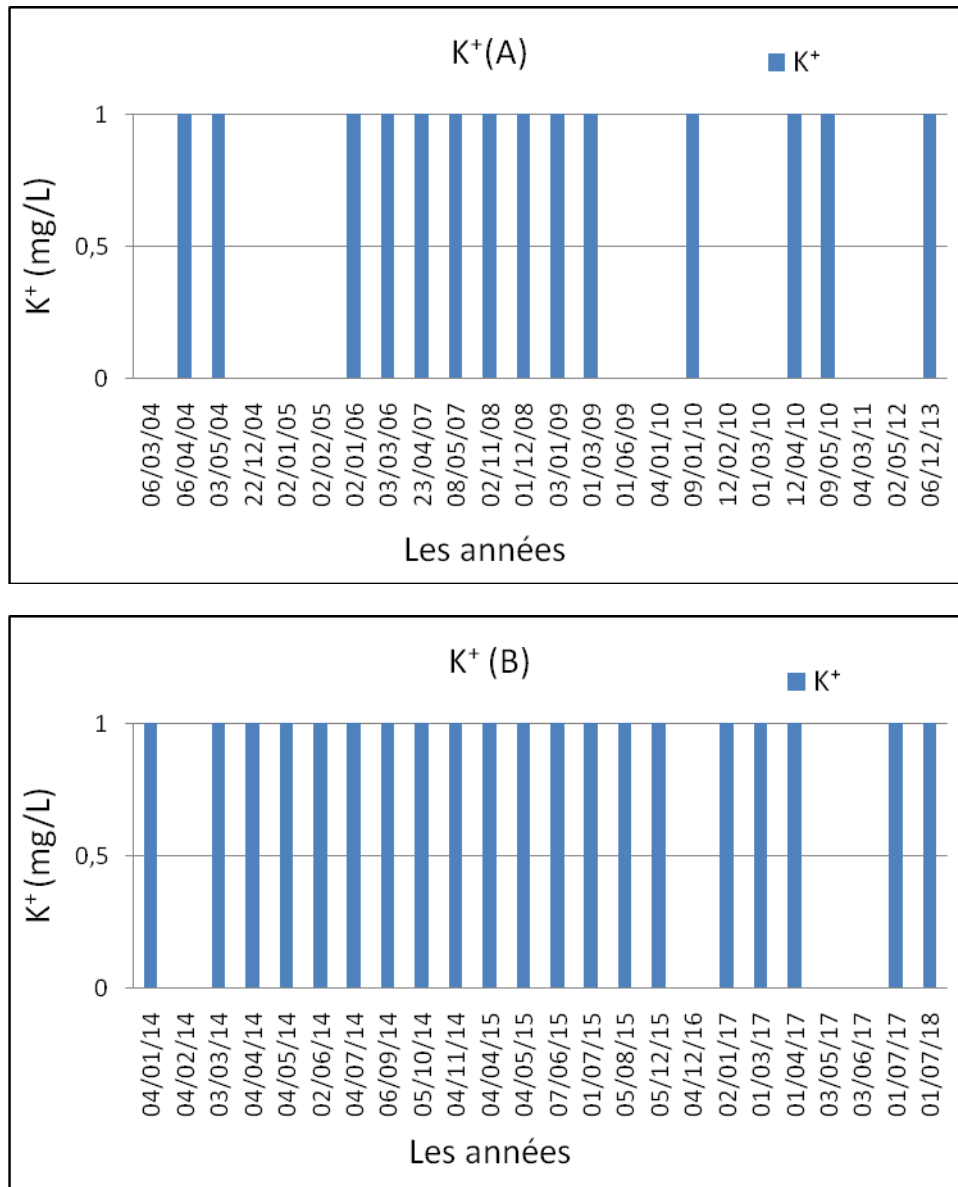


Figure 7 (A et B) : Variation du Potassium.

4.2. 3 Les anions :

a) L'ion chlorure (Cl⁻) :

Le chlore a des origines multiples et est un élément chimique naturel.

La valeur la plus élevée est de 68mg/L, enregistrée le 23/04/2007 et la plus faible est de 14 mg/L (09/05/2010). Elles sont au-dessous de la norme admissible (500 mg/L).

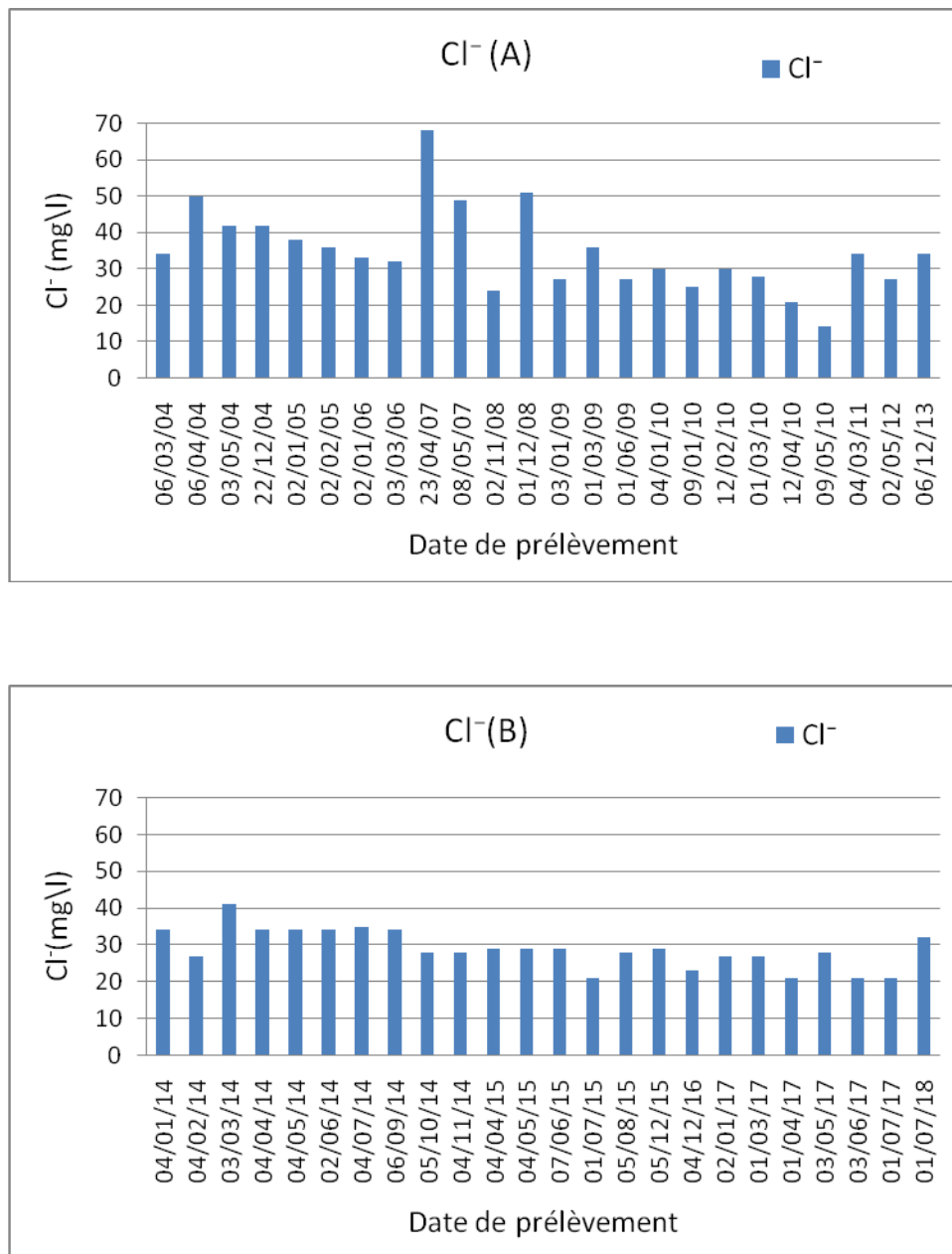


Figure 8 (A et B) : Variation des Chlorures.

b) L'ion sulfate SO_4^{2-} :

L'eau contient des sulfates en concentrations variables. Les valeurs des sulfates de la source d'Ain Tamekchent varient de 4 mg/L à 165 mg/L. La concentration maximale admissible est de 400 mg/L. Les teneurs enregistrées restent dans cet intervalle.

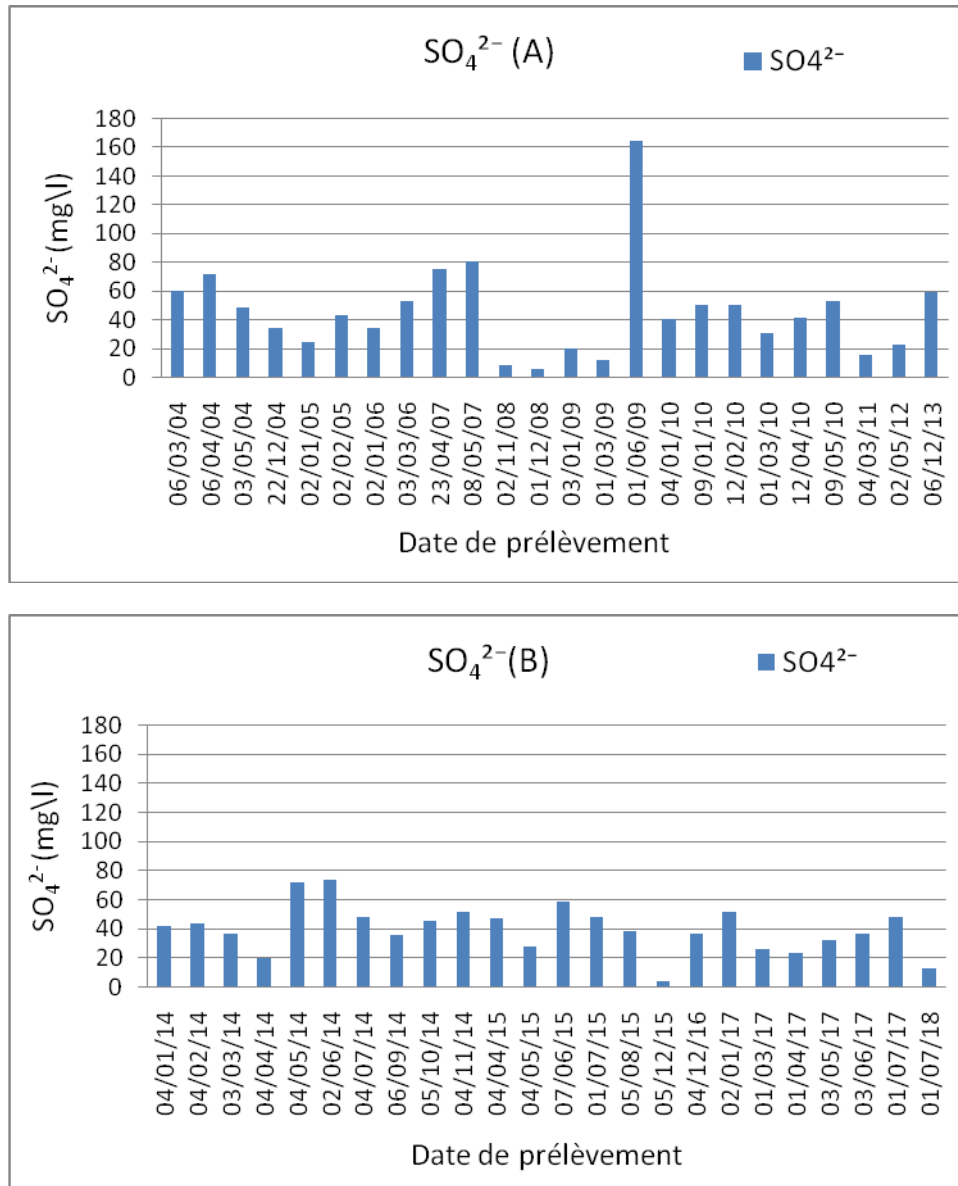


Figure 9 (A et B) : Variation des sulfates.

c) L'ion nitrate NO₃⁻ :

Les nitrates sont associés la plupart du temps au milieu agricole, lié aux engrais et à leurs déchets. Les teneurs montrent une valeur maximale de 31 mg/L et minimale de 2 mg/L. Elles sont inférieures à la norme exigée (50 mg/L).

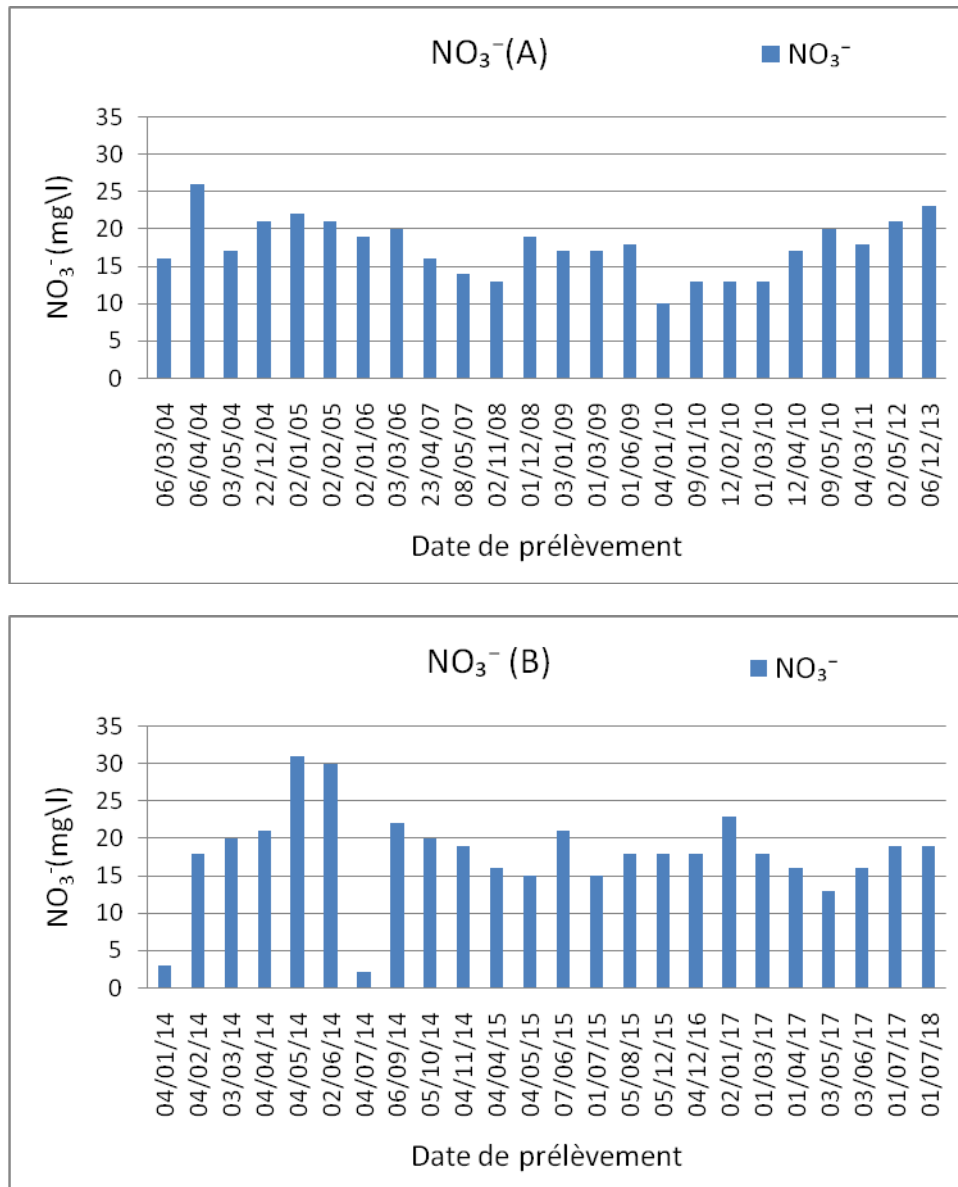


Figure 10 (A et B) : Variation des Nitrates.

d) L'ion bicarbonate HCO_3^- :

La présence des bicarbonates dans l'eau dépend de la nature des formations traversées. Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, la potabilité n'est pas affectée, quel que soit les teneurs en bicarbonates dans l'eau de consommation.

La plus grande valeur enregistrée est de 342 mg/L en 01/03/2017 et la plus petite valeur est de 117 mg/L (03/01/2009).

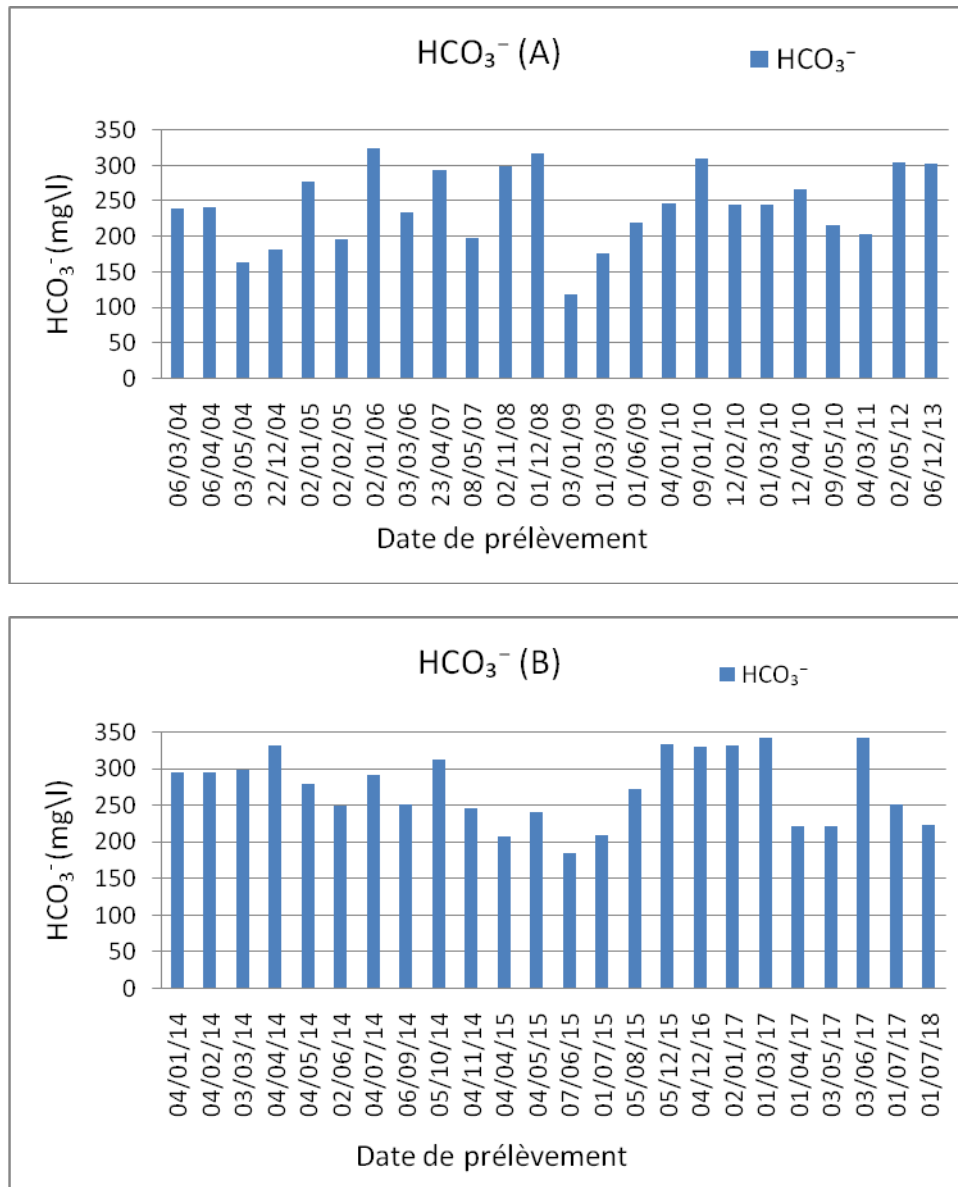


Figure 11(A et B) : Variation des Bicarbonates.

III .5. Potabilité des eaux étudiées selon les paramètres physico-chimiques :

Le tableau 5 présente une récapitulation de la qualité des eaux étudiées. Malheureusement, nous n'avons pas pu avoir les analyses bactériologiques pour cerner la potabilité des eaux de la source.

Tableau 5 : Classification des paramètres physico-chimiques de la source d'Ain Tamekchent, selon les normes algériennes

Paramètres	Unités	Concentration Maximale admissible	Interprétation	
			Conformes aux normes	Non conformes aux normes
pH.	-	6,5et 9	Dans toutes les dates	\
Conductivité 20°C	µS/cm	2800	Dans toutes les dates	\
Dureté totale (TH)	mg/L	500	Dans toutes les dates	\
Résidu sec.	mg/L	1500	Dans toutes les dates	\
Nitrates.	mg/L	50	Dans toutes les dates	\
Sulfates.	mg/L	400	Dans toutes les dates	\
Chlorures	mg/L	500	Dans toutes les dates	\
Potassium	mg/L	12	Dans toutes les dates	\
Sodium.	mg/L	200	Dans toutes les dates	\
Magnésium	mg/L	150	Dans toutes les dates	\
Calcium	mg/L	200	Dans toutes les dates	\

D'après le tableau ci-dessus, nous remarquons que les eaux de la source d'Ain Tamekchent sont potables de point de vue paramètres physico-chimiques. Cette potabilité doit être complétée par des analyses bactériologiques.

III .6 .Classification des eaux :

Plusieurs diagrammes ont été développés pour représenter les résultats des analyses hydro-chimiques et en tirer des renseignements. L'emploi de ces diagrammes s'avère précieux, car il rend simple et directe l'interprétation.

Pour la représentation des paramètres hydro-chimiques, nous avons utilisé :

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

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

Le diagramme de Schoeller- Berkaloff montre que les eaux de la source d'Ain Tamekchent ont deux types de faciès : *Bicarbonaté calcique (le plus dominant) et bicarbonaté magnésien* (Annexe 05 et Fig.13 A, B, C, D).

La figure ci-dessous représente la répartition des deux faciès :

-Faciès bicarbonaté calcique : ce faciès est le plus dominant par 63%

-Faciès Bicarbonaté Magnésien : représente 37%

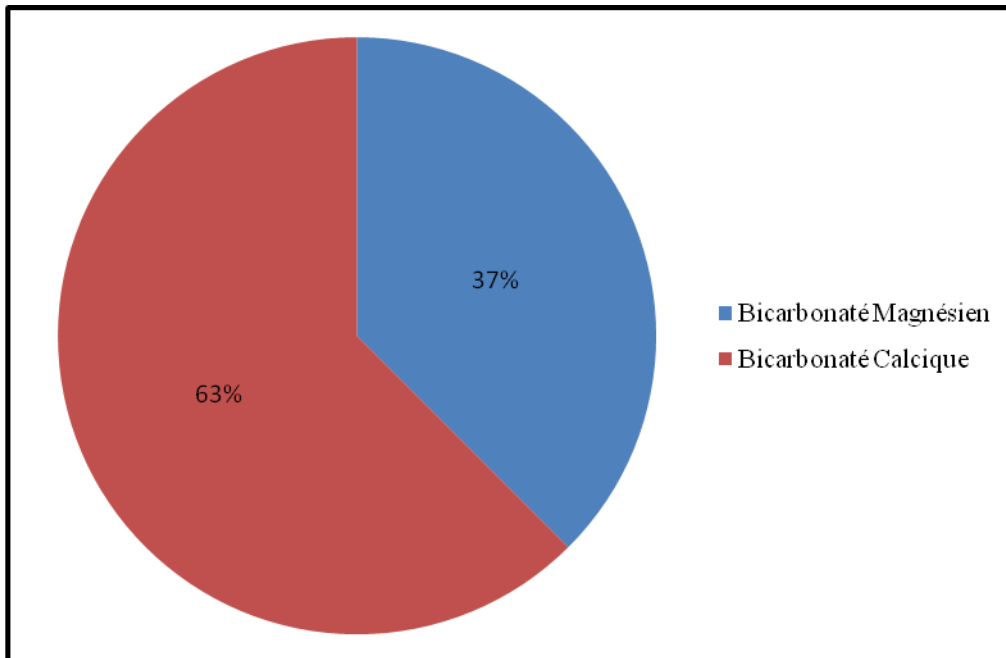


Figure 12: Distribution des faciès chimiques de la source d'Ain Tamekchent.

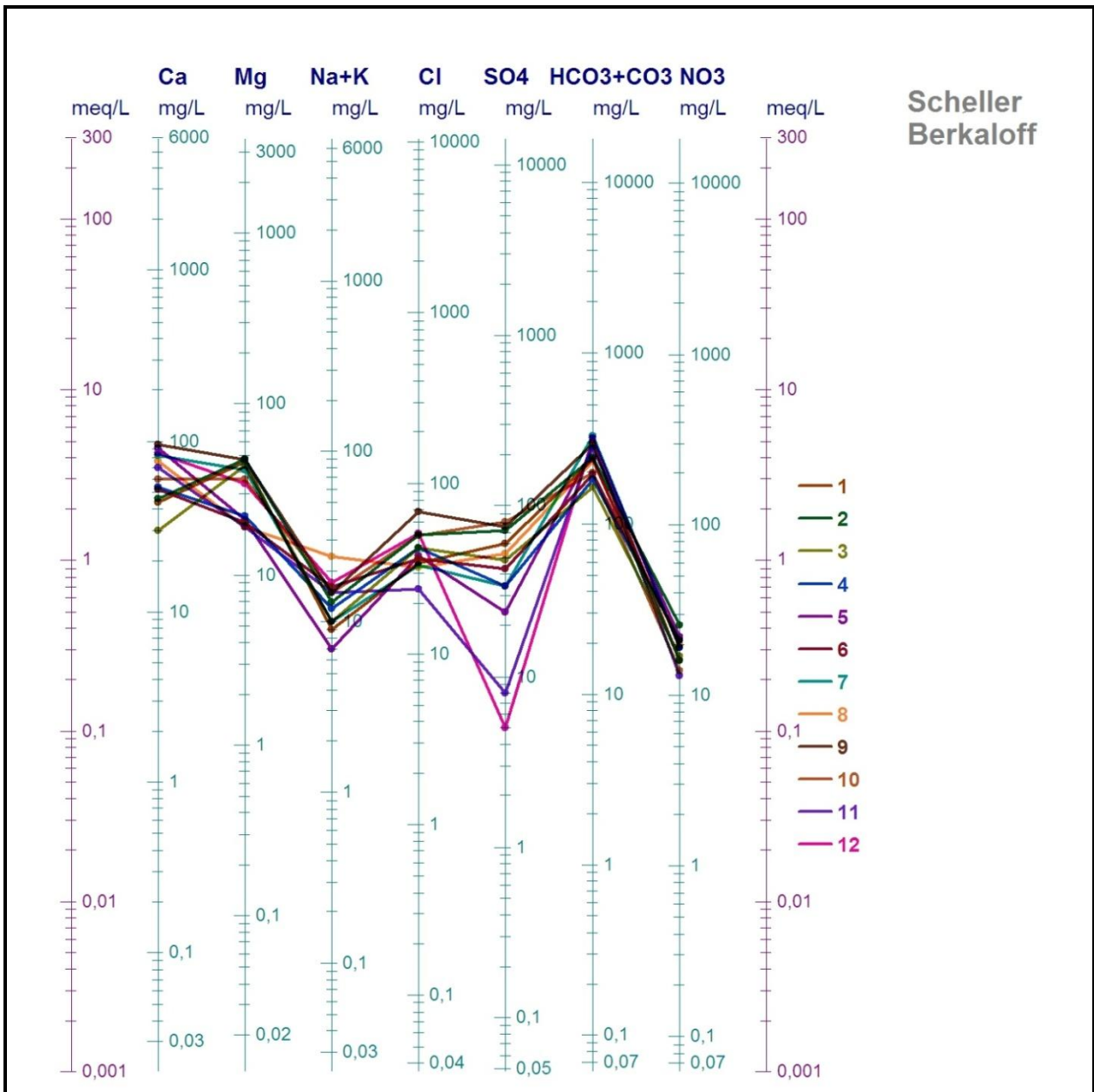


Figure A : Classification des eaux, selon Schoeller-Berkaloff.

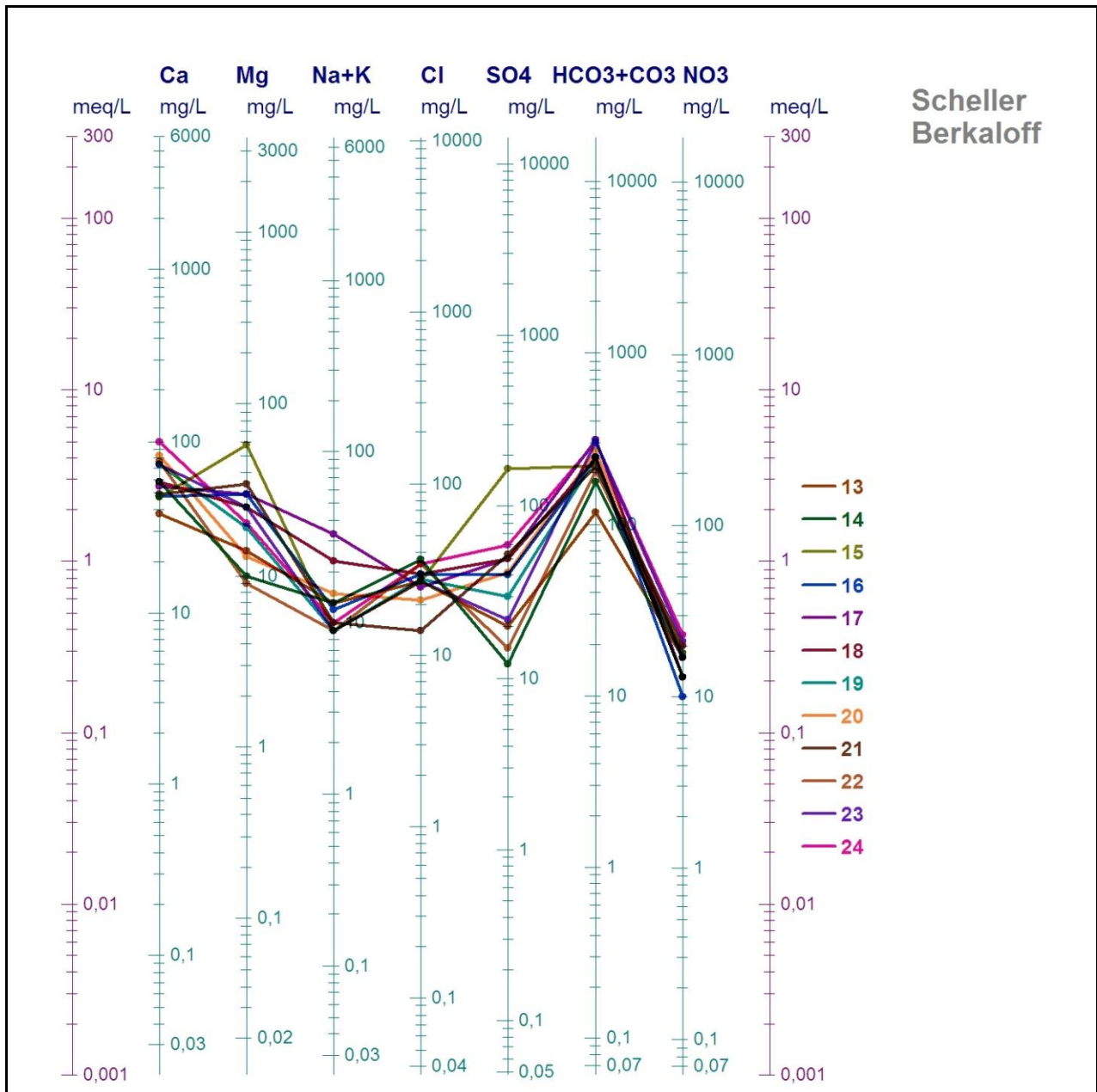


Figure B : Classification des eaux, selon Schoeller-Berkaloff.

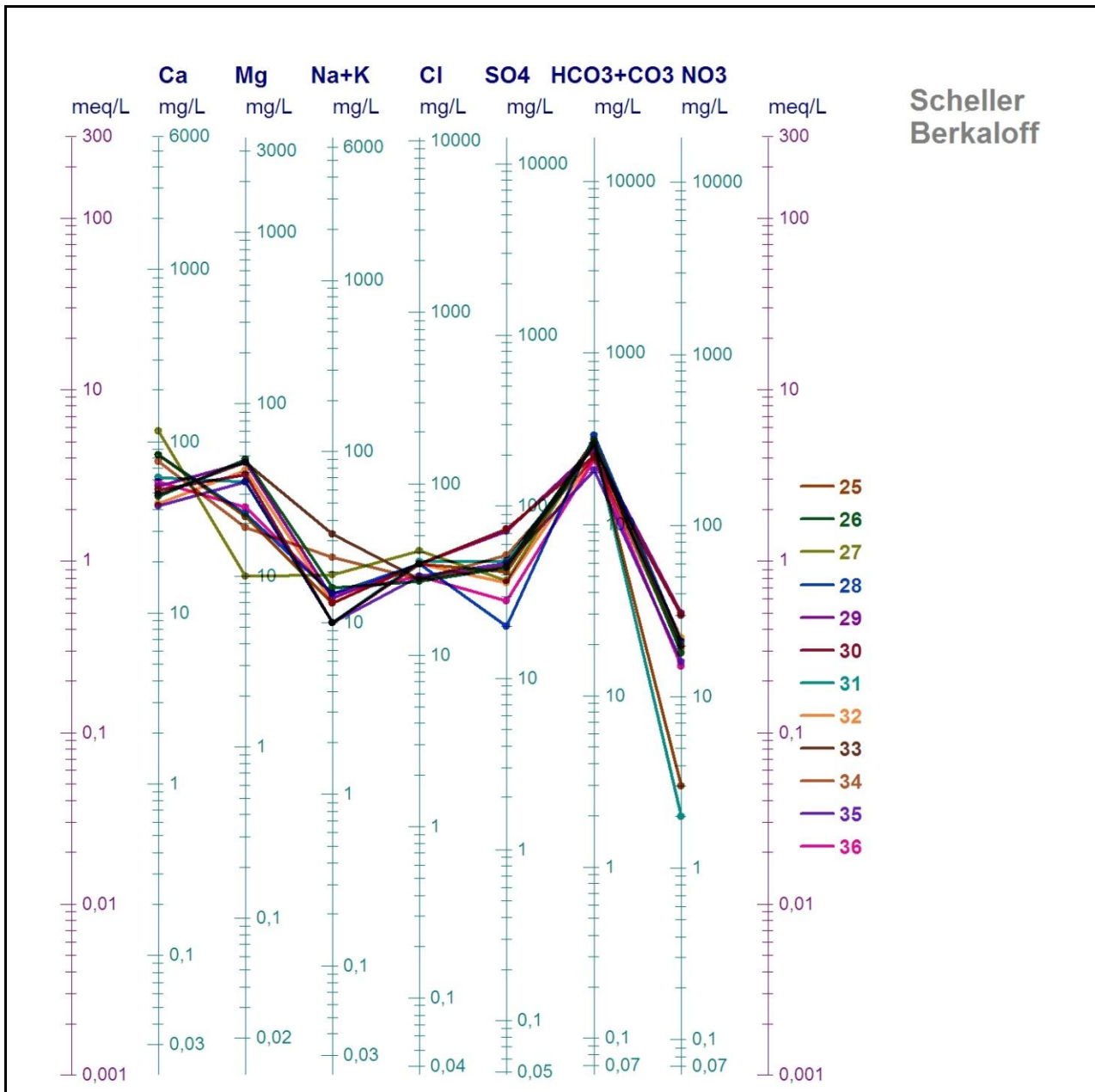


Figure C : Classification des eaux, selon Schoeller –Berkaloff.

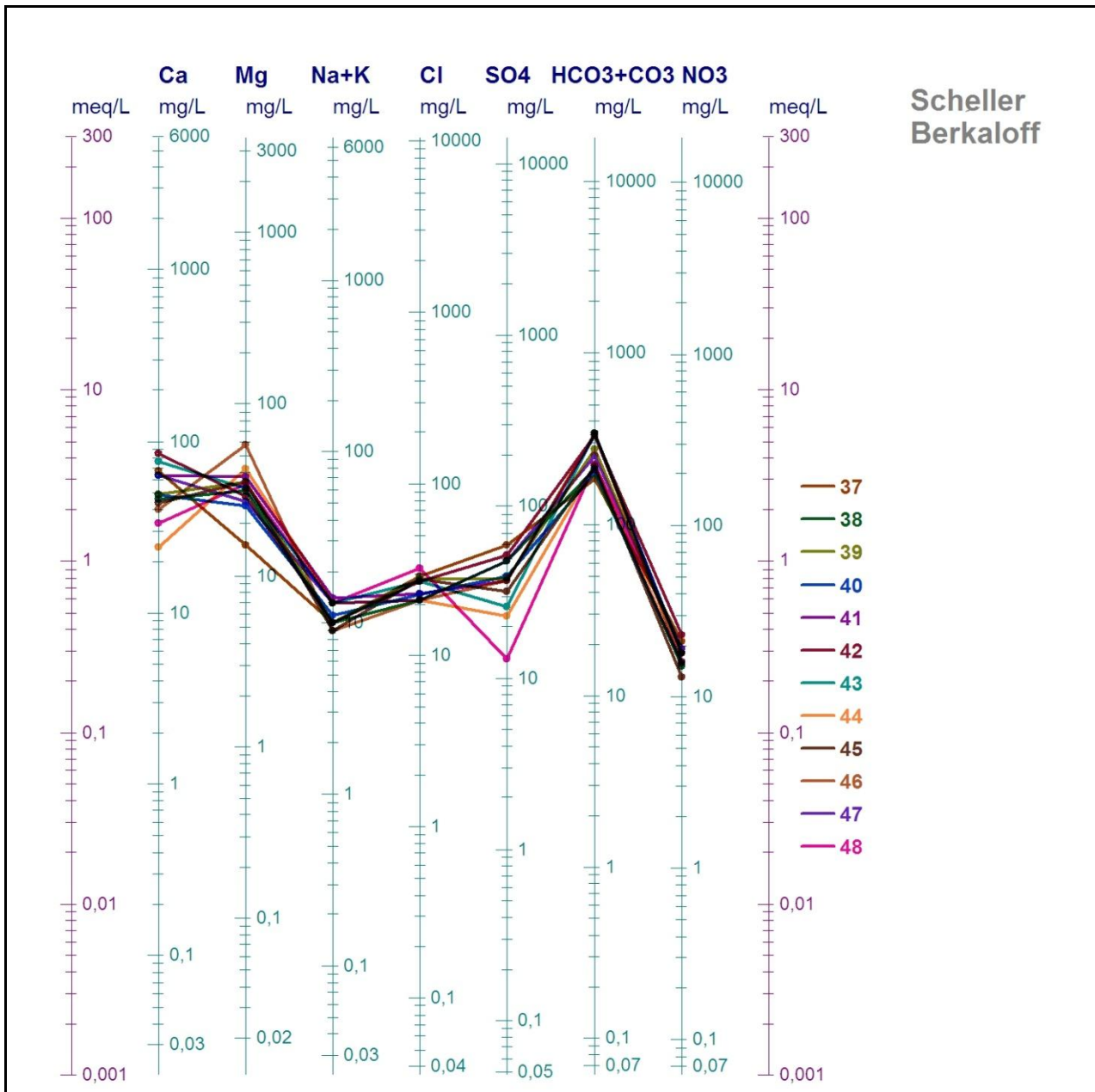


Figure D : Classification des eaux, selon Schoeller -Berkaloff

Figure .13 (A, B, C, D) : Classification des eaux, selon Schöeller- Berkaloff.

b) Diagramme logarithmique de Stabler :

Le diagramme de Stabler, nous a permis de déterminer les différents faciès chimiques des eaux (Fig. 14 A, B). Ce dernier décrit en fonction des pourcentages classés par ordre de grandeur, d'abord les anions puis les cations, pour chaque élément dans les eaux étudiées.

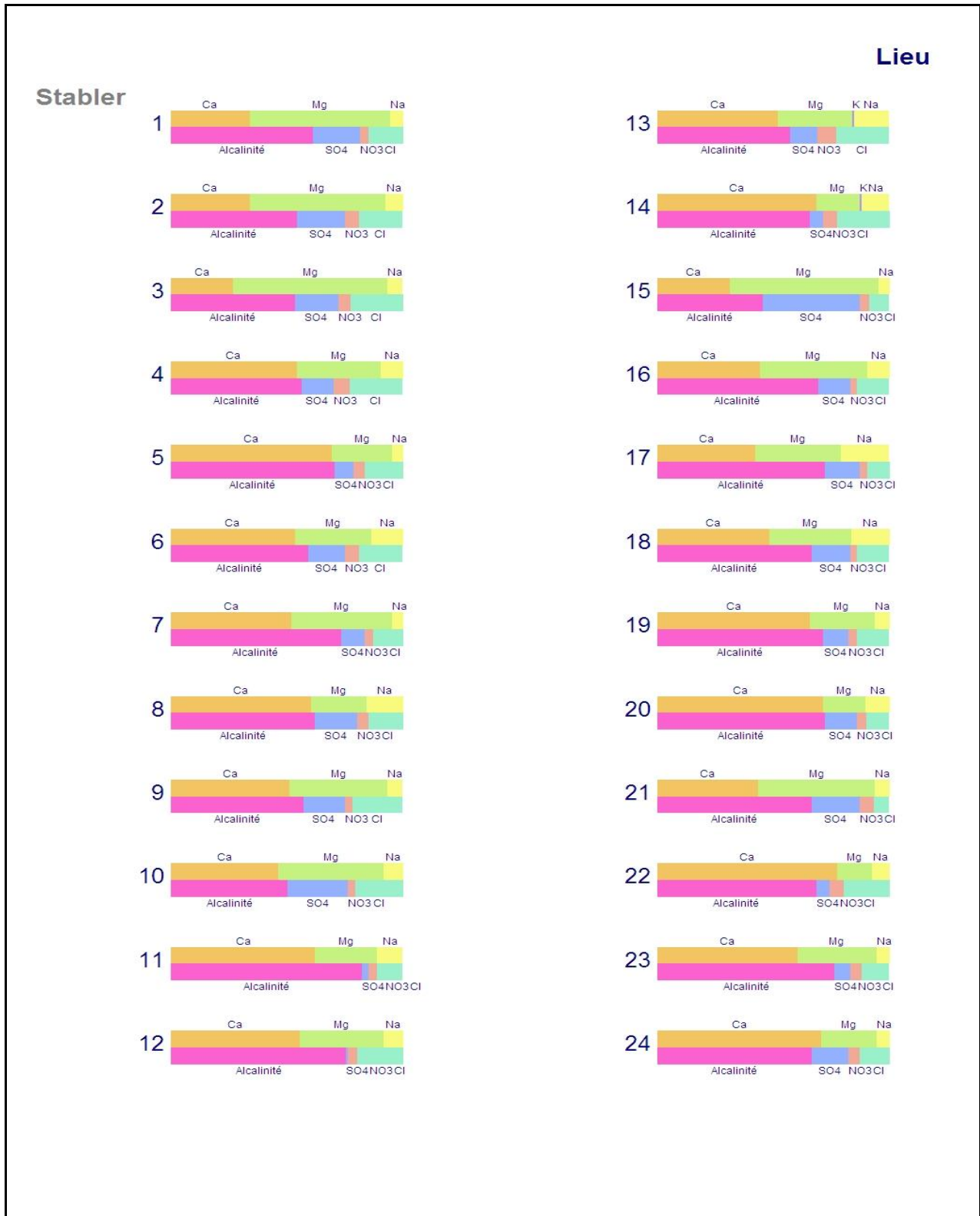


Figure A : Diagramme de Stabler.

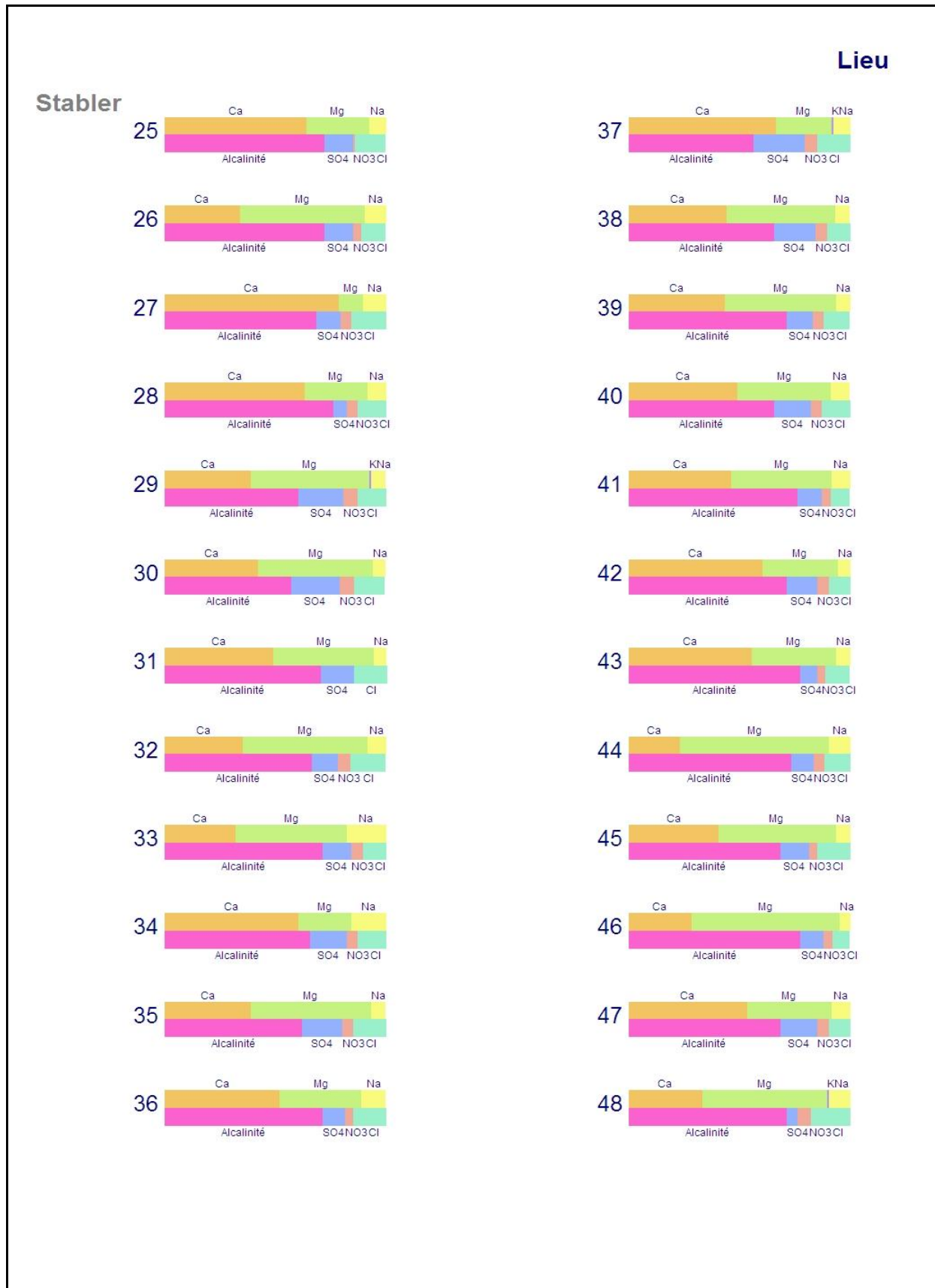


Figure B : Diagramme de Stabler
 Figure.14 (A, B) : Diagramme de Stabler.

Le diagramme de Stabler montre l'existence de deux faciès :

- **Le faciès Bicarbonaté Magnésien** : comprend les dates représentées par les échantillons numéros 1,2, 3, 15, 16, 21, 26, 29, 30,32, 33, 35, 38, 39, 44 ,45 ,46

-**Le faciès Bicarbonaté Calcique** : comprend le reste des dates et c'est le faciès dominant.

c) Diagramme de Piper :

Le graphique de Piper est très utile pour représenter tous les types des analyses. Il se compose de deux triangles et d'un losange. Deux triangles (un triangle portant des cations et un portant des anions) et le losange synthétise le faciès global.

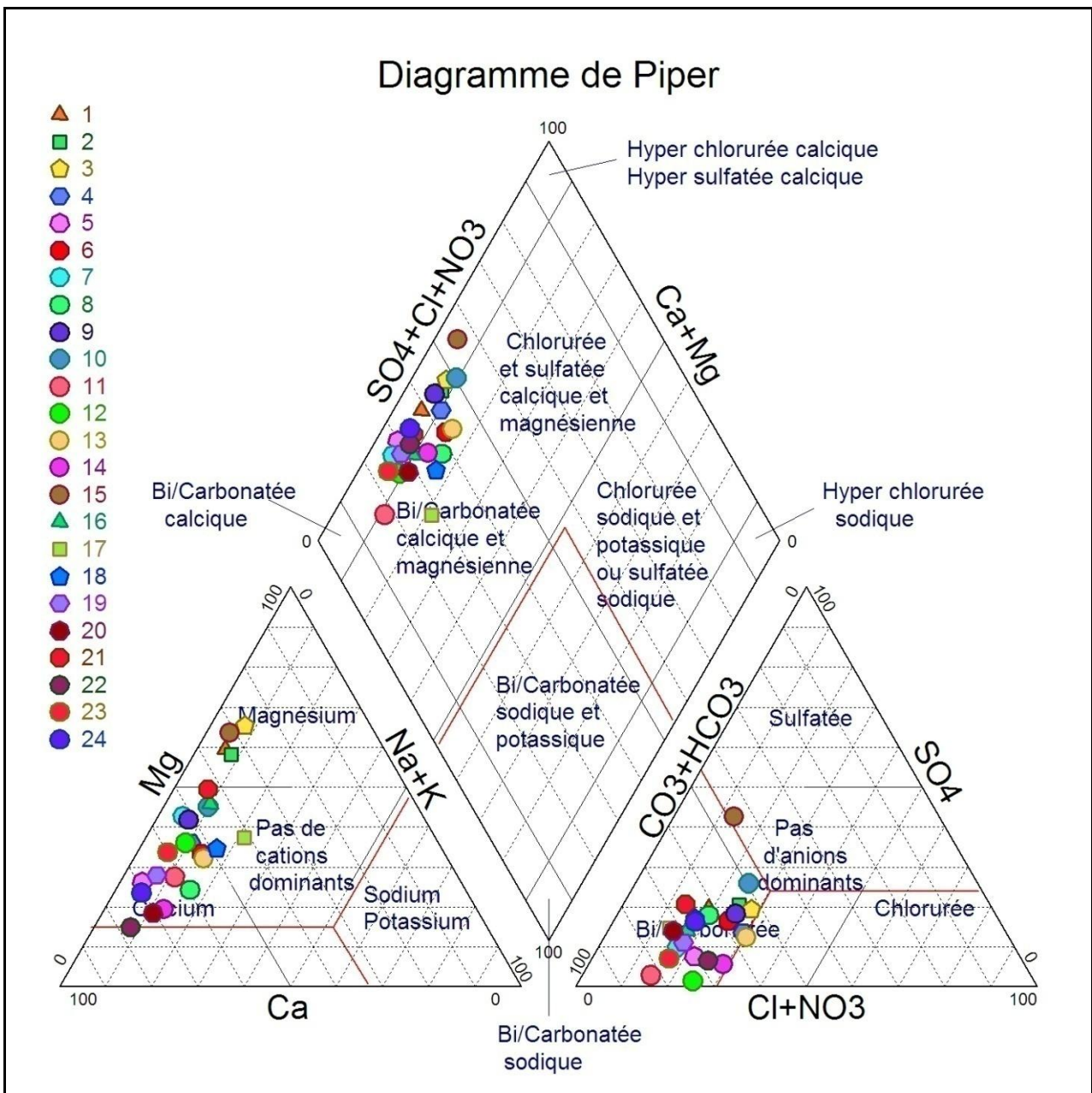


Figure A : Diagramme de Piper.

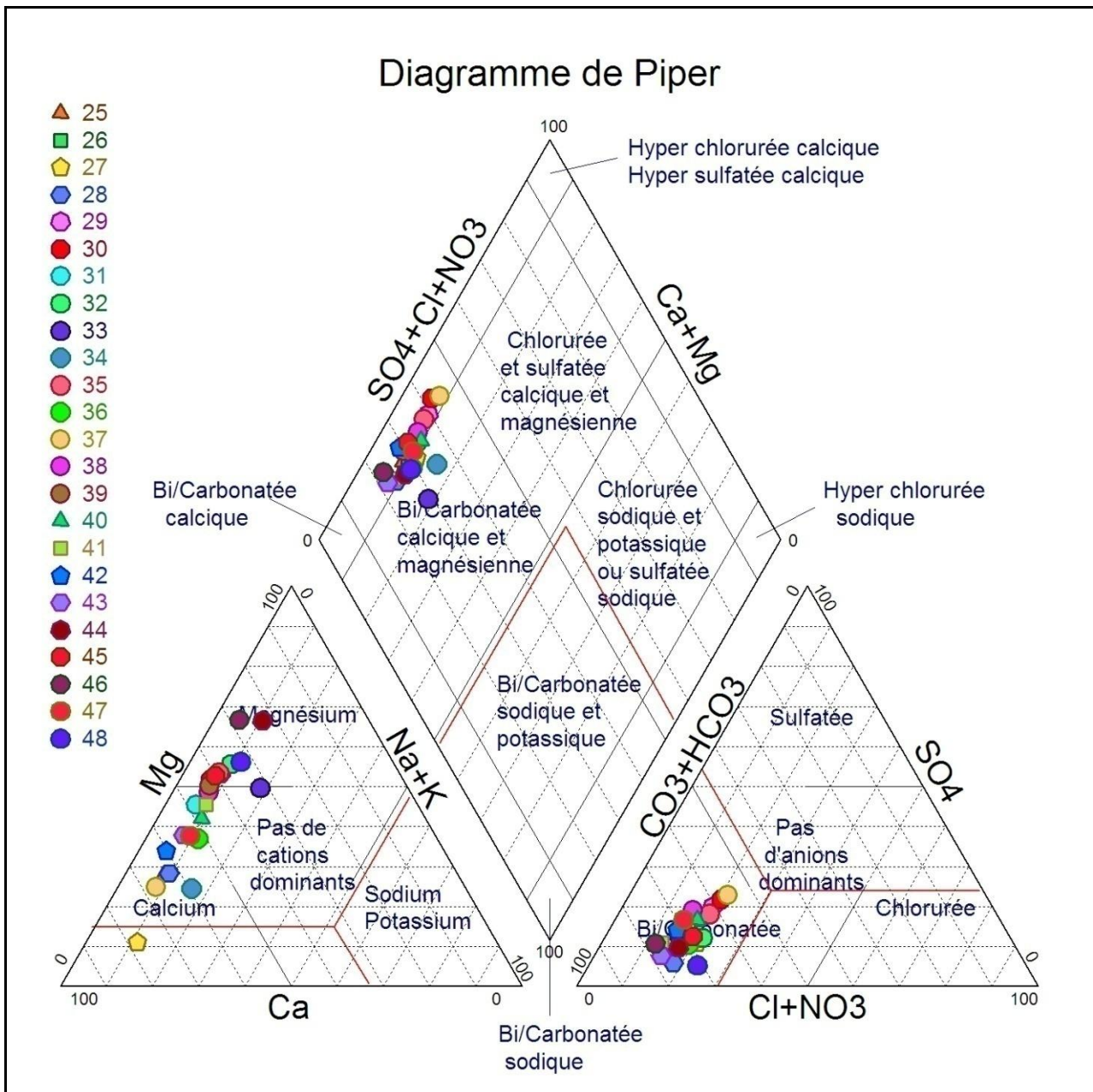


Figure B : Diagramme de Piper.

Figure.15 (A, B) : Diagrammes de Piper.

Selon le diagramme de Piper (Figure.15 A, B), nous remarquons que toutes les eaux appartiennent à famille **bicarbonatée calcique et magnésienne**, à l'exception du point numéro 15, représenté par la date du 01/06/2009 qui appartient à la famille **chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne**.

d) Aptitude des eaux destinées à l'irrigation :

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

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na⁺ et de la somme de Ca²⁺ et de Mg²⁺. Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation (Paliwal. 1967, in Bâb El Ayat.H et Benichou. A, 2022).

Des concentrations élevées de Na⁺ dans l'eau d'irrigation sont considérées comme inappropriées. Pour faciliter l'utilisation, l'indice est donné par la relation suivante :

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

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

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

Les concentrations de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ sont en Meq/L.

Tableau 6 : Classification des eaux étudiées selon l'indice de KR

DATES	KR	DATES	KR
06/03/2004	0,1	04/01/2014	0,11
06/04/2004	0,13	04/02/2014	0,17
03/05/2004	0,12	03/03/2014	0,14
22/12/2004	0,16	04/04/2014	0,13
02/01/2005	0,06	04/05/2014	0,12
02/02/2005	0,22	02/06/2014	0,1
02/01/2006	0,07	04/07/2014	0,09
03/03/2006	0,24	06/09/2014	0,14
23/04/2007	0,1	05/10/2014	0,34
08/05/2007	0,15	04/11/2014	0,24
02/11/2008	0,16	04/04/2015	0,12
01/12/2008	0,13	04/05/2015	0,17
03/01/2009	0,23	07/06/2015	0,11
01/03/2009	0,18	01/07/2015	0,12
01/06/2009	0,09	05/08/2015	0,11
04/01/2010	0,15	05/12/2015	0,11
09/01/2010	0,38	04/12/2016	0,14
12/02/2010	0,28	02/01/2017	0,08
01/03/2010	0,1	01/03/2017	0,11
12/04/2010	0,15	01/04/2017	0,18
09/05/2010	0,11	03/05/2017	0,11
04/03/2011	0,1	03/06/2017	0,09
02/05/2012	0,09	01/07/2017	0,13
06/12/2013	0,08	01/07/2018	0,18

D'après les calculs, les valeurs du KR varient entre 0,06 et 0,38. Elles sont inférieures à 1, donc elles sont bonnes pour l'irrigation.

2) Pourcentage en sodium (%Na⁺) :

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. Le pourcentage en sodium doit être inférieur à 60 % (seuil maximal admissible) (Wilcox, 1955, in Bâb El Ayat.H et Benichou. A, 2022).

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

Tableau 7 : Classification des eaux d'irrigation selon % Na⁺

Classe	Très bonne	Bonne	Admissible	Médiocre	Mauvaise
%Na ⁺	< 20	20-40	40-60	60-80	>80

Les pourcentages en sodium des eaux ainsi que leurs classifications sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Pourcentages en sodium de la source étudiée.

Dates	%Na ⁺	Classe	Dates	%Na ⁺	Classe
06/03/04	9,09	Eau Très bonne	04/01/14	11,02	Eau Très bonne
06/04/04	12,15	Eau Très bonne	04/02/14	14,29	Eau Très bonne
03/05/04	11,90	Eau Très bonne	03/03/14	13,10	Eau Très bonne
22/12/04	13,64	Eau Très bonne	04/04/14	12,30	Eau Très bonne
02/01/05	5,88	Eau Très bonne	04/05/14	12,17	Eau Très bonne
02/02/05	18,18	Eau Très bonne	02/06/14	9,90	Eau Très bonne
02/01/06	7,52	Eau Très bonne	04/07/14	9,43	Eau Très bonne
03/03/06	20,00	Eau bonne	06/09/14	13,40	Eau Très bonne
23/04/07	9,55	Eau Très bonne	05/10/14	25,78	Eau Très bonne
08/05/07	13,51	Eau Très bonne	04/11/14	20,17	Eau bonne
02/11/08	14,42	Eau Très bonne	04/04/15	11,49	Eau Très bonne
01/12/08	12,50	Eau Très bonne	04/05/15	15,31	Eau Très bonne
03/01/09	20,00	Eau bonne	07/06/15	10,87	Eau Très bonne
01/03/09	16,05	Eau Très bonne	01/07/15	11,49	Eau Très bonne
01/06/09	7,89	Eau Très bonne	05/08/15	10,64	Eau Très bonne
04/01/10	13,33	Eau Très bonne	05/12/15	10,83	Eau Très bonne
09/01/10	27,97	Eau bonne	04/12/16	12,17	Eau Très bonne
12/02/10	21,70	Eau bonne	02/01/17	8,06	Eau Très bonne
01/03/10	8,91	Eau Très bonne	01/03/17	10,74	Eau Très bonne
12/04/10	13,64	Eau Très bonne	01/04/17	16,46	Eau bonne
09/05/10	10,75	Eau Très bonne	03/05/17	10,23	Eau Très bonne
04/03/11	9,47	Eau Très bonne	03/06/17	8,41	Eau Très bonne
02/05/12	8,41	Eau Très bonne	01/07/17	12,62	Eau Très bonne
06/12/13	7,75	Eau Très bonne	01/07/18	16,25	Eau Très bonne

D'après les résultats, les eaux de la source d'Ain Tamekchent avaient un taux de sodium inférieur à 60%, Elles étaient de très bonne à bonne qualité, donc elles étaient aptes à être utilisées en irrigation.

3) Classification 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, définissant en cinq classes la qualité d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise).

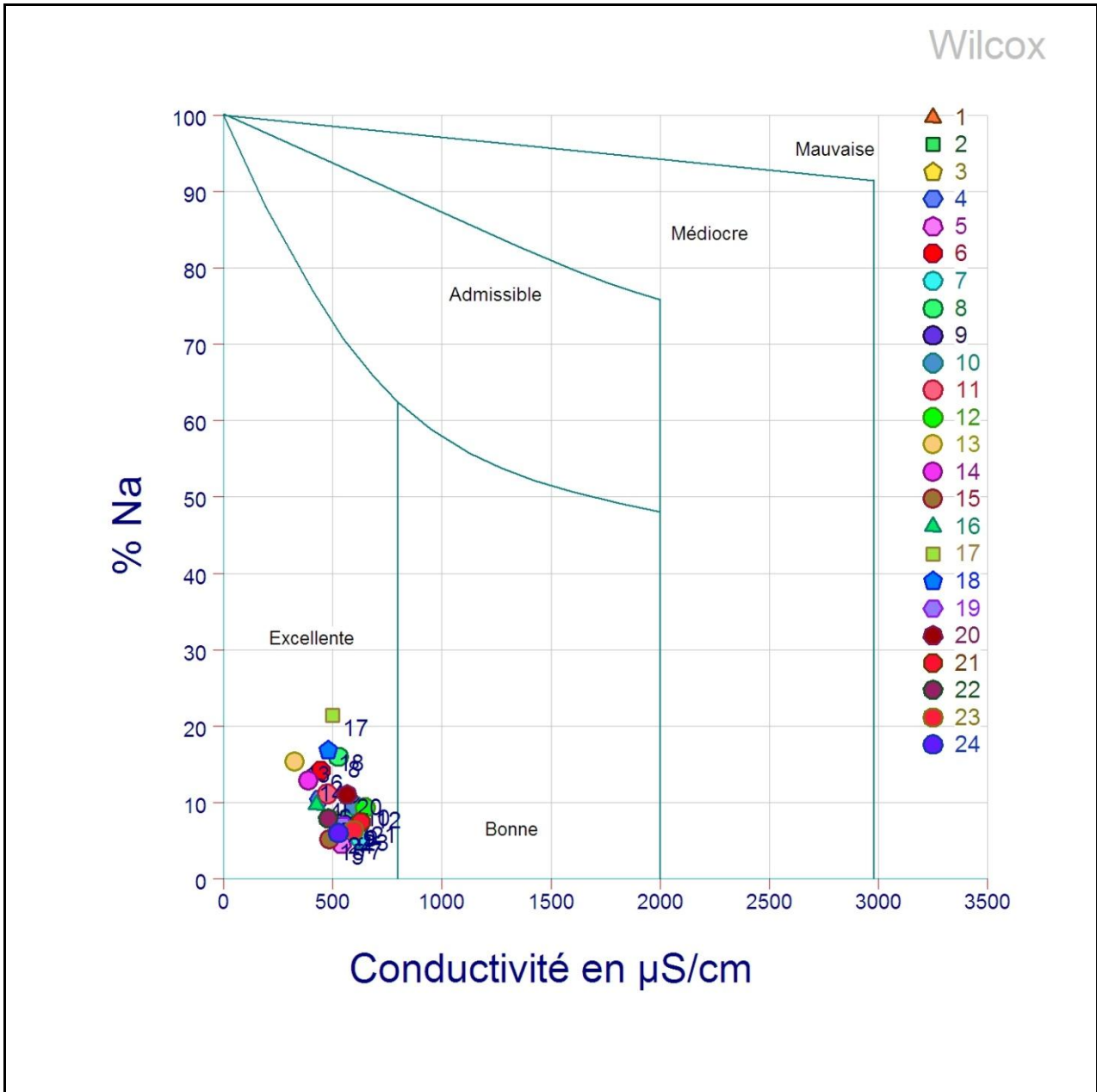


Figure A : Diagramme de Wilcox.

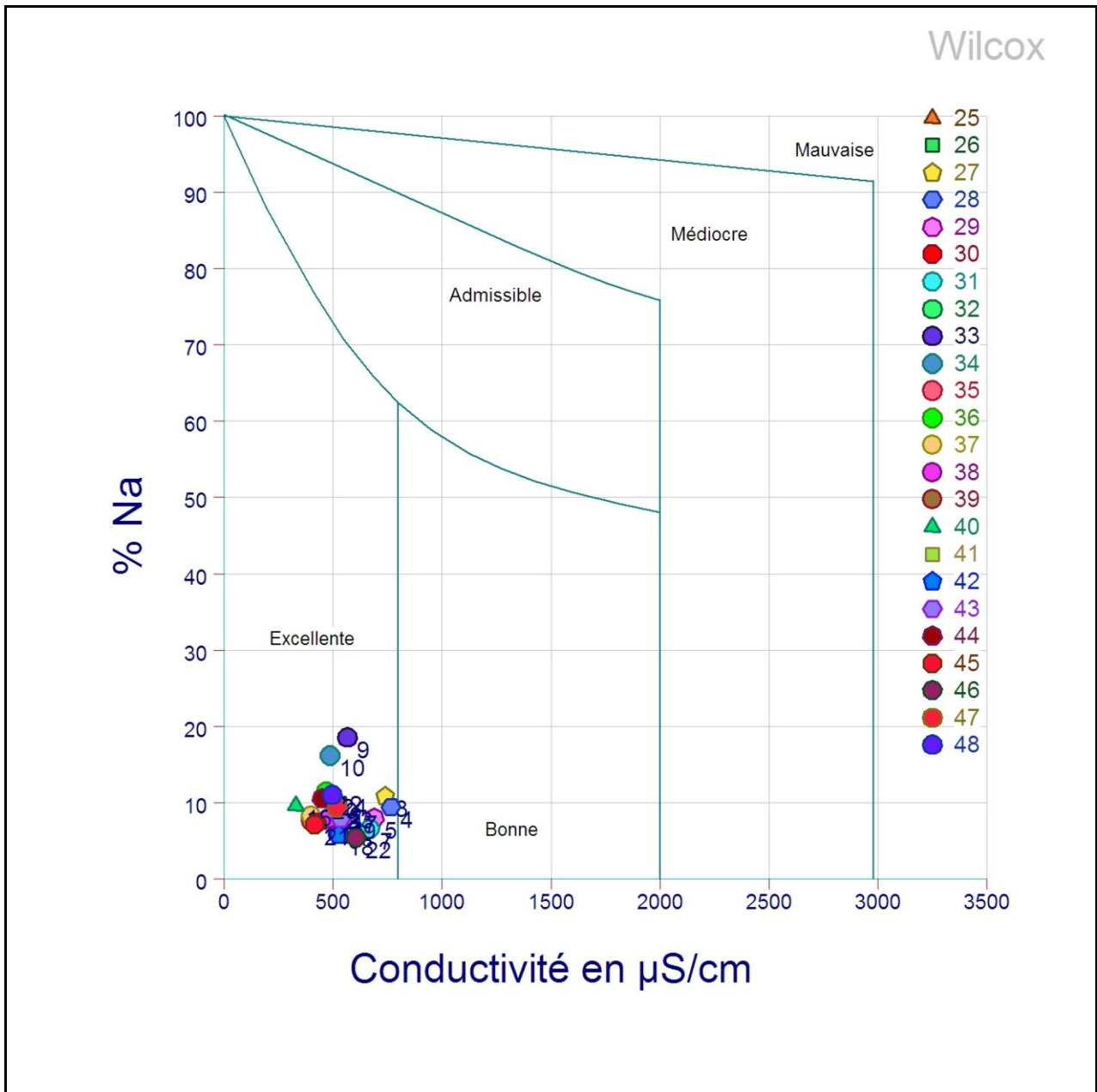


Figure B : Diagramme de Wilcox.

Figure 16 (A, B) : Diagramme de Wilcox.

Le diagramme de Wilcox (Figure.16 A, B) montre que toutes les eaux étaient excellentes pour l'irrigation.

4) Sodium Alcalinity Ratio "SAR" :

Le taux d'adsorption de sodium est un paramètre qui permet d'estimer le degré de saturation du complexe échangeur de cations, en ions sodium. Le SAR de l'eau est une norme permettant d'évaluer son pouvoir alcalinisant. La mesure du taux de sorption du sodium dans le sol est importante car elle peut déterminer si un processus d'alcalisation, ou de salinisation est en cours.

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

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

Si :

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

Tableau 9 : Classification des eaux d'irrigation, d'après Servant, 1975 (U.S SalinityLab)

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

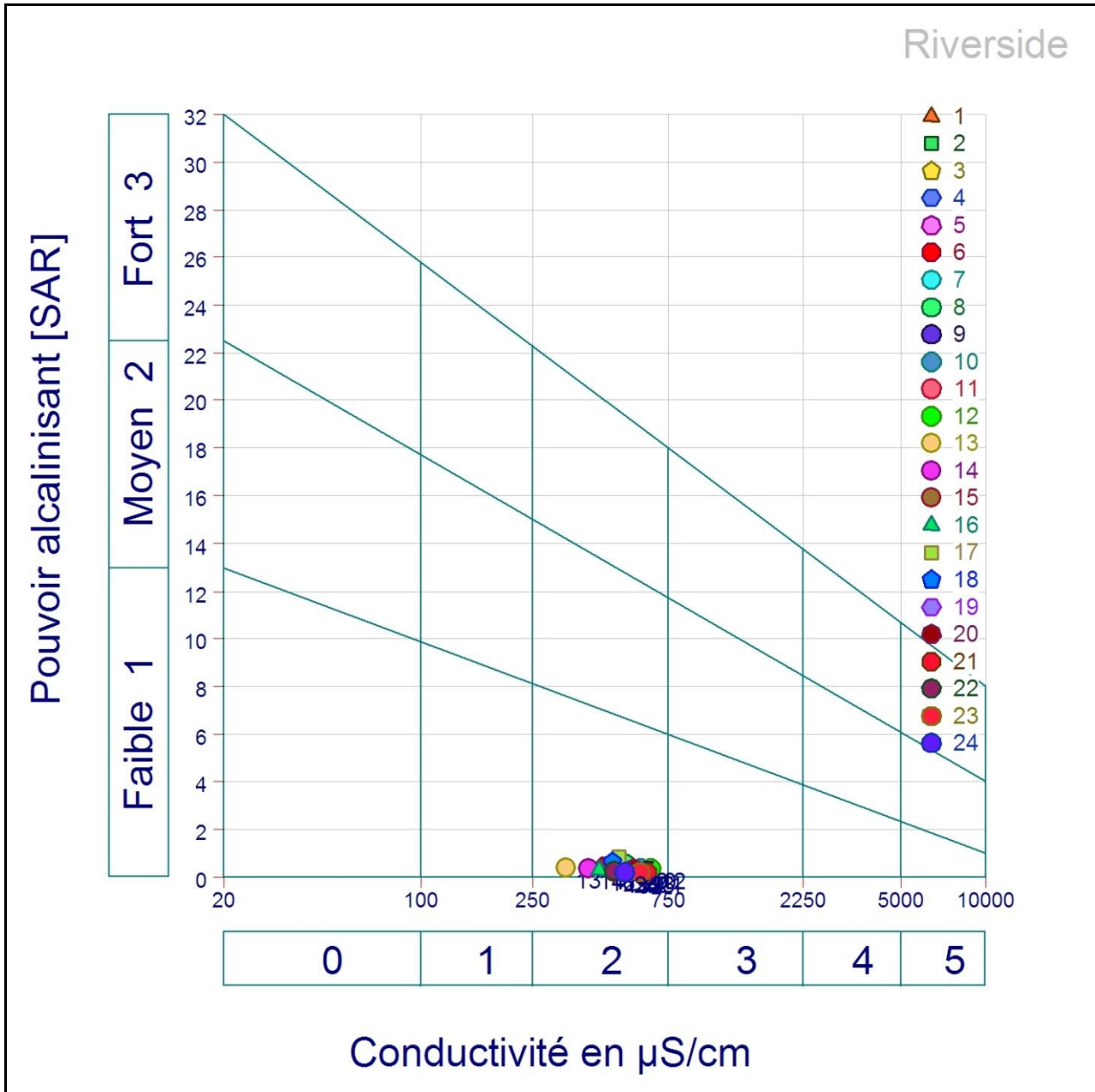


Figure A : Diagramme de Riverside.

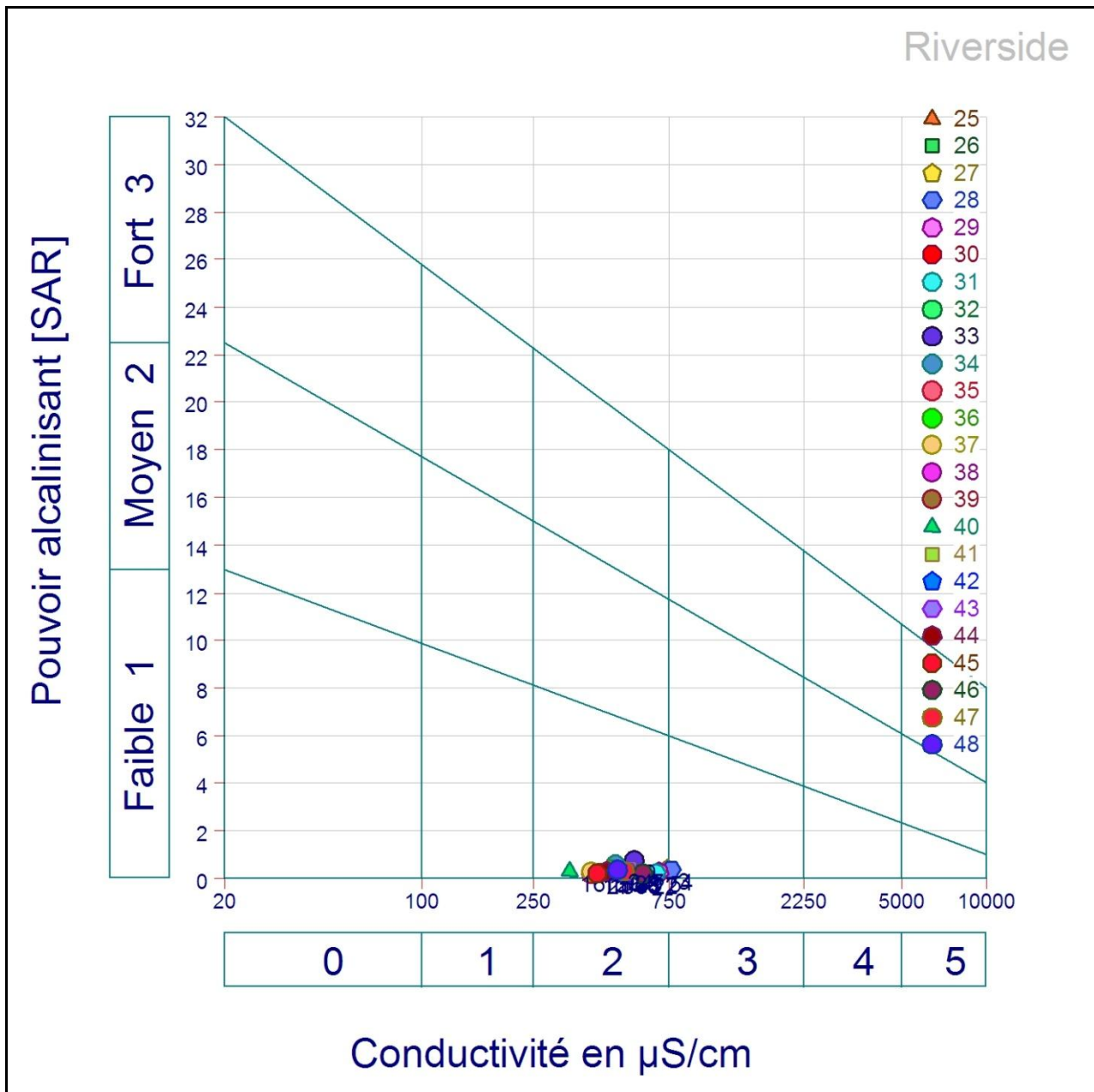


Figure B : Diagramme de Riverside.

Figure .17 (A, B) : Diagramme de Riverside.

Selon la figure.17 (A, B) et au vu du tableau 9, toutes les eaux sont dans la classe C2-S1 (bonnes pour l'irrigation) à l'exception du point d'eau numéro 28 présenté par la date du 04/04/2014 qui est dans la classe C3-S1 (Admissible pour l'irrigation).

6.2 Origine de la minéralisation :

6.2.1 Indice de saturation :

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

Grâce au programme "PHREEQ C", nous pouvons calculer les indices de saturation pour la calcite, l'aragonite, la dolomie, le gypse, l'anhydrite et l'halite.

$$IS = \log(k) - \log(pi)$$

Avec :

- **K** : la constante d'équilibre.
- **PI** : le Produit Ionique.

Si on admet que :

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

Tableau10 : Indice de saturation d'après PHREEQ C.

Date	Anhydrite	Calcite	Dolomie	Gypse	Date	Anhydrite	Calcite	Dolomie	Gypse
06/03/04	-2,29	0,51	1,4	-2,07	04/01/14	-2,16	0,19	0,15	-1,94
06/04/04	-2,2	0,53	1,42	-1,98	04/02/14	-2,39	0,52	1,4	-2,17
03/05/04	-2,51	0,3	1,12	-2,29	03/03/14	-2,08	0,4	0,08	-1,86
22/12/04	-2,38	0,7	1,37	-2,16	04/04/14	-2,48	0,06	-0,1	-2,26
02/01/05	-2,36	0,51	0,74	-2,14	04/05/14	-2,14	0,64	1,55	-1,92
02/02/05	-2,3	0,53	0,99	-2,08	02/06/14	-2,13	0,54	1,3	-1,91
02/01/06	-2,3	0,8	1,66	-2,08	04/07/14	-2,24	0,64	1,39	-2,02
03/03/06	-2,08	0,46	0,66	-1,86	06/09/14	-2,5	0,33	1	-2,28
23/04/07	-1,93	0,8	1,64	-1,71	05/10/14	-2,38	0,49	1,31	-2,16
08/05/07	-2,03	0,75	1,63	-1,81	04/11/14	-2,09	0,55	0,84	-1,87
02/11/08	-2,92	0,93	1,65	-2,7	04/04/15	-2,37	0,32	0,9	-2,15
01/12/08	-3,1	0,72	1,4	-2,88	04/05/15	-2,45	0,5	0,98	-2,23
03/01/09	-2,69	0,21	0,34	-2,47	07/06/15	-2,06	0,5	0,69	-1,84
01/03/09	-2,76	0,75	1,08	-2,54	01/07/15	-2,32	0,63	1,44	-2,1
01/06/09	-1,88	0,56	1,55	-1,66	05/08/15	-2,41	0,04	0,29	-2,19
04/01/10	-2,39	0,58	1,31	-2,17	05/12/15	-3,2	0,15	0,19	-2,98
09/01/10	-2,26	0,72	1,53	-2,04	04/12/16	-2,35	0,48	1,08	-2,13
12/02/10	-2,21	0,57	1,12	-1,99	02/01/17	-2,08	0,68	1,25	-1,86
01/03/10	-2,33	0,65	1,06	-2,11	01/03/17	-2,42	0,35	0,67	-2,2
12/04/10	-2,15	0,77	1,08	-1,93	01/04/17	-2,91	-0,15	0,3	-2,69
09/05/10	-2,26	0,17	0,53	-2,04	03/05/17	-2,51	0,03	0,3	-2,29
04/03/11	-2,57	-0,04	-0,66	-2,35	03/06/17	-2,56	0,43	1,38	-2,34
02/05/12	-2,48	0,18	0,25	-2,26	01/07/17	-2,2	0,2	0,39	-1,98
06/12/13	-1,96	0,87	1,41	-1,74	01/07/18	-3,01	-0,06	0,25	-2,79

D'après le tableau cité ci-dessus, la calcite et la dolomie sont marquées par une saturation durant toute la période d'analyse, à l'exception de quelques périodes où l'indice de saturation est inférieur à 0. Les gypses et les Anhydrites sont sous-saturés, car leurs indices de saturation sont inférieurs à 0.

6.2.2 Étude statistique :

Une série de méthodes statistiques ont été appliquées aux données hydro-chimiques des eaux de la source et cela pour déceler l'origine de leur minéralisation et le degré d'interaction eau-roche (principalement pour des ions majeurs).

- L'analyse factorielle pendant longtemps a été utilisée pour les études géochimiques afin de suivre les sources d'élément de minéralisation (Yidana et al. 2018 ; Wang et Shi 2019 ; Gubran et al. 2019 ; Ramarosan et al. 2020). Cette méthode est appliquée pour obtenir des informations qualitatives sur la source des ions majeurs.

- L'analyse de corrélation : est une méthode statistique multi-variée a pour but d'évaluer le degré de corrélation entre deux variables. Des études antérieures ont confirmé que deux ou plusieurs éléments de corrélation significative découlent généralement d'une origine similaire et qui sont contrôlés par les mêmes processus (Sunkari et Abu 2019 ; Zango et al. 2019). Tandis que l'Analyse en composantes principales est une méthode statistique importante qui est non seulement utilisée pour simplifier et classer les données, mais également pour trouver les variables les plus importantes dans les données, alors que la classification hiérarchique ascendante (HAC) est une technique statistique visant à diviser une population en différents sous-groupes, également appelés classes ou clusters. CAH s'efforce de garder les individus dans la même classe aussi proches que possible (homogénéité intra-classe), alors que les classes sont aussi différentes que possible.

a) Matrice de corrélation :

Le coefficient de corrélation linéaire ou Bravais-Pearson mesure la force et la direction de l'association. Varie de -1 à +1, avec une valeur de 0 lorsqu'il n'y a pas d'association. Plus ce coefficient est proche de -1 ou +1, plus l'association entre les deux variables est forte, jusqu'à ce qu'elle devient parfaite.

Pour tenter de préciser la relation entre les sources de minéralisation, les éléments chimiques (variables) et regrouper les points d'eau (individus) ayant les mêmes propriétés chimiques, nous avons effectué une matrice de corrélation, une analyse en composantes principales (ACP) et une classification ascendante hiérarchique (CAH).

Tableau 11 : Corrélation entre les éléments chimiques majeurs des eaux de la source d'Ain Tamekchent.

Variabes	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺
HCO ₃ ⁻	1						
Cl ⁻	-0,045	1					
NO ₃ ⁻	0,009	0,100	1				
SO ₄ ²⁻	-0,145	0,128	0,146	1			
Ca ²⁺	0,511	0,298	0,058	-0,125	1		
Mg ²⁺	0,220	0,091	0,096	0,476	-0,494	1	
Na ⁺ + K ⁺	0,096	0,109	-0,055	0,059	0,089	-0,137	1

L'analyse corrélative entre les éléments chimiques a montré une corrélation moyenne entre le Ca²⁺ et HCO₃⁻ et qui est relativement importante par rapport aux autres éléments chimiques. Aussi, cette analyse nous a montré une corrélation moyenne mais promotionnellement inverse entre Ca²⁺ et Mg²⁺ (-0,494).

b) Coefficient de variation :

Le coefficient de variation (CV) : c'est le rapport de l'écart type à la moyenne. Si le coefficient de variation est supérieur à 50 %, la concentration de l'élément est relativement instable dans le temps. Par contre, s'il est inférieur à 50 %, la concentration de cet élément est relativement stable dans le temps.

Tableau 12 : Paramètres statistiques des variables.

Variable	Moyenne	Ecart-type	CV
HCO ₃ ⁻	4,22	0,88	20,81
Cl ⁻	0,90	0,26	29,22
NO ₃ ⁻	0,29	0,08	28,97
SO ₄ ²⁻	0,89	0,54	60,57
Ca ²⁺	3,10	0,98	31,79
Mg ²⁺	2,53	1,02	40,23
Na ⁺ + K ⁺	0,57	0,20	35,63

D'après le tableau cité ci- dessus, le coefficient de variation des sulfates est supérieur à 50 %, ce qui nous permet de dire que la concentration de cet élément est instable dans le temps. Alors que les autres éléments ont des coefficients de variation inférieurs à 50 %, indiquant une certaine stabilité au niveau de leurs concentrations.

c)Analyse en Composantes Principales :

L'analyse en composantes principales (ACP) est l'une des méthodes d'analyse de données multi-variées les plus couramment utilisées. Il permet d'étudier l'ensemble de données multidimensionnelles avec des variables quantitatives.

Cette approche statistique multi-variée a été largement utilisée dans la recherche des phénomènes environnementaux. Ce travail vise à identifier l'origine de minéralisation des eaux de cette source d'eau (Ain Tamekchent).

Les résultats analytiques portés sur tous les échantillons ont généré huit variables. Seuls les quatre premiers facteurs qui représentent **78.348** % de la variance totale (tableau.13) peuvent interpréter d'une manière satisfaisante les sources de minéralisation des eaux de la source.

Tableau 13 : Pourcentage des facteurs cumulés.

Facteurs	F1	F2	F3	F4
Valeurs propres	1,853	1,464	1,139	1,028
Variabilité (%)	26,477	20,915	16,277	14,680
% cumulé	26,477	47,391	63,668	78,348

Aussi, cette analyse nous a permis de quantifier à la fois la corrélation entre les variables et les facteurs, et aussi le pourcentage de la contribution de ces variables dans ces facteurs.

Tableau14 : Corrélation entre les variables et les facteurs.

	F1	F2	F3	F4
HCO₃⁻	0,425	0,517	0,720	0,142
Cl⁻	0,112	0,588	-0,541	-0,059
NO₃⁻	-0,127	0,417	-0,139	-0,643
SO₄²⁻	-0,596	0,503	-0,193	0,149
Ca²⁺	0,827	0,425	-0,008	-0,140
Mg²⁺	-0,742	0,448	0,392	0,137
Na⁺ + K⁺	0,235	0,208	-0,343	0,728

Tableau 15: Contribution des variables (%).

	F1	F2	F3	F4
HCO₃⁻	9,737	18,249	45,509	1,964
Cl⁻	0,674	23,589	25,665	0,334
NO₃⁻	0,866	11,851	1,708	40,175
SO₄²⁻	19,174	17,284	3,282	2,152
Ca²⁺	36,874	12,335	0,006	1,900
Mg²⁺	29,708	13,734	13,503	1,836
Na⁺ + K⁺	2,967	2,958	10,328	51,640

• **Facteur F1 :** Représente 26,47 % de la source de minéralisation, il montre une corrélation proportionnellement inverse entre le Ca²⁺ et le Mg²⁺ (Tableau.14). Ce qui indique à la fois l'existence d'un échange de base entre le Ca²⁺ et le Mg²⁺, pour cela leF1 est qualifié comme facteur chimique (Tableau.15).

• **Facteur F2 :** Représente 20,91 % de la source de minéralisation, il montre que les éléments Cl⁻, HCO₃⁻ et les SO₄²⁻ contribuent d'une manière très importante dans ce facteur (Tableau.14). Cela indique que ce dernier est qualifié à la fois comme un facteur lithologique (contribution importante du HCO₃⁻) et de pollution (contribution importante du Cl⁻ et du SO₄²⁻) (Tableau.15).

• **Facteur F3 :** Représente 16,27 % de la source de minéralisation, la contribution des carbonates (HCO₃⁻) est plus importante que les autres éléments (Tableau.14 et Tableau.15), ce qui nous permet de dire que le F3 est un facteur à dominance lithologique. Ceci peut s'expliquer par l'interaction des eaux souterraines de la région étudiée avec un sol riche en bicarbonates.

• **Facteur F4 :** Représente 14,68 % de la source de minéralisation, la contribution des NO₃⁻ et (Na⁺ + K⁺) est plus importante dans ce facteur (Tableau .14 et Tableau.15), ce qui nous permet de conclure que le F4 est un facteur de pollution, probablement d'origine agricole.

D) Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est une technique statistique visant à diviser une population en différents sous-groupes, également appelés classes ou clusters. CAH s'efforce de garder les individus dans la même classe, aussi proches que possible (homogénéité interclasse), alors que les classes sont aussi différentes que possible.

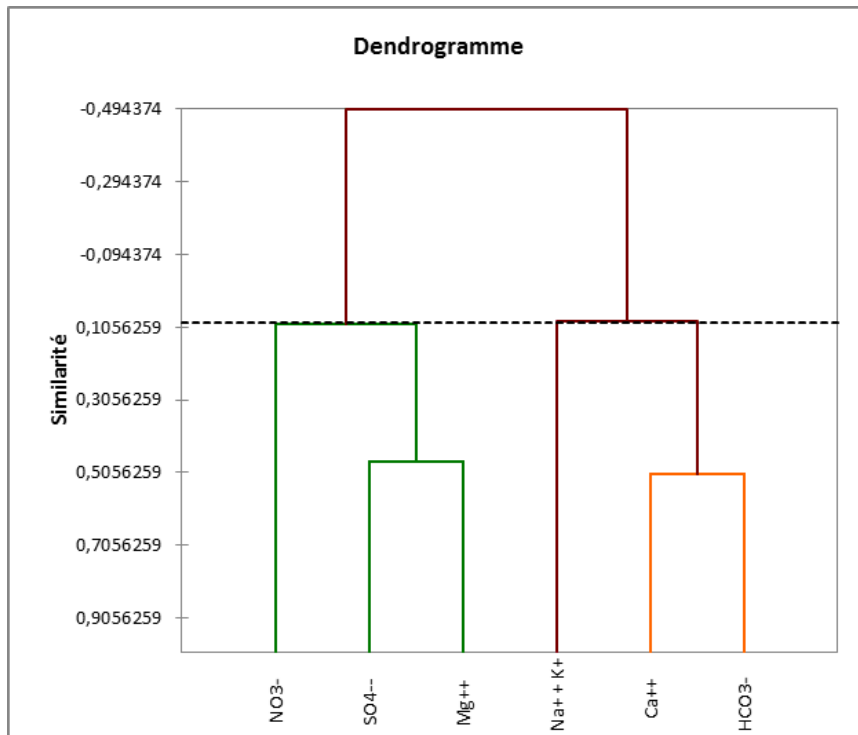


Figure 18: Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

L'application de cette technique aux eaux échantillonnées montre l'existence de deux classes :

- **La classe 1** : Minéralisation par dissolution des formations carbonatées et infiltration des eaux d'irrigation.
- **La classe 2** : Minéralisation d'origine anthropique.

7-Conclusion :

L'étude hydrogéochimique faite sur la base des analyses physico-chimiques des eaux de la source d'Ain Tamekchent a montré que les concentrations des éléments chimiques analysés ne dépassent pas les normes algériennes. Elles doivent être complétées par des analyses bactériologiques.

- Le Diagramme de H. SHOELLER et E. BERKALOFF a montré l'existence d'un faciès **bicarbonaté calcique** qui est le plus dominant et l'autre **bicarbonaté magnésien**.
- Le diagramme de Stabler a fait ressortir l'existence de deux faciès :
 - **Bicarbonaté calcique** (le plus dominant).
 - **Bicarbonaté magnésien**.

➤ Le Diagramme de Piper a classé les eaux de la source en deux familles : la plus abondante est *bicarbonatée calcique et magnésienne* et l'autre *chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne*, représentée par l'analyse n°15.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation dans la période d'étude, en utilisant des Indices et des diagrammes a fait ressortir les résultats suivants :

➤ Indice de KELLY'S RATIO (KR) et le pourcentage en sodium (% Na⁺) : Toutes les valeurs calculées du KR étaient inférieures à 1, donc elles étaient bonnes pour être utilisées en irrigation. Celles du pourcentage en Na⁺ étaient inférieures à 60 %, et classées très bonnes à bonnes pour l'irrigation.

➤ Classification de Wilcox : Toutes les eaux étaient excellentes pour l'irrigation.

➤ Diagramme de RIVERSIDE : Nous avons obtenu deux classes : **C2-S1** (bonne pour l'irrigation) représentée par toutes les dates, à l'exception du 04/04/2014 (n°28) qui était admissible et classée en **C3-S1**.

Les résultats du programme PHREEQ C ont montré que les eaux de la source sont généralement saturées par la calcite et la dolomie durant toute la période d'analyse, à l'exception de quelques périodes où l'indice de saturation est inférieur à 0. Les gypses et les Anhydrites sont sous-saturées, car leurs indices de saturation est inférieur à 0.

- L'étude statistique portée sur les résultats des analyses chimiques des éléments majeurs a montré que les concentrations de ces éléments sont stables dans le temps, à l'exception des sulfates où leur coefficient de variation est supérieur à 60 %.

- Aussi cette analyse a révélé l'existence de huit facteurs qui ont favorisé l'apparition de la minéralisation et seuls les quatre premiers facteurs qui représentent 78.348 % de la variance totale peuvent interpréter d'une manière satisfaisante les sources de minéralisation des eaux de cette source. Le facteur F1 représente le facteur chimique (échange de base entre le Ca²⁺ et le Mg²⁺). Le facteur F2, représente à la fois un facteur lithologique et de pollution, alors que le facteur F3 est d'origine lithologique et le F4 est un facteur de pollution.

• L'application de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) aux eaux étudiées nous a montré l'existence de deux classes de minéralisation :

-La 1^{ère} est représentée par la dissolution des formations carbonatées et l'infiltration des eaux d'irrigation.

-La 2^{ème} est d'origine anthropique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE.

Au terme de ce modeste travail qui concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la source d'Ain Tamekchent et l'origine de sa minéralisation, nous avons conclu ce qui suit :

- L'étude climatologique menée sur la période allant de 1980 à 2021 a montré que la région d'étude se caractérise par un climat semi-aride.
 - La moyenne annuelle des précipitations est de 413,65 mm.
 - La température moyenne mensuelle est d'environ 17,09 °C, les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (26,66°C et 26.87°C), et Janvier est le mois le plus froid (9.25°C).
- Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen montre une période humide entre le début du mois d'Octobre et le début de Mai et une période sèche couvrant le reste des mois de l'année.
- La synthèse des travaux géologiques réalisés dans la zone d'étude nous a permis de conclure que la région d'étude est constituée principalement de formations carbonatées du secondaire, masquées par une sédimentation tertiaire et Plio-quadernaire. Les failles et les diaclases ont contribué dans le développement de la Karstification en profondeur et l'émergence de la source.
- L'étude hydrogéologique nous a permis de constater que les formations calcaires et calcaire-dolomitiques du Jurassique forment les principales formations aquifères qui présentent un intérêt hydrogéologique dans le secteur d'étude.
- L'étude hydrogéochimique portée sur les eaux de la source d'Ain Tamekchent a fait ressortir les résultats suivants :
 - Les eaux étudiées avaient des concentrations en paramètres physico-chimiques conformes aux normes algériennes.
 - Le Diagramme de H. SHOELLER et E. BERKALOFF a montré l'existence d'un faciès ***bicarbonaté calcique*** qui est le plus dominant et l'autre ***bicarbonaté magnésien***.
 - Le diagramme de Stabler a fait ressortir l'existence de deux faciès :
 - ***Bicarbonaté calcique*** (le plus dominant).
 - ***Bicarbonaté magnésien***.

- Le Diagramme de Piper a classé les eaux de la source en deux familles : la plus abondante est *bicarbonatée calcique et magnésienne* et l'autre *chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne*, représentée par l'analyse n°15.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation dans la période d'étude, en utilisant des Indices et des diagrammes a fait ressortir les résultats suivants :

- Indice de KELLY'S RATIO (KR) et le pourcentage en sodium (%Na⁺) : Toutes les valeurs calculées du KR étaient inférieures à 1, donc elles étaient bonnes pour être utilisées en irrigation. Celles du pourcentage en Na⁺ étaient inférieures à 60%, et classées très bonnes à bonnes pour l'irrigation.
- Classification de Wilcox : Toutes les eaux étaient excellentes pour l'irrigation.
- Diagramme de RIVERSIDE : Nous avons obtenu deux classes : **C2-S1** (bonne pour l'irrigation) représentée par toutes les dates, à l'exception du 04/04/2014 (n°28) qui était admissible et classée en **C3-S1**.

Les résultats du programme PHREEQ C ont montré que les eaux de la source sont généralement saturées par la calcite et la dolomie durant toute la période d'analyse, à l'exception de quelques périodes où l'indice de saturation est inférieur à 0. Les gypses et les Anhydrites sont sous-saturés, car leurs indices de saturation sont inférieurs à 0

- L'étude statistique portée sur les résultats des analyses chimiques des éléments majeurs a montré que les concentrations de ces éléments sont stables dans le temps, à l'exception des sulfates où leur coefficient de variation est supérieur à 60 %. Aussi, cette analyse a révélé l'existence de huit facteurs qui ont favorisé l'apparition de la minéralisation et seuls les quatre premiers facteurs qui représentent 78.348 % de la variance totale peuvent interpréter d'une manière satisfaisante les sources de minéralisation des eaux de cette source. Le facteur F1 représente le facteur chimique (échange de base entre le Ca²⁺ et le Mg²⁺). Le facteur F2, représente à la fois un facteur lithologique et de pollution, alors que le facteur F3 est d'origine lithologique et le F4 est un facteur de pollution.
- L'application de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) aux eaux étudiées nous a montré l'existence de deux classes de minéralisation :
 - La 1^{ère} est représentée par la dissolution des formations carbonatées et l'infiltration des eaux d'irrigation.
 - La 2^{ème} est d'origine anthropique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABLAOULH (2013).- Structure et fonctionnement de trois émergences karstiques des Monts de Tlemcen à partir des réponses hydrogéologiques et hydro chimiques (période du 12/12/2005 au 16/01/2007). Mém. Magister, univ. Oran, 169P.

BEKADDOUR. R (2021).- Contribution à une étude de la diversité et rôle des ripisylves dans la région d'Oued Chouly (Tlemcen) .Mém. Master, univ. Tlemcen, 60 P.

BELHADJ.C, SI BACHIR.S(2022).- Contribution à l'identification de l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'Ain Karadja (Tlemcen, ouest algérien).Mém. Master, univ. Tlemcen, 99P.

BEMMOUSSAT.A (2012).- Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mém. Magister, univ. Tlemcen, 155 P.

BENCHAIB .A (2021).- Utilisation d'une approche multicritère pour l'analyse de l'eau dans le golf d'Annaba. Thèse de doctorat 3ème cycle, hydrogéologie, univ .Badji Mokhtar- Annaba, 168 P.

BENEST. M, ELMI. S (1969).- Précisions stratigraphiques sur le Jurassique Inférieur et moyen de la partie méridionale des Monts de Tlemcen (Algérie). C.R. Géol. France, Paris.

BENEST.M (1981).-La marge gondwanienne de l'Ouest algérien au Jurassique supérieur et à l'Eocréacé : les grands traits de l'évolution tectono-aédimentaire méga rythmique. Bull. So. Géol. France. XXIII, n°6.

BENEST.M (1982).- Importance des décrochements senestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daïa (Algérie occidentale). Revue Géologie Dynamique et Géographie Physique, 362P.

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. Bull. So. Géol. France. XXII.

BENEST.M, BENSALAH.M., BOUABDELLAH.H., OURDAS.T(1999).-La couverture mésozoïque et cénozoïque du domaine Tlemcen en (Avant pays Tellien d'Algérie occidentale) : Stratigraphie, environnement, dynamique sédimentaire et tectogenese alpine. Bulletin du service géologique de l'Algérie, vol.10, n° 2.

BENICHOU. A, BAB EL AYAT.H (2022).-Contribution à l'étude qualitative des eaux de la source d'Ain Sefra, Chetouane (Tlemcen-ouest algérien).Mém. Master, univ. Tlemcen, 92P.

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.

BOUHAFS. F (2021). -Caractéristiques hydro-chimiques et évaluation des indicateurs de pollution dans la région de Souk -Ahras : étude de cas des sources de Taoura (Nord - Est algérien).Mém. Master, univ Badji Mokhtar- Annaba, 122 P.

BOULEGHLEM .Z(2015).-Eude hydrogéologique et évaluation des ressources en eau dans la région Azzaba -Guerbes. Mém. Master univ Badji- Mokhtar, Annaba, 137 P.

COLLIGNON .B (1986).- Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Tome 1). Thèse. Doc. Univ. D'Avignon. 216P.

GHERISSI.R (2018).- Ressources en eau dans leur environnement, modélisation hydrologique d'un bassin versant en climat méditerranéen par l'approche conceptuelle globale. Cas de l'Oued Lakhdar (ex : Chouly) (Tafna, Nord-Ouest algérien). Thèse .Doctorat, univ. Tlemcen, 244P.

LUCAS. G (1942).-Description Géologique et pétrographique des Monts de Ghar Roubane et de Sidi El Abed.539P.

MAOU .A(2019).- Contribution à l'étude de l'évolution physico-chimique des sols sous irrigation. Cas du périmètre irrigué à l'aval de la confluence Mellah-Seybouse (W de Guelma).Mém. Master. Univ, Badji –Mokhtar, Annaba, 185 P.




RODIER .J (1996).- L'analyse de l'eau : eaux naturelles 6ème édition, Dunod, Paris, 1383P.

RODIER .J (2005).- l'Analyse de l'eau : eaux naturelles 5ème édition, Dunod, Paris, 1383P.

RODIER .J (2009).- L'analyse de l'eau : eaux naturelles 9ème édition, Dunod, Paris, 1383P.

YIDANA S.M, OPHORI D, AND BANOENG-YAKUBOB B., (2008). -A multivariate statistical analysis of surface chemistry data - the Ankobra Basin, Ghana. Journal of Environmental Management, 88p.




Sites internet :

-  <https://fr.wikipedia.org> > wiki
-  Google Map
-  <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>.

Carte :

-  ANRH 2008 1/200000
-  Situation géographique de la willaya de Tlemcen (direction du parc de Tlemcen 2017)

Logiciels :

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

ANNEXES

Annexe n° 01 : Balance ionique.

Nombre	Dates	BI	Classement	Nombre	Dates	BI	Classement
1	06/03/2004	0,08	Bonne analyse	25	04/01/2014	1,76	Bonne analyse
2	06/04/2004	3,56	Analyse acceptable	26	04/02/2014	1,61	Bonne analyse
3	03/05/2004	3,65	Analyse acceptable	27	03/03/2014	1,86	Bonne analyse
4	22/12/2004	1,66	Bonne analyse	28	04/04/2014	3,14	Analyse acceptable
5	02/01/2005	0,71	Bonne analyse	29	04/05/2014	2,31	Analyse acceptable
6	02/02/2005	4,89	Analyse acceptable	30	02/06/2014	4,74	Analyse acceptable
7	02/01/2006	4,15	Analyse acceptable	31	04/07/2014	1,71	Bonne analyse
8	03/03/2006	2,14	Analyse acceptable	32	06/09/2014	0,18	Bonne analyse
9	23/04/2007	3,96	Analyse acceptable	33	05/10/2014	1,49	Bonne analyse
10	08/05/2007	0,4	Bonne analyse	34	04/11/2014	0,37	Bonne analyse
11	02/11/2008	2,25	Analyse acceptable	35	04/04/2015	0,7	Bonne analyse
12	01/12/2008	4,85	Analyse acceptable	36	04/05/2015	2,04	Analyse acceptable
13	03/01/2009	3,25	Analyse acceptable	37	07/06/2015	2,61	Analyse acceptable
14	01/03/2009	1,83	Bonne analyse	38	01/07/2015	0,94	Bonne analyse
15	01/06/2009	3,73	Analyse acceptable	39	05/08/2015	4,98	Analyse acceptable
16	04/01/2010	4,31	Analyse acceptable	40	05/12/2015	0,01	Bonne analyse
17	09/01/2010	2,96	Analyse acceptable	41	04/12/2016	3,41	Analyse acceptable
18	12/02/2010	1,19	Bonne analyse	42	02/01/2017	4,15	Analyse acceptable
19	01/03/2010	0,22	Bonne analyse	43	01/03/2017	1,58	Bonne analyse
20	12/04/2010	2,51	Analyse acceptable	44	01/04/2017	2,47	Analyse acceptable
21	09/05/2010	2,87	Analyse acceptable	45	03/05/2017	1,68	Bonne analyse
22	04/03/2011	0,88	Bonne analyse	46	03/06/2017	0,45	Bonne analyse
23	02/05/2012	3,67	Analyse acceptable	47	01/07/2017	0,82	Bonne analyse
24	06/12/2013	3,58	Analyse acceptable	48	01/07/2018	1,56	Bonne analyse

Annexe n°02 : Normes algériennes de potabilité (Journal officiel 2011 et 2014).

Paramètres	Unités	Valeurs limites
pH.	/	6,5 et 9
Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
Dureté totale (TH)	mg/L en CaCO ₃	500
Résidu sec.	mg/L	1500
Nitrates.	mg/L	50
Sulfates.	mg/L	400
Chlorures	mg/L	500
Potassium	mg/L	12
Sodium.	mg/L	200
Magnésium	mg/L	150
Calcium	mg/L	200

Annexe n° 03 : Minéralisation et classification des eaux.

Dates	Cond	Minéralisation	Classification	Dates	Cond	Minéralisation	Classification
06/03/04	558	399,48	Moyenne à accentuée	04/01/14	528	378,01	Moyenne à accentuée
06/04/04	568	406,64	Moyenne à accentuée	04/02/14	528	378,01	Moyenne à accentuée
03/05/04	520	372,28	Moyenne à accentuée	03/03/14	740	529,78	Importante
22/12/04	440	315,00	Moyenne à accentuée	04/04/14	765	547,68	Importante
02/01/05	540	386,60	Moyenne à accentuée	04/05/14	689	493,27	Importante
02/02/05	446	319,30	Moyenne à accentuée	02/06/14	527	377,29	Moyenne à accentuée
02/01/06	624	446,73	Moyenne à accentuée	04/07/14	672	481,10	Importante
03/03/06	524	375,14	Moyenne à accentuée	06/09/14	521	372,99	Moyenne à accentuée
23/04/07	596	426,69	Moyenne à accentuée	05/10/14	563	403,06	Moyenne à accentuée
08/05/07	598	428,12	Moyenne à accentuée	04/11/14	483	345,79	Moyenne à accentuée
02/11/08	476	340,78	Moyenne à accentuée	04/04/15	398	284,94	Moyenne à accentuée
01/12/08	648	463,92	Moyenne à accentuée	04/05/15	472	337,91	Moyenne à accentuée
03/01/09	324	249,34	Moyenne à accentuée	07/06/15	398	284,94	Moyenne à accentuée
01/03/09	392	280,64	Moyenne à accentuée	01/07/15	479	342,93	Moyenne à accentuée
01/06/09	484	346,51	Moyenne à accentuée	05/08/15	425	304,27	Moyenne à accentuée
04/01/10	427	305,70	Moyenne à accentuée	05/12/15	555	397,34	Moyenne à accentuée
09/01/10	500	357,96	Moyenne à accentuée	04/12/16	541	387,31	Moyenne à accentuée
12/02/10	478	342,21	Moyenne à accentuée	02/01/17	524	375,14	Moyenne à accentuée
01/03/10	546	390,89	Moyenne à accentuée	01/03/17	536	383,73	Moyenne à accentuée
12/04/10	564	403,78	Moyenne à accentuée	01/04/17	450	322,16	Moyenne à accentuée
09/05/10	630	451,03	Moyenne à accentuée	03/05/17	415	297,11	Moyenne à accentuée
04/03/11	482	345,07	Moyenne à accentuée	03/06/17	603	431,70	Moyenne à accentuée
02/05/12	594	425,26	Moyenne à accentuée	01/07/17	520	372,28	Moyenne à accentuée
06/12/13	523	374,43	Moyenne à accentuée	01/07/18	494	353,66	Moyenne à accentuée

Annexe n° 04 : Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres physico-chimiques.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne
Ca ²⁺	24	116	62
Mg ²⁺	9	58	31
Na ⁺	7	32	13
Cl ⁻	14	68	32
SO ₄ ²⁻	4	165	42
HCO ⁻	117	342	258
NO ₃ ⁻	2	31	18
pH	7,1	8,20	7,8
Conductivité	324	765	514
Résidu sec	200	660	440

Annexe n° 05 : Classification des eaux, selon leurs faciès chimiques (selon Schoeller- Berkaloff).

Numéros	Dates	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
		Anions	Cations	
1	06/03/2004	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
2	06/04/2004	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
3	03/05/2004	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Magnésien
4	22/12/2004	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
5	02/01/2005	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
6	02/02/2005	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
7	02/01/2006	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
8	03/03/2006	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
9	23/04/2007	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
10	08/05/2007	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
11	02/11/2008	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
12	01/12/2008	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
13	03/01/2009	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
14	01/03/2009	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
15	01/06/2009	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
16	04/01/2010	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
17	09/01/2010	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
18	12/02/2010	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
19	01/03/2010	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
20	12/04/2010	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
21	09/05/2010	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
22	04/03/2011	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
23	02/05/2012	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
24	06/12/2013	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
25	04/01/2014	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
26	04/02/2014	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
27	03/03/2014	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
28	04/04/2014	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
29	04/05/2014	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
30	02/06/2014	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
31	04/07/2014	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
32	06/09/2014	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
33	05/10/2014	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
34	04/11/2014	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
35	04/04/2015	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
36	04/05/2015	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
37	07/06/2015	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
38	01/07/2015	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
39	05/08/2015	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
40	05/12/2015	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
41	04/12/2016	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
42	02/01/2017	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
43	01/03/2017	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
44	01/04/2017	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
45	03/05/2017	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
46	03/06/2017	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien
47	01/07/2017	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ⁻ >Cl ⁻ >NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na+K	Bicarbonaté Calcique
48	01/07/2018	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ⁻ >NO ₃ ⁻	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ +K	Bicarbonaté Magnésien

ملخص

المساهمة في دراسة تطور الجودة الفيزيوكيميائية لمياه منبع تمكشنت (عين فزة، تلمسان، غرب الجزائر).

الهدف من هذا العمل هو دراسة الجودة الفيزيوكيميائية وأصل تمعدن منبع عين تمكشنت الواقعة في عين فزة (تلمسان). أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن مياه منبع عين تمكشنت كانت صالحة للشرب خلال فترات الدراسة، حيث كانت جميع المعايير مطابقة للمواصفات الجزائرية لمياه الشرب. سمح لنا نقل العناصر الكيميائية على الرسوم البيانية لشولر-بيركالوف وستابلر بتصنيف المياه إلى وجهتين: بيكربونات الكالسيوم (الأكثر شيوعاً) وبيكربونات المغنيسيوم. صنف مخطط بايبر مياه النبع المدروس إلى عائلتين: بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والكلوريد وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم. أظهر تقدير المياه لأغراض الري باستخدام مؤشرات مثل $Na^+ KR$ أنها جيدة جداً للري. أظهر مخطط ويلكوكس أن مياه النبع كانت ممتازة للري. أظهر الرسم البياني RIVERSIDE أن مياه منبع عين تمكشنت صُنفت إلى فئتين: C2-S1 لمعظم المياه (جيدة للري) و C3-S1 للعينة (رقم 28)، بتاريخ 2014/04/04 (مسموح بها للري). أظهر تقرير العناصر الكيميائية على مخطط PHREEQ C أن مياه المصدر مشبعة بشكل عام بالكالسيت والدولوميت طوال الفترة، باستثناء فترات قليلة، في حين أن الجبس والانيتريت غير مشبعين. أتاحت لنا الدراسة الإحصائية أن نستنتج أن تمعدن مياه عين تمكشنت ناتج عن عامل صخري (انحلال تكوينات الكربونات) و / أو عوامل بشرية وكيميائية (التبادل الأساسي بين Ca^{++} و Mg^{++}).

الكلمات المفتاحية: منبع عين تمكشنت، عين فزة (تلمسان)، التحليلات الفيزيوكيميائية، صالح للشرب، الري، الرسوم البيانية، التمعدن، CAH، ACP، PHREEQ C.

RÉSUMÉ

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

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité physico-chimique et l'origine de la minéralisation de la source d'Ain Tamekchent, située à Ain Fezza (Tlemcen).

Les analyses physico-chimiques ont montré que les eaux de la source d'Ain Tamekchent étaient potables durant les périodes d'étude, où tous les paramètres étaient conformes aux normes algériennes de potabilité.

Le report des éléments chimiques sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Stabler, nous a permis de classer les eaux en deux faciès : faciès bicarbonaté calcique (le plus dominant) et faciès bicarbonaté magnésien.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la source étudiée en deux familles : bicarbonatée calcique et magnésienne et chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

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 Wilcox a montré que les eaux de la source étaient excellentes pour l'irrigation.

Le diagramme de RIVERSIDE a montré que les eaux de la source d'Ain Tamekchent étaient classées dans deux classes : C2-S1 pour la plupart des eaux (Bonnes pour l'irrigation) et C3-S1 pour l'échantillon (n°28), daté du 04/04/2014 (admissible pour l'irrigation).

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les eaux de la source sont généralement saturées par la calcite et la dolomie durant toute la période, à l'exception de quelques périodes, alors que les gypses et les anhydrites sont sous-saturés.

L'étude statistique nous a permis de conclure que la minéralisation des eaux d'Ain Tamekchent est due à un facteur lithologique (dissolution des formations carbonatées) et/ou aux facteurs anthropiques et chimiques (échange de base entre le Ca^{++} et le Mg^{++}).

Mots clés : Source d'Ain Tamekchent, Ain Fezza (Tlemcen), Analyses physico-chimiques, Potabilité, Irrigation, Diagrammes, Minéralisation, PHREEQ C, ACP, CAH.

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF THE PHYSICO-CHEMICAL QUALITY OF THE WATERS OF THE SOURCE OF TAMEKCHENT (AIN FEZZA, TLEMCEN, WEST ALGERIAN).

The objective of this work is to study the physico-chemical quality and the origin of mineralization of the source of Ain Tamekchent, located in Ain Fezza (Tlemcen).

The physico-chemical analyses showed that the waters of the Ain Tamekchent source were drinkable during the periods of study, where all the parameters were in conformity with the Algerian standards of potability.

By plotting the chemical elements on the Schoeller-Berkaloff and Stabler diagrams, we were able to classify the waters into two facies: Calcium bicarbonate facies (the most dominant) and magnesium bicarbonate facies.

The Piper diagram classified the waters of the studied source in two families: calcium and magnesium bicarbonate and chloride and sulfate calcium and magnesium.

Estimation of the waters for irrigation purposes using indices such as Na^+ and KR revealed that they are very good to good for irrigation. The Wilcox diagram showed that the source waters were excellent for irrigation.

The RIVERSIDE diagram showed that the waters of Ain Tamekchent source were classified in two classes: C2-S1 for most of the waters (Good for irrigation) and C3-S1 for the sample (n°28), dated 04/04/2014 (eligible for irrigation).

The transfer of chemical elements on the diagram of PHREEQ C showed us that the waters of the source are generally saturated by calcite and dolomite throughout the period, with the exception of a few periods, while the gypsum and Anhydrite are under saturated.

The statistical study allowed us to conclude that the mineralization of Ain Tamekchent waters is due to a lithological factor (dissolution of carbonate formations) and/or to anthropic and chemical factors (basic exchange between Ca^{++} and Mg^{++}).

Key words: Ain Tamekchent source, Ain Fezza (Tlemcen), Physico-chemical analyses, Potability, Irrigation, Diagrams, Mineralization, PHREEQ C, ACP, CAH.