

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des sciences de la terre et de l'univers

MEMOIRE

Présenté par

CHIKHI EP : BELBACHIR AMINA

BENDAOU IMENE

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines du
groupement urbain de Tlemcen (Nord-Ouest algérien).

Soutenu le **22/09/2020**, devant le jury composé de :

Président	Mr CHIKH.M	MAA	Université de Tlemcen
Encadreur	M ^{me} GUETTAIA.S	MCB	Université de Tlemcen
Co-Encadreur	Mr BOUDJEMA.A	MCA	Université de Tlemcen
Examinatrice	M ^{me} DJELAD.R	MAA	Université de Tlemcen

Année universitaire 2019/2020.

REMERCIEMENTS

**Avant tout, nos remerciements à Dieu ALLAH, Le Tout Puissant qui nous a donné le courage, la patience et la santé et qui nous a aidées à réaliser ce travail.*

**Nos remerciements vont également à Mr. A. BOUDJEMA et Mme S. GUETTALA d'avoir accepté de nous encadrer, pour leur patience, leurs orientations et leurs critiques constructives, tout au long de ce travail.*

**Nous remercions Mr CHIKH.M pour l'honneur qu'il nous fait de présider le jury.*

**Nos remerciements vont aussi à M^{me} DJELAD.R d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

** Sans oublier aussi de remercier vivement les membres du laboratoire d'analyse de l'A.D.E Tlemcen, les Ingénieurs de l'hydraulique /unité de Tlemcen et de l'A.N.R.H pour la documentation et les données qui nous ont approvisionnées.*

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

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

**Mon cher mari et l'homme de ma vie qui a un grand rôle dans ce travail, qui a pu voir le jour avec ses sacrifices et ses favorises et bien sûr avec son support moralement.*

**Mon petit trésor amine, tu es mon cœur et ma joie dans la vie mon bébé.*

**Ma famille et ma belle-famille.*

**Mes amies et toute la promotion d'hydrogéologie 2019-2020.*

AMINA

DÉDICACES

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

Je dédie ce travail :

**À mes très chers parents : ma mère et mon père, à leurs prières sans fin et à leur fierté de mes petits succès, je vous souhaite le plaisir de Dieu, et une longue vie.*

**À mes très chers frères : Mohammed et Fathi, mes très chères sœurs Fatima Zohra et Asmaa.*

**À mes Petits anges Ritedj Tasnim et Roeya Baylasan*

**À mon futur mari, LaKhdar Ghoumari et sa famille.*

**À toute ma famille.*

**À mon Binôme :Belbachir Amina.*

**À toutes mes amies (Nour El Houda -Houria et Chahinez...)*

**À tous mes collègues de la promotion de la 2^{ème} année Master Hydrogéologie : 2019/2020.*

IMENE

المساهمة في الدراسة الهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية في

التجمع الحضري لتلمسان (شمال غرب الجزائر)

ملخص:

الغرض من هذا العمل هو تحليل الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لمياه بعض الينابيع والآبار في التجمع الحضري لتلمسان الغرض من هذا العمل هو تحليل الخصائص الفيزيائية و الكيميائية لمياه بعض الينابيع والآبار في التجمع الحضري لتلمسان.

- من وجهة نظر القابلية للشرب ، تصنف بعض نقاط المياه على أنها صالحة للشرب وصالحة للاستهلاك البشري (-P17-P16-P13-P7) (P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24-P25) ، والباقي يقدم تركيزات عالية من النترات والبوتاسيوم التي تفوق المعايير الجزائرية للشرب. (p1-p2-p3-p4-p5-p6-p8-p9-p11-p10-p12-p15-p14)

وفقاً لنتائج حساب % Na + Kr، فإن جميع الينابيع و الآبار ذات جودة عالية جداً إلى جيدة للري. وفقاً لـ Riverside، (-P12-P3-P1) (P24-P25) في الفئة C2-S1 وهي ذات جودة جيدة. أما الأنواع الأخرى فهي في الفئة S1 - C3 وهي مؤهلة للري. أظهر مخطط ويلكوكس تصنيفين : ممتاز، ممثلة بنقاط المياه P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25 وجيد، والتي تشمل جميع نقاط المياه الأخرى.

-صنف مخطط Schoeller- Berkaloff نقاط الماء في سحنات بيكربونات الكالسيوم باستثناء P2 وهو بيكربونات المغنيسيوم، بينما قسمها مخطط بايبر إلى عائلتين: الكالسيوم وكوريد المغنيسيوم والكبريتات والكالسيوم وبيكربونات المغنيسيوم.

-سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم الجيوكيمياء لمياه الينابيع والآبار منهلًا لتحديد أصل تمعدنها. تم إجراء هذه الدراسة باستخدام برنامج "XLSTAT". وأظهرت النتائج التحليلية ل 25 عينة أن تمعدن المياه ناتج عن تلوته نتيجة تسرب مياه الري وكذلك بسبب انحلال المعادن في طبقة المياه الجوفية.

-الكلمات المفتاحية: التجمع الحضري لتلمسان - الينابيع- الآبار-العوامل الفيزيائية و الكيميائية- الرسومات البيانية - التمعدن -

.XLSTAT -A.C.P -CAH

Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines du Groupement urbain de Tlemcen (Nord-Ouest algérien).

RÉSUMÉ :

Le but de ce travail est d'analyser les caractéristiques physico-chimiques des eaux de quelques sources et forages dans le groupement urbain de Tlemcen.

Du point de vue potabilité, certains points d'eau sont classés potables et propres à la consommation humaine (P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24-P25), le reste présentent des concentrations élevées en nitrate et potassium qui sont au-dessus des normes algériennes de potabilité (p1-p2-p3-p4-p5-p6-p8-p9-p11-p10-p12-p15- P14).

D'après les résultats du % en Na^+ et du calcul du Kr, toutes les sources et les forages sont de très bonne à bonne qualité pour l'irrigation. Selon Riverside, (P1-P12-P3-P24-P25) sont dans la classe C2-S1 et sont de bonne qualité. Les autres sont dans la classe C3-S1, elles sont admissibles pour l'irrigation. Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications : Excellente, représentée par les points d'eau P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25 et Bonne qui englobe tout le reste des points d'eau.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff a classé les points d'eau en faciès bicarbonaté calcique à l'exception du P2 qui est bicarbonaté magnésien, tandis que le diagramme de Piper les a divisé en deux familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne.

L'étude statistique nous a permis de comprendre la géochimie des eaux des sources et forages, en déterminant l'origine de leurs minéralisations. Cette étude a été réalisée à l'aide du logiciel « XLSTAT ». Les résultats analytiques portés sur les 25 échantillons ont montré que la minéralisation est due à une contamination par les infiltrations des eaux d'irrigation ainsi que par la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté.

-Mots clés : Groupement Urbain de Tlemcen- Sources- Forages-Paramètres physico- chimiques- Diagrammes –Minéralisation- XLSTAT -A.C.P –CAH.

**Contribution to the hydrogeochemical study of groundwater in urban grouping of Tlemcen
(North-West Algeria).**

SUMMARY:

The purpose of this work is to analyze the physico-chemical characteristics of the waters of some springs and drillings in the urban grouping of Tlemcen.

From the drinkability point of view, some water points are classified as drinkable and fit for human consumption (P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24-P25), the rest present high concentrations of nitrate and potassium which are above the Algerian standards of drinkability (p1-p2-p3-p4-p5-p6-p8-p9-p11-p10-p12-p15 - P14).

According to the results of the % Na⁺ and Kr calculation, all sources and drillings are of very good to good quality for irrigation. According to Riverside, (P1-P12-P3-P24-P25) are in class C2-S1 and are of good quality. The others are in class C3-S1 and are eligible for irrigation. Wilcox's diagram showed two classifications: Excellent, represented by water points P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25 and Good, which includes all other water points.

The Schoeller-Berkaloff diagram classified the water points in calcium bicarbonate facies with the exception of P2 which is magnesian bicarbonate, while the Piper diagram divided them into two families: calcium and magnesian chloride and sulphate and calcium and magnesian bicarbonate.

The statistical study allowed us to understand the geochemistry of the spring and borehole waters by determining the origin of their mineralization. This study was performed using the "XLSTAT" software. The analytical results of the 25 samples showed that the mineralization is due to contamination by the infiltration of irrigation water as well as by the dissolution of minerals in the carbonate aquifer.

-Keywords: Tlemcen Urban Grouping- Springs- Drilling - Physico-chemical parameters - Diagrams - Mineralization- XLSTAT -A.C.P -CAH.

TABLE DES MATIÈRES.

Remerciements
 Dédicaces
 ملخص
 Résumé
 Summary
 Table des matières
 Liste des figures
 Liste des tableaux
 Liste des abréviations.

Introduction générale.....	P 1
Partie 1 : Généralités	P4
I. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	P5
I.1 Situation géographique de la zone d'étude.....	P5
I.2 Hydrographie.....	P6
II. CLIMATOLOGIE.....	P7
II.1 Introduction.....	P7
II.2 L'étude des paramètres climatologiques.....	P7
II.2.1 Les précipitations.....	P7
a) Les précipitations moyennes annuelles.....	P7
b) Les précipitations moyennes mensuelles.....	P8
c) Les précipitations saisonnières.....	P9
II.2.2 Les températures.....	P10
a. Les températures moyennes mensuelles.....	P10
II.3 L'étude du climat.....	P11
A. Méthode de visualisation (méthode graphique).....	P12
✓ Les courbespluvio-thermiques.....	P12
B. Les indices climatiques.....	P12
1) Indice d'Aridité de DE Martonne.....	P12
• Indice d'aridité annuel.....	P13
• Indice d'aridité mensuel de DE Martonne.....	P14

2) Indice de Moral (1964).....	P15
• Indice annuel (Ia).....	P15
• Indice mensuel (Im).....	P16
3) Climagramme d'EMBERGER.....	P17
Bilan hydrologique.....	P18
II.4. 1 Evapotranspiration et déficitd'écoulement	P18
✓ Evapotranspiration.....	P18
• L'évapotranspirationréelle (ETR).....	P18
• L'évapotranspirationpotentielle (ETP).....	P32
✓ Déficitd'écoulement.....	P18
❖ Méthode de Turc (1954).....	P19
❖ Méthode de Wundt	P19
❖ Méthode de P.Verdeil.....	P20
1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	P21
❖ Méthode de Thornthwaite.....	P21
2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	P22
3. Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.).....	P22
4. Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite	P23
Conclusion.....	P24
III. GEOLOGIE.....	P25
III.1 Introduction.....	P25
III.2 Série litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen.....	P25
a. Le secondaire.....	P25
1. <i>Le Trias</i>	P25
2. <i>Le Lias et le Dogger</i>	P25
3. <i>Les argiles de Saida</i>	P25
4. <i>Les Grès de Boumediene</i>	P25
5. <i>Les calcaires de Zarifet</i>	P26
6. <i>Les dolomies de Tlemcen</i>	P26
7. <i>Les calcaires de Stah</i>	P26
8. <i>Les marno- calcaires de Raourai</i>	P26
9. <i>Les calcaires de Lato</i>	P26
10. <i>Les dolomies de Terny</i>	P26

11. Les marno-calcaires de Hariga.....	P27
12. Les marno-calcaires d'OueldMimoune.....	P27
13. Le Crétacé.....	P27
• Les argiles de Lamoricière.....	P27
• Les grès de Berthelot.....	P27
• Les calcaires de Zigyne.....	P27
b. Le Tertiaire.....	P27
1. L'Éocène.....	P28
2. Le Miocène.....	P28
❖ Inférieur.....	P28
❖ Moyen (Serravallien).....	P28
❖ Supérieur (Tortonien).....	P28
c. Le Plio-Quaternaire.....	P28
III.3 Analyses structurales.....	P30
III.4 Les principales phases tectoniques.....	P30
1) Phases de l'Éocrétacée.....	P30
2) Une phase atlasique.....	P30
3) Une phase à dominance distensive.....	P31
4) Une phase récente.....	P31
5) Déformations actuelles.....	P31
III.5 Conclusion.....	P33
IV. L'HYDROGEOLOGIE.....	P34
IV.1 Introduction.....	P34
IV.2 Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques.....	P35
✓ Les formations calcaires du Jurassique.....	P35
✓ Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien terminal).....	P35
✓ Dolomies de Terny.....	P35
✓ Les grès de Boumediène	P35
✓ Les grès Tortoniens.....	P35
✓ Les formations du Plio-Quaternaire.....	P36
IV.3 Conclusion.....	P37
Partie 2 :Hydrogéochimie.	P38

V. HYDROGEOCHIMIE.....	P39
V.1 Introduction.....	P39
V.2 Balance ionique.....	P39
V.3 Interprétationset discussions.....	P40
V.3.1 Etude des caractéristiques physico-chimiques.....	P40
✓ Aptitude des eaux destinées à la consommation humaine.....	P40
A. Paramètres physiques.....	P40
a) Température.....	P40
b) Potentiel d'Hydrogène «pH».....	P41
c) Conductivitéélectrique (CE).....	P41
d) Minéralisation.....	P43
e) Paramètreschimiques.....	P45
1) Les cations.....	P45
❖ L'ion Calcium.....	P45
❖ L'ion Magnésium.....	P46
❖ L'ion Sodium.....	P46
❖ L'ion Potassium.....	P47
2) Les anions.....	P48
❖ L'ionChlorure.....	P48
❖ L'ion Sulfate.....	P48
❖ L'ion Bicarbonate.....	P49
❖ L'ion Nitrate.....	P50
V.4 Classification des eaux.....	P50
V.4.1 Représentationgraphiqueselon PIPER.....	P55
❖ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.....	P55
❖ Bicarbonatée calciqueetmagnésienne.....	P55
✓ Aptitude des eaux destinées à l'irrigation.....	P56
1. Le pourcentage en Sodium.....	P56
2. Indice de Kelly's Ratio (Kr).....	P58
3. Diagramme de Riverside.....	P59
4. Diagramme de WILOX.....	P61
V.5 L'origine de la minéralisation.....	P62
V.5.1 L'étude statistique.....	P62
V.5.2 Matrice des corrélations.....	P62

V.5.3	Le coefficient de variation.....	P62
V.5.4	Analyse en Composantes Principales.....	P63
V.5.5	Classification ascendante hiérarchique (CAH).....	P64
V.6	Conclusion.....	P66
Conclusion générale.....		P68

Références bibliographiques.

Annexes.

Résumés.

LISTE DES FIGURES

Fig.1: Situation géographique de la zone d'étude.(Kerrouche A. et Guenchi L., 2008), modifiée	P5
Fig.2: Réseau hydrographique du Bassin Versant de la Tafna (Abderrazak Bouanani.et ,al.,2013).....	P6
Fig.3: Courbe des variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P8
Fig. 4: Histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P9
Fig. 5: Variations saisonnières des précipitations à la station de Tlemcen (1995- 2016).....	P10
Fig. 6: Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à la station de Tlemcen.....	P11
Fig. 7: Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2016).....	P12
Fig. 8: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.....	P13
Fig.9: Abaque de l'indice d'aridité mensuel de De Martonne.....	P15
Fig. 10: Climagramme d'Emberger.....	P18
Fig. 11: Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT).....	P20
Fig. 12: Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P.VERDEIL, 1988).....	P21
Fig. 13: Colonne stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest&Bensalah, 1999).....	P29
Fig. 14: Schéma structural des Monts de Tlemcen d'après M. Benest, 1985.(Azziz H,2017).....	P32
Fig. 15: zones aquifères de Tlemcen (d'après Collignon 1984, in A. Bemmoussat 2012).....	P34
Fig. 16: Carte hydrogéologique de la zone d'étude (1/200000).....	P36
Fig. 17: Localisation des points d'eau dans la région d'étude.....	P39
Fig. 18: Histogramme des températures des points d'eau	P41
Fig. 19: Histogramme des pH.....	P41

Fig. 20: Histogramme des Conductivités électriques.....	P43
Fig. 21: Histogramme des Minéralisations.....	P45
Fig. 22: Histogramme de Calcium.....	P45
Fig. 23: Histogramme de Magnésium.....	P46
Fig. 24: Histogramme de Sodium.....	P47
Fig. 25: Histogramme du Potassium.....	P47
Fig. 26: Histogramme des Chlorures.....	P48
Fig. 27: Histogramme des Sulfates.....	P49
Fig. 28: Histogramme des Bicarbonates	P49
Fig. 29: Histogramme des Nitrates.....	P50
Fig. 30: Classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff.....	P53
Fig. 31: Classification des eaux selon Shoeller-Berkaloff.....	P54
Fig. 32: Diagramme de Piper.....	P56
Fig. 33: Diagramme de RIVERSIDE.....	P60
Fig. 34: Diagramme de WILCOX.....	P61
Fig. 35 : Projection dans l'espace des variables en fonction des facteurs 1 et 2.....	P64
Fig. 36 : Classification hiérarchique des paramètres physico-chimiques des eaux échantillonnées.....	P65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. 1: Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen (A.N.R.H).....	P7
Tableau. 2: Tableau des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P7
Tableau. 3: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P8
Tableau. 4: Précipitations moyennes saisonnières à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P9
Tableau. 5: Températures moyennes, maximales et minimales enregistrées à la station de Tlemcen.....	P10
Tableau. 6: Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P11
Tableau. 7: Indice d'aridité de Martonne concernant la station de Tlemcen.....	P13
Tableau. 8: Indice d'aridité de Martonne.....	P13
Tableau. 9: Valeurs des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.....	P14
Tableau. 10: Indice de Moral / station de Tlemcen.....	P16
Tableau. 11: Indice de moral à la station de Tlemcen.....	P16
Tableau. 12: Valeurs des indices mensuels de Moral à la station de Tlemcen.....	P17
Tableau. 13: Indiced'Emberger.....	P17
Tableau. 14: Résultat de l'ETR par la méthode de TURC.....	P19
Tableau. 15: Valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt).....	P19
Tableau. 16: Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL).....	P20
Tableau. 17: Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Tlemcen (1995-2016).....	P22
Tableau. 18: Calcul du bilan hydrologique de la station de Tlemcen (1995-2016) selon C.W Thornthwaite	P23
Tableau. 19: Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J.,2009).....	P41
Tableau. 20: Conductivités des eaux étudiées.....	P42
Tableau. 21: Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J., 2009).....	P42
Tableau. 22: Minéralisation des eaux étudiées.....	P44
Tableau. 23: Classification des eaux, selon leurs faciès chimiques.....	P51
Tableau. 24: Classification des eaux, selon le pourcentage en Na ⁺	P57
Tableau. 25: Pourcentages en Sodium des points d'eau étudiés.....	P57

Tableau. 26: Valeur du Kr des eaux étudiées.....	P58
Tableau. 27: Matrice des corrélations.....	P62
Tableau. 28 : Paramètres statistiques des variables.....	P63
Tableau. 29 : Pourcentage des facteurs cumulés.....	P64

LISTE DES ABRÉVIATIONS

- G.U.T.** : Groupement urbain de Tlemcen.
- P** : Précipitations.
- T** : Températures.
- ETP** : Evapotranspiration Potentielle.
- ETR** : Evapotranspiration Réelle.
- AEP** : Alimentation en eau potable.
- R. F. U** : Réserve facilement utilisable
- IRR** : irrigation.
- BI** : Balance Ionique.
- Meq/L** : Milliéquivalent par litre.
- r** : quantité en réaction.
- PH** : potentiel Hydrogène.
- CE** : Conductivité électrique.
- Ca⁺⁺** : Ion Calcium.
- Mg⁺⁺** : Ion Magnésium.
- Na⁺** : Ion Sodium.
- K⁺** : Ion potassium.
- HCO₃⁻** : Ion Bicarbonate.
- Cl⁻** : Ion Chlorure.
- SO₄⁻** : ion sulfates.
- NO₃⁻** : Nitrates.
- C.M.A** : Concentration maximale admissible.
- CAH** : Classification ascendante hiérarchique.
- Kr** : Indice de Kelly's Ratio.
- Na%** : Pourcentage du sodium.
- SAR** : Sodium Alkalinity Ratio.
- A.C.P.** : Analyse en Composante Principale.
- F1** : Facteur 1.
- F2** : Facteur 2.
- A.D.E.** : Algérienne Des Eaux.
- A.N.R.H.**: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.



**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

INTRODUCTION GENERALE.

L'eau est indispensable à la vie, essentielle à des multiples activités humaines (énergétiques, domestiques industrielles, agricoles...). Il faut bien gérer cette ressource et la protéger du point de vue quantité et qualité contre les multiples problèmes générés par les humains.

La ville de Tlemcen est localisée au Nord-Ouest de l'Algérie, elle est caractérisée par sa richesse en ressources en eaux souterraines et superficielles, par sa variation et sa complexité géologique, et par une très forte sensibilité aux changements climatiques.

l'apport des eaux karstiques mobilisées par forages et sources fournit un volume d'eau considérable qui s'ajoute à celui des barrages. Les eaux souterraines jouent un rôle très important dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen, ainsi qu'aux besoins industriels et agricoles dans la région.

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié du point de vue hydro-géochimique les eaux de quelques sources et forages répartis dans le Groupement Urbain de Tlemcen (G.U.T) qui regroupe trois Daïras : Chetouane, Mansourah et Tlemcen (Chef-lieu), dans le but d'identifier leur qualité pour la consommation humaine et l'irrigation ainsi que pour voir l'origine de leur minéralisation.

Ce travail s'étale en deux parties :

Partiel : « Généralités ».

Qui englobe les axes suivants :

***Situation géographique** (présentation de la zone étudiée).

***Climatologie** (pour déterminer le type du climat qui caractérise la zone d'étude ainsi que les variations des paramètres climatiques qui effectuent le régime des ressources souterraines).

***Géologie** (Décrire les différentes formations lithologiques et les grands traits structuraux qui affectent notre région d'étude).

***Hydrogéologie** (Identifier les formations géologiques qui peuvent être aquifères).

Introduction générale

Partie2 : « Hydro-géochimie ».

Faire une analyse des paramètres physico-chimiques des eaux des sources et forages retenus pour l'étude, et voir leur aptitude du point de vue potabilité (selon les normes algériennes) et irrigation, par des indices et des diagrammes. Aussi, voir les différents faciès et familles des points d'eau. Une étude statistique sera faite, afin de comprendre l'origine de la minéralisation des eaux étudiées.

À la fin, ce travail sera achevé par une *Conclusion Générale*, où nous présenterons les différents résultats.



Partie 1 : Généralités

Cadre géographique

I. SITUATION GÉOGRAPHIQUE:

I.1 Situation géographique de la zone d'étude :

La zone d'étude est située dans les piémonts nord des Monts de Tlemcen. Elle fait partie de communes de Chetouane, Mansourah et Tlemcen (chef-lieu de la wilaya), elle est limitée par (Fig N°01) :

- *Le Djebel Boudjelida et Ain El Houtz, au Nord ;
- *Le Plateau de Lalla Setti, Djebel El Beniane, au Sud ;
- *Le Djebel El Mellah et Oued SafSaf à l'Est ;
- *Le Djebel Tifatisset et Djebel Chiba, à l'Ouest.

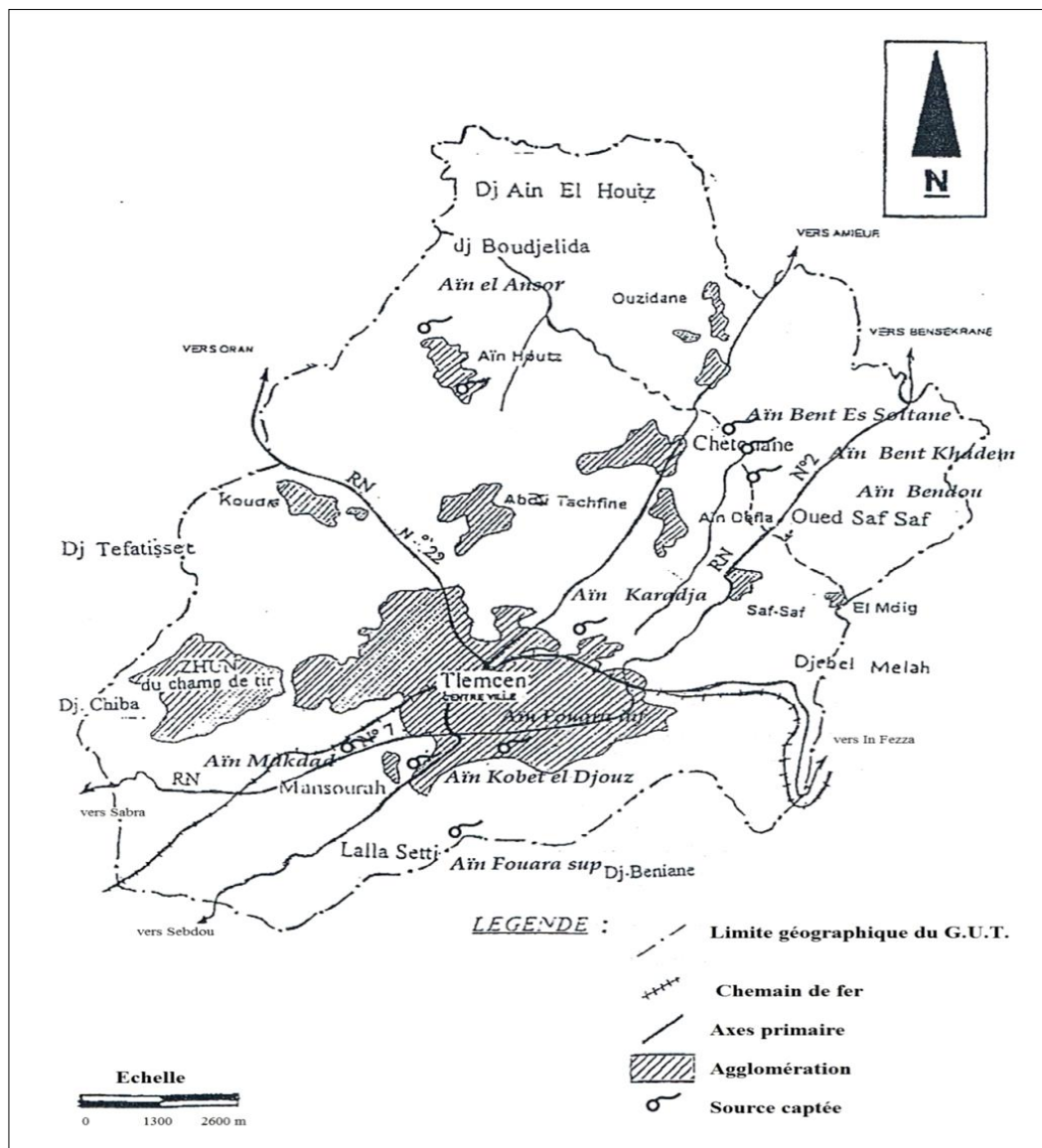


Fig.1 : Situation géographique de la zone d'étude.(Kerrouche A. et Guenchi L., 2008).

Cadre géographique

I.2 Hydrographie :

Le réseau hydrographique qui existe dans notre secteur d'étude est représenté essentiellement par Oued El Nachef. En aval des cascades de l'Ourit, il rejoint un autre cours d'eau et prend le nom d'Oued Saf-Saf, et plus loin, il devient Oued Sikkak.

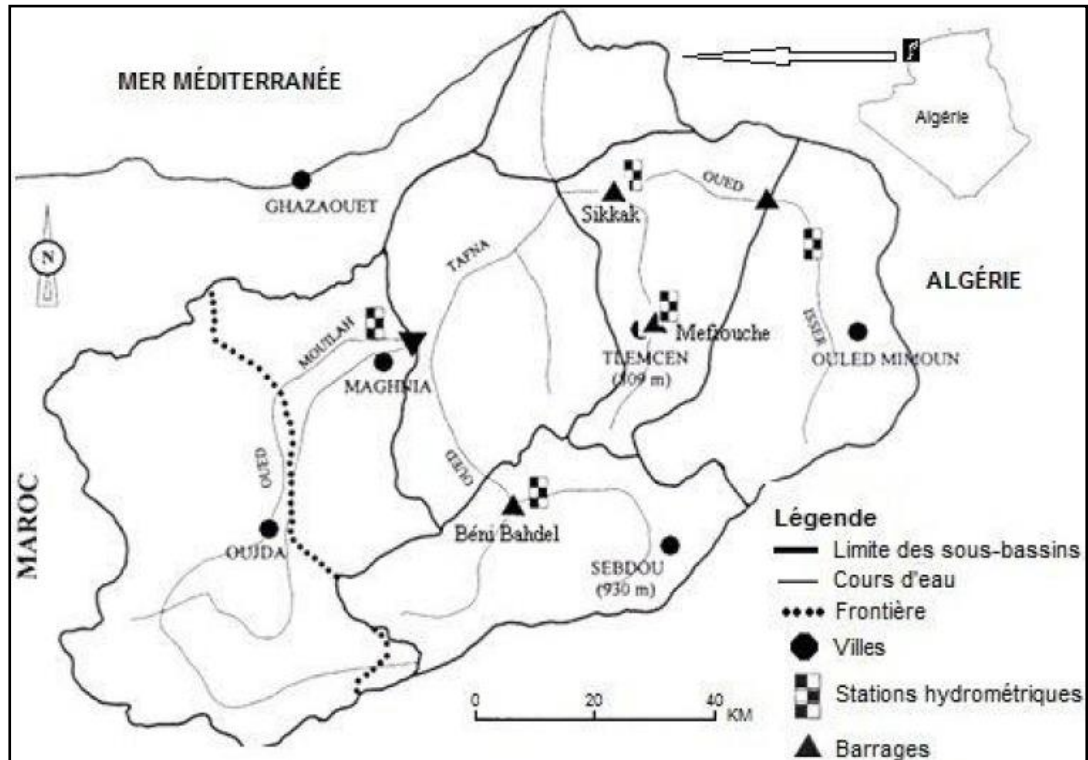


Fig.2 : Réseau hydrographique du Bassin Versant de la Tafna (Bouanani.A et ,al.,,2013).

II. LA CLIMATOLOGIE:

II.1 Introduction :

Le climat par définition est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés sur une longue période, en un lieu donné. Le climat prend en compte les données de températures, des précipitations, d'humidité atmosphérique, la fréquence et la force des vents...

Dans ce travail, nous allons déterminer le type du climat de la région d'étude, en utilisant des données climatologiques de la station de Tlemcen, sur une période allant de 1995 à 2016.

Tableau. 1 : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen (A.N.R.H).

Station	Altitude (m)	latitude	longitude
Tlemcen	832	34°52' N	01°19' W

II.2 L'étude des paramètres climatologiques :

II.2.1 Les précipitations :

C'est les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, soit cette eau est sous forme de pluie, neige, grêle.

1) Précipitations moyennes annuelles :

Tableau. 2 : Tableau des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).

Année	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002
P (mm)	660.2	409.7	528.2	474.5	338.8	465.1	577.6
Année	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
P (mm)	546.3	642.3	376.0	461.3	403.8	376.3	817.3
Année	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
P (mm)	605.9	584.7	492.0	902.4	658.6	565.6	561.4

Cadre climatologique

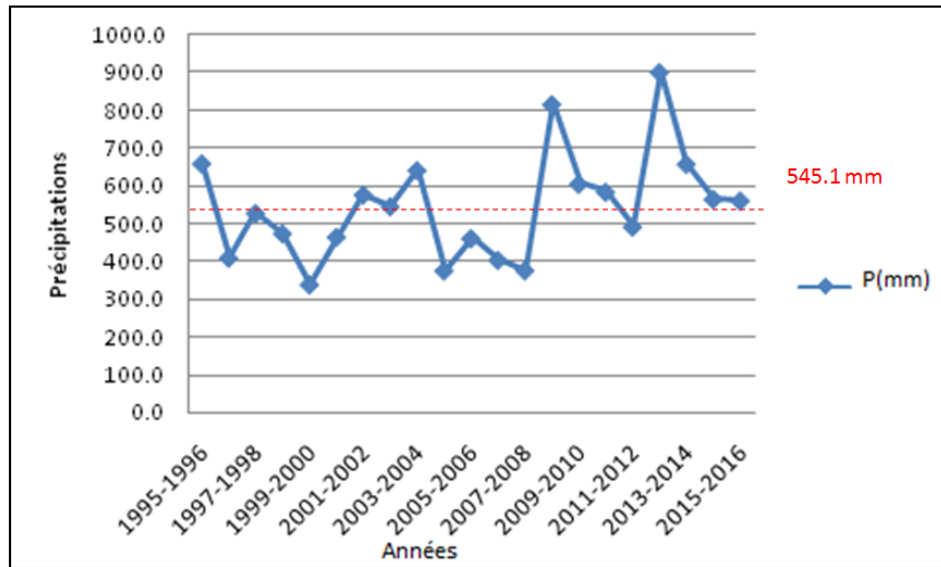


Fig. 3: Courbe des variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).

Les variations inter- annuelles des précipitations montrent que :

- Le maximum est enregistré en 2011 - 2012 avec 902.4mm.
- Le minimum est enregistré en 1999 - 2000 avec 338.8mm.
- La moyenne des précipitations est de 545.1mm.

2) Précipitations moyennes mensuelles :

MOIS	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre	Janvier	Février
P(mm)	29.5	48.9	77.5	71.6	79.0	67.5
MOIS	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
P(mm)	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5

Tableau. 3 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).

Cadre climatologique

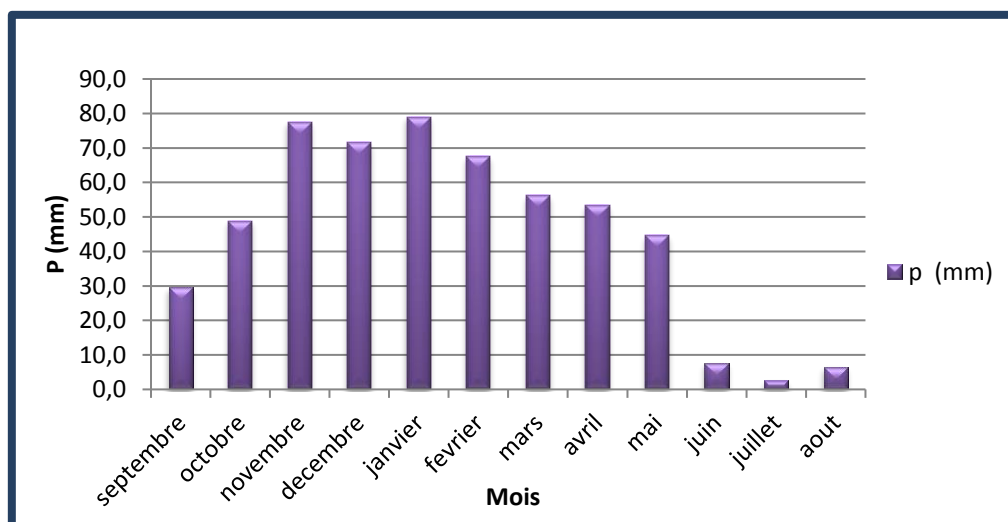


Fig. 4 : Histogramme des variations des précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).

D'après la figure N°04, les précipitations moyennes mensuelles les plus faibles (2.6mm) sont enregistrées au mois de Juillet, c'est le mois le plus sec. Le mois de janvier est le plus humide, avec une moyenne de 79 mm.

3) Les précipitations saisonnières :

Elles sont représentées par quatre saisons de l'année sont :

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

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations influencent en grande partie l'écoulement saisonnier, ainsi les périodes humides et sèches durant l'année hydrologique seront facilement détectées suite à la contribution moyenne de chaque saison. (Bouguerra.S, 2014).

Tableau. 4 : Précipitations moyennes saisonnières à la station de Tlemcen (1995-2016).

Les saisons	Automne	Hiver	Printemps	Été
P (mm)	155.9	218.1	154.3	16.8

Cadre climatologique

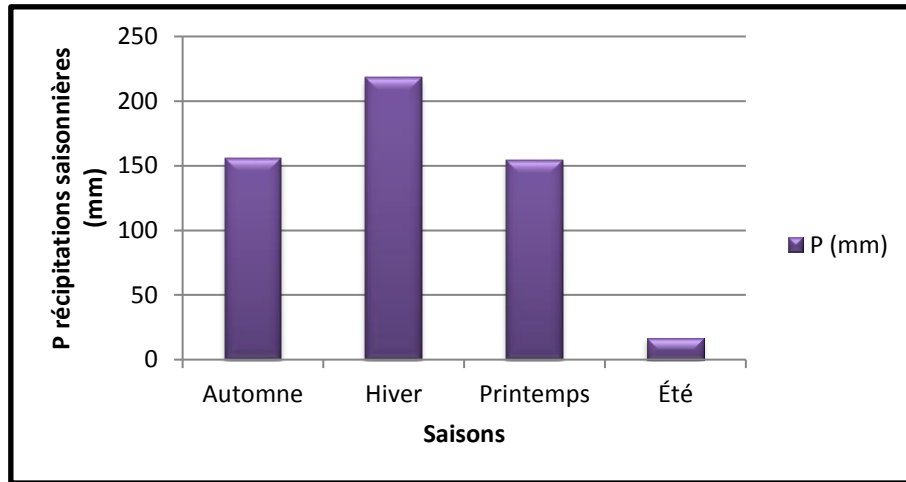


Fig. 5 : Variations saisonnières des précipitations à la station de Tlemcen (1995-2016).

Nous remarquons que l'Hiver est la saison la plus humide, par contre l'Eté est la plus sèche.

II.2.2 Températures :

1) Les températures moyennes mensuelles :

La température c'est une énergie thermique, elle est définie par l'équilibre de transfert de chaleur avec d'autres systèmes, leur unité thermique est le °C Celsius.

Tableau. 5: Températures moyennes, maximales et minimales enregistrées à la station de Tlemcen.

Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
Tmax (°C)	28.8	25.1	18.8	15.8	15.0	15.9	18.5	20.8	24.1	29.6	33.3	33.5
Tmin (°C)	16.4	13.9	9.7	6.9	6.0	6.1	7.8	9.4	12.7	15.6	19.0	19.6
Tmoy (°C)	22.5	19.3	14.2	11.1	10.5	11.1	13.2	15.3	18.7	23.0	26.2	26.5

Cadre climatologique

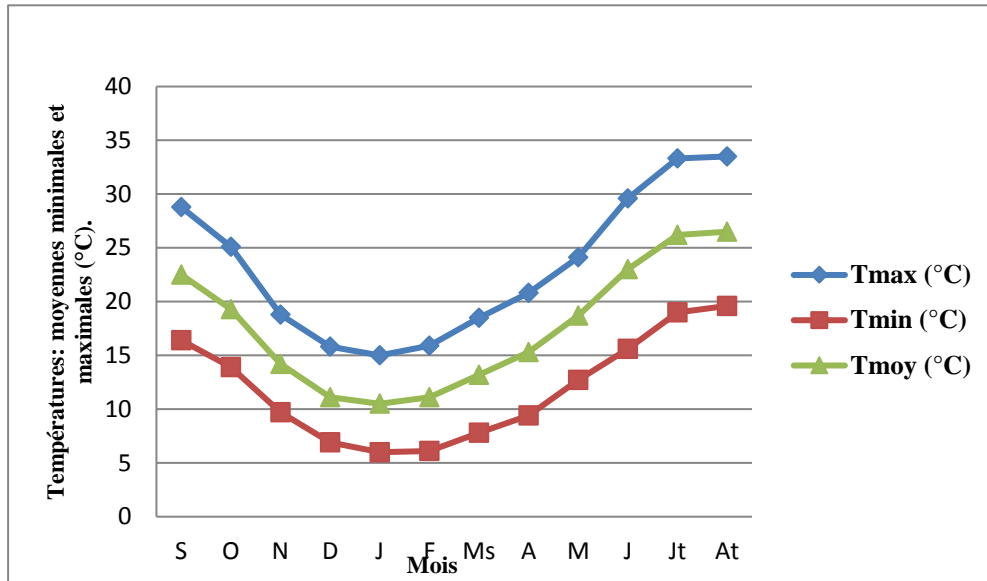


Fig. 6: Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à station de Tlemcen (1995-2016)

D'après ce graphe, nous remarquons que la température moyenne mensuelle atteint son maximum aux mois de Juillet-Août (26.2 et 26.5°C), la température moyenne maximale est de 33.3 °C à 33.5°C. Le minimum est enregistré au mois de Janvier (6°C). La température moyenne annuelle est de 17.6°C.

II.3 L'étude du climat :

Cette étude est basée sur plusieurs indices et méthodes à partir des données des précipitations et des températures pour classer et évaluer les périodes humides et les périodes sèches, afin de déterminer le type du climat de notre région d'étude.

Tableau. 6: Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2016).

MOIS	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
P (mm)	29.5	48.9	77.15	71.6	79	67.5	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5
Tmoy(°C)	22.5	19.3	14.2	11.1	10.5	11.1	13.2	15.3	18.7	23	26.2	26.5

L'étude du climat peut être réalisée à partir de deux étapes sont :

- Méthodes de visualisation (méthodes graphiques) pour les périodes humides et sèches.
- Indices d'aridité annuels et mensuels de De Martonne à partir des données climatiques (précipitations et températures).

Cadre climatologique

C. Méthodes de visualisation (méthodes graphiques) :

✓ Les courbes pluvio-thermiques :

Il ya deux courbes dans le graphe pluvio-thermique de Bagnouls et Gausсен :

- 1- Une courbe des températures : si elle passe au-dessus de celle des précipitations, nous avons une période sèche.
- 2- Une courbe des précipitations : $P=2T$, c'est à dire que l'échelle des précipitations doit être le double de celle des températures. Si la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures, nous avons une période humide.

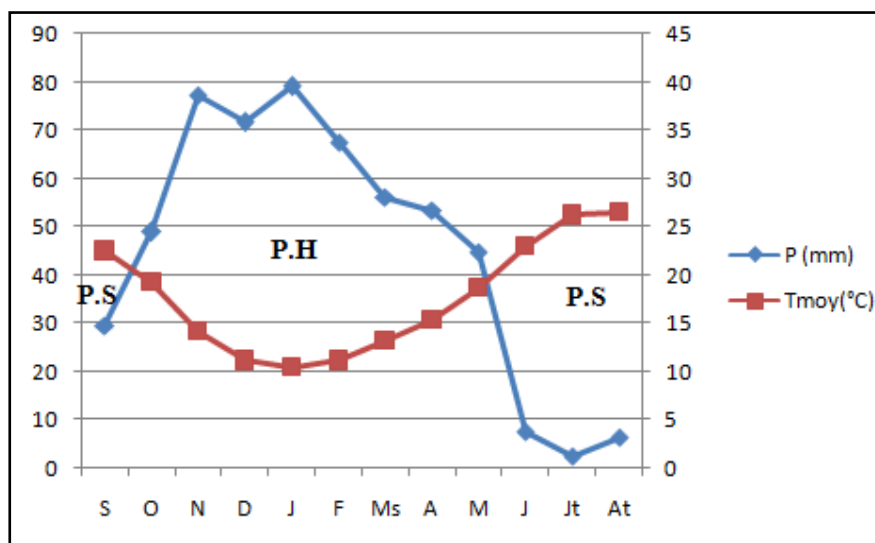


Fig. 7 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2016).

Le diagramme pluvio-thermique permet de visualiser :

*Une période humide : S'étends de la mi- Septembre au début du mois de Mai.

*Une période sèche : s'étale sur le reste des mois de l'année.

D. Les indices climatiques :

1) Indice d'Aridité de DE Martonne :

C'est un indicateur numérique du degré de sécheresse d'un climat à un endroit donné.

Il est en fonction des précipitations et des températures.

Cadre climatologique

- **Indice d'aridité annuel :**

Pour le calculer, on utilise la formule suivante : $I = \frac{P}{T+10}$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

I : indice d'aridité annuel.

Tableau. 7: Indice d'aridité de Martonne concernant la station de Tlemcen.

P moy(mm)	Tmoy (°C)	I
545.1	17.6	19.75

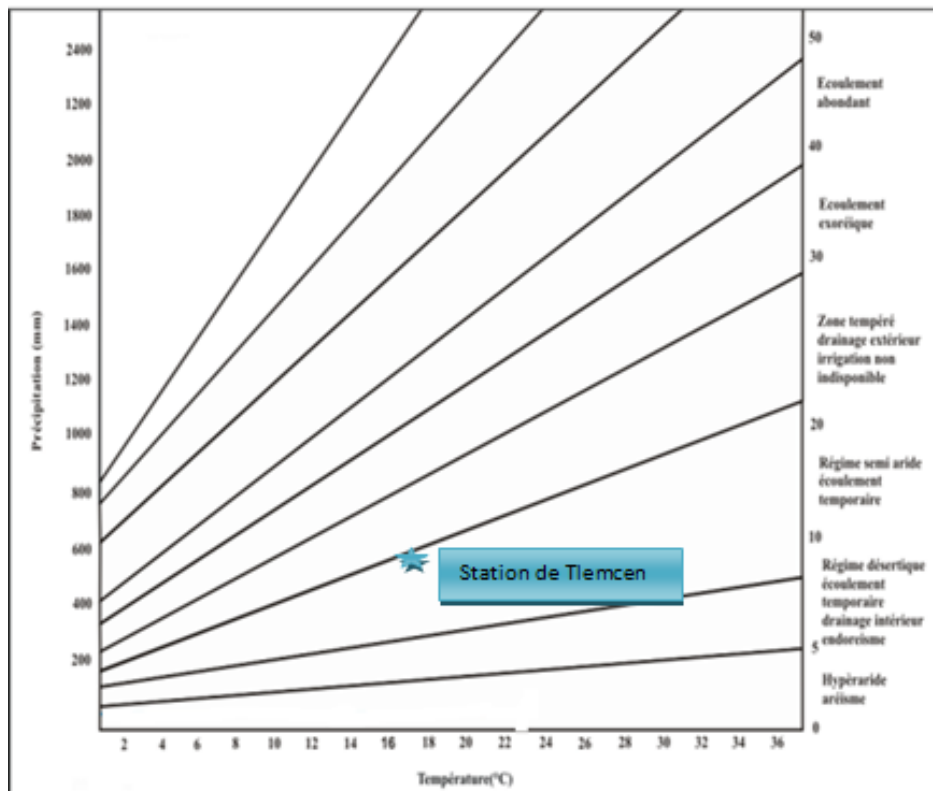


Fig. 8: Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne

DE Martonne propose la classification suivante :

Tableau. 8: Indice d'aridité de Martonne.

Valeur de I	Type de climat
-------------	----------------

Cadre climatologique

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

Selon le calcul du coefficient d'aridité annuel de DE Martonne pour la station de Tlemcen, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride.

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

Il est défini par la formule suivante :
$$i = \frac{12p}{T+10}$$

Avec :

p : Précipitations moyennes mensuelles (**mm**) ;

t : Températures moyennes mensuelles (°C)

i : indice d'aridité mensuelle.

Les résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau. 9: Valeurs des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
I	10.9	20	38.3	40.7	46.2	38.4	29	25.4	18.7	2.8	0.9	2.1
Type du régime	S	S	E	E	E	E	T	T	S	H	H	H

S :Semi-aride- E : Ecoulement exoréique- T :Tempéré- H : Hyper-aride.

Cadre climatologique

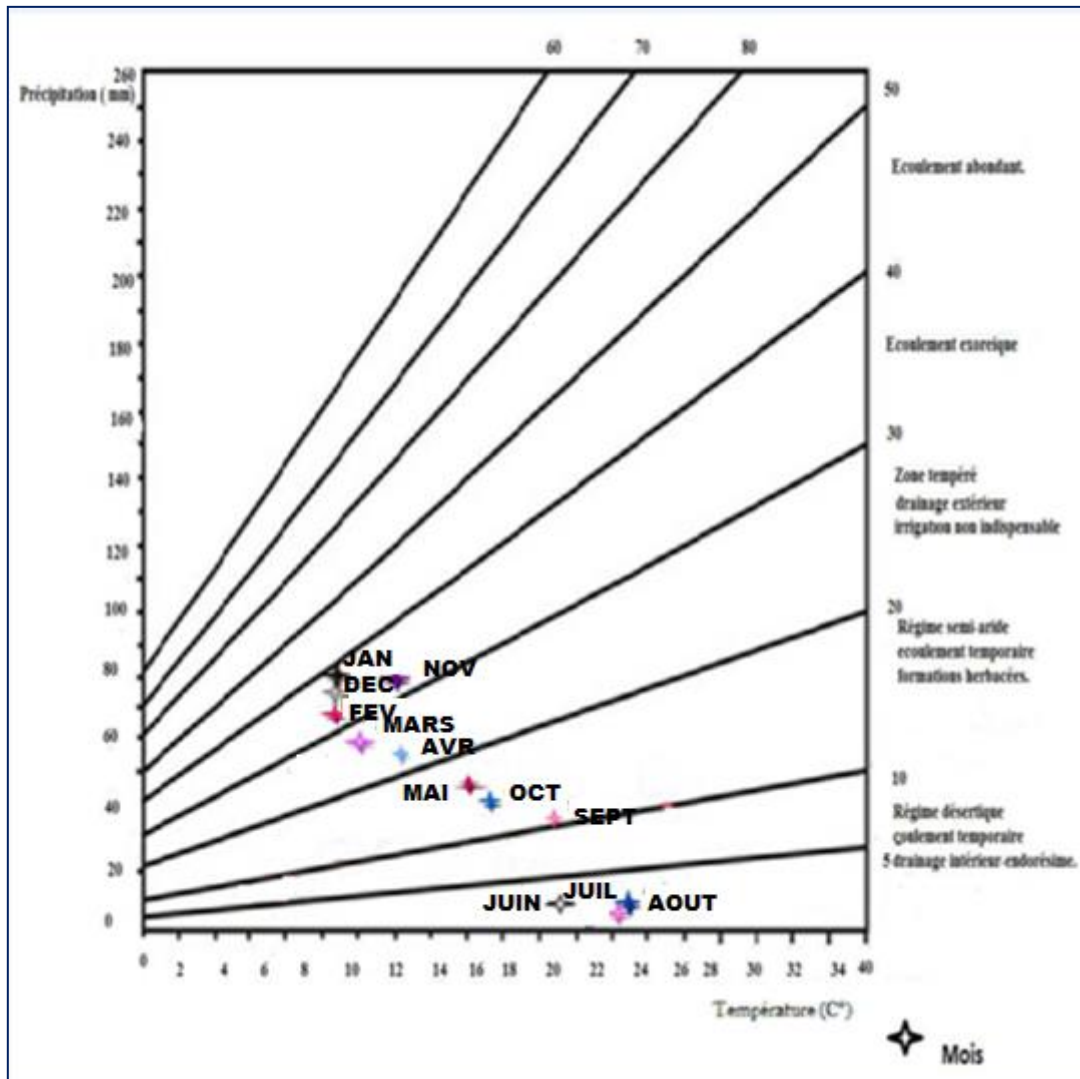


Fig.9 : Abaque de l'indice d'aridité mensuel de De Martonne.

2) **Indice de Moral (1964)** :

❖ **Indice annuel (Ia)** :

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

$$Ia = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (°C) ;

Ia < 1 climat sec ;

Ia > 1 climat humide.

Tableau. 10 : Indice de Moral / station de Tlemcen.

Station	P moy (mm)	T moy (°C)	Ia
Tlemcen	545.1	17.6	1.63

$Ia > 1$, alors la région de Tlemcen est caractérisée par un climat humide.

❖ **Indice mensuel (Im) :**

Il est donné par la formule suivante :
$$Im = \frac{P}{0.1T^2 - T + 20}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm) ;

T : Température moyenne mensuelle (°C) ;

Im : indice mensuel de Moral (1964).

Il ya quatre types de mois signalés par Moral sont :

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

Tableau. 11: Indice de moral à la station de Tlemcen.

Mois	S	O	N	D	J	F	Ms	A	M	J	Jt	At
P moy (mm)	29.5	48.9	77.15	71.6	79	67.5	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5
T moy (°C)	22.5	19.3	14.2	11.1	10.5	11.1	13.2	15.3	18.7	23	26.2	26.5
Im	0.61	1.29	2.97	3.37	3.85	3.18	2.31	1.9	1.23	0.15	0.04	0.1

Cadre climatologique

Tableau. 12 : Valeurs des indices mensuels de Moral à la station de Tlemcen

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fer	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	At
P(mm)	29.5	48.9	77.2	71.6	79	67.5	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5
T(°C)	22.5	19.3	14.2	11.1	10.5	11.1	13.2	15.3	18.7	23	26.2	26.5
0,1 T² + T + 30	103.13	86.55	64.36	53.42	51.53	53.42	60.62	68.71	83.67	105.90	124.84	126.73
0,1T² -T + 20	48.13	37.95	25.96	21.22	20.53	21.22	24.22	28.11	36.27	49.90	62.44	63.73
0,05 T² -T + 10	12.81	9.32	5.88	5.06	5.01	5.06	5.51	6.40	8.78	13.45	18.12	18.61
Type	H	H	P	P	P	P	H	H	H	A	A	A

3) Climagramme d'EMBERGER :

Cette méthode permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée.

Il est déterminé à partir de la formule suivante
$$Q2 = \frac{1000 \times P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)}$$

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

M: Moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud en °K ;

m: moyenne des minima des températures du mois le plus froid en °K;

Q2 : Quotient pluvio-thermique d'Emberger. Avec : **K= T (°C) + 273**.

Tableau. 13 : Indice d'Emberger.

Station	P(mm)	T max (°C)	T min(°C)	Q
Tlemcen	545.1	306.5	279	67.70

Cadre climatologique

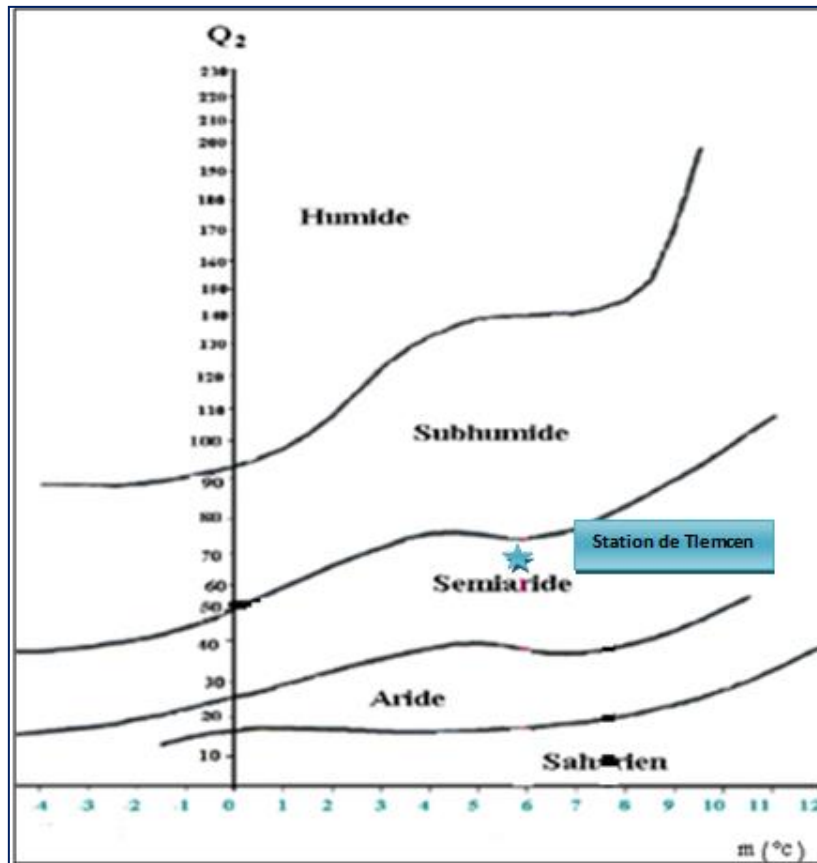


Fig. 10 :Climagramme d'Emberger.

II.4 Bilan hydrologique :

II.4.1 Evapotranspiration et déficit d'écoulement :

- ✓ **Evapotranspiration** : c'est la quantité d'eau qui s'évapore par le sol et par la transpiration des végétaux. On distingue deux types d'évapotranspiration :
 - L'**évapotranspiration réelle (ETR)** : c'est la quantité d'eau évaporée physiquement + celle qui va être transpiré biologiquement
 - L'**évapotranspiration potentielle (ETP)** : c'est la quantité totale d'eau qui s'évapore du sol.
- ✓ **Déficit d'écoulement** : c'est la différence entre la hauteur d'eau moyenne des précipitations sur le bassin et la lame d'eau équivalente.

Il ya plusieurs méthodes pour l'estimation de paramètre évapotranspiration réelle (ETR) :

- a) la méthode de TURC.
- b) la méthode de VERDEIL.
- c) la méthode de WUNDT.

Cadre climatologique

d) la méthode de COUTAGNE (non applicable pour la zone d'étude).

❖ Méthode de Turc (1954) :

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

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Avec :

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

P : pluviométrie moyenne annuelle, en (mm) ;

T : température moyenne annuelle, en (C°) ;

ETR : évapotranspiration réelle annuelle, en (mm/an).

Tableau. 14: résultat de l'ETR par la méthode de TURC.

station	P (mm)	T(C°)	L	ETR (mm/an)	Écoulement et infiltration (mm) (P-ETR)
Tlemcen	545.1	17.6	1012.588	499.9	45.2

❖ Méthode de Wundt :

L'application de cette méthode donne les résultats suivants :

Tableau. 15: valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt).

Station	P (mm)	T (C°)	D (mm/an)	Écoulement+infiltration(P-D)
Tlemcen	545.1	17.6	510	35.1 mm

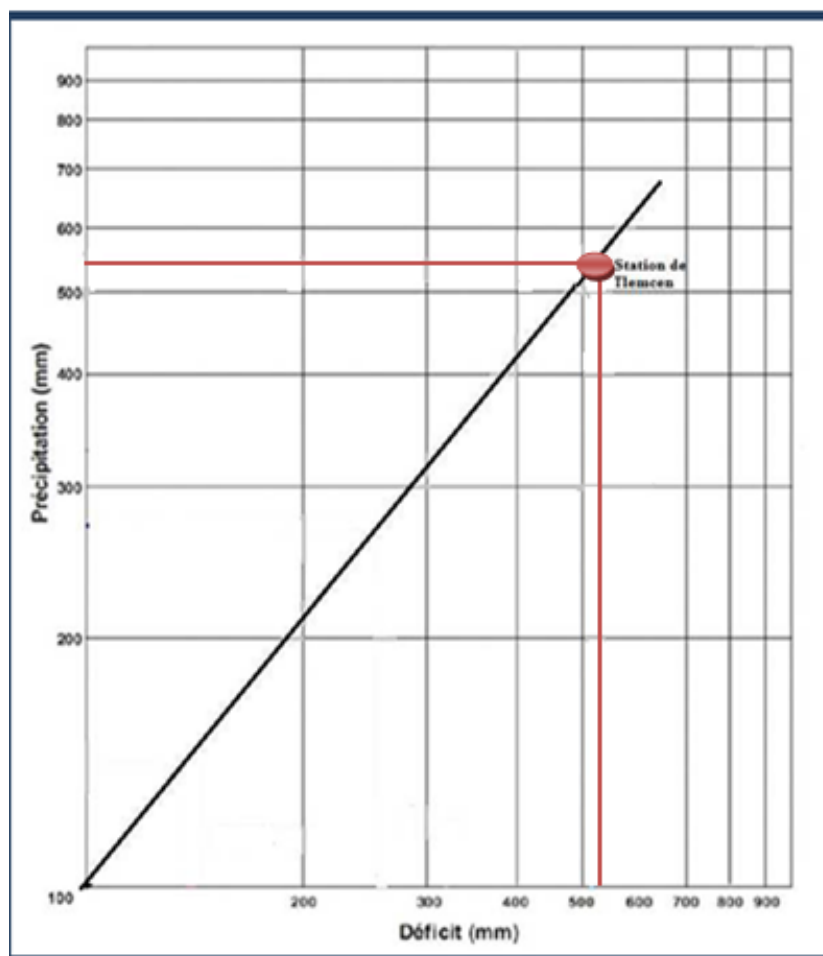


Fig. 11: Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT)

❖ Méthode de P.VERDEIL :

Les résultats de cette méthode sont montrés dans le tableau ci-dessous .

Tableau. 16: Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL)

Station	Précipitation (mm)	Déficit(mm/an)	Écoulement et infiltration (mm)
Tlemcen	545.1	520	25.1

Cadre climatologique

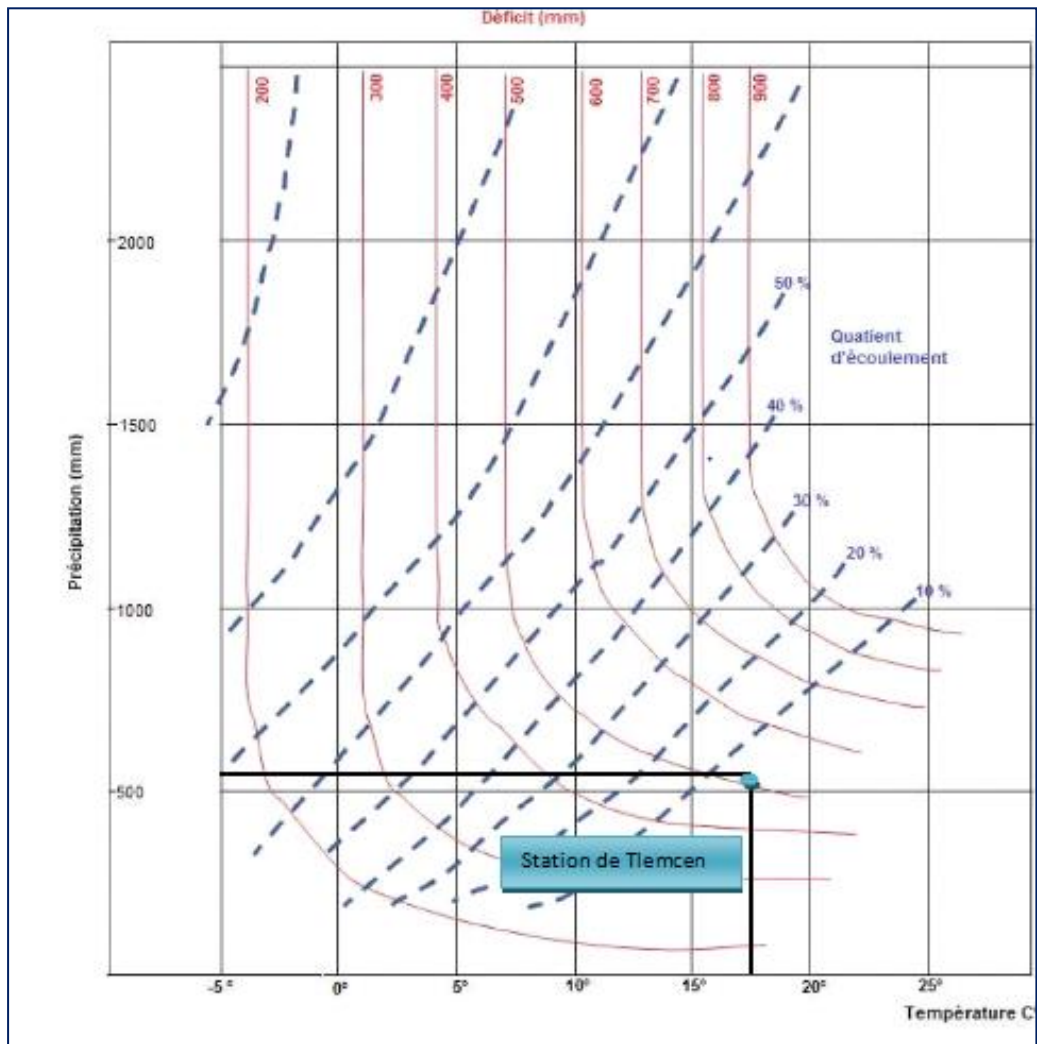


Fig. 12: Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P.VERDEIL, 1988).

1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

❖ Méthode de THORNTHWAITE :

Pour appliquer la méthode de Thornthwait on doit calculer :

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

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

Avec :

$$a = 0.492 + 1.79 \cdot 10^{-2} I - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6.75 \cdot 10^{-7} I^3$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm) ;

Cadre climatologique

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

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

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

K : coefficient de correction, en fonction de la latitude de la station de Tlemcen (34°N).

Nos résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau. 17: Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Tlemcen (1995-2016)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	At	annuel
T(°c)	22.5	19.3	14.2	11.1	10.5	11.1	13.2	15.3	18.7	23.0	26.2	26.5	17.6
i	9.7	7.7	4.9	3.3	3.1	3.3	4.3	5.4	7.4	10.1	12.3	12.5	84.1
(10*T/I) ^a	6.5	4.8	2.7	1.7	1.5	1.7	2.4	3.1	4.6	6.8	8.7	8.9	
ETP	103.8	77.6	43.3	27.1	24.4	27.1	37.7	49.9	73.0	108.2	138.6	141.6	852.3
K	1.03	0.97	0.87	0.86	0.88	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	/
ETP c	106.9	75.2	37.7	23.3	21.5	23.0	38.8	54.4	87.6	129.9	169.1	164.3	931.7

2. Evapotranspiration réelle (ETR)

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

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

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

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

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

Avec :

Ru : Réserve utile en eau du sol ;

C : Capacité au champ ;

f : Capacité au point de flétrissement ;

Cadre climatologique

H : Profondeur du sol, h=500 mm ;

D : Densité apparente du sol=1 ;

30 mm : enracinement capillaire.

Application numérique : **Ru=130 mm**

Les valeurs de (C - f) dépendent de la nature du sol (D'après les travaux antérieurs, C-F =20% dans notre zone d'étude).

4. Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite :

Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU).

On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes.

Dans notre travail on va évaluer la part de chaque paramètre hydrologique dans la station de Tlemcen.

Tableau. 18: Calcul du bilan hydrologique de la station de Tlemcen (1995-2016) selon C.W Thornthwaite.

Paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	At	Annuel
P (mm)	29.5	48.9	77.5	71.6	79.0	67.5	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5	545.1
ETP (mm)	106.9	75.2	37.7	23.3	21.5	23.0	38.8	54.4	87.6	129.9	169.1	164.3	931.7
RU (130mm)	0.0	0.0	39.9	97.4	130.0	130.0	130.0	129.1	86.2	0.0	0.0	0.0	/
ETR (mm)	29.5	48.9	37.7	23.3	21.5	23.0	38.8	54.4	87.6	93.9	2.5	6.5	467.7
excédent	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	44.5	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.8
Déficit agricole (mm)	77.4	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	72.6	61.4	273.7
I	0	0	0	0	8	25	21	10	5	3	2	0	74
R	0	0	0	0	7	26	22	11	6	3	1	0	76

Le calcul de l'évapotranspiration d'après Thornthwaite est de **467.7 mm/ an**.

II.5 Conclusion :

L'étude climatique effectuée sur la région d'étude à partir de deux principaux paramètres (précipitations et températures) mesurés dans la station de Tlemcen (1995-2016) montre que :-Le climat est de type semi-aride, avec une température moyenne annuelle de 17.6°C et des précipitations moyennes annuelles de 545.1mm. Juillet et Août sont les mois les plus chauds, et janvier est le mois le plus froid.

D'après le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussen, on distingue que notre zone d'étude est caractérisée par deux périodes climatiques, une période humide qui commence de la mi-septembre et se termine jusqu'au début Mai et une période sèche s'étend sur le reste des mois de l'année.

Les résultats du bilan de Thornthwaite ont fait ressortir une évapotranspiration de **467.7** mm/ a

III. LA GEOLOGIE :

III.1 Introduction

Les Monts de Tlemcen s'interposent entre :

- Le domaine des nappes du tell, au nord
- Le domaine stable des hautes plaines oranaises, au sud

Les Monts de Tlemcen 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.

III.1 Série litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen : (Fig N°1).

A. Le secondaire

Il forme l'ossature de la région étudiée, on distingue de la base vers le sommet :

1. *Le TRIAS:*

Il est constitué par des argiles rouges-violacées, emballant des niveaux de gypse fibreux. On peut le voir clairement à Ain Tellout, l'anticlinal du Hassi Zerga et Djebel El Arbi (Auclair D. et Biehler J., 1967).

2. *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 correspondent à des calcaires massifs de plus de 200m d'épaisseur (Benest M. et al , 1978) .

3. *LES ARGILES DE SAIDA :*

Représentées par des dépôts argileux et marneux à passées gréseuses, Elles sont d'âge Callovo-Oxfordien. Cette formation apparait dans la région de Sabra et du barrage de Béni Bahdel. Cette formation peut atteindre 300 à 500m d'épaisseur. (Bensaoula F., 2006) .

4. *LES GRÈS DE BOUMEDIÈNE :*

Cadre géologique

D'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur. Ces grès affleurent sur une grande partie du bassin versant surtout à la forêt de Zarifet. Ils se présentent en bancs bruns, ferrugineux en surface, à élément fins à moyens, à ciment calcaire et quartzeux. Ils sont de couleur blanche, roussâtre à la cassure (Ablaoui H., 2013).

5. LES CALCAIRES DE ZARIFET :

D'âge Kimméridgien supérieur. Surmontant les grès de Boumediène, il s'agit des calcaires à grandes géodes de calcite en bancs épais, séparés par de minces intercalations de calcaires marneux, écailleux, parfois fossilifère.

6. LES DOLOMIES DE TLEMCCEN:

Les dolomies de Tlemcen sont d'âge Kimméridgien supérieur. Elle apparaît le plus souvent en falaises, elle est constituée par un ensemble de dolomies grises, microcristallines, gréseuse, à veines de calcite. Ces dolomies constituent les grands escarpements qui enserrant les reliefs montagneux, elles donnent des reliefs ruiniformes dans lesquels la stratification est difficilement reconnaissable.

7. LES CALCAIRES DE STAH :

Définis par Benest M. (1972) comme des micrites en bancs épais épargnés de la dolomitisation à dépôt gris clair, ces calcaires massifs sont pratiquement dépourvus de passées marneuses. En revanche, dans d'autres secteurs, cette formation admet des intercalations marneuses (Ablaoui H., 2013).

8. LES MARNO- CALCAIRES DE RAOURAI :

Cette formation affleure particulièrement sur le plateau de Terni, dans le Djebel Lato et à l'Est d'Ain Fezza, d'âge Tithonique inférieur, ce sont des marnes grises, blanchâtres en surface, où s'intercalent de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs (Ablaoui H., 2013).

9. LES CALCAIRES DE LATO :

Ce sont des calcaires massifs en bancs épais terminés par des laminites sombres calcaire-argileuses. Leur épaisseur est d'environ 50m au Djebel Lato (Benest M., 1982).

10. LES DOLOMIES DE TERNY :

D'aspect très massifs, les différenciant des dolomies de Tlemcen, leur épaisseur est d'environ 50 mètres dans la zone de Sebdou et de 100m au plateau de Terny. Elles correspondent à des dolomies parfois vacuolaires avec de nombreuses stratifications obliques et un aspect très massif qui permet de les

Cadre géologique

distinguer des dolomies de Tlemcen. Doumergue (1910) les a rangées dans le Kimméridgien supérieur, Benest (1982) leur donne un âge Tithonique supérieur.

11. LES MARNO-CALCAIRES DE HARIGA :

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

12. LES MARNO-CALCAIRES D'OUELD MIMOUNE :

Cette formation est composée essentiellement de grès et d'argiles à la base d'âge Tectonique supérieur à Berriasien inférieur (grès de Merchiche), puis d'une alternance de calcaires et de marnes. La limite inférieure de cette formation sur les rebords sud du plateau de Terny. Ces bancs marno-calcaires peuvent atteindre 500 à 700 m d'épaisseur à Ouled Mimoune (Bensaoula F., 2006).

13. LE CRÉTACÉ :

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

- **Les argiles de Lamoricière** : c'est une formation argilo-gréseuse, nettement calcaire au sommet qui affleure au niveau de Hassi Zerga. (D'âge Berriasien moyen-Valanginien).
- **Les grès de Berthelot** : sont caractérisés par une récurrence de la smectite, mais surtout par la présence du chlorite (10 m à 15 m). La base, riche en stratifications obliques est marquée par un banc de dolomie pulvérulente (d'âge Hauterivien).
- **Les calcaires de Zigyne**: cette formation représente la transition entre le Crétacé et l'Eocène (D'âge Barrémien-Aptien) (Benest M. et Bensaoula F., 1994, in Keddah K et Medjahdi N, 2018).

A. Le Tertiaire

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

1. L'ÉOCÈNE :

C'est un ensemble gréseux avec passage de bancs en poudingues. Il affleure sur une très faible surface, il est constitué de grès siliceux jaunes à rougeâtres, assez friables, à ciment argileux, alternant avec des marnes argileuses verdâtres, (d'une puissance de 100 m à 150 m) (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

2. LE MIOCÈNE :

❖ Inférieur

La partie supérieure est constituée par des argiles marneuses, de teinte verdâtre, dans lesquelles s'intercalent des bancs décimétriques de grès ferrugineux friables formant un ensemble pouvant dépasser 100 m d'épaisseur (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

❖ Moyen (Serravallien)

Il est constitué par une épaisse série de marnes grises ou bleutées, qui par altération deviennent ocre. Au sein de cette série, pouvant atteindre 300 m d'épaisseur (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

❖ Supérieur (Tortonien)

Il est représenté par des grès durs de couleur jaune d'or ou citron avec, parfois endroit, de minces passées marneuses, peu consolidées, atteignant 20 à 30 m d'épaisseur (Hayane SM, 1983).

c. Le Plio-Quaternaire

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 bordures des Monts de Tlemcen et des calcaires lacustres.
- Un complexe de sédiments plio-villafranchiens, dont la bordure constituée de massifs secondaires, d'épaisseur très variable.
- Des marnes, avec peu ou pas de galets.
- Des anciennes alluvions, allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets, en passant par des limons et des graviers (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

Cadre géologique



Fig.13 : Colonne stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest&Bensalah, 1999).

III.2 Analyse structurale :

Les Monts de Tlemcen sont surtout affectés par :

- Une tectonique distensive cassante par un système de failles longitudinales SW-NE à WSW-ENE (direction tellienne) avec formation de zones effondrées.
- Une tectonique compressive plus souple avec la mise en place de structures plissées plus ou moins complexes.

III.3.1 Les principales phases tectoniques :

Cinq phases tectoniques sont mises en évidence depuis l'Eocrétacé à la période actuelle, selon BENEST (1982,1985) :

1) *Une phase distansive Eocrétacée :*

Durant le Jurassique supérieur et l'Eocrétacé, la subsidence a été contrôlée par le jeu ou le rejeu des grands accidents SO-NE et subméridiens , hérités de l'orogénèse hercynienne (Benest, 1981). P Guardia (1975) a également signalé dans les Monts de Traras, l'existence de mouvements synsédimentaires qu'il a rapporté à une tectogénèse préatlasique. (Bensaoula F ,2006).

2) *Une phase atlasique :*

Cette phase correspondrait sensiblement aux mouvements mis en évidence par Guardia dans les Monts de Traras et qui se seraient produits à partir du Sénonien. Étudiée dans les Monts de Tlemcen et de Daia, cette phase englobe :

Des mouvements compressifs donnant des plis d'orientation moyenne E-O à grand rayon de courbure tel qu'au niveau du Djebel El Arbi dans la région de Sebdou.

- Des mouvements distensifs qui sont contrôlés par le rejeu des grands accidents du socle. La fracturation s'est traduite par un système de failles conjuguées N55°E et N140°E, responsable de la mise en place des principales structures.

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

Par comparaison avec la région des Traras, cette phase aurait débuté avec ou avant la mise en place des nappes et serait antémessinienne, (G Lucas 1942, P Guardia 1975), selon Benest (1974), cette phase serait l'origine des grandes structures coulissantes et chevauchantes (Bensaoula F ,2006).

3) Une phase à dominante distensive :

Cette phase est en continuité avec la précédente, elle a contribué à la surrection de la plupart des reliefs actuels. Elle a également entraîné la régression pliocène notamment dans la zone de Terny antérieurement atteinte par la transgression du Miocène supérieur (Doumergue 1912) ou du Mio-Pliocène. Le jeu des failles préexistantes a généralement accentué le découpage en Horst et Grabens (Bensaoula F ,2006).

4) Une phase récente :

Cette phase se traduit par des mouvements syn-sédimentaires provoquant le jeu des décrochements dextres associés à des déformations plicatives (G Thomas 1985). Ces déformations n'ont pas l'ampleur des phases précédentes (Bensaoula F ,2006).

5) Déformations actuelles :

Elles sont traduites par l'évolution morphométrique et le jeu des failles actives (Bensaoula F ,2006).

Cadre géologique

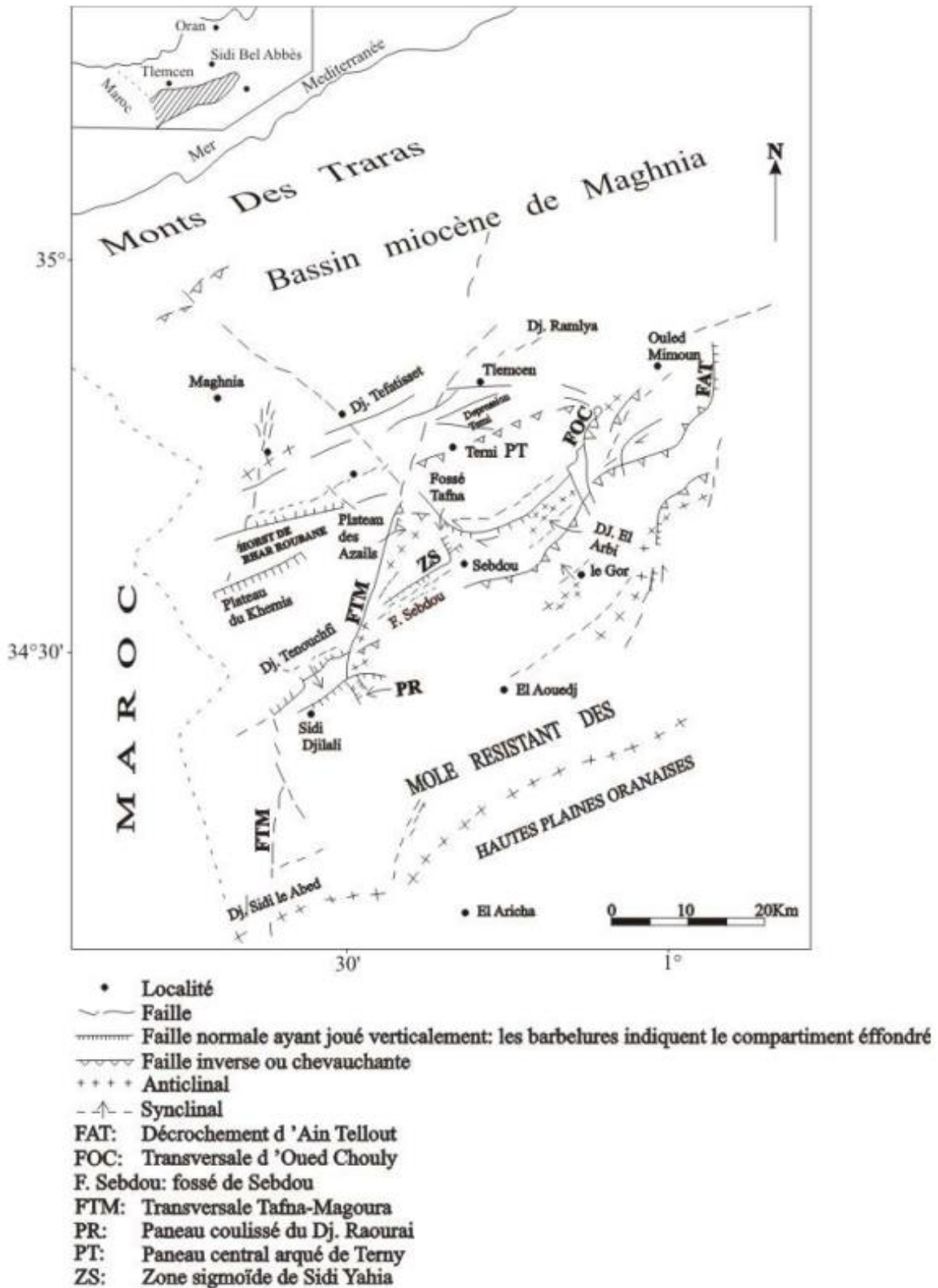


Fig 14: Schéma structural des Monts de Tlemcen d'après M. Benest, 1985(Azziz H, 2017).

III.4 Conclusion :

Les pieds-monts nord des Monts de Tlemcen sont formés de terrains d'âge Jurassique supérieur, Crétacé inférieur et Mio-Plio-Quaternaire

Du point de vue tectonique, ils se caractérisent en général par un style tectonique de type cassant, avec des déformations résultantes d'une tectonique compressive plus souple, avec la mise en place de structures plissées, plus ou moins complexes. Cette tectonique a favorisé le développement de la karstification et l'émergence de plusieurs sources.

IV. L'HYDROGÉOLOGIE :

IV.1 Introduction :

Tlemcen est une ville riche par ses ressources en eau souterraines, elle représente un château d'eau naturel de l'Ouest de l'Algérie.

Les Monts de Tlemcen sont caractérisés par un vaste horst avec des formations géologiques carbonatées et Karstifiées du Jurassique supérieur et du Crétacé basal qui forment les aquifères les plus importants de la wilaya.

Les ressources en eau karstiques des Monts de Tlemcen contribuent à l'alimentation de la population de Tlemcen.

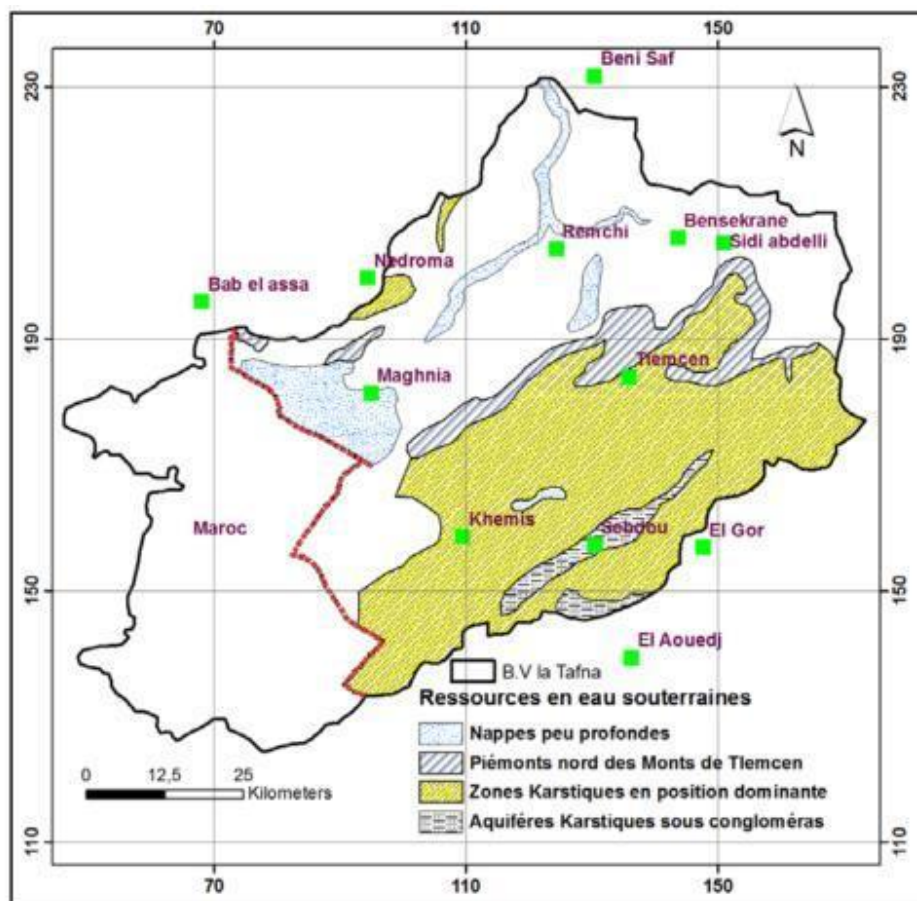


Fig.15 : Zones aquifères de Tlemcen (d'après Collignon 1984, in A. Benmoussat2012).

IV.2 Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques :

Dans cette partie, nous allons décrire les formations occupant les piémonts nord des Monts de Tlemcen, dans l'intention d'endéterminer les aquifères de la zone d'étude. On distingue :

✓ **Les formations calcaires du Jurassique :**

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

✓ **Dolomies de Tlemcen (Kimméridgien terminal) :**

Ce sont des dolomies cristallines en bancs massifs, présentant une perméabilité de fissures, favorables à l'établissement d'un parcours des eaux souterraines, d'où des changements fréquents de directions (Collignon B, 1986).

✓ **Dolomies de Terny :**

Elles affleurent dans les falaises, rousses d'aspect ruiniforme qui forme les sommets du Djebel Nador. Elles affleurent bien dans toute la cuvette de Terny, et près du barrage du Meffrouche. On note aussi de fréquentes stratifications obliques qui avec l'aspect très massif, permettent de bien les différencier des dolomies de Tlemcen. Les caractéristiques hydrogéologiques de ces dolomies sont comparables à celles des dolomies de Tlemcen (Bensaoula F,2006).

✓ **Les grès de Boumediène :**

Les grès de Boumediène sont dans la majorité de temps imperméables plutôt semi-perméables, à l'exception des conditions suivantes :

-Présence de fissures et diaclases qui donnent à ces grès une certaine perméabilité.

-L'existence de bancs calcaires dans la partie supérieure de la formation ce qui permet de donner le rôle de drain aux grès pour constituer localement un aquifère (Bensaoula F,2006).

✓ **Les grès Tortoniens :**

Cette formation n'a une épaisseur notable que près des reliefs, elle est très répandue dans le grand Tlemcen (zone d'étude). Ces grès, peu perméables dans la masse, admettent une perméabilité de fissures et de ces roches émergent quelques sources de faibles débits (Collignon B, 1984).

✓ **Les formations du Plio-Quaternaire :**

Cadre hydrogéologique

Ce sont des alluvions anciennes et récentes formés le long des Oueds que les terrasses, croûtes calcaires du Quaternaire ancien et des conglomérats. Ils s'étendent sur de grandes superficies dans les piémonts nord des Monts de Tlemcen. De nature géologique très hétérogène, ces alluvions sont aquifères à certains niveau (Bensaoula F,2006).

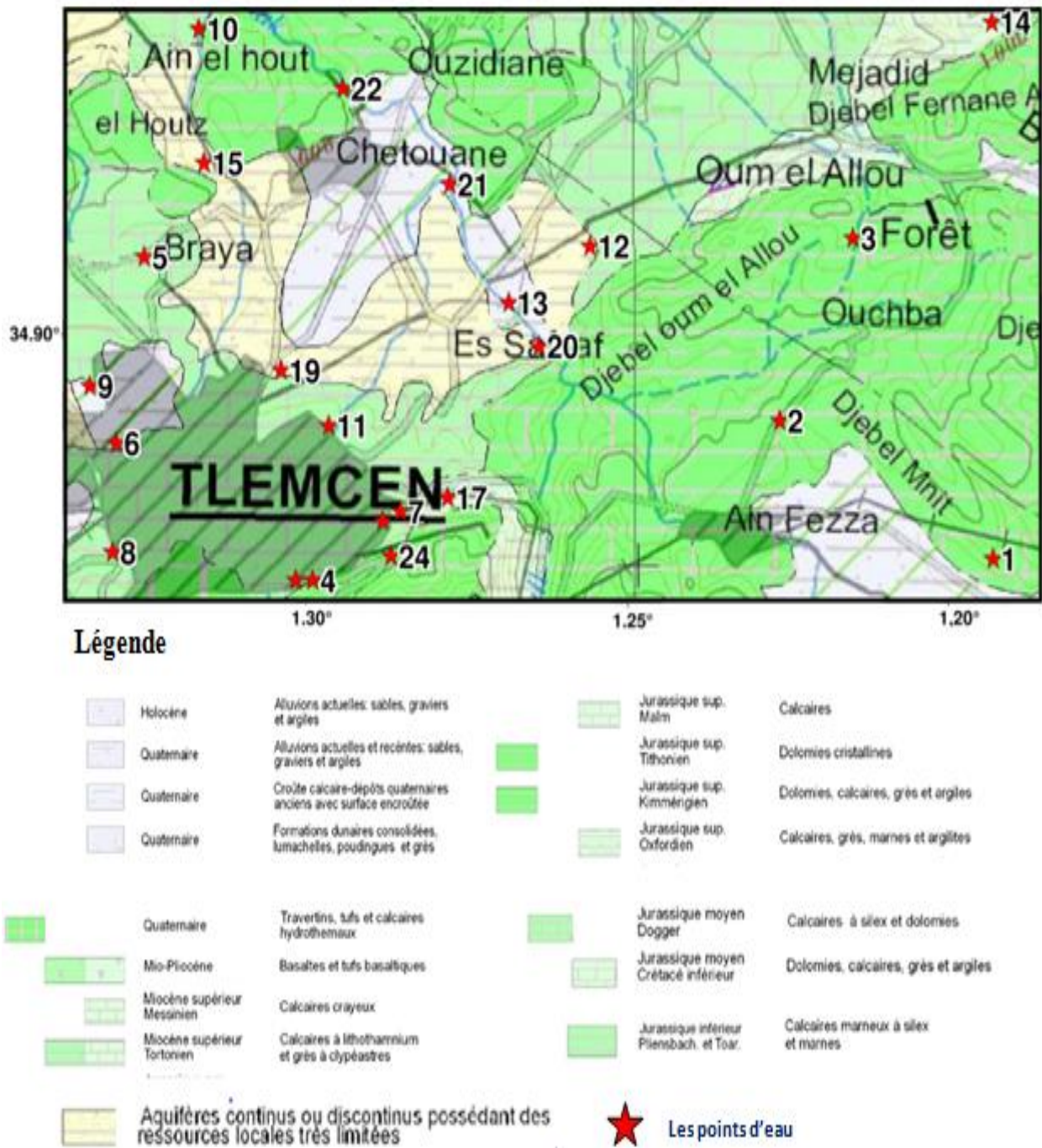


Fig 16 : Carte hydrogéologique de la zone d'étude (1/200000).

IV.3 Conclusion :

Les formations qui peuvent constituer un intérêt hydrogéologique dans le secteur d'étude sont présentées par celles du Plio-Quaternaire, les dolomies et les calcaires du Jurassique, les grès tortoniens et les grès de Boumédiène, lorsqu'ils sont fissurés.

La tectonique joue un rôle important dans l'hydrogéologie de la région. Les piémonts nord des Monts de Tlemcen sont affectés par de nombreux accidents qui favorisent la circulation des eaux souterraines. L'apparition de certaines sources est due au système de failles drainantes ou étanches qui commande leur émergence.



Partie 2 : Hydrogéochimie

V. HYDROGEOCHIMIE :

V.1 Introduction :

L'hydrochimie est une discipline importante dans le travail de l'hydrogéologue. Les concentrations des éléments chimiques présents dans l'eau dépendent de l'origine de l'eau, de son âge, des formations géologiques traversées et du temps passé dans ces formations.

La qualité des eaux présente une préoccupation primordiale et une problématique universelle pour la communauté scientifique et pour la population du globe terrestre qui est la source et la cible de cette pollution, cette ressource est menacée par les différentes activités anthropiques.

Dans ce contexte, notre contribution a été élaborée pour donner une appréciation sur la qualité de quelques sources et forages d'eau dans le groupement urbain de Tlemcen. Nous avons essayé d'étudier leurs caractéristiques du point de vue aptitude à la consommation humaine, à l'irrigation, types de faciès chimiques et familles, et ensuite une analyse statistique sera faite sur les principaux paramètres pour expliquer la minéralisation des eaux.

Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé les analyses physico-chimiques effectuées par le laboratoire de l'A.D.E et de l'A.N.R.H en 2014 pour l'ensemble des points d'eau étudiés. Notre étude a porté sur 25 échantillons localisés sur notre zone d'étude (figure.17) et Tableau n°23 en annexes.

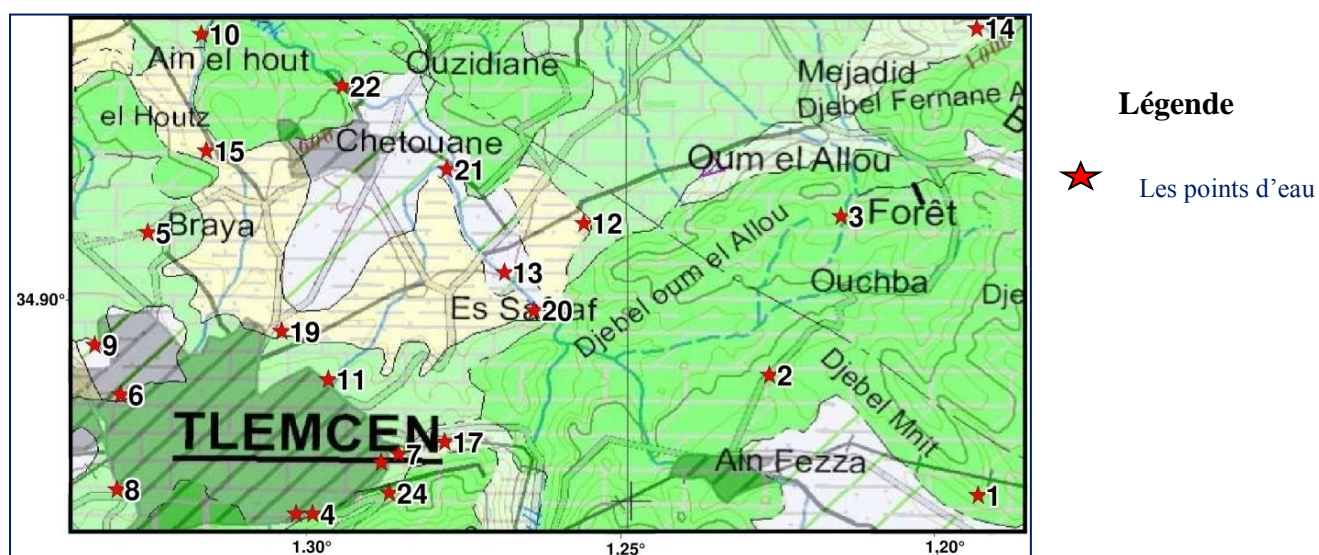


Fig. 17: Localisation des points d'eau dans la région d'étude.

V.2 Balance ionique :

La balance ionique permet de contrôler le pourcentage d'erreur, en utilisant la formule suivante :

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

Avec :

r : quantité en réaction, en meq/l

BI : balance ionique, en %

*BI < 2 bonne analyse.

* 2 % < BI < 5 analyse acceptable.

* BI > 5 mauvaise analyse.

La balance ionique calculée pour tous les points d'eau varie entre bonnes, et acceptables (Tableau n°04 en annexes).

V.3 Interprétations et discussions:

V.3.1 Etude des caractéristiques physico-chimiques :

✓ **Aptitude des eaux destinée à la consommation humaine :**

A- Paramètres physiques :

❖ **Température :**

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels.

Les températures des eaux de 25 points sont comprises entre 13°C et 23°C, elles sont au-dessous de la norme algérienne (25°C).

Cadre hydrogéochimique

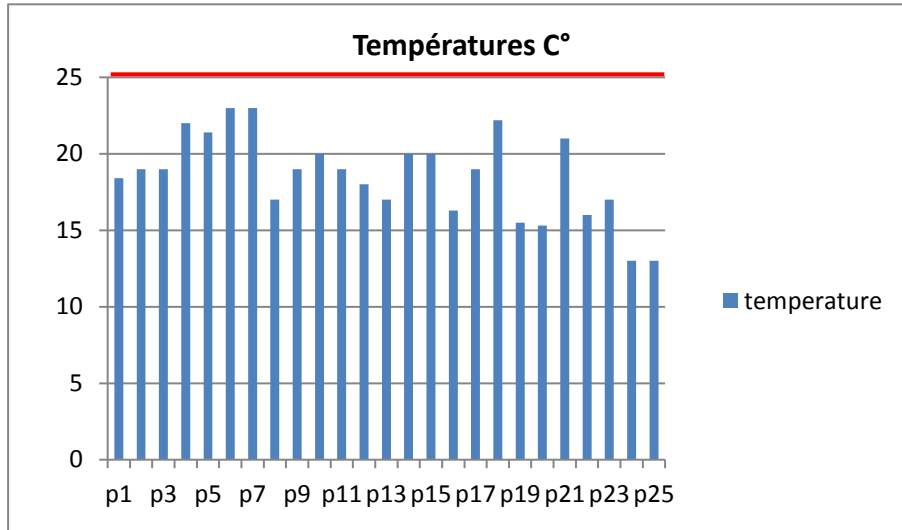


Fig. 18 : Histogramme des températures des points d'eau.

❖ Potentiel d'Hydrogène «pH» :

Le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous (Rodier J.,2009).Les valeurs des pH des eaux étudiées varient entre 6.52 au (P2) et 7.87 au P6, ces eaux sont conformes à la norme algérienne (≥ 6.5 et ≤ 9).

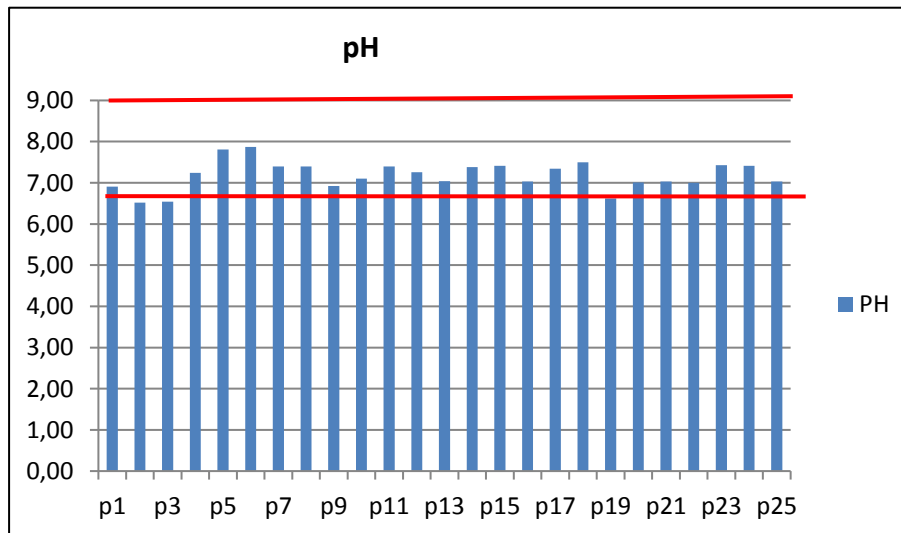


Fig.19 : Histogramme des pH

❖ Conductivité électrique (CE) :

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier J., 2009).

Cadre hydrogéochimique

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante, dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres (Rodier J., 2009).

Tableau.19: Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 2009).

Conductivité($\mu\text{S}/\text{cm}$)	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

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

Tableau.20: Conductivités des eaux étudiées.

Points d'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
p1	546	Moyenne à accentuée
p2	1869	Elevée
p3	652	Moyenne à accentuée
p4	505	Moyenne à accentuée
p5	1065	Elevée
p6	975	Importante
p7	533	Moyenne à accentuée
p8	525	Moyenne à accentuée
p9	922	Importante
p10	1250	Elevée
p11	1077	Elevée
p12	1703	Elevée
p13	789	Importante
p14	804	Importante

Cadre hydrogéochimique

p15	879	Importante
p16	729	Importante
p17	916	Importante
p18	942	Importante
p19	720	Importante
p20	756	Importante
p21	1357	Elevée
p22	758	Importante
p23	761	Importante
p24	734	Importante
p25	789	Importante

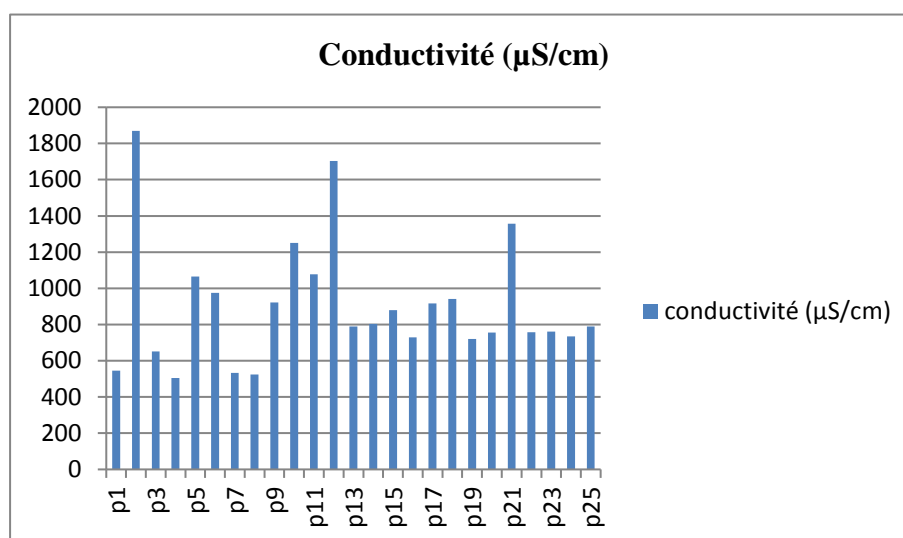


Fig. 20 : Histogramme des Conductivités électriques.

Les valeurs des conductivités des eaux étudiées, oscillent entre 505 $\mu\text{S/cm}$ au P4 et 1869 $\mu\text{S/cm}$ au P2. Ces valeurs sont inférieures à la norme (2800 $\mu\text{S/cm}$).

❖ Minéralisation :

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (Rodier J., 2009).

Cadre hydrogéochimique

Tableau.21 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J., 2009)

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/L)
Conductivités < 50	$1,365079 \times \text{conductivités}$
$50 < \text{Conductivités} < 166$	$0,947658 \times \text{conductivités}$
$166 < \text{Conductivités} < 333$	$0,769574 \times \text{conductivités}$
$333 < \text{Conductivités} < 833$	$0,715920 \times \text{conductivités}$
$833 < \text{Conductivités} < 10000$	$0,758544 \times \text{conductivités}$
Conductivités > 10000	$0,850432 \times \text{conductivités}$

Tableau .22 : Minéralisation des eaux étudiées

Points d'eau	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/L)	Classement
p1	46	390,89	bonne
p2	18	1589,45	Médiocre
p3	652	466,77	bonne
p4	505	361,53	bonne
p5	1065	905,71	Passable
p6	975	739,58	Passable
p7	533	381,58	bonne
p8	525	375,85	bonne
p9	922	699,37	Passable
p10	1250	1063,04	Médiocre
p11	1077	915,91	Passable
p12	1703	1448,28	Médiocre
p13	789	564,86	Passable
p14	804	575,59	Passable
p15	879	666,76	Passable
p16	729	521,90	Passable
p17	916	694,82	Passable
p18	942	714,54	Passable
p19	720	515,46	Passable
p20	756	541,23	Passable
p21	1357	1154,03	Médiocre
p22	758	542,66	Passable
p23	761	544,81	Passable
p24	734	525,48	Passable
p25	89	564,86	Passable

Cadre hydrogéochimique

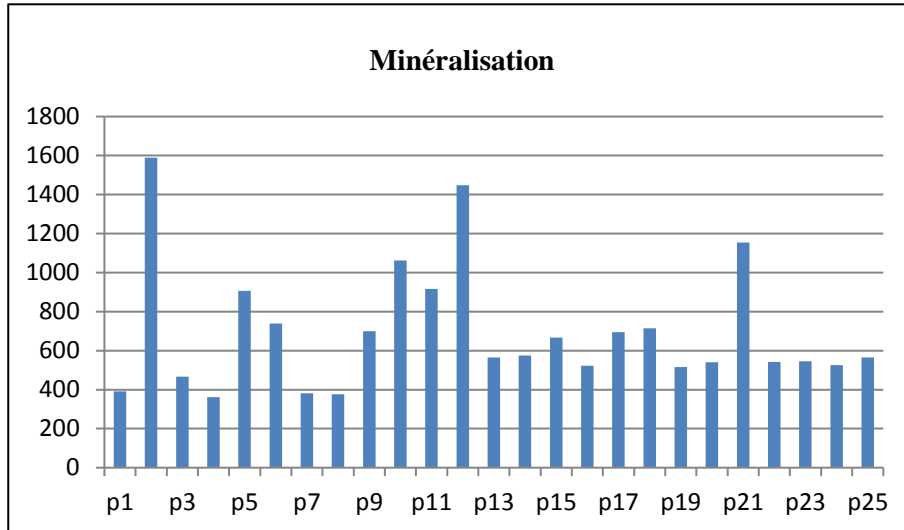


Fig. 21 : Histogramme des Minéralisations.

La figure 5 montre la variation des minéralisations des points d'eau étudiés, nous remarquons que la valeur maximale est au P2 (1589,45mg/L) et la valeur minimale est enregistrée au P4 (361,53mg/L).

❖ Paramètres chimiques :

1) Les cations :

1. L'ion Calcium :

Est un élément de la dureté totale. Les normes algériennes préconisent une concentration de 200 mg/L. Pour les eaux étudiées, les valeurs du calcium varient entre 104 mg/L au P23 et 150 mg/L au P20, toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme.

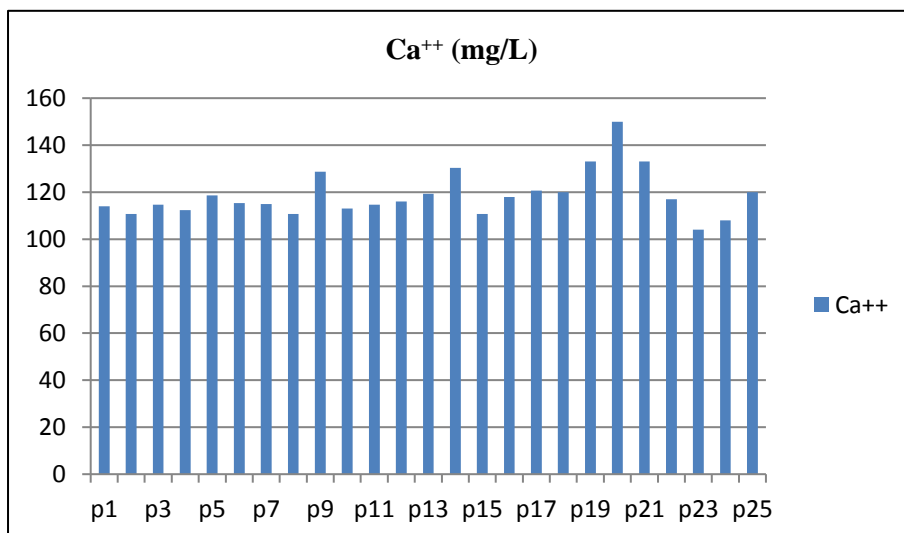


Fig. 22 : Histogramme de Calcium.

2. L'ion Magnésium :

Un des éléments les plus répandus dans la nature, c'est un élément significatif de la dureté de l'eau.

Les normes algériennes donnent une concentration maximale de 150mg/L de Mg^{++} . Pour les eaux étudiées, les valeurs du magnésium varient entre 12 mg/L aux points d'eau 14 et 24 et 73 mg/L au P2, toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme.

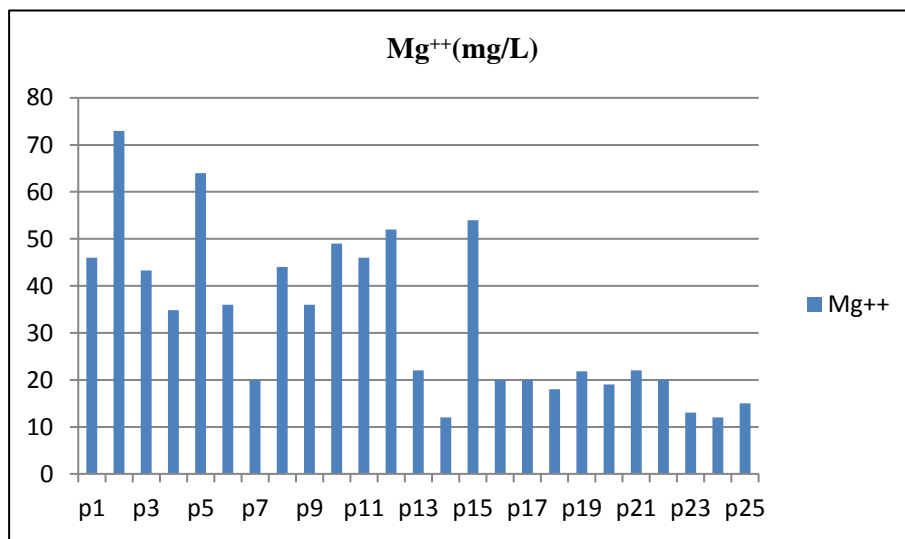


Fig. 23 : Histogramme de Magnésium.

3. L'ion Sodium :

Le sodium est le métal alcalin le plus abondant du milieu naturel. Les normes algériennes recommandent pour le sodium une valeur limite de 200 mg/L. Les concentrations des eaux étudiées varient entre 7 mg/L au point d'eau 4 et 28 mg/L au point d'eau 10. Toutes les concentrations sont inférieures à la norme.

Cadre hydrogéochimique

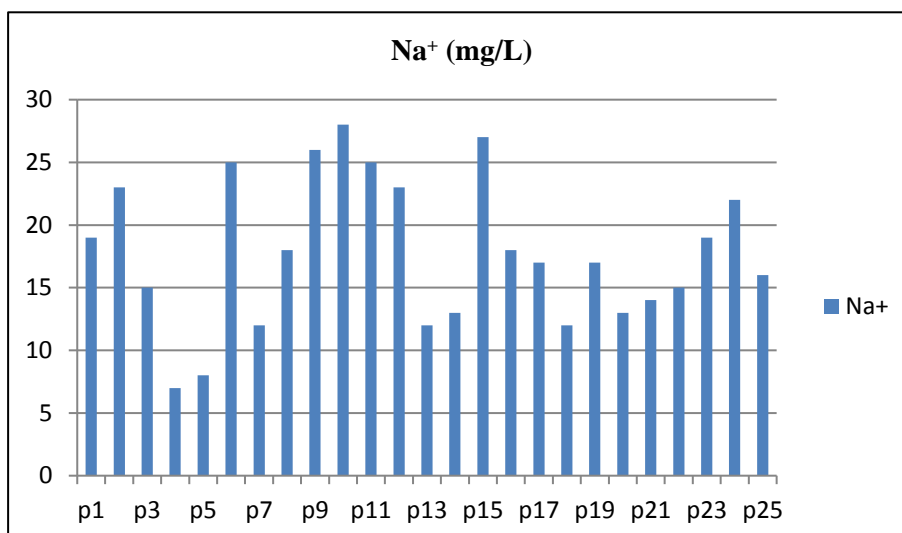


Fig.24 : Histogramme de Sodium.

❖ L'ion Potassium :

La nature géologique et l'utilisation de détergents et d'engrais sont la raison pour laquelle cet élément se trouve dans l'eau. Les normes algériennes donnent une concentration de 12 mg/L, Les concentrations en ion potassium sont inférieures à la norme algérienne, sauf pour les point d'eau (p11-p9-p14), leurs concentrations en K^+ dépassent la norme. P2 et P4 ont des teneurs égales à 12 mg/L.

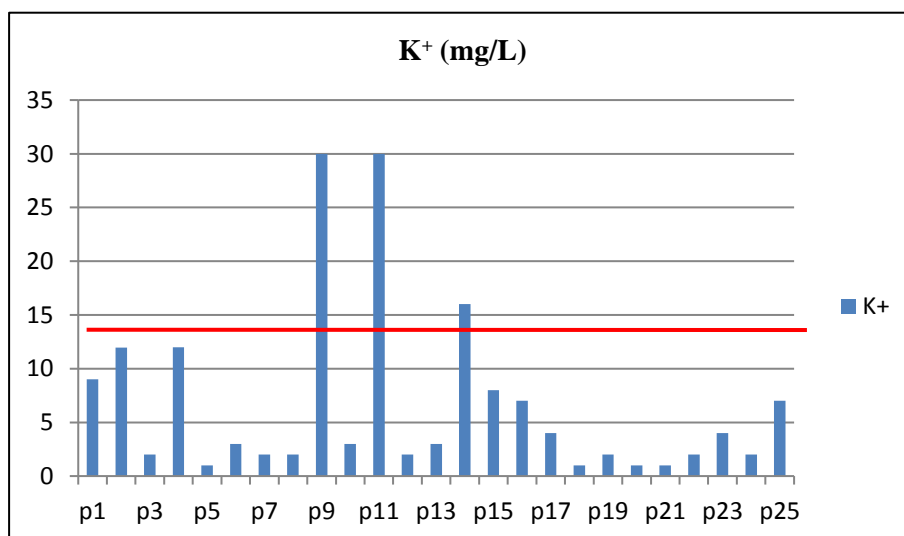


Fig. 25 : Histogramme du Potassium.

2) Les anions :

❖ L'ion Chlorure :

La teneur en Cl^- des eaux souterraines est essentiellement fonction de la nature des terrains traversés (RODIER J., 2009). Les normes algériennes indiquent une concentration maximale admissible de 500mg/L. Pour les eaux analysées, les concentrations varient entre 7 mg/L au point d'eau 23 et 97mg/L aux points d'eau 2 et 15, Toutes les teneurs sont au- dessous de la norme préconisée.

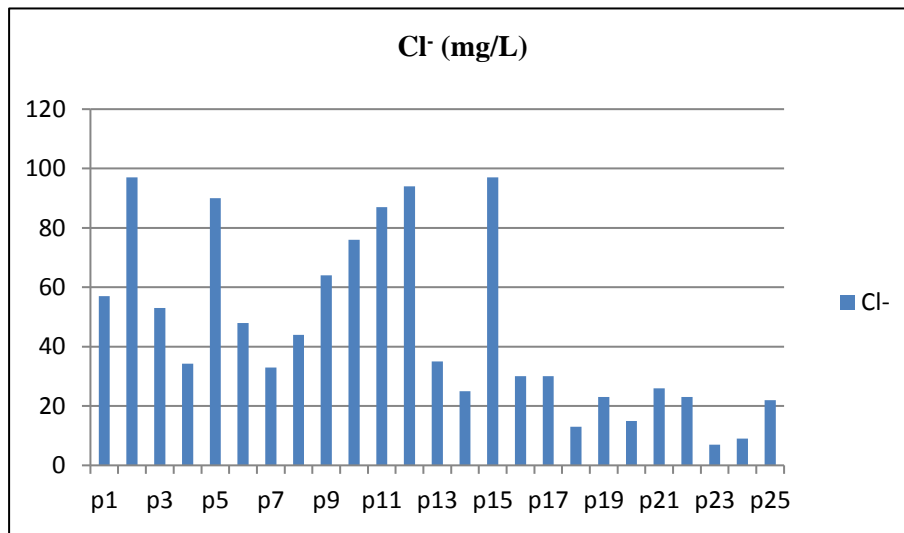


Fig. 26:Histogramme des Chlorures.

❖ L'ion Sulfate:

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

Les normes algériennes indique une concentration maximale admissible de 400 mg/L. Les teneurs en sulfate des points d'eau varient entre 9 mg/L au point d'eau 20 à 114 mg/L au point d'eau 15. Toutes les teneurs sont inférieures à la norme recommandée.

Cadre hydrogéochimique

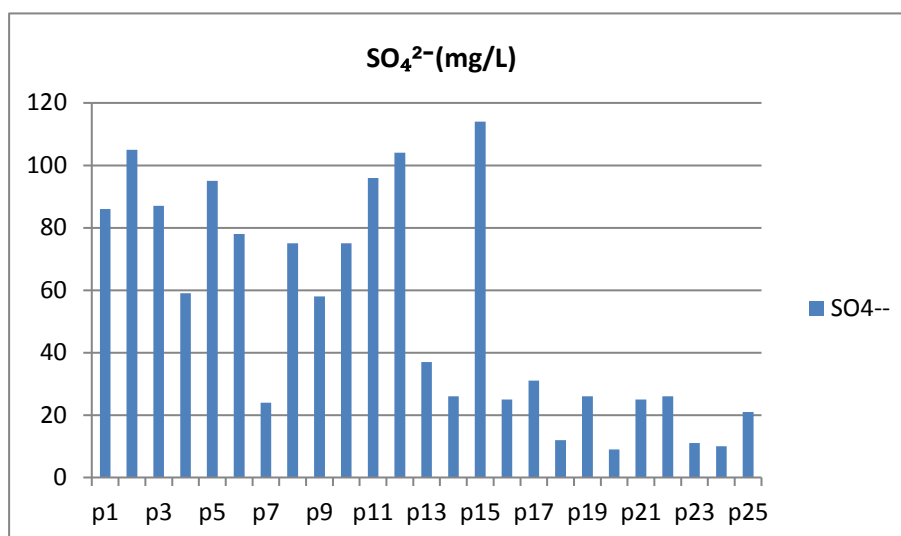


Fig. 27: Histogramme des Sulfates.

❖ L'ion Bicarbonate :

Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque quelque soit les teneurs en bicarbonates dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée.

Les valeurs de bicarbonates des eaux analysées varient de 332 mg/L aux points d'eau P2-P15 à 494 mg/L au point d'eau 20.

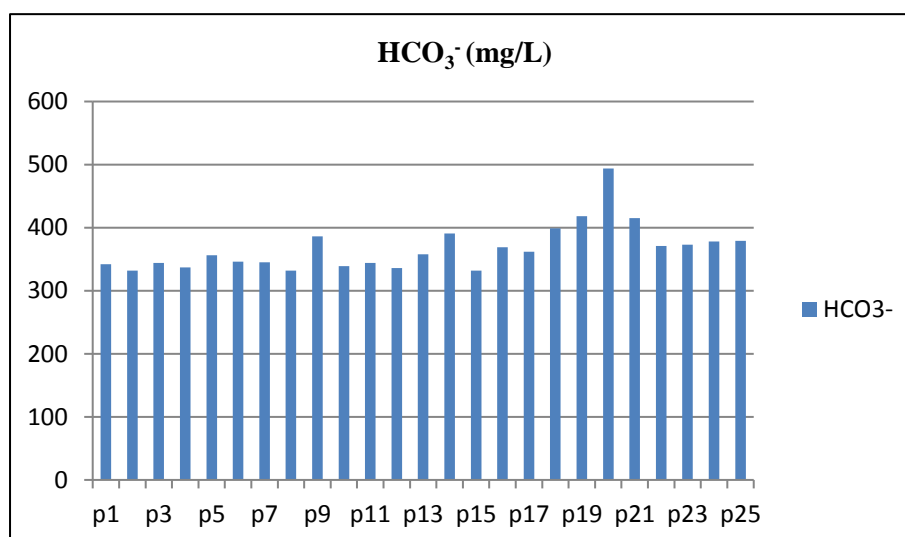


Fig. 28: Histogramme des Bicarbonates.

❖ L'ion Nitrate :

Les nitrates dans les eaux souterraines proviennent principalement :

- D'une origine agricole, en raison du recours aux engrais azotés.
- Des rejets des stations d'épurations (transformation de la matière organique en nitrates). Certaines installations sont complétées par des traitements de dénitrification, avant rejet.
- Du milieu naturel, pour 3 et 7 mg/L seulement, une quantité suffisante pour nourrir la vie aquatique (Rodier, 2009).

La valeur limite pour les eaux destinées à la consommation humaine donnée par la norme algérienne est de 50 mg/L. Nous avons constaté que les teneurs en nitrates dans les points d'eau :(p1-p2-p3-p4-p5-p6-p8-p9-p11-p10-p12-p15) dépassent cette valeur (57 à 142 mg/L).

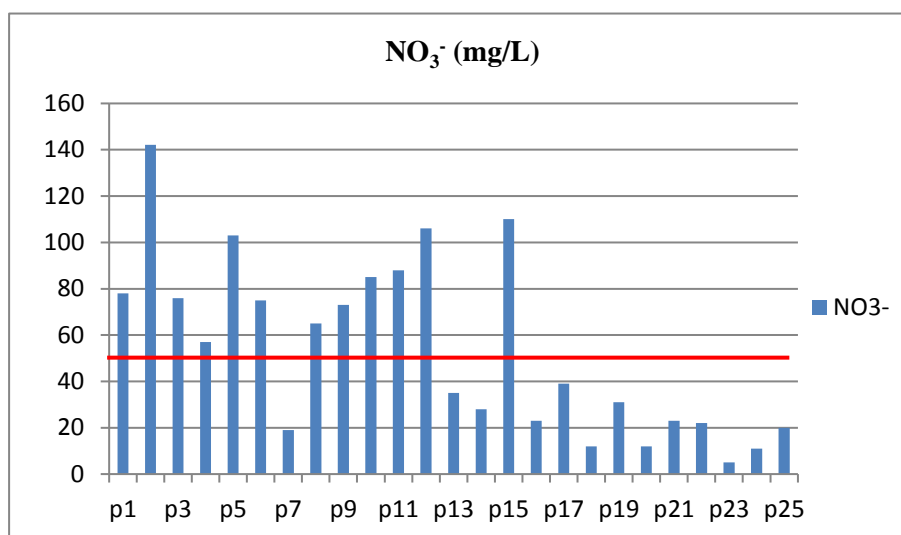


Fig. 29:Histogramme des Nitrates.

V.4 Classification des eaux:

Afin de connaître les faciès chimiques et les familles des eaux de cette région, nous avons utilisé les représentations suivantes :

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

Le diagramme de Schoeller - Berkaloff permet de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques. Les valeurs utilisées sont exprimées en **mg/L** au milieu du diagramme et latéralement en **meq/L**.

Cadre hydrogéochimique

Le report des valeurs des analyses chimiques sur le diagramme de SchoellerBerkaloff, montre que les eaux étudiées ont un faciès bicarbonaté calcique à l'exception du P2 qui est bicarbonaté magnésien (voir tableau n° 23 et figures 30,31).

Tableau. 23:Classification des eaux, selon leurs faciès chimiques.

Points d'eau	Formules caractéristiques	Faciès chimiques
1	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonaté Calcique
2	$r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	Bicarbonaté magnésien
3	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
4	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{K}^+ > r \text{Na}^+$	
5	$r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
6	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
7	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
8	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
9	$r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{K}^+ > r \text{Na}^+$	
10	$r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
11	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{K}^+ > r \text{Na}^+$	
12	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
13	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
14	$r \text{HCO}_3^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{K}^+ > r \text{Na}^+ > r \text{Mg}^{2+}$	
15	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- // r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	
16	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{NO}_3^- > r \text{NO}_2^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ > r \text{K}^+$	

Cadre hydrogéochimique

17	r HCO ₃ ->r NO ₃ ->r SO ₄ -->r Cl->r NO ₂ -/ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > K ⁺
18	r HCO ₃ > r Cl-->r SO ₄ -->r NO ₃ ->r NO ₂ -r / r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > K ⁺
19	r HCO ₃ ->r NO ₃ ->r SO ₄ -->r Cl->r NO ₂ -/ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ K ⁺
20	r HCO ₃ > r Cl-->r NO ₃ ->r SO ₄ -->r NO ₂ -r / r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > K ⁺
21	r HCO ₃ > r Cl-->r SO ₄ -->r NO ₃ ->r NO ₂ -r / r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > K ⁺
22	r HCO ₃ ->r SO ₄ -->r Cl->r NO ₃ ->r NO ₂ -/ r Ca ⁺⁺ > r Mg ⁺⁺ > r Na ⁺ > K ⁺
23	r HCO ₃ ->r SO ₄ -->r Cl->r NO ₃ ->r NO ₂ -/ r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Mg ⁺⁺ > K ⁺
24	r HCO ₃ ->r SO ₄ -->r NO ₃ ->r Cl->r NO ₂ -/ r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Mg ⁺⁺ >K ⁺
25	r HCO ₃ > r Cl-->r SO ₄ -->r NO ₃ ->r NO ₂ -r / r Ca ⁺⁺ > r Na ⁺ > r Mg ⁺⁺ > K ⁺

Cadre hydrogéochimique

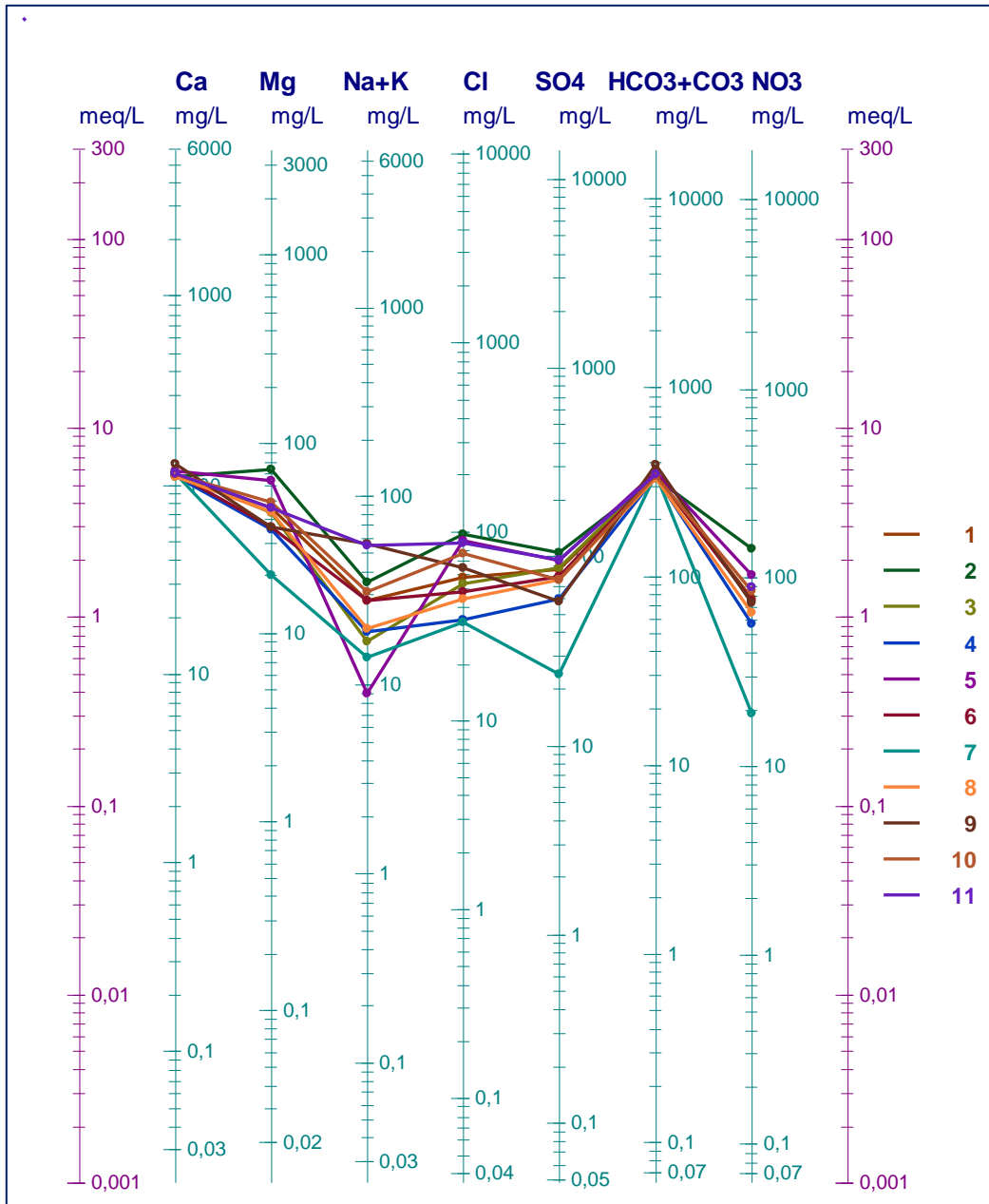


Fig. 30: Classification des eaux selon Schoeller-Berkaloff

Cadre hydrogéochimique

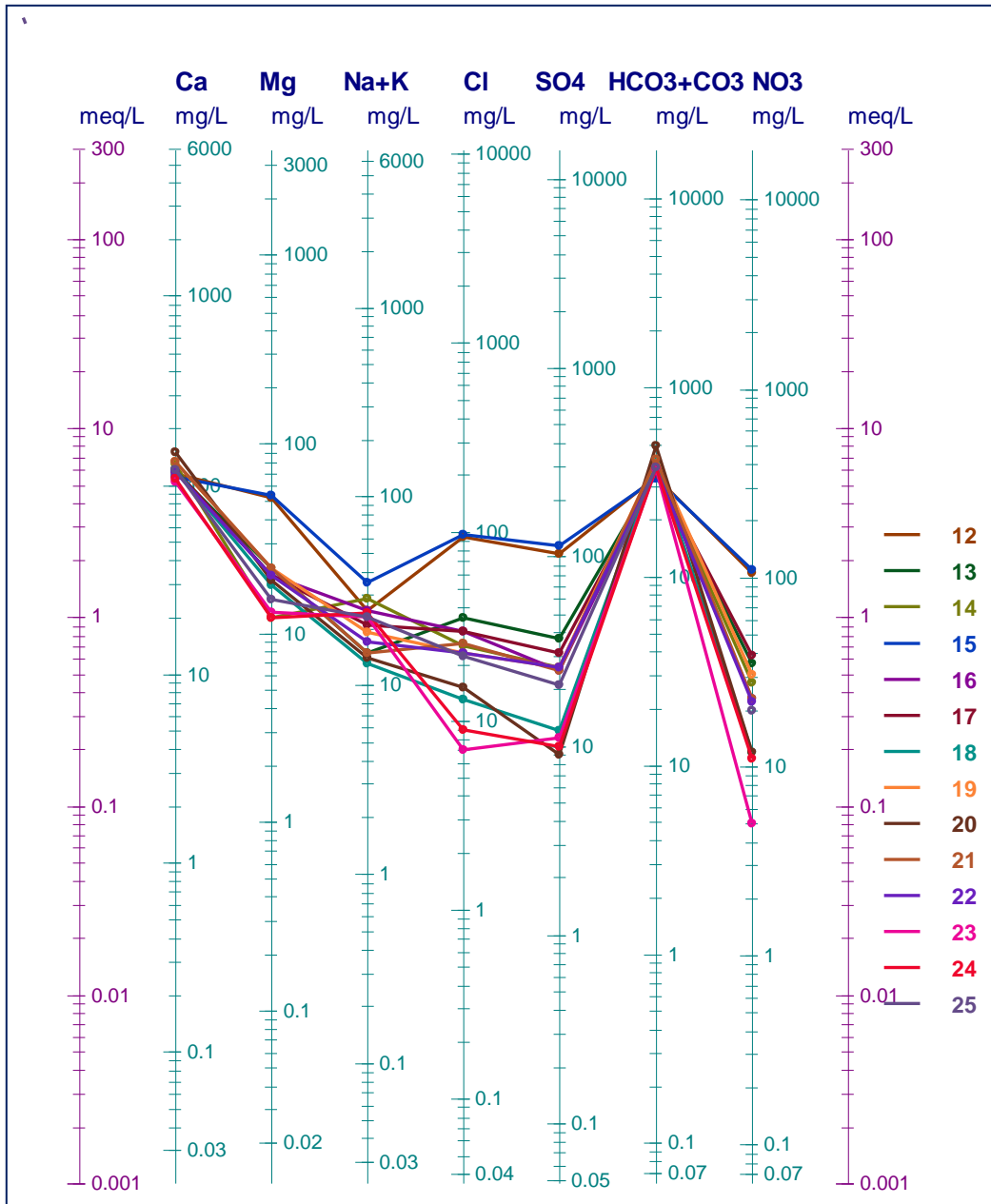


Fig. 31: Classification des eaux selon Shoeller-Berkaloff

V.4.1 Représentation graphique selon PIPER :

Ce diagramme est une représentation graphique de la chimie de l'eau étudiée. Il est établi à partir des quantités en réaction (en%), Les cations et anions sont représentés par différentes parcelles ternaires, Les sommets de la courbe de cations sont le calcium, le magnésium, le sodium ainsi que le potassium. Les sommets de la courbe d'anions sont le sulfate, chlorure et carbonate, plus hydrogénocarbonate anions. Les deux parcelles ternaires sont ensuite projetées sur un diamant. Le diagramme est une transformation de matrice d'un graphe des anions (sulfate- chlorures / anions totaux) et cations (sodium- potassium/ total des cations).

Les résultats ont été représentés sur le diagramme de Piper, ces eaux appartiennent à deux familles :

❖ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne :

Les points d'eau (P2-P5-P11-P12-P15).

❖ Bicarbonatée calcique et magnésienne :

Les points d'eau qui restent.

Cadre hydrogéochimique

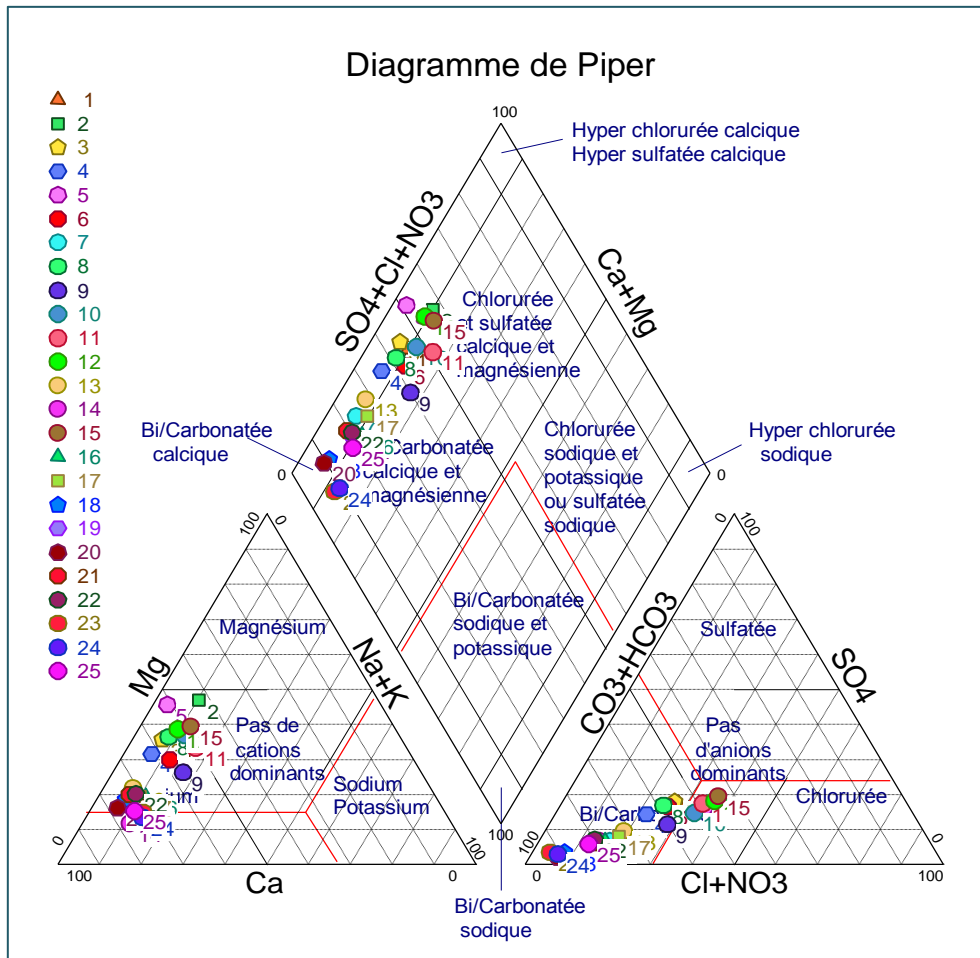


Fig. 32 : Diagramme de Piper.

✓ Aptitude des eaux destinées à l'irrigation :

La salinisation est sans doute le principal risque encouru par les terrains irrigués, principalement en climat aride. Il peut être apprécié par la conductivité électrique des eaux d'irrigation (Rodier J., 1996).

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre d'indices et de diagrammes, parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium (% Na+).
- L'Indice de Kelly's Ratio (Kr).
- Le diagramme de RIVERSIDE.
- Le diagramme de WILCOX.

Cadre hydrogéochimique

1. Le pourcentage en Sodium :

Un autre risque majeur est celui de l'alcalinisation des sols par suite d'échanges ioniques, concernant surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol. De fortes teneurs en sodium modifient la structure des sols et leur perméabilité. Ce risque peut être apprécié par le coefficient d'absorption du sodium, l'usage agricole d'une eau demande un pourcentage en sodium inférieure 60% (Rodier J., 1996).

Le pourcentage en Na^+ est donné par la formule suivante :

$$\text{Na}^+ = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} * 100$$

Tableau.24 : Classification des eaux, selon le pourcentage en Na^+ .

Classe	Eau trèsbonne	Eau bonne	Eau admissible	Eau médiocre	Eau mauvaise
$\text{Na}^+\%$	<20	20-40	40-60	60-80	>80

Tableau.25 : Pourcentages en Sodium des points d'eau étudiés.

Points d'eau	$\%\text{Na}^+$	Classe	Sources	$\%\text{Na}^+$	Classe
P1	14,89	très bonne	P14	15,33	très bonne
P2	15,99	très bonne	P15	12,98	très bonne
P3	9,71	très bonne	P16	8,60	très bonne
P4	11,43	très bonne	P17	10,93	très bonne
P5	4,69	très bonne	P18	7,65	très bonne
P6	15,61	très bonne	P19	8,82	très bonne
P7	9,39	très bonne	P20	11,03	très bonne
P8	11,45	très bonne	P21	16,42	très bonne
P9	16,06	très bonne	P22	16,66	très bonne
P10	12,95	très bonne	P23	14,55	très bonne

Cadre hydrogéochimique

P11	9,59	très bonne	P24	25,37	bonne
P12	16,92	très bonne	P25	25,50	bonne
P13	17,52	très bonne			

Les eaux étudiées ont un taux de sodium inférieur à 60%, donc elles sont aptes à être utilisées en irrigation, d'après le tableau 07.

2. Indice de Kelly's Ratio (Kr) :

Cet indice est exprimé par la formule suivante :

$$Kr = Na^+ / (Ca^{++} + Mg^{++}).$$

Kr < 1	Kr > 1
Eau bonne pour l'irrigation	Eaumauvaise pour l'irrigation.

L'application de cette formule nous a permis de dire que les eaux sont bonnes pour l'irrigation (voir tableau n° 08).

Tableau.26 : Valeur du Kr des eaux étudiées.

Points d'eau	Kr ⁺	Qualité de l'eau	Points d'eau	Kr ⁺	Qualité de l'eau
P1	0,11	Bonne	P13	0,08	Bonne
P2	0,12	Bonne	P14	0,09	Bonne
P3	0,09	Bonne	P15	0,16	Bonne
P4	0,04	Bonne	P16	0,13	Bonne
P5	0,04	Bonne	P17	0,12	Bonne
P6	0,16	Bonne	P18	0,08	Bonne
P7	0,08	Bonne	P19	0,10	Bonne
P8	0,11	Bonne	P20	0,07	Bonne
P9	0,15	Bonne	P21	0,09	Bonne
P10	0,17	Bonne	P22	0,10	Bonne
P11	0,15	Bonne	P23	0,16	Bonne
P12	0,13	Bonne	P24	0,18	Bonne
P13	0,08	Bonne	P25	0,11	Bonne

3. Diagramme de Riverside :

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{+2} (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé (Rodier J., 1996).

Le SAR est défini par la relation suivante :

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

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 .

L'évaluation du degré d'alcalinisation et de sodicité est faite en utilisant le diagramme de Riverside (Fig.17). Les résultats obtenus montrent qu'il y a deux classes :

- ❖ La classe C2-S1 : représentée par les points d'eau (P1-P12-P3-P24-P25). Ils sont de bonne qualité pour l'irrigation.
- ❖ La classe C3-S1 : représentée par le reste des points d'eau. Ils sont admissibles pour l'irrigation.

Cadre hydrogéochimique

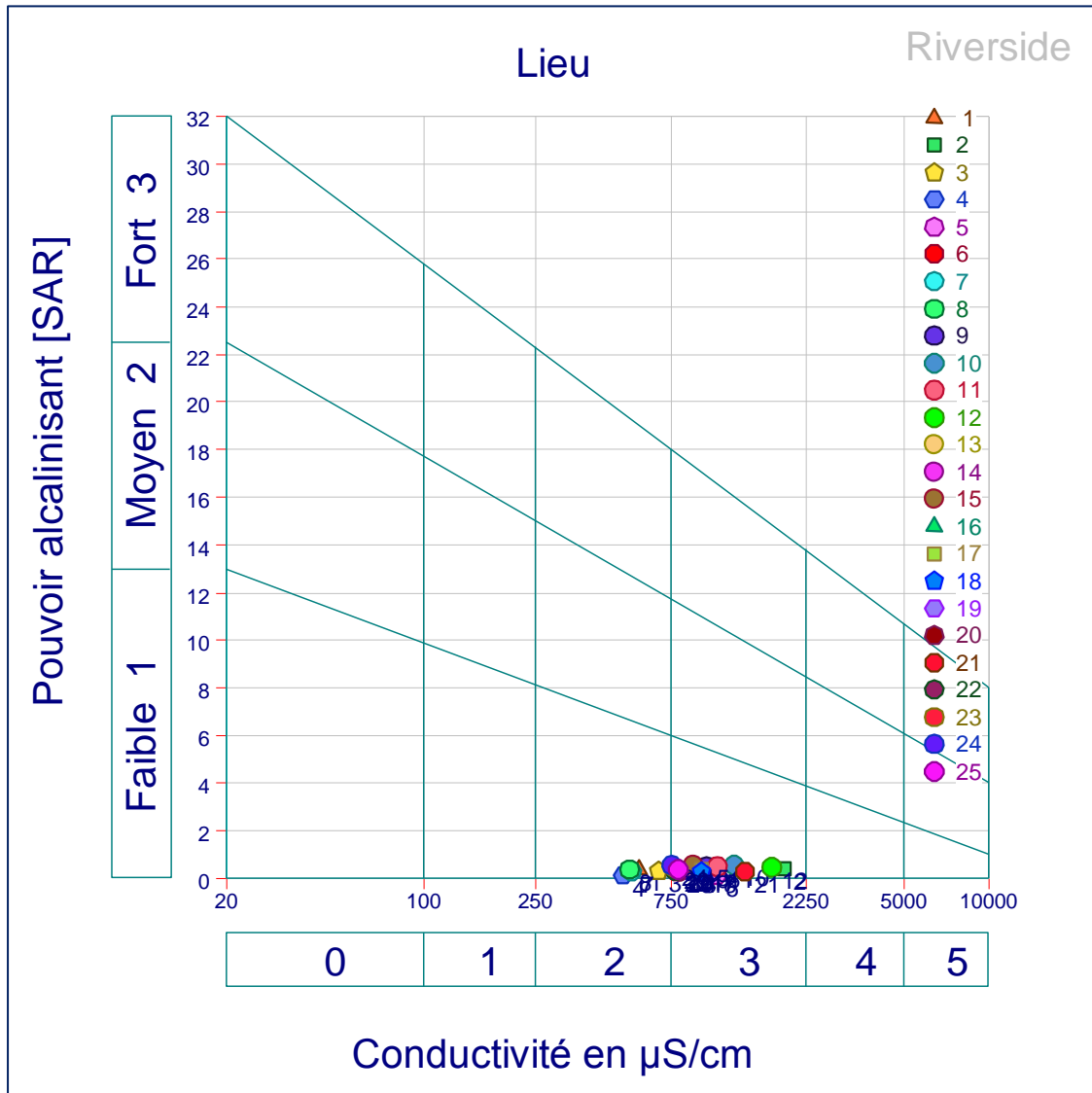


Fig. 33: Diagramme de RIVERSIDE.

4. Diagramme de WILCOX

WILCOX classe les eaux à partir de leur proportion en sodium, en fonction de la conductivité électrique, définissant 5 classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise).

Les eaux étudiées du groupement urbain de Tlemcen sont réparties en deux classes, d'après le diagramme de WILCOX (Fig.34) :

- Excellentes pour être utilisées en irrigation (p1-p3-p4-p7-p3-p8-p14-p20-p22-p23-p24-p25).
- Bonnes : le reste des points d'eau.

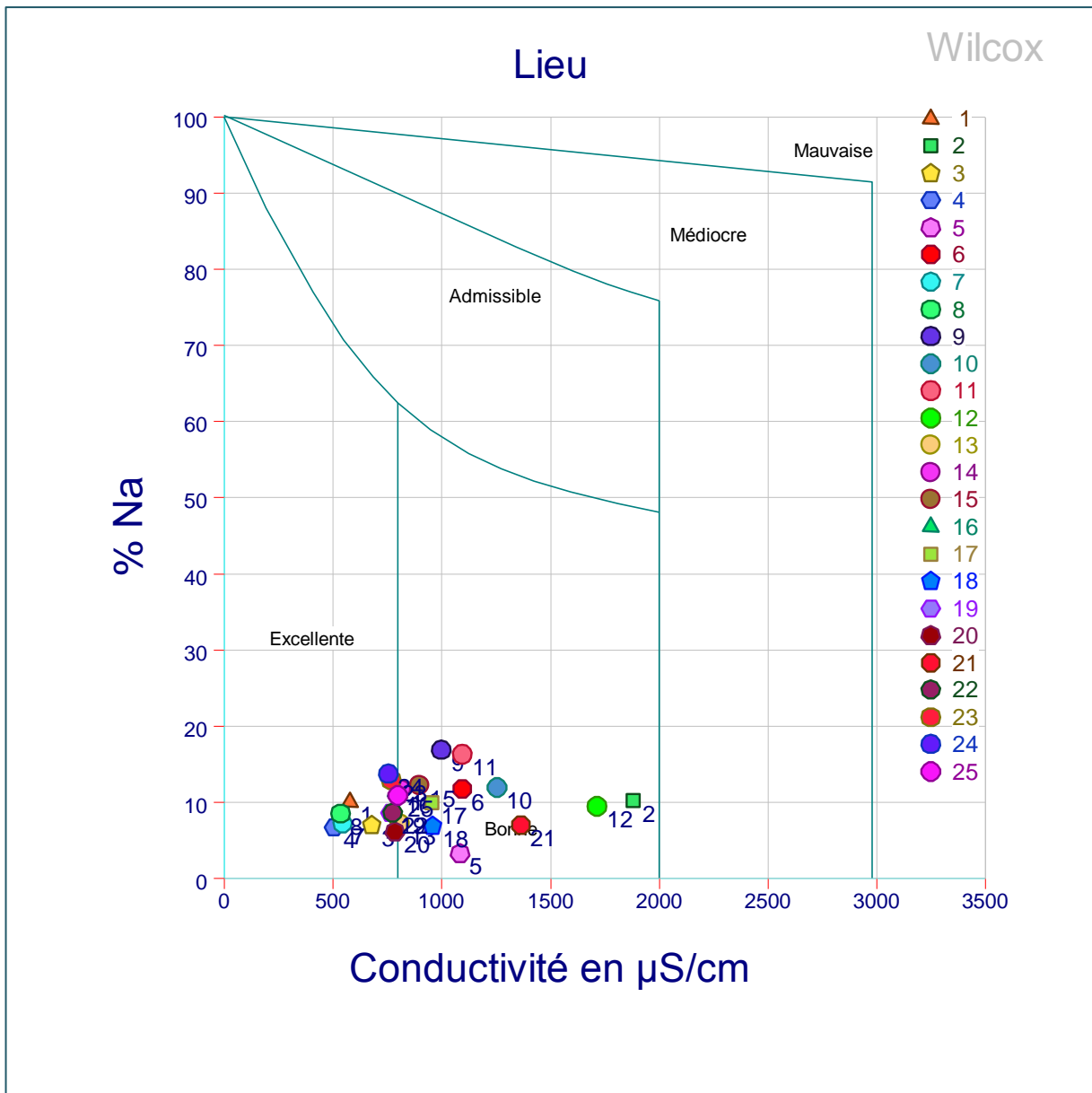


Fig. 34 : Diagramme de WILCOX.

V.5 L'origine de la minéralisation :

V.5.1 L'étude statistique :

Pour définir les relations entre les éléments chimiques (variables) et de regrouper les points d'eau (individus) ayant le même chimisme, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) et une classification ascendante hiérarchique (CAH).

V.5.2 Matrice des corrélations:

La matrice des corrélations permet de détecter rapidement certaines liaisons entre les individus (variables). Elle est tout simplement la matrice des coefficients de corrélation statistiques ou de coefficients de corrélation calculés sur plusieurs variables prises deux à deux.

Les résultats des analyses des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) traités à l'aide du logiciel «XLSTAT», nous ont montré qu'il existe une bonne corrélation entre les éléments chimiques : $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$, $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^-/\text{Mg}^{2+}$, $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$, $\text{NO}_3^-/\text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Mg}^{2+}$ (Tableau n°27).

Tableau. 27: Matrice des corrélations.

Variabl es	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+
HCO_3^-	1							
Cl^-	-0,586	1						
NO_3^-	-0,617	0,958	1					
SO_4^{2-}	-0,679	0,939	0,967	1				
Ca^{++}	0,855	-0,284	-0,327	-0,39	1			
Mg^{++}	-0,578	0,931	0,969	0,942	-0,328	1		
Na^+	-0,305	0,487	0,465	0,441	-0,296	0,358	1	
K^+	-0,141	0,343	0,301	0,27	0,013	0,189	0,354	1

V.5.3 Le coefficient de variation :

-Le coefficient de variation est défini comme le rapport entre l'écart-type α et la moyenne.

Cadre hydrogéochimique

-Les calculs des coefficients de variation portés sur les paramètres chimiques (tableau n°10) ont montré que les coefficients de variation pour les éléments (Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^-) sont inférieurs à 50% ce qui indique une homogénéité due à une répartition régulière de ces paramètres. Tandis que les éléments (K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Mg^{2+}) sont supérieurs à 50 % indiquant une grande variation de la moyenne, cela est dû à leur origine anthropique qui leur permet d'acquérir des concentrations élevées localement.

Tableau.28 : Paramètres statistiques des variables.

Variable	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation (CV)
HCO_3^-	6,0173742	0,60289097	10,01917031
Cl^-	1,27763047	0,83176659	65,10228197
NO_3^-	0,86329032	0,61595471	71,34966032
SO_4^{--}	1,09514887	0,73762922	67,35424223
Ca^{++}	5,92348636	0,49045783	8,279884453
Mg^{++}	2,67614815	1,43241827	53,52537281
Na^+	0,77217391	0,2554633	33,0836486
K^+	0,16978005	0,20720669	122,0441904

V.5.4 Analyse en Composantes Principales :

C'est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multivariée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées » en statistique) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes principaux. Elle permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante. Il s'agit d'une approche à la fois géométrique (les variables étant représentées dans un nouvel espace, selon des directions d'inertie maximale) et statistique (la recherche portant sur des axes indépendants expliquant au mieux la variabilité des individus. (Travi et Mudry, 1997).

Les résultats analytiques portés sur les 25 échantillons ont généré huit variables (tableau.16). Seuls les deux premiers facteurs qui représentent 77,65% de la variance totale peuvent interpréter d'une manière satisfaisante la minéralisation des eaux de ce système aquifère (Fig.19). F1 représente 61,24% de la variance et il est déterminé positivement par (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Mg^{2+} , NO_3^- , et K^+) et témoigne de la

Cadre hydrogéochimique

contamination de ces points d'eaux par les eaux d'irrigation. Tandis que l'axe F2 représente 16,41% de la variance et témoigne de la dissolution des formations carbonatées (Ca^{++} , HCO_3^-).

Tableau.29 : Pourcentage des facteurs cumulés.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	4,89963	1,3127652	0,9923	0,602939	0,0958	0,0522	0,03198	0,01247
Variabilité (%)	61,2454	16,409565	12,403	7,536732	1,197	0,6522	0,39975	0,15592
% cumulé	61,2454	77,654977	90,058	97,59519	98,92	99,444	99,84408	100

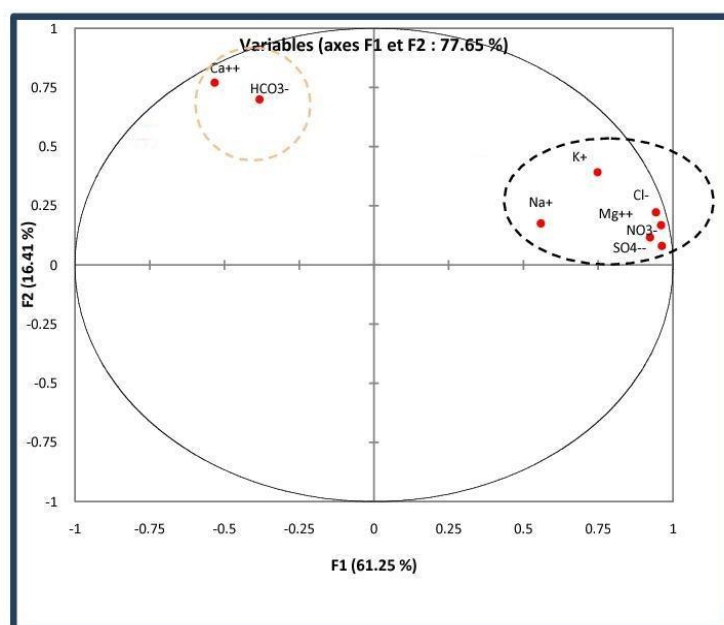


Fig. 35 : (ACP)

V.5.5 Classification ascendante hiérarchique (CAH) :

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est l'une de nombreuses techniques statistiques visant à partitionner des données (individus, objets, etc...) en différentes classes. Cette technique est de rassembler des individus selon un critère de ressemblance défini au préalable qui s'exprimera sous la forme d'une matrice de distances, exprimant la distance existant entre chaque individu pris deux à deux.

Deux observations identiques auront une distance nulle. Plus les deux observations seront dissemblables, plus la distance sera importante. La CAH va ensuite rassembler les individus de manière itérative afin de produire un dendrogramme ou arbre de classification. Elle est hiérarchique car elle

Cadre hydrogéochimique

produit des classes ou groupes de plus en plus vastes, incluant des sous-groupes en leur sein. En découpant cet arbre à une certaine hauteur choisie, on produira la partition désirée. (Larmarange. J, et al, 17 juin 2020), modifié.

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

- ❖ La classe 1 : comprend les eaux qui subissent des dissolutions des formations carbonatées en donnant naissance à des eaux bicarbonatées calciques (Ca^{2+} . HCO_3^-)
- ❖ La classe 2 : représente les eaux qui subissent des contaminations par les eaux d'irrigation.

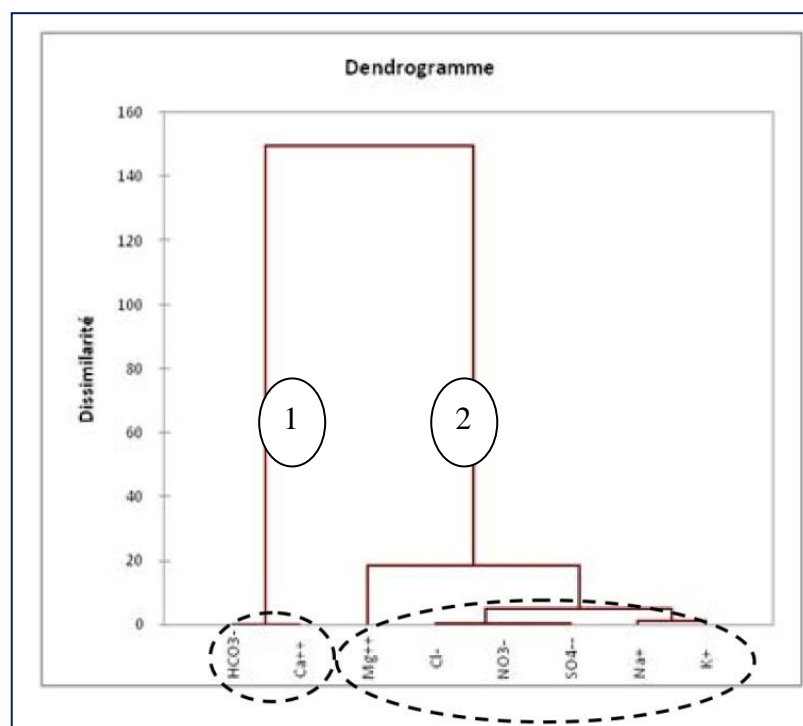


Fig. 36. Classification hiérarchique des paramètres physico-chimiques des eaux échantillonnées.

V.5 Conclusion :

L'étude hydrogéochimique faite sur les points d'eau du groupement urbain de Tlemcen a fait ressortir les résultats suivants :

➤ Du point de vue potabilité, les points d'eau P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24 et P25 sont conformes aux normes de potabilité algériennes. Les autres, représentés par P1-P2-P3-P4-P5-P6-P8-P9-P10-P11-P12-P15 sont caractérisés par des teneurs élevées en nitrates et P9-P11-P14 par des valeurs élevées en potassium qui dépassent les normes de potabilités algériennes est cela est due probablement à une pollution anthropique.

➤ Selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff, nous avons un faciès bicarbonaté calcique à l'exception du P2 qui est bicarbonaté magnésien.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles :

❖ **Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne** : P2-P5-P11-P12-P15.

❖ **Bicarbonatée calcique et magnésienne** : p1-p3-p4-p6-p7-p8-p9-p10-p13-p14-p16-p17-p18-p19-p20-21-p22-p23-p24-p25.

➤ Concernant l'irrigation, en utilisant des indices comme le % Na⁺, et le Kr et des diagrammes (Riverside et Wilcox) :

-D'après les résultats du % en Na⁺ et du calcul de Kr, tous les sources et forages sont de très bonne à bonne qualité pour l'irrigation.

-Selon le diagramme de Riverside, les eaux du P1-P12-P3-P24-P25 sont dans la classe C2-S1 (classe bonne pour l'irrigation), les autres sont classés en C3-S1. Ils sont de qualité admissible.

-Le diagramme de Wilcox fait ressortir deux classifications :

***Excellente** : représentée par les points d'eau P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25.

***Bonne** : Tout le reste des points d'eau.

-Analyse en composantes principales (ACP) : présente la projection dans l'espace des variables en fonction des facteurs F1 et F2 :

* **F1** représente 61,24% de la variance et il est déterminé positivement par (Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, et K⁺) et témoigne de la contamination de ces points d'eaux par les eaux d'irrigation.

Cadre hydrogéochimique

***F2** représente 16,41% de la variance et témoigne de la dissolution des formations carbonatées ($\text{Ca}^{++}, \text{HCO}_3^-$).

-Classification ascendante hiérarchique (**CAH**): L'application de cette technique aux eaux échantillonnées montre l'existence de deux classes :

***La classe 1** : comprend les eaux qui subissent des dissolutions des formations carbonatées en donnant naissance à des eaux bicarbonatées calciques ($\text{Ca}^{2+}, \text{HCO}_3^-$)

***La classe 2** : représente les eaux qui subissent des contaminations par les eaux d'irrigation.

Les résultats analytiques portés sur les 25 échantillons ont montré que la minéralisation des eaux est due à une contamination par les infiltrations des eaux d'irrigation ainsi que par la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté.



Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE.

Ce modeste travail a pour but étudier et d'évaluer la qualité physico- chimique de quelques sources et forages dans le groupement urbain de Tlemcen.

- ❖ Tout d'abord, l'étude climatique a fait ressortir que le type du climat qui règne dans notre région d'étude est un climat semi-aride.
- ✓ La moyenne annuelle des précipitations est de 545.1mm sur la période allant de 1995 au 2016.
- ✓ La température moyenne mensuelle est de 17.6°C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds avec une température de 33.3 °C à 33.5°C respectivement. Le mois de Janvier est le plus froid, avec une température de 6°C.
- ✓ Le diagramme pluvio-thermique nous a permis de définir une période humide qui s'étend de la mi- Septembre au début du mois de Mai et une période sèche qui s'étale sur le reste des mois de l'année.
- ✓ L'évapotranspiration à été évaluée à environ **467.7** mm/ an.
- ❖ L'étude géologique a décrit que les Monts de Tlemcen sont constitués essentiellement par des formations d'âge Jurassique supérieur et Crétacé inférieur. Au Sud et au Nord, ces formations sont masquées par une sédimentation tertiaire, représentée par des dépôts fluviatiles éocènes au Sud et par des marnes miocènes et des dépôts plio-quaternaires au Nord.

Du point de vue tectonique, la zone d'étude se caractérise par un style tectonique de type cassant, avec des déformations résultantes d'une tectonique compressive plus souple, avec la mise en place de structures plissées, plus ou moins complexes. Cette tectonique a favorisé le développement de la karstification et l'émergence de plusieurs sources.

- ❖ La synthèse hydrogéologique a identifié les formations qui peuvent être aquifères dans le secteur d'étude et qui sont représentées par celles du Plio-Quaternaire, les dolomies et les calcaires du Jurassique, les grès tortoniens et les grès de Boumédiène, lorsqu'ils sont fissurés.
- ❖ L'étude hydrogéochimique faite sur les 25 échantillons pris pour l'étude a fait ressortir les résultats suivants :
 - Du point de vue potabilité, les points d'eau P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24 et P25 sont conformes aux normes de potabilité algériennes. Les autres, représentés par P1-P2-P3-P4-P5-P6-P8-P9-P10-P11-P12-P15 sont caractérisés par des teneurs élevées en nitrates et P9-P11-P14 par des valeurs élevées en potassium qui dépassent les normes de potabilités algériennes est cela est due probablement à une pollution anthropique.

Conclusion générale

➤ Selon le diagramme de Schoeller- Berkaloff, nous avons un faciès bicarbonaté calcique à l'exception du P2 qui est bicarbonaté magnésien.

➤ Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles :

❖ **Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne** : P2-P5-P11-P12-P15.

❖ **Bicarbonatée calcique et magnésienne** : p1-p3-p4-p6-p7-p8-p9-p10-p13-p14-p16-p17-p18-p19-p20-21-p22-p23-p24-p25.

➤ Concernant l'irrigation, en utilisant des indices comme le % Na⁺, et le Kr et des diagrammes (Riverside et Wilcox) :

D'après les résultats du % en Na⁺ et du calcul de Kr, tous les sources et forages sont de très bonne à bonne qualité pour l'irrigation.

Selon le diagramme de Riverside, les eaux du P1-P12-P3-P24-P25 sont dans la classe C2-S1 (classe bonne pour l'irrigation), les autres sont classés en C3-S1. Ils sont de qualité admissible.

Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications :

***Excellente** : représentée par les points d'eau P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25.

***Bonne** : Tout le reste des points d'eau.

-Analyse en composantes principales (**ACP**) : présente la projection dans l'espace des variables en fonction des facteurs F1 et F2 :

* **F1** représente 61,24% de la variance et il est déterminé positivement par (Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, et K⁺) et témoigne de la contamination de ces points d'eaux par les eaux d'irrigation.

***F2** représente 16,41% de la variance et témoigne de la dissolution des formations carbonatées (Ca⁺⁺, HCO₃⁻).

-Classification ascendante hiérarchique (**CAH**) : L'application de cette technique aux eaux échantillonnées montre l'existence de deux classes :

***La classe 1** : comprend les eaux qui subissent des dissolutions des formations carbonatées en donnant naissance à des eaux bicarbonatées calciques (Ca²⁺. HCO₃⁻)

***La classe 2** : représente les eaux qui subissent des contaminations par les eaux d'irrigation

Les résultats obtenus de l'étude statistique faite à l'aide du logiciel «XLSTAT» ont montré que la minéralisation des eaux est due à une contamination par les infiltrations des eaux d'irrigation ainsi que par la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté.

Conclusion générale

Recommandations :

- La protection et la préservation des ressources en eau qui sont assurées par des périmètres de protection.
- L'évaluation des ressources en eau souterraines ainsi que la surveillance de leur état quantitatif et qualitatif tout au long de l'année (analyses physico-chimiques, surtout les métaux lourds et bactériologiques) pour éviter tous les cas de pollution et lutter contre les maladies à transmission hydrique (MTH).
- Améliorer le service public de l'eau et de l'assainissement, par l'entretien et la rénovation.
- L'information des gens, s'il y a une mauvaise qualité des eaux par les organismes concernés, due à des fuites ou cassures dans les canalisations.



Références

Bibliographiques

Références bibliographiques.

- ABLAOUI.H (2013).**- Structure et fonctionnement de trois émergences karstiques des Monts de Tlemcen à partir des réponses hydrogéologiques et hydrochimiques (période du 12/12/2005 au 16/01/2007). Mém. Magister, Univ. Oran, pp.33, 35.
- **AUCLAIR.D et BEIHLER.J (1976).**- Etude géologique des hautes plaines oranaises entre Tlemcen et Saida. PUB. Serv. géol. Algérie. Anm. Ser. N°34.
- AZZIZ .H (2017).**- Caractérisations, classification et statistique multi-variable des eaux de l'aquifère alluvionnaire du fossé de SEBDOU (NW algérien).Mém.Master.Univ.Tlemcen.p17.
- 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, 114 f, 45 t.
- 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, p28, p31, p32.
- BENEST.M (1978).**- Modalités de l'apparition de la sédimentation carbonatée de plateforme interne sur la frange méridionale du domaine Tlemcenien pendant l'Aalénien et le Bajocien : Les dolomies du Tenouchfi(Algérie Nord-Occidentale). Livre jubilaire Jacques.FDocum. Lab.Géol.Fac.Sci.Lyon, H-S.4, p.29-69
- BENEST.M (1982).**- Importance des décrochements senestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daia (Algérie occidentale). Revue Géologie Dynamique et Géographie Physique, 23 (5): 345-362.
- BENEST .M (1985).**- Evolution de la plate-forme de l'Ouest Algerien et du Nord-Est Marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse Sc. Lyon, Documents Laboratoire Géologique Lyon, 95: 581 p.
- BENEST M, BENSALAH M, BOUABDELLEH H, OURDAS T (1999).**- La couverture mésozoïque du domaine tlemcenien 'Avant pays Tellien d'Algérie occidentale): Stratigraphie, Paléo environnement, dynamique sédimentaire et tectogenèse alpine. Bulletin du service géologique de l'Algérie, vol.10, n°2, Dec.1999
- BOUANANLA, BABA-HAMED.K et FANDI.W,(2013).**- Production et transport des sédiments en suspension dans l'oued Sikkak (Tafna – nord-ouest Algérie). Article in Revue Des Sciences De L'Eau January 2013,p121.
- BOUGERRA. S (2014).**- Quantification et modélisation du transport solide dan un cour d'eau de l'algérie septentrionale : cas du bassin versant de l'oued Boumessoud (Tlemcen).Thèse.Magister.Univ.Tlemcen. p65.

- COLLIGNON .B (1984)**.- Contribution de la spéléologie à la compréhension de l'hydrogéologie des monts de Tlemcen. Colloque l'eau chef du développement au Maghreb- Oran oct.1984.
- COLLIGNON (1984), BEMMOUSSAT .A (2012)**, Impact de l'activité agricole sur qualité des eaux souterraines à travers le bassin de Tafna, Mémoire de magister, p12
- KEDDAH .K et MEDJAHDI .N (2018)**.- Contribution à l'étude physico-chimique de quelques sources dans le groupement urbain de Tlemcen, Mémoire. Master. p49, p57.
- KEROUCHE .A et GUNCHI .L (2008)**.- Inventaire des sources captées du grand Tlemcen, étude hydrogéologique et hydrochimique. Mém. Ing. Univ. Tlemcen, 68 p, 27 f, 29 t.
- LARMARANGE .J (17 juin 2020)**, Introduction à l'analyse d'enquêtes avec R et R Studio-Statistique intermédiaire.Article, Analyse-R,p599.
- RODIER .J (2009)**.- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. Contrôle et interprétation. 9^{ème} édition DUNOD, p105, p111, p247, p290, p307.
- TRAVY & MUDRY, (1997)**.-Application des méthodes d'analyses statistiques multi-variées à l'étude de l'origine des métaux lourds (Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} et Pb^{2+}) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidja.Article, International Journal of Biological and Chemical Sciences,p1757.



Annexes

Tableau N° 01 : Précipitations enregistrées dans la station de Tlemcen A.N.R.H (1995-2016).

Années /Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1995-1996	15.6	43.4	20.7	82.5	123.4	106.1	119.9	52.1	54.9	21.0	10.8	9.8
1996-1997	36.2	26.9	0.2	39.2	119.6	0.1	15.4	104.0	16.3	2.8	18.0	31.0
1997-1998	54.4	29.4	73.3	100.5	39.2	52.2	62.2	34.5	79.4	0.8	0.0	2.3
1998-1999	14.1	6.9	46.4	16.9	164.0	94.4	120.8	0.0	0.4	7.4	0.5	2.7
1999-2000	40.4	34.1	93.7	105.2	0.0	0.0	2.4	26.6	36.4	0.0	0.0	0.0
2000-2001	21.6	108.9	68.0	47.9	84.2	80.2	7.9	10.0	28.6	7.8	0.0	0.0
2001-2002	43.7	51.4	158.2	35.1	2.3	14.8	40.0	120.6	78.0	0.7	0.0	32.8
2002-2003	0.0	45.2	105.2	30.8	172.3	103.4	19.6	49.5	14.1	5.8	0.0	0.4
2003-2004	14.2	72.3	63.8	139.4	50.3	25.5	115.0	49.2	90.7	14.9	3.3	3.7
2004-2005	1.8	32.2	44.5	88.7	26.6	71.4	72.1	27.4	5.2	5.1	0.0	1.0
2005-2006	20.5	31.7	56.4	24.5	79.3	95.7	32.0	39.3	74.5	1.9	5.5	0.0
2006-2007	36.6	15.7	7.9	71.7	29.8	46.3	52.8	127.0	15.2	0.0	0.0	0.8
2007-2008	21.5	93.7	66.6	14.0	34.7	22.1	20.1	24.0	71.1	7.2	1.3	0.0
2008-2009	58.7	97.6	106.9	202.3	175.7	50.2	39.5	54.5	21.7	5.5	4.5	0.2
2009-2010	95.3	2.0	59.0	60.9	64.5	82.0	118.7	50.9	40.1	20.6	0.8	11.1
2010-2011	24.3	98.7	61.5	45.4	47.6	53.0	28.0	93.4	102.6	20.2	0.0	10.0
2011-2012	6.5	123.7	122.1	35.3	21.6	72.1	33.1	47.0	14.7	2.3	5.4	8.2
2012-2013	21.6	50.7	309.2	18.6	160.8	113.5	100.8	45.6	74.9	0.0	2.2	4.5
2013-2014	43.6	0.0	61.3	198.5	129.4	84.6	64.9	19.2	26.8	30.1	0.2	0.0
2014-2015	28.7	13.5	71.8	145.2	80.3	98.9	33.5	11.3	63.0	2.4	0.8	16.2
2015-2016	21.0	48.7	31.5	0.0	52.8	151.9	80.3	137.5	30.6	4.5	1.5	1.1

A.N.R.H/Tlemcen.

Tableau N°02: Coefficient de correction $f(\lambda)$ en fonction de la latitude et du mois Formule de Thornthwaite.d'après Brochet .L Gerbier 1968

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.97	.86	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.97	.85	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.84	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
Lat. S.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	1.00	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

Tableau N°03 : Classification des eaux d'irrigation, d'après Servant ,1975 (U.S SalinityLab).

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

Tableau N°04 : Balance Ionique.

Point d'eau	Le nom	Σ cations	Σ anions	BI (%)	Classement
p1	A.Swiga	10,53	10,26	1%	
p2	A.Sakhra	12,84	12,66	1%	
p3	A.S.Haroune	9,99	10,17	-1%	
p4	A Fouara sup	9,08	8,64	2%	
p5	A. Rocade	11,56	12,01	-2%	Bonne
p6	A. Mokdad	9,88	9,86	0%	
p7	A .El Houtz	10,97	10,63	2%	
p8	A.S.ElHaloui	11,36	11,51	-1%	
p9	A.Beida	11,12	12,03	-4%	
p10	A.Bendou	8,36	8,19	1%	
p11	A.B.ElKhadem	8,47	8,11	2%	
p12	A.ElAnsor	11,35	12,33	-4%	
p13	A. B.Sari	7,96	7,39	4%	
p14	A.K.Djouz	9,98	9,29	4%	
p15	A. Karadja	11,28	10,52	4%	
p16	A.Berda	8,50	7,79	4%	
p17	A.R.Saffar	8,51	8,05	3%	Acceptable
p18	F. B.Boublene	8,02	7,35	4%	
p19	F.S.Othmane	9,22	8,54	4%	
p20	F.SafSaf 3	9,64	8,90	4%	
p21	F. Chetoune 3	9,08	8,43	4%	
p22	F.SafSaf 2	8,19	7,63	4%	
p23	F. Chetouane 2	7,19	6,62	4%	
p24	F.Mansourah 1	7,38	6,84	4%	
p25	F. Mansourah 2	8,10	7,59	3%	

Tableau N°05 : Etat qualitatif des points d'eau.

Paramètres	pH	Conductivité	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Etat
Les normes algériennes de potabilité	≥ 6,5 et ≤ 9	2800	75-200	150	12	200	200-500	200-400	/	50	/
P1	6,91	546	114	46	9	19	57	86	342	78	non potable
P2	6,52	1869	111	73	12	23	97	105	332	142	non potable
P3	6,54	652	115	43	2	15	53	87	344	76	non potable
P4	7,24	505	112	35	12	7	34	59	337	57	non potable
P5	7,81	1065	119	64	1	8	90	95	356	103	non potable
P6	7,87	975	115	36	3	25	48	78	346	75	non potable
P7	7,4	533	115	20	2	12	33	24	345	19	potable
P8	7,40	525	111	44	2	18	44	75	332	65	non potable
P9	6,92	922	129	36	30	26	64	58	386	73	non potable
P10	7,1	1250	113	49	3	28	76	75	339	85	non potable
P11	7,4	1077	114,7	46	30	25	87	96	344	88	non potable
P12	7,26	1703	116	52	2	23	94	104	336	106	non potable
P13	7,04	789	119,3	22	3	12	35	37	358	35	potable
P14	7,38	804	130,3	12	16	13	25	26	391	28	non potable
P15	7,41	879	110,7	54	8	27	97	114	332	110	non potable
P16	7,03	729	118	20	7	18	30	25	369	23	potable
P17	7,34	916	121	20	4	17	30	31	362	39	potable
P18	7,50	942	120	18	1	12	13	12	399	12	potable
P19	6,62	720	133	22	2	17	23	26	418	31	potable
P20	7,01	756	150	19	1	13	15	9	494	12	potable
P21	7,03	1357	133	22	1	14	26	25	415	23	potable
P22	7,00	758	117	20	2	15	23	26	371	22	potable
P23	7,43	761	104	13	4	19	7	11	373	5	potable
P24	7,41	734	108	12	2	22	9	10	378	11	potable
P25	7,03	789	120	15	7	16	22	21	379	20	potable

**المساهمة في الدراسة الهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية
التجمع الحضري لتلمسان (شمال غرب الجزائر)
ملخص:**

-الغرض من هذا العمل هو تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه بعض الينابيع والآبار في التجمع الحضري لتلمسان. الغرض من هذا العمل هو تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه بعض الينابيع والآبار في التجمع الحضري لتلمسان.

- من وجهة نظر القابلية للشرب ، تصنف بعض نقاط المياه على أنها صالحة للشرب وصالحة للاستهلاك البشري (P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24-P25) ، والباقي يقدم تركيزات عالية من النترات والبوتاسيوم التي تفوق المعايير الجزائرية للشرب. (P1-P2-P3-P4-P5-P6-P8-P9-P11-P10-P12-P15-P14) وفقاً لنتائج حساب % Na + Kr ، فإن جميع الينابيع والآبار ذات جودة عالية جداً إلى جيدة للري. وفقاً لـ Riverside (P1-P12-P3-P24-P25) في الفئة C2-S1 وهي ذات جودة جيدة. أما الأنواع الأخرى فهي في الفئة C3-S1 وهي مؤهلة للري. أظهر مخطط ويلكوكس تصنيفين : ممتاز، ممثلة بنقاط المياه -P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25 وجيد، والتي تشمل جميع نقاط المياه الأخرى. -صنف مخطط Schoeller- Berkaloff نقاط الماء في سحنات بيكربونات الكالسيوم باستثناء P2 وهو بيكربونات المغنيسيوم ، بينما قسمها مخطط بايير إلى عائلتين: الكالسيوم وكلوريد المغنيسيوم والكبريتات والكالسيوم وبيكربونات المغنيسيوم. -سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم الجيوكيمياء لمياه الينابيع والآبار من أجل تحديد أصل تمعدنها. تم إجراء هذه الدراسة باستخدام برنامج "XLSTAT". وأظهرت النتائج التحليلية لـ 25 عينة أن تمعدن المياه ناتج عن تلوته نتيجة تسرب مياه الري وكذلك بسبب انحلال المعادن في طبقة المياه الجوفية.

-الكلمات المفتاحية: التجمع الحضري لتلمسان - الينابيع - الآبار - العوامل الفيزيائية والكيميائية - الرسومات البيانية - التمدن - CAH - A.C.P - XLSTAT.

**Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines du
Groupement urbain de Tlemcen (Nord-Ouest algérien).**

RESUME :

Le but de ce travail est d'analyser les caractéristiques physico-chimiques des eaux de quelques sources et forages dans le groupement urbain de Tlemcen.

Du point de vue potabilité, certains points d'eau sont classés potables et propres à la consommation humaine (P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24-P25), le reste présentent des concentrations élevées en nitrate et potassium qui sont au-dessus des normes algériennes de potabilité (p1-p2-p3-p4-p5-p6-p8-p9-p11-p10-p12-p15 - P14).

D'après les résultats du % en Na⁺ et du calcul du Kr, toutes les sources et les forages sont de très bonne à bonne qualité pour l'irrigation. Selon Riverside, (P1-P12-P3-P24-P25) sont dans la classe C2-S1 et sont de bonne qualité. Les autres sont dans la classe C3-S1, elles sont admissibles pour l'irrigation.

Le diagramme de Wilcox a fait ressortir deux classifications : Excellente, représentée par les points d'eau P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25 et Bonne qui englobe tout le reste des points d'eau.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff a classé les points d'eau en faciès bicarbonaté calcique à l'exception du P2 qui est bicarbonaté magnésien, tandis que le diagramme de Piper les a divisés en deux familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne.

L'étude statistique nous a permis de comprendre la géochimie des eaux des sources et forages, en déterminant l'origine de leurs minéralisations. Cette étude a été réalisée à l'aide du logiciel « XLSTAT ». Les résultats analytiques portés sur les 25 échantillons ont montré que la minéralisation est due à une contamination par les infiltrations des eaux d'irrigation ainsi que par la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté.

-**Mots clés** : Groupement Urbain de Tlemcen- Sources- Forages-Paramètres physico-chimiques- Diagrammes -Minéralisation- XLSTAT - A.C.P -CAH.

**Contribution to the hydrogeochemical study of groundwater in urban grouping of Tlemcen
(North-West Algeria).**

SUMMARY:

The purpose of this work is to analyze the physico-chemical characteristics of the waters of some springs and drillings in the urban grouping of Tlemcen.

From the drinkability point of view, some water points are classified as drinkable and fit for human consumption (P7-P13-P16-P17-P18-P19-P20-P21-P22-P23-P24-P25), the rest present high concentrations of nitrate and potassium which are above the Algerian standards of drinkability (p1-p2-p3-p4-p5-p6-p8-p9-p11-p10-p12-p15 - P14).

According to the results of the % Na⁺ and Kr calculation, all sources and drillings are of very good to good quality for irrigation. According to Riverside, (P1-P12-P3-P24-P25) are in class C2-S1 and are of good quality. The others are in class C3-S1 and are eligible for irrigation. Wilcox's diagram showed two classifications: Excellent, represented by water points P1-P3-P4-P7-P3-P8-P14-P20-P22-P23-P24-P25 and Good, which includes all other water points.

The Schoeller-Berkaloff diagram classified the water points in calcium bicarbonate facies with the exception of P2 which is magnesian bicarbonate, while the Piper diagram divided them into two families: calcium and magnesian chloride and sulphate and calcium and magnesian bicarbonate.

The statistical study allowed us to understand the geochemistry of the spring and borehole waters by determining the origin of their mineralization. This study was performed using the "XLSTAT" software. The analytical results of the 25 samples showed that the mineralization is due to contamination by the infiltration of irrigation water as well as by the dissolution of minerals in the carbonate aquifer.

-**Key words**: Tlemcen Urban Grouping- Springs- Drilling - Physico-chemical parameters - Diagrams - Mineralization- XLSTAT - A.C.P - CAH.