

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

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

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



# MÉMOIRE

Présenté par

**DERROUCHE Sara & LAHOUEL Zahra**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de MASTER**

En Hydrogéologie

## Thème

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

Soutenu le ....., devant le jury composé de :

Président	CHIKH Mourad	M.A.A	Université de Tlemcen.
Encadrant	BOUDJEMA Abderrezak	M.C.A	Université de Tlemcen.
Co-Encadrant	GUETTAIA Sabrina	M.C.B	Université de Tlemcen.
Examineur	BENCHOUK Mustafa	M.A.A	Université de Tlemcen.

**Année universitaire 2020/2021.**

## *Remerciements*

*Tout d'abord, nous remercions Allah, le tout-puissant de nous avoir bénis avec de nombreuses personnes formidables qui ont été nos plus grands soutiens dans notre vie personnelle et professionnelle.*

*Nous aimerons saisir cette occasion pour exprimer nos plus sincères salutations et notre gratitude à nos encadreurs, **M<sup>r</sup>. BOUDJEMA Abderrezak** et **M<sup>me</sup> GUETTAIA Sabrina** pour leur grand engagement et leurs efforts sincères, tout au long des étapes de la mise en lumière de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères gratitudes aux membres du jury d'avoir accepté d'évaluer notre modeste travail : **M<sup>r</sup>. CHIKH Mourad** et **M<sup>r</sup>. BENCHOUK Mustapha**.*

*Enfin, nous remercions nos amis qui leurs encouragements ont été d'une grande aide.*

## *Dédicaces*

*Ma mère la source et l'espoir*

*Je dédie ce modeste mémoire pour m'avoir patience et encouragement.*

*! Mon père le repère et l'exemplaire !*

*Je le remercie pour leur confiance et que « dieu » leur prêt bonheur*

*Et longue vie.*

*Je dédie ce travail à : à mes chers frères... Mohamed, Youcef, Rezki.*

*Et mes chères sœurs... Fatima, Djamila, Nouria, Naima.*

*A mon binôme: Derouiche Sara, je lui souhaiterai une bonne continuation.*

*A tous ma famille Lahouel et Zenasni.*

*A tous mes amis...*

*Sans oublier tous les enseignants et étudiants de la filière Hydrogéologie.*

*LAHOUEL Zahra*

## *Dédicaces*

*Je dédie cet humble travail avec grand amour sincérité et fierté :*

- *A Mes très chers parents, ma mère et mon père, ils m'ont toujours mené le sentiment de la fierté et n'ont Jamais hésité de me supporter dans ma vie et dans mon chemin d'études, je leur souhaiterai une longue et joyeuse vie.*
  - *À mes très chers frères : mon frère et ma sœur.*
    - *A tous les membres de mes familles.*
- *A mon binôme: LAHOUEL Zahra, je lui souhaiterai une bonne continuation.*
  - *A toutes mes amies ; A toute la promotion du Master 2/ Hydrogéologie  
2020/2021*
    - *A tous mes collègues du travail.*

*Derouiche Sara*

## ملخص

### المساهمة في دراسة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه من منبع قبة الجوز (تلمسان، غرب الجزائر)

يركز العمل الحالي على دراسة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية لنبع قبة الجوز الواقعة في المنصورة (تلمسان). وفقاً لتحليلات المعايير الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجي المتاحة لمياه المنبع، توصلنا إلى أنها غير مناسبة للاستهلاك البشري فهي تحتوي على محتوى نترات أعلى من معيار الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية باستثناء بعض التواريخ. أظهر التحليل البكتريولوجي (مايو 2021) أن مياه المنبع تتجاوز المعايير المسموح بها للجراثيم الكلية (عند درجة مئوية) • صنّف مخطط PIPER مياه منطقة الدراسة إلى عائلتين:

كلوريد وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم

وفقاً لـ **Stabler** فإن الفئة المهيمنة هي بيكربونات المغنيسيوم؛ أظهر تقدير مياه الري. باستخدام مؤشرات مثل النسبة المئوية  $Na+Kr$  أنها جيدة وجيدة جداً للري، وأظهر مخطط RIVERSIDE أن مياه نبع قبة الجوز مصنفة في فئتين:

▪ C3-S1 (جودة مقبولة)

▪ C2-S1 (نوعية جيدة للري)

وفقاً لـ **WILCOX**، ينقسم المنبع إلى فئتين: ممتازة وجيدة؛ بتخطيط العنصر الكيميائي على مخطط **PHREEQ C**، وجدنا أن مؤشرات تشبع معادن الكربونات مشبعة بشكل عام، باستثناء فترات قليلة تكون إما أقل تشبعاً أو حتى في حالة توازن. معادن التبخر غير مشبعة. سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم أصل التمعدن، والذي يرجع إلى الطبيعة الكربونية للخران الجوفي وربما إلى العوامل البشرية وتدفق المنبع.

الكلمات الأساسية: المنبع؛ قبة الجوز؛ التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجي؛ **Diagrammes**، ري، **PHREEQ C**؛ صالح للشرب؛ **ACP**؛ **XLSTAT**

## RESUME

### CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA SOURCE DE KOBET EL DJOUZ (TLEMCEN, OUEST ALGERIEN).

Le présent travail est axé sur l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique de la source de Kobet El Djouz, située à Mansourah (Tlemcen).

D'après les analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques disponibles des eaux de la source, nous avons conclu qu'elles ne conviennent pas à la consommation humaine, elles contiennent des teneurs en nitrate supérieures à la norme du JORA, à l'exception de certaines dates. L'analyse bactériologique (Mai 2021) a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C) et en Entérocoques.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne. Selon Stabler, le faciès dominant est bicarbonaté magnésien.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na<sup>+</sup>, et le Kr a fait révéler qu'elles sont très bonnes à bonnes pour l'irrigation.

Le diagramme de RIVERSIDE a montré que les eaux de la source de Kobet El Djouz sont classées dans deux classes : C3-S1 (qualité admissible), C2-S1 (Bonne qualité pour l'irrigation). Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne.

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les minéraux carbonatés sont généralement sur-saturés à l'exception de quelques périodes qui sont soit sous-saturées ou même en équilibre. Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés.

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

**Mots clés :** Source ; Kobet El Djouz ; Analyses physico-chimiques et bactériologiques ; Diagrammes ; Potabilité ; Irrigation ; XLSTAT ; PHREEQ C ; ACP.

## ABSTRACT

### CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF THE PHYSICO-CHEMICAL QUALITY OF WATER FROM THE KOBETEL DJOUZ SOURCE (TLEMCEM, WEST ALGERIAN).

The present work is focused on the study of the evolution of the physico-chemical quality of the spring of Kobet El Djouz, located in Mansourah (Tlemcen).

According to the analyses of the physico-chemical and bacteriological parameters available of the waters of the spring, we concluded that they are not suitable for human consumption, they contain nitrate contents higher than the standard of the JORA; except for some dates. The bacteriological analysis (May 2021) showed that the spring water exceeds the permissible standards for total germ (at 37°C) and Enterococci.

The **Piper** diagram classified the waters of the study area into two families: Chloride and sulfate calcic magnesium and bicarbonate calcic magnesium. According to **Stabler**; the dominant facies is bicarbonate magnesium.

The estimation of waters for irrigation purposes, using indices, such as the percentage of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  revealed that they are very good too good for irrigation. The **RIVERSIDE** diagram showed that the waters of Kobet El Djouz spring are classified in two classes: C3-S1 (admissible quality), C2-S1 (good quality for irrigation). According to **WILCOX**, the spring is divided into two classes: Excellent and good.

Plotting the chemical element on the **PHREEQ C** diagram, we found that the saturation indices for carbonate minerals are generally oversaturated, except for a few periods that are either under-saturated or even in equilibrium. The evaporate minerals are under-saturated.

The statistical study allowed us to understand the origin of the mineralization, which is due to the carbonate nature of the aquifer and probably to anthropogenic factors and spring flow.

**Key words:** Spring; Kobet El Djouz; physico-chemical and bacteriological analyses; Diagrams; potability; irrigation; XLSTAT; PHREEQ C; PCA.

## TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
Résumés	
Table des matières	
Liste des figures.....	I
Liste des tableaux.....	II
Liste des abréviations.....	IV
Introduction générale.....	01

### Contexte Général

1. Cadre géographique.....	02
1.1. Situation géographique générale.....	02
1.2. Situation géographique de la zone d'étude (source Kobet El Djouz).....	03

### CHAPITRE I : CADRE CLIMATOLOGIQUE

I.1 Introduction.....	04
I.2 L'étude des paramètres climatologiques.....	04
I.2.1 Les précipitations.....	04
a. Précipitations moyennes annuelles.....	04
b. Précipitations moyennes mensuelles.....	05
c. Précipitations saisonnières.....	06
I.2.2 Étude des températures.....	07
a. Températures moyennes mensuelles.....	07
I.2.3 Étude du climat.....	07
A- Méthode de visualisation (méthode graphique).....	08
• Les courbes pluvio-thermiques.....	08
B- Les indices climatiques.....	09
B-1 Indice d'Aridité de DE Martonne(1923).....	09
• Indice d'aridité annuel.....	09
• Indice d'aridité mensuel .....	10
B-2 Indice de Moral (1964).....	11
• Indice annuel (Ia).....	11
• Indice mensuel (Im) .....	11
I.3 Climagramme d'EMBERGER.....	12

B-3 Indice de Stewart (1969).....	13
I.4 Bilan Hydrologique .....	14
I.4.1 Evapotranspiration et déficit d'écoulement .....	14
❖ Evapotranspiration .....	14
• L'évapotranspiration réelle (ETR) .....	14
• L'évapotranspiration potentielle (ETP) .....	14
❖ Déficit d'écoulement.....	14
❖ Méthode de Turc (1954) .....	14
❖ Méthode de COUTAGNE .....	15
❖ Méthode de Wundt.....	15
❖ Méthode de P.VERDEIL.....	16
1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	17
❖ Méthode de THORNTHWAITE.....	17
2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	18
3. Calcul de la réserve facilement utilisable (R. F. U.).....	18
4. Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite.....	18
I.5 Conclusion.....	19

## **CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE**

II.1 Introduction.....	20
II.2 Série litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen .....	20
A. Le secondaire .....	20
1. Le Trias .....	20
2. Le Lias et le Dogger.....	21
3. Les argiles de Saida.....	21
4. Les grès de Boumediène.....	21
5. Les calcaires de Zarifet.....	21
6. Les dolomies de Tlemcen.....	21
7. Les calcaires de Stah.....	21
8. les marno- calcaires de Raourai .....	22
9. Les calcaires de Lato.....	22
10. Les dolomies de Terny.....	22
11. Les marno-calcaires de Hariga.....	22
12. Les marno-calcaires d'Oueld Mimoune.....	22
13. Le Crétacé.....	22
❖ Les argiles de Lamoricière.....	22
❖ Les grés de Berthelot.....	23
❖ Les calcaires de Zigyne.....	23
B. Le Tertiaire .....	23

1. L'Éocène.....	23
2. Le Miocène.....	23
❖ Inférieur .....	23
❖ Moyen (Serravallien).....	23
❖ Supérieur (Tortonien).....	23
C. Le Plio-Quaternaire .....	23
II.3 Analyse structurale.....	24
II.3.1 Les principales phases tectoniques.....	25
1) Une phase distensive Eo-Crétacée.....	25
2) Une phase atlasique .....	25
3) Une phase à dominante distensive.....	25
4) Une phase récente.....	25
5) Déformations actuelles.....	25
II.3.2 Les unités structurales.....	26
II.3.2.1 Zone synclinale de Terni.....	26
II.3.2.2 Zone effondrée de Tlemcen.....	26
II.3.2.3 Zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz.....	26
II.3.2.4 Zone d'Er-Ramlya.....	26
II.4 Conclusion.....	27

## **CHAPITRE III : CADRE HYDROGEOLOGIQUE**

III.1 Introduction.....	28
III.2 Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques.....	28
❖ Les formations calcaires du Jurassique.....	28
❖ Les formations du Crétacé.....	28
❖ Les formations du Mio-Plio-Quaternaire.....	29
❖ Les formations à forte capacité de rétention souterraine.....	29
• Les formations calcaires du Jurassique.....	29
• Les dolomies de Tlemcen .....	29
• Les dolomies de Terni .....	29
III.3 Les formations à capacité de rétention souterraine faible à très faible .....	29
❖ Les conglomérats du Miocène inférieur .....	29
❖ Les grès de Boumediene .....	29
❖ Marno-calcaires de Raouraï, d'Hariga et de Lamoricière .....	29
❖ Grés de Merchiche.....	30
III.4 Présentation des sources étudiées (Ain Kobt El Djouz) .....	30
III.5 Conclusion.....	31

## CHAPITRE IV : CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

IV.1 Introduction.....	32
IV.2 Balance ionique.....	32
IV.3 Interprétations des paramètres physico-chimiques.....	32
➤ Les paramètres physiques.....	32
➤ Les paramètres chimiques.....	32
Interprétations et discussions.....	33
➤ Les paramètres physiques.....	33
❖ Le potentiel d'Hydrogène pH.....	33
❖ La conductivité électrique.....	33
❖ La dureté totale (TH).....	34
❖ Résidu sec.....	39
➤ Les paramètres chimiques.....	40
Les cations.....	40
L'ion calcium $C^{2+}$ .....	40
L'ion magnésium $Mg^{2+}$ .....	41
L'ion sodium $Na^{2+}$ .....	41
L'ion potassium $K^{+}$ .....	42
Les anions.....	43
L'ion chlorure $Cl^{-}$ .....	43
L'ion sulfate $SO_4^{-2}$ .....	43
L'ion bicarbonate $HCO_3^{-}$ .....	44
L'ion nitrate $NO_3^{-}$ .....	44
IV .4 Classification des eaux.....	45
a. Diagramme logarithmique de PIPER.....	45
• Bicarbonatée calcique et magnésienne.....	45
• Bicarbonatée sulfatée calcique et magnésienne.....	45
b. Diagramme logarithmique de Stabler.....	46
Potabilité de l'eau étudiée (classification selon les normes algériennes).....	50
❖ Classification selon les paramètres physico-chimiques.....	50
❖ Classification des eaux selon les analyses microbiologiques.....	51
Les Coliformes totaux .....	52
Coliformes fécaux .....	52
Entérocoques.....	52
Les Germes totaux .....	52
c. Aptitude des eaux destinées à l'irrigation.....	52
1. Le pourcentage en sodium.....	52

2. Indice de Kelly's Ratio (Kr).....	56
3. Diagramme de Riverside.....	59
4. Diagramme de WILOX.....	60
IV.5 Origine de la minéralisation.....	61
IV.5.1 Indice de saturation.....	61
IV.6 Etude statistique.....	65
IV.6.1 Matrice des corrélations et matrice des covariances.....	65
V.6.2 Coefficient de variation.....	65
IV.6.3 Analyse en Composante Principale.....	66
IV.7 Conclusion.....	67

**Conclusion générales.**

**Références bibliographiques.**

**Annexes.**

# Liste Des Figures.

<b>Figure 1 :</b> Situation géographique de la wilaya de Tlemcen.....	02
<b>Figure 2 :</b> Situation géographique de la zone d'étude.....	03
<b>Figure I.1 :</b> Courbe des variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	05
<b>Figure I.2 :</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tlemcen.....	06
<b>Figure I.3 :</b> Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen.....	06
<b>Figure I.4 :</b> Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à station de Tlemcen (1995-2020).....	07
<b>Figure I.5 :</b> Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2020).....	08
<b>Figure I.6 :</b> Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.....	10
<b>Figure I.7 :</b> Climagramme d'Emberger.....	13
<b>Figure I.8 :</b> Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT).....	16
<b>Figure I.9 :</b> Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie .....	17
<b>Figure II. 1:</b> Carte géologique de Tlemcen au 1/50000.....	20
<b>Figure II. 2:</b> Colonne stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines.....	24
<b>Figure II. 3 :</b> Schéma structural des Monts de Tlemcen.....	27
<b>Figure III.1 :</b> Zones aquifères de Tlemcen.....	28
<b>Figure III.2 :</b> Source Kobet EL Djouz (2021).....	30
<b>Figure IV.1 :</b> Diagramme du pH.....	33
<b>Figure IV.2 :</b> Diagramme des conductivités électriques.....	34
<b>Figure IV.3 :</b> Diagramme des résidus secs.....	40
<b>Figure IV.4 :</b> Diagramme de calcium.....	41
<b>Figure IV.5 :</b> Diagramme de magnésium.....	41
<b>Figure IV.6 :</b> Diagramme de sodium.....	42
<b>Figure IV.7 :</b> Diagramme de potassium.....	42
<b>Figure IV.8 :</b> Diagramme des Chlorures.....	43
<b>Figure IV.9 :</b> Histogramme des sulfates.....	43
<b>Figure IV.10 :</b> Histogramme des Bicarbonates.....	44
<b>Figure IV.11 :</b> Histogramme des Nitrates.....	44

<b>Figure IV.12</b> : Diagramme de Piper.....	46
<b>Figure IV.13</b> : Diagrammes de Stabler.....	50
<b>Figure IV.14</b> : Diagramme de RIVERSIDE.....	60
<b>Figure IV.15</b> : Diagramme de WILCOX.....	61

## Liste Des Tableaux.

<b>Tableau I.1</b> : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen.....	04
<b>Tableau I.2</b> : Tableau des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	04
<b>Tableau I.3</b> : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	05
<b>Tableau I.4</b> : Précipitations moyennes saisonnières à la station de Tlemcen (1995-2020).....	06
<b>Tableau I.5</b> : Températures moyennes maximales et minimales de la station de Tlemcen.....	07
<b>Tableau I.6</b> : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen.....	08
<b>Tableau I.7</b> : Indice d'aridité de Martonne concernant la station de Tlemcen.....	09
<b>Tableau I.8</b> : Indice d'aridité de Martonne.....	09
<b>Tableau I.9</b> : Valeurs des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.....	11
<b>Tableau I.10</b> : Indice de Moral / station de Tlemcen.....	11
<b>Tableau I.11</b> : Indice de moral à la station de Tlemcen.....	12
<b>Tableau I.12</b> : Valeurs des indices mensuels de Moral à la station de Tlemcen.....	12
<b>Tableau I.13</b> : Indice d'Emberger.....	13
<b>Tableau I.14</b> : Résultat de l'ETR par la méthode de TURC.....	15
<b>Tableau I.15</b> : Valeur du déficit et du quotient d'écoulement (Wundt).....	15
<b>Tableau I.16</b> : Valeur du déficit d'écoulement (d'après P. VERDEIL).....	16
<b>Tableau I.17</b> : Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Tlemcen (1995-2020).....	18
<b>Tableau I.18</b> : Calcul du bilan hydrologique de la station de Tlemcen (1995-2020) selon C.W Thornthwaite.....	19
<b>Tableau IV.1</b> : Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 2009).....	33
<b>Tableau IV. 2</b> : Classification des eaux en fonction de la dureté.....	34
<b>Tableau IV.3</b> : Classification des eaux de la source de Kobet El Djouz, selon leur potabilité, suivant les normes algériennes (NA 2014,2011).....	46
<b>Tableau IV.4</b> : Analyse microbiologique de la source de Kobet El Djouz (A.D.E, Mai 2021).....	46
<b>Tableau IV.5</b> : Classification des eaux, selon le pourcentage en Na <sup>+</sup> .....	48
<b>Tableau IV.6</b> : Matrice de corrélation.....	51

<b>Tableau IV.7 : Paramètres statistiques des variables.....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau IV.8 : Pourcentage des facteurs cumulés.....</b>	<b>52</b>
<b>Tableau IV.9 : Corrélations entre les variables et les facteurs.....</b>	<b>53</b>

# Liste Des Abréviations.

**P** : Précipitations.

**T** : Température.

**ETP** : Evapotranspiration Potentielle.

**ETR** : Evapotranspiration Réelle.

**BI** : Balance Ionique.

**Meq/l** : Méli-équivalent par litre.

**r** : quantité en réaction.

**pH** : potentiel Hydrogène.

**CE**: Conductivité électrique.

**TH**: dureté totale.

**RS** : Résidu Sec.

**Ca<sup>++</sup>** : Ion Calcium.

**Mg<sup>++</sup>** : Ion Magnésium

**Na<sup>+</sup>** : Ion Sodium.

**K<sup>+</sup>**: Ion potassium.

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Ion Bicarbonate.

**Cl<sup>-</sup>**: Ion Chlorure.

**SO<sub>4</sub><sup>-</sup>**: Ion sulfate.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Ion Nitrate.

**C.M.A** : Concentration Maximale Admissible.

**Kr** : Indice de Kelly's Ratio.

**Na%** : Pourcentage en sodium.

**SAR** : Sodium Adsorption Ratio.

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

**A.D.E.** : Algérienne Des Eaux.

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

# Introduction générale

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, elle est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité.

Plusieurs sources émergent dans la ville de Tlemcen, l'exploitation de ces ressources est notamment pour l'irrigation et pour la consommation, selon leurs qualités. Ces dernières années, la qualité des eaux est devenue une opération majeure et obligatoire, afin de protéger l'environnement et la santé des êtres vivants. Pour cette raison, dans ce travail nous allons étudier la qualité physico-chimique de la source de KOBET EL DJOUZ. Cette étude est répartie comme suit :

- **Situation géographique :** Où nous présentons la situation générale et locale du site étudié.
- **Cadre climatologique :** Déterminer le type du climat qui règne dans notre secteur d'étude et afin de voir la variation des paramètres climatiques qui influencent le régime de la source.
- **Cadre Géologique :** Décrire les différentes formations lithologiques et les grands traits structuraux qui affectent la région d'étude.
- **Cadre Hydrogéologique :** Identifier les formations géologiques qui peuvent être aquifères.
- **Cadre Hydrogéochimique :** Une étude qualitative de l'eau de la source sera faite selon les résultats des analyses physico-chimiques, les faciès, la potabilité selon les normes algériennes et aussi l'aptitude pour l'irrigation. Une étude statistique sera réalisée, dans le but de comprendre l'origine de la minéralisation des eaux.
- En fin, une **conclusion générale** clôturera le travail.

***CONTEXTE***  
***GENERAL***

## 1. Cadre géographique :

### 1.1. Situation géographique générale :

La wilaya de Tlemcen se situe à l'extrémité nord-ouest de l'Algérie, elle occupe une superficie de 9017,69 Km<sup>2</sup> (Wikipédia), elle s'étend du littoral au Nord, à la steppe au Sud. Elle est limitée (Fig I.1) :

- Au Nord, par la mer méditerranéenne
- Au Nord- Ouest par la wilaya d' Ain Témouchent
- A l'Est par la wilaya de Sidi Bel Abbès
- A l'Ouest par le royaume marocain
- Au Sud par la wilaya de Nâama.

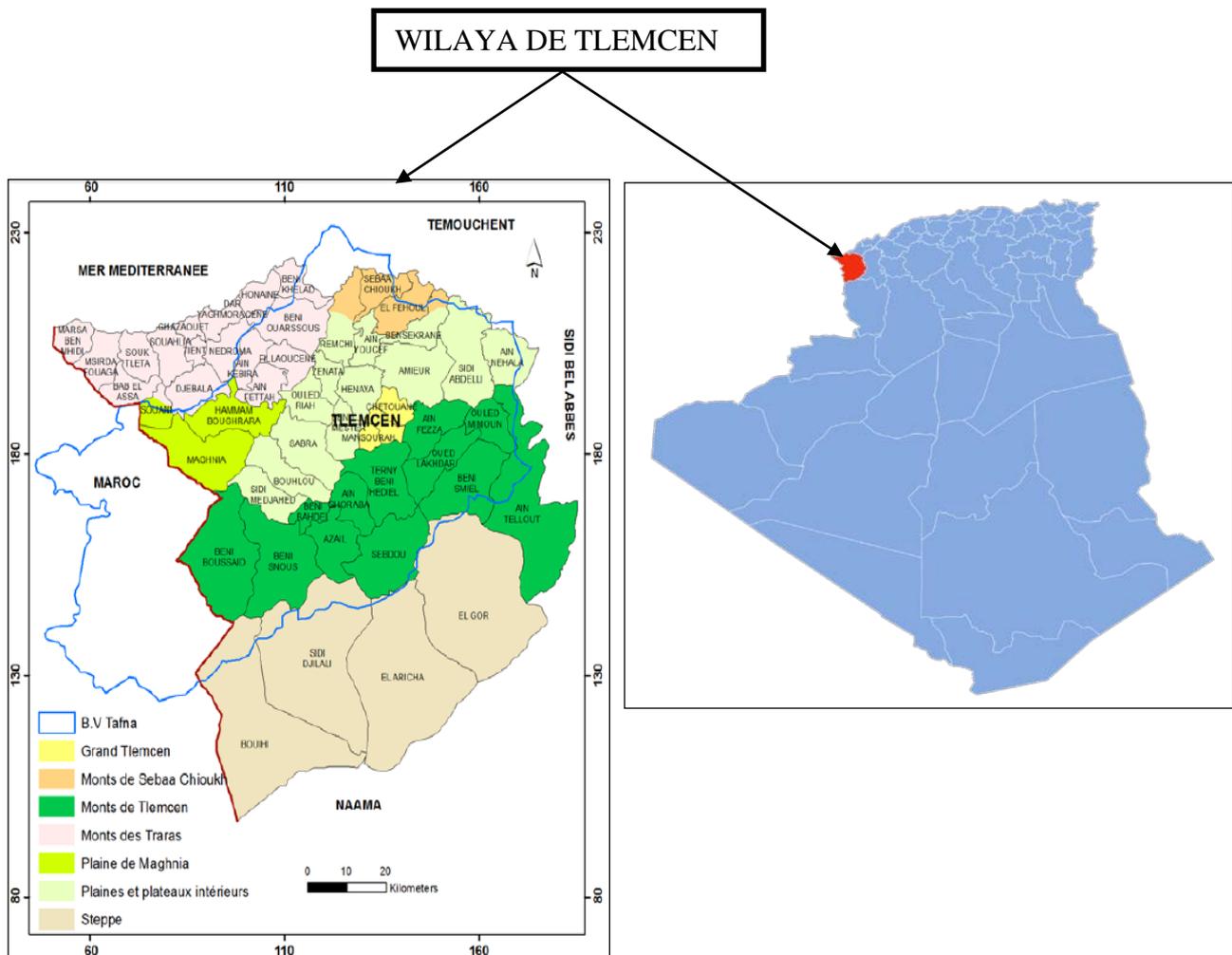
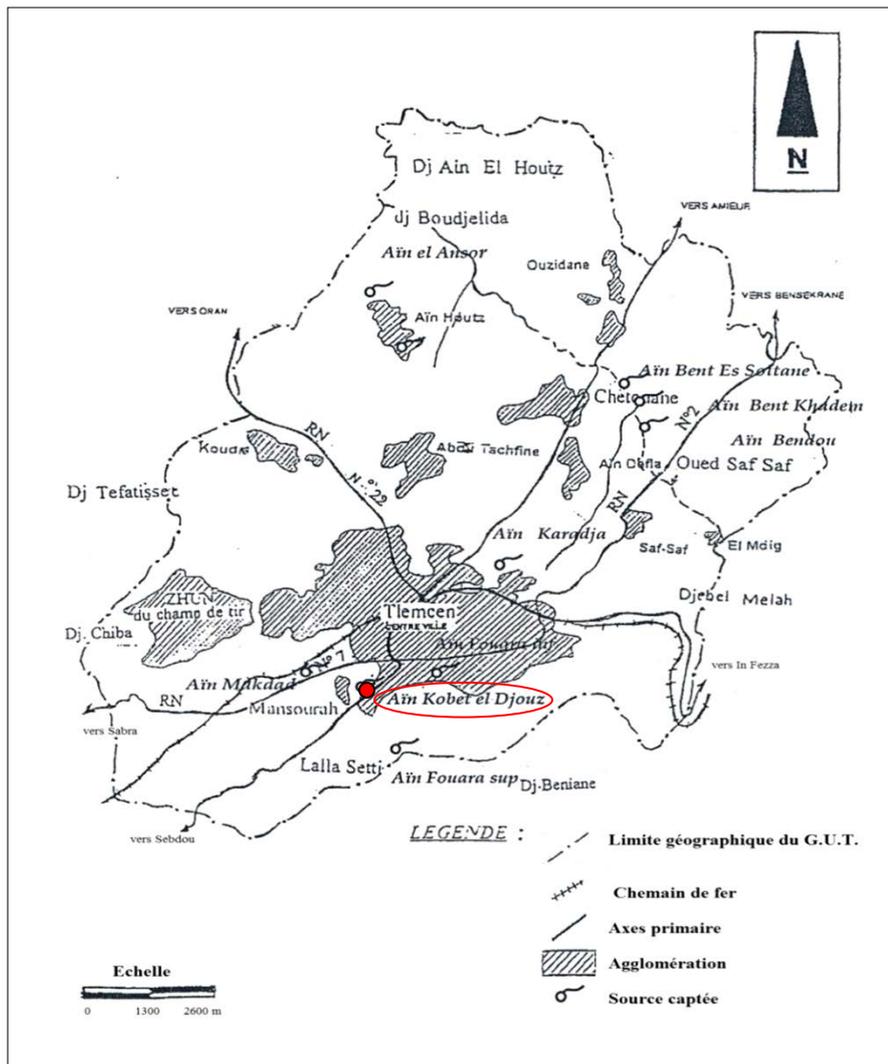


Fig.1 : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen (Bemoussat A., 2012 modifiée).

**1.2 Situation géographique de la zone d'étude (source de Kobet El Djouz) :**

La ville de Tlemcen compte 949132 habitants et la densité de population est de 93.2 habitants par Km<sup>2</sup> ; elle est reconnue par sa richesse en eaux souterraines et de surfaces, par sa géologie complexe et diversifiée qui a donné la faveur au jaillissement de plusieurs sources, citons par exemple les sources de Kobet El Djouz, Ain Mokdad dans la daïra de Mansourah, Ain Ben Sari, Ain Fouara supérieure, Ain Fouara inférieure, Ain Karadja, Ain Sidi El Halloui et Ain Beiada ; Ain Bendou, Ain Bent El Khadem, Ain El Houtz et Ain El Onsor ....

Ce travail consiste à étudier la qualité physico-chimique des eaux de la source d'Ain Kobet El Djouz (X : 131.650 Y : 181.670, Z : 900) du point de vue potabilité et irrigation. Cette source est située dans la propriété de Lachachi à Mansourah, au Nord de la localité d'El Attar et à 400 m environ à l'Est de la cité de Béni Boublène. Cette source sert à alimenter le propriétaire du terrain où elle se situe, en eau potable et à l'irrigation.



**Fig.2 : Situation géographique de la zone d'étude. (Kerrouche A. et Guenchi L., 2008)**

# ***CHAPITRE I***

## ***CADRE CLIMATOLOGIQUE***

## I.1 Introduction :

La climatologie est l'étude du climat, c'est –à-dire la succession des conditions météorologiques (températures, précipitations, évaporations, vents ...) sur de longues périodes dans le temps. Il s'agit d'une branche combinée de la géographie physique et de la métrologie.

Dans ce travail, nous allons déterminer le type du climat de la région d'étude, en utilisant les données climatologiques de la station de Tlemcen, sur une période allant de 1995 à 2020.

*Tableau I. 1 : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen.*

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

## I.2 L'étude des paramètres climatologiques :

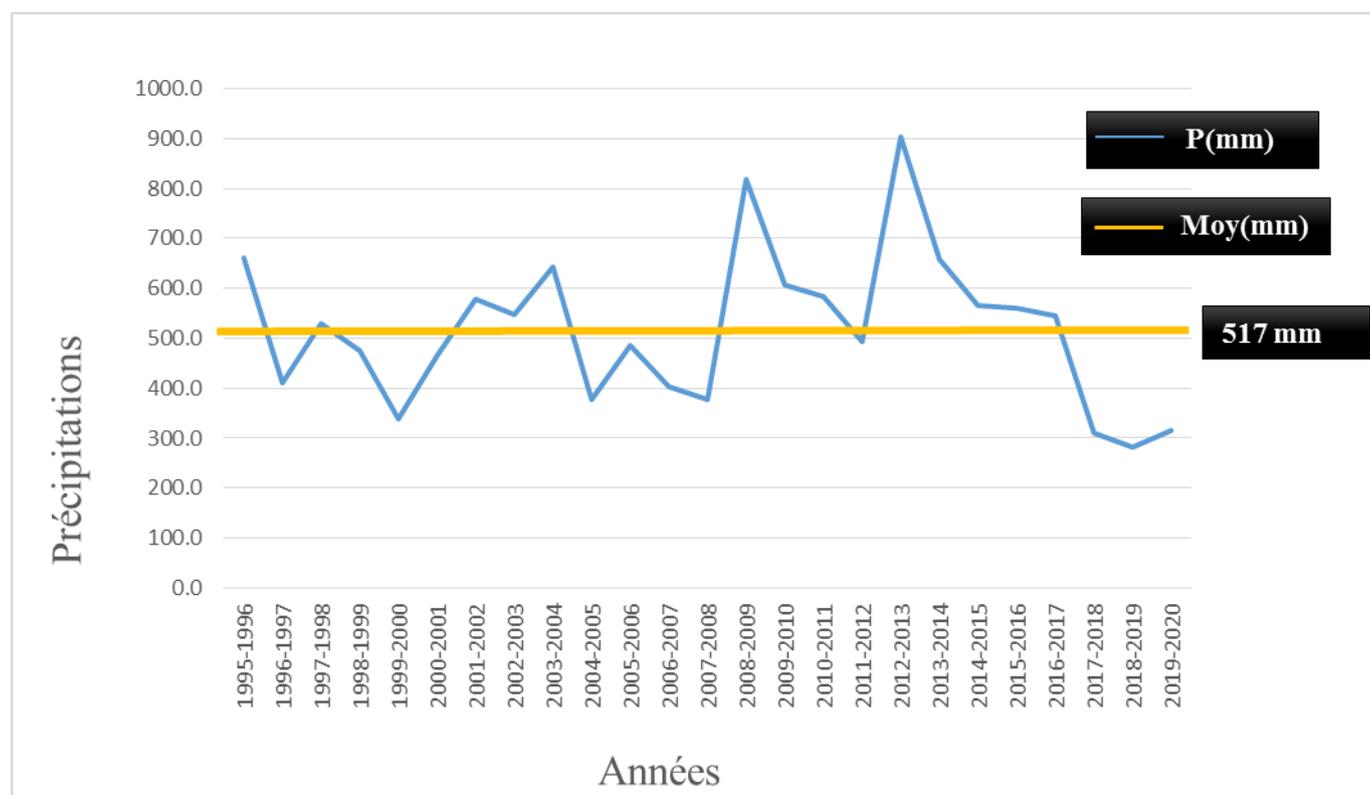
### I.2.1 Les précipitations :

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie, averse) que sous forme solide (neige, grêle) .Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

#### 1) Précipitations moyennes annuelles :

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

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



**Fig. I.1 :** Variations des précipitations moyennes annuelles à la station De Tlemcen (1995-2020).

Les variations de la pluviométrie moyenne annuelle à la station de Tlemcen montrent que : (**Fig. I.1**) :

- Le maximum est enregistré en 2012 - 2013 avec 902.4mm.
- Le minimum est enregistré en 2018 - 2019 avec 283 mm
- La moyenne annuelle des précipitations est de 517.0mm.

**I.2.2 Précipitations moyennes mensuelles :**

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

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
<b>P (mm)</b>	27.0	49.0	72.4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42,1	7,1	2,6	5.8

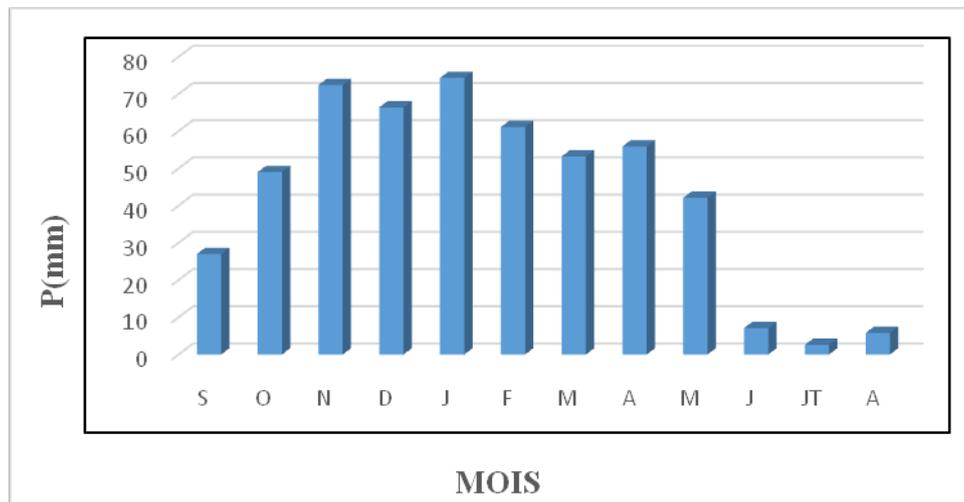


Fig. I.2 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Tlemcen.

- L'histogramme des précipitations mensuelles (fig. I.2) de la station de Tlemcen, révèle que le mois de janvier est le plus humide avec **74.3 mm**, tandis que le mois de Juillet est le plus sec, avec seulement **2,6 mm**.

### I.2.3 Précipitations saisonnières :

Correspondent aux quatre saisons de l'année :

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

Tableau. I.4 : Précipitations moyennes saisonnières à la station de Tlemcen (1995-2020).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
<b>Précipitations (mm)</b>	148.4	201.8	151.3	15.5
<b>Précipitations (%)</b>	28.70	39.03	29.26	2.99

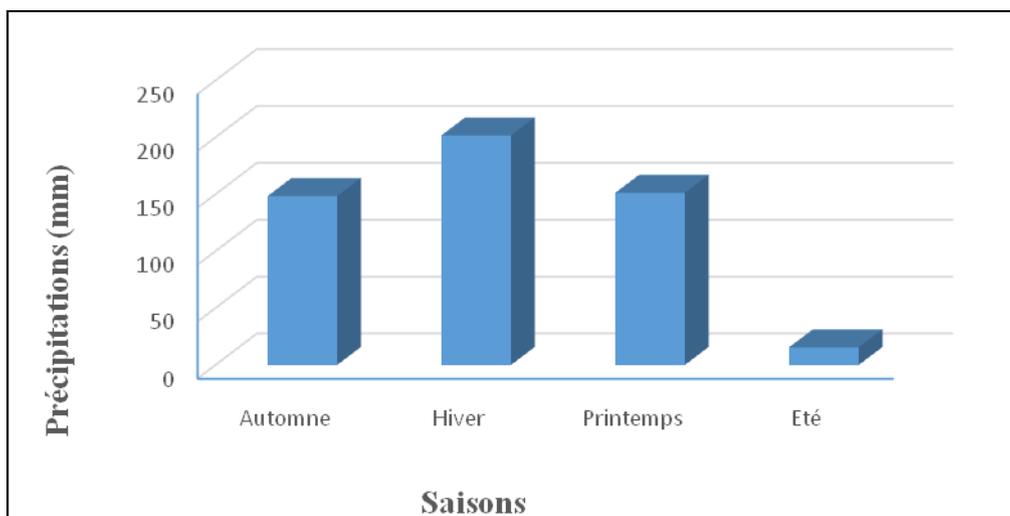


Fig. I.3 : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Tlemcen.

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

### I.3 Étude des températures :

La température constitue un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Elle régit directement le climat, en interaction avec les autres facteurs météorologiques et biogéographiques.

- **Températures moyennes mensuelles :**

Tableau I.5 : Températures moyennes maximales et minimales de la station de Tlemcen

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
<b>Tmax (°C)</b>	29.4	25.7	19.3	16.3	15.5	16.3	18.9	21.2	24.3	29.7	33.2	33.5
<b>Tmin (°C)</b>	16.8	14	9.5	6.9	5.8	6.1	7.8	9.6	12.7	15.9	19.1	19.7
<b>Tmoy (°C)</b>	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26.2	26.5

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

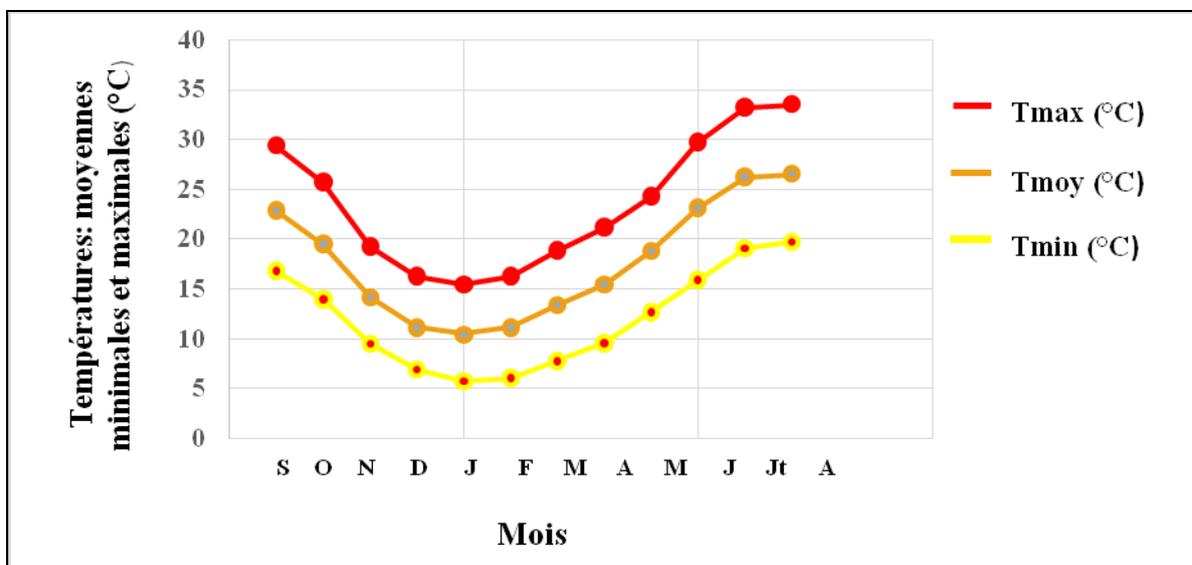


Fig. I.4 : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales à station de Tlemcen (1995-2020)

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

### I.4 Étude du climat :

Pour l'étude du climat, nous disposons de différentes méthodes .La première est basée sur la visualisation de l'étendue des périodes sèches et humides. La deuxième est basée sur le calcul d'indices, permettant à partir des précipitations et des températures de caractériser le climat de la région.

L'étude du climat peut être réalisée à partir :

- ❖ Des méthodes de visualisation (méthodes graphiques).
- ❖ Calcul des indices climatiques annuels et mensuels.

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

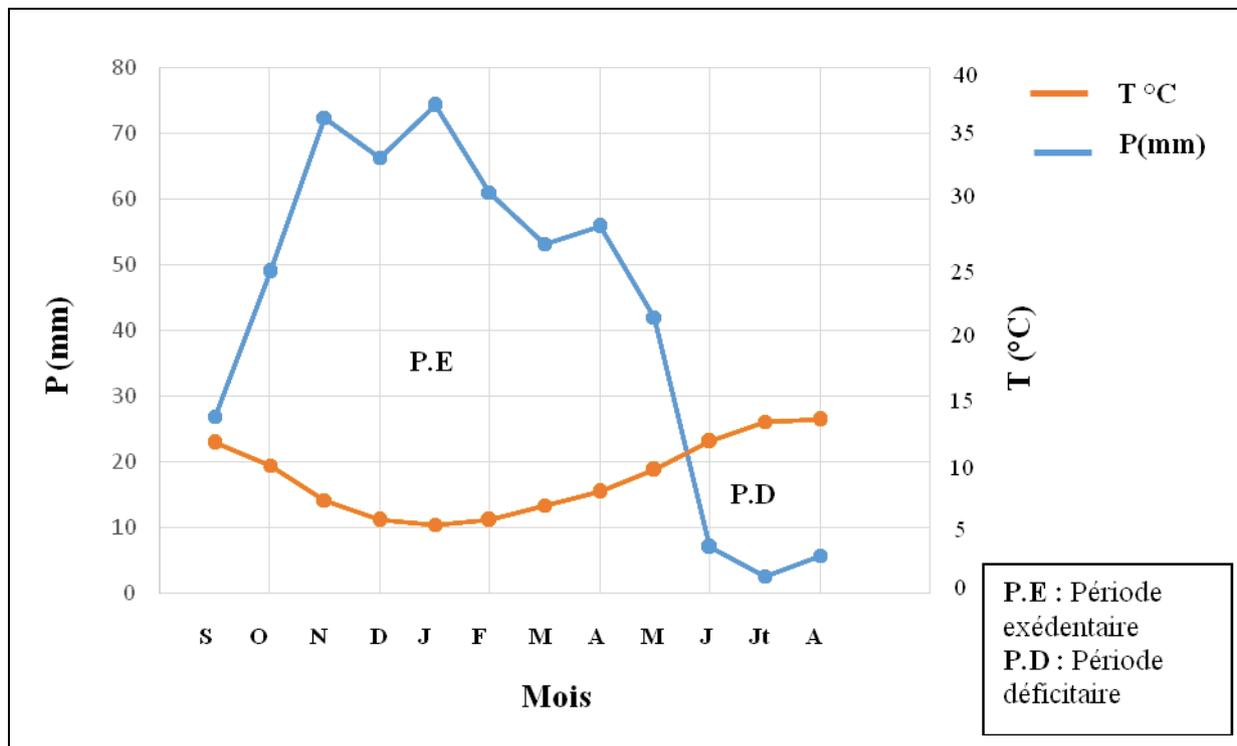
MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
<b>P (mm)</b>	27	49	72,4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7,1	2,6	5.8
<b>Tmoy (°C)</b>	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26.2	26.5

**A- Méthodes de visualisation (méthodes graphiques) :**

- **Les courbes pluvio-thermiques :**

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

La courbe des températures passe au-dessus de celles des précipitations pendant les mois secs, alors que pour les mois humides, la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures, et la relation  $P=2T$  permet d'établir les courbes pluvio-thermiques, où l'échelle des précipitations doit être le double de celle des températures.



**Fig. I.5 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2020).**

Le diagramme pluvio-thermique permet de visualiser :

- Une période humide : s'étend du début septembre à la fin du mois de mai.
- Une période sèche : occupant les autres mois de l'année (de la fin mai, jusqu'au mois d'août).

**B- Les indices climatiques :**

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

C'est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité, en se basant sur la quantité annuelle de précipitation et la température moyenne annuelle de l'air.

• **Indice d'aridité annuel :**

Il est donné par la formule suivante :

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

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

**T** : Température moyenne annuelle (°C).

**I** : indice d'aridité annuel.

*Tableau. I.7 : Indice d'aridité de Martonne.*

<b>P moy (mm)</b>	<b>Tmoy (°C)</b>	<b>I (mm/°C)</b>
517	17.8	18.59

DE Martonne propose la classification suivante :

*Tableau I.8 : Indice d'aridité de Martonne*

<b>Valeur de I</b>	<b>Type de climat</b>
<b>20&lt;I&lt;30</b>	climat tempéré
<b>10&lt;I&lt;20</b>	climat Semi-aride
<b>7,5&lt;I&lt;10</b>	climat steppique
<b>5 &lt; I &lt; 7.5</b>	climat désertique
<b>I&lt;5</b>	climat hyper- aride

Le calcul donne une valeur comprise entre 10 et 20, c'est-à-dire que la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec des écoulements temporaires.

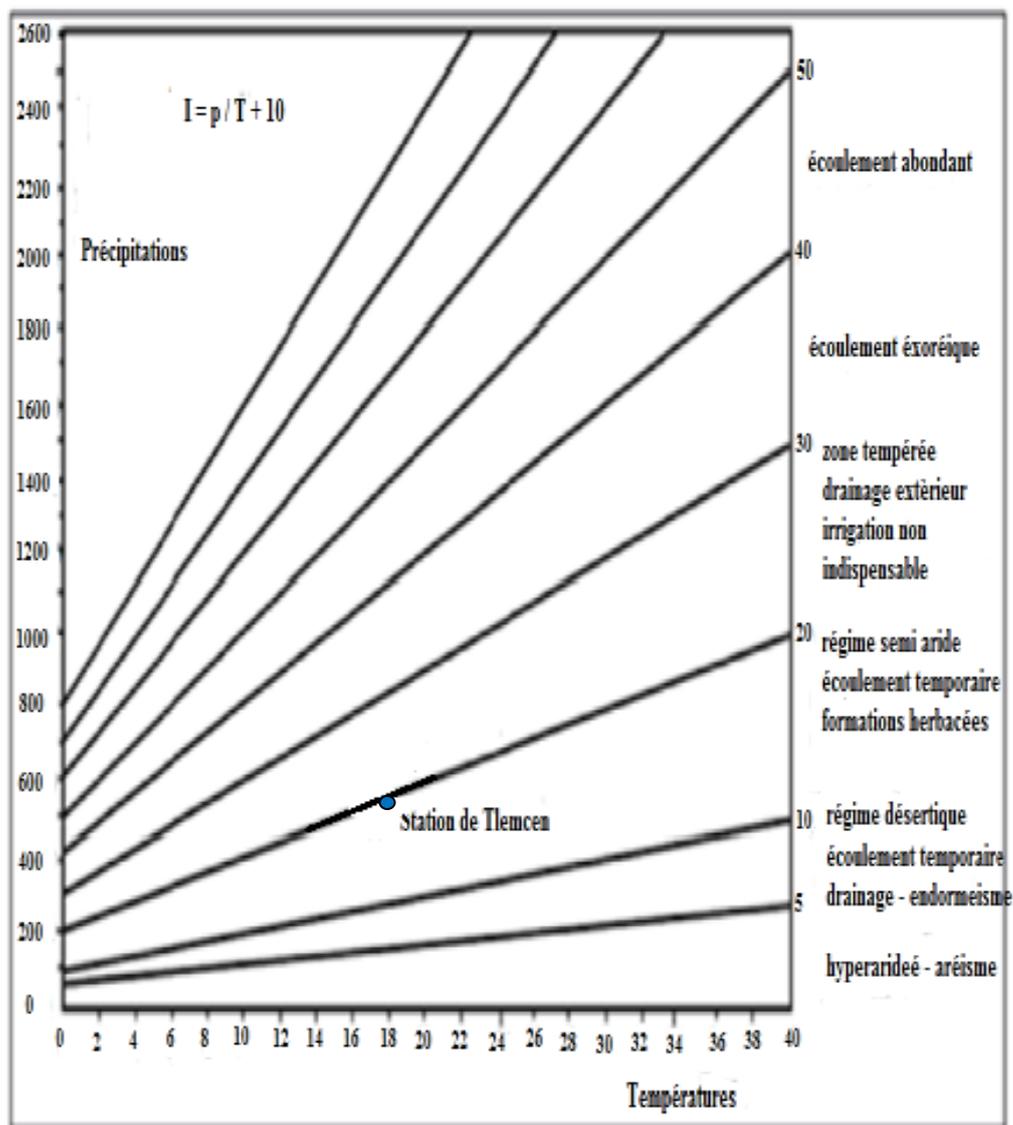


Fig. I.6 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.

• **Indice d'aridité mensuel :**

Il est donné par la formule suivante :

$$i = \frac{12p}{t + 10} \text{ Avec :}$$

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 reportés dans le tableau suivant :

Tableau. I.9 : Indices d'aridité mensuels de DE Martonne.

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

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

### B-2 Indice de Moral (1964) :

En étudiant le régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest, Moral a établi un indice d'aridité annuel. Il est donné par la relation suivante :

- **Indice annuel (Ia) :**

L'Indice pluviométrique annuel est défini 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 humide.

**Ia < 1** : climat sec

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

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

- **Ia = 1.52** Donc : nous avons 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** : Températures moyennes mensuelles (°C).

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

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
<b>P moy (mm)</b>	27	49	72.4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7.1	2.6	6.8
<b>T moy (°C)</b>	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26,2	26.5
<b>Im</b>	0.54	1.27	2.79	3.11	3.62	2.86	2,17	1.96	1.15	0.14	0.04	0.11

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

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A
<b>P moy (mm)</b>	27	49	72.4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7,1	2,6	6,8
<b>T moy (°C)</b>	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26.2	26.5
<b>0,1 T<sup>2</sup> + T + 30</b>	105..34	87.52	64.36	53.74	51.52	53.74	61.35	69.52	84.14	106.46	124,84	126,72
<b>0,1T<sup>2</sup> -T + 20</b>	49.54	38.52	25.96	21.44	20.52	21.34	24.55	28.52	36.54	50.26	62.44	63.72
<b>0,05 T<sup>2</sup> -T + 10</b>	13.32	9.51	5.88	5.77	5.01	5.07	5.57	6.51	8.87	13.58	18.12	18.61
<b>Type</b>	S	S	P	P	P	P	H	H	H	A	A	A

➤ Les quatre types de mois, indiqués par Moral sont :

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

### 3) Climagramme d'EMBERGER :

Le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée.

Il est défini par la formule suivante :

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

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

M : Moyenne des maxima de la température en (°K) du mois le plus chaud.

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

Q<sub>2</sub> : Quotient pluvio-thermique d'Emberger.

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

Tableau. I.13 : Indice d'Emberger.

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

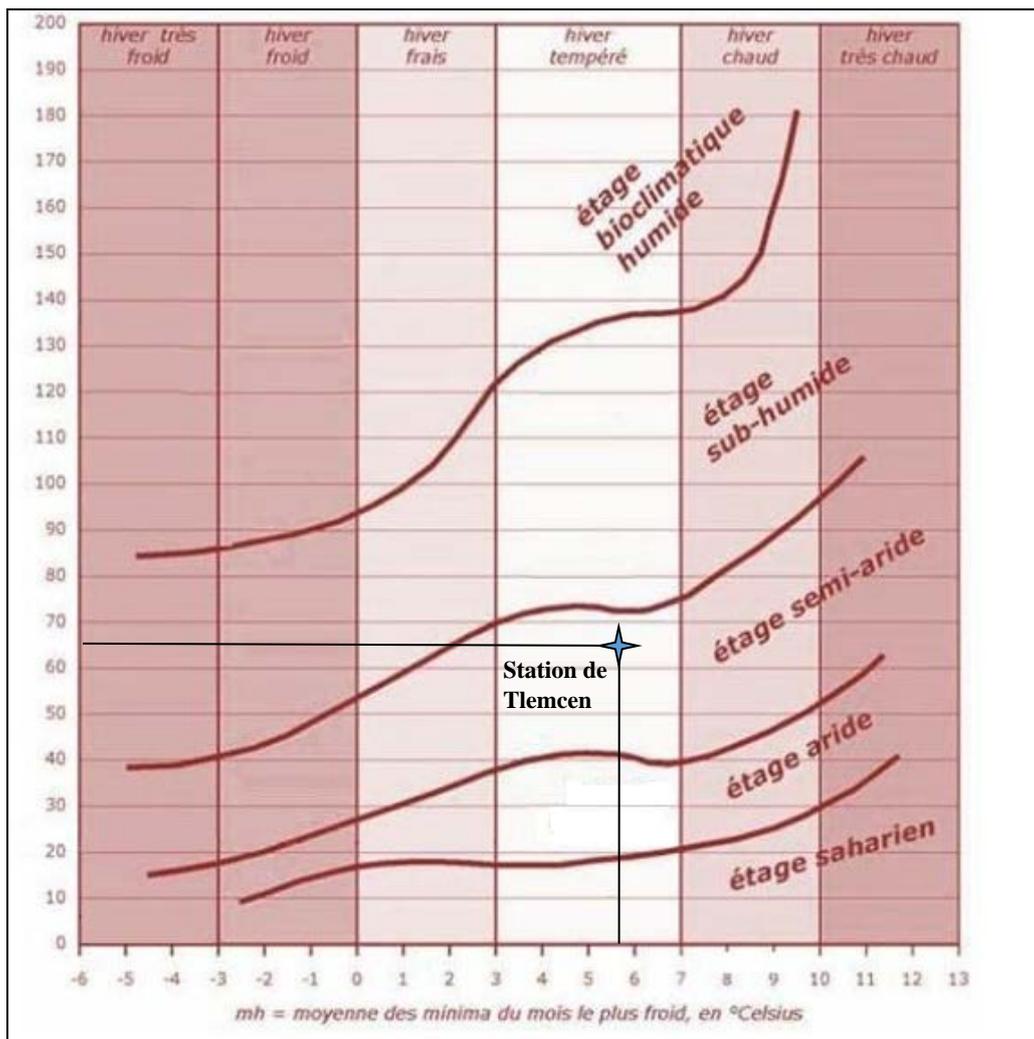


Fig. I.7 : Climagramme d'Emberger.

**B-3 Indice de Stewart (1969):**

Définie par :

$$Q_2 = \frac{3,43P}{M + m}$$

Avec :

Q<sub>2</sub>: Quotient d'Emberger

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

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

**m**: Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid (°C) : (5.8 C°)

Le quotient  $Q_2$  de la station de Tlemcen est égal à **45.12**

Pour:

$10 < Q_2 < 50$ ..... Climat semi-aride

$2 < Q_2 < 10$ ..... climat désertique

$Q_2 < 2$ .....climat insaturé.

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

## I.5.Bilan Hydrologique :

### I.5. 1 Evapotranspiration et déficit d'écoulement :

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

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

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

#### ❖ Méthode de Turc (1954) :

Cette méthode permet d'évaluer l'ETR annuelle à partir de la hauteur de la pluie et de la température moyenne annuelle, selon l'expression suivante :

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

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. I.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	517.0	17.8	1026.98	483.17	33.83 soit 6.54 % de P

❖ **Méthode de COUTAGNE :**

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

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

Avec :

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

**P** : précipitations moyennes annuelles en (m/an)

**T** : température moyenne annuelle en (°C)

$\lambda$  : désigne un facteur dépendant de la température moyenne annuelle

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

$$0.0375 < 0.517 < 0.15 \text{ donc la méthode n'est pas applicable.}$$

❖ **Méthode de Wundt :**

L'application de cette méthode donne les résultats suivants :

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

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

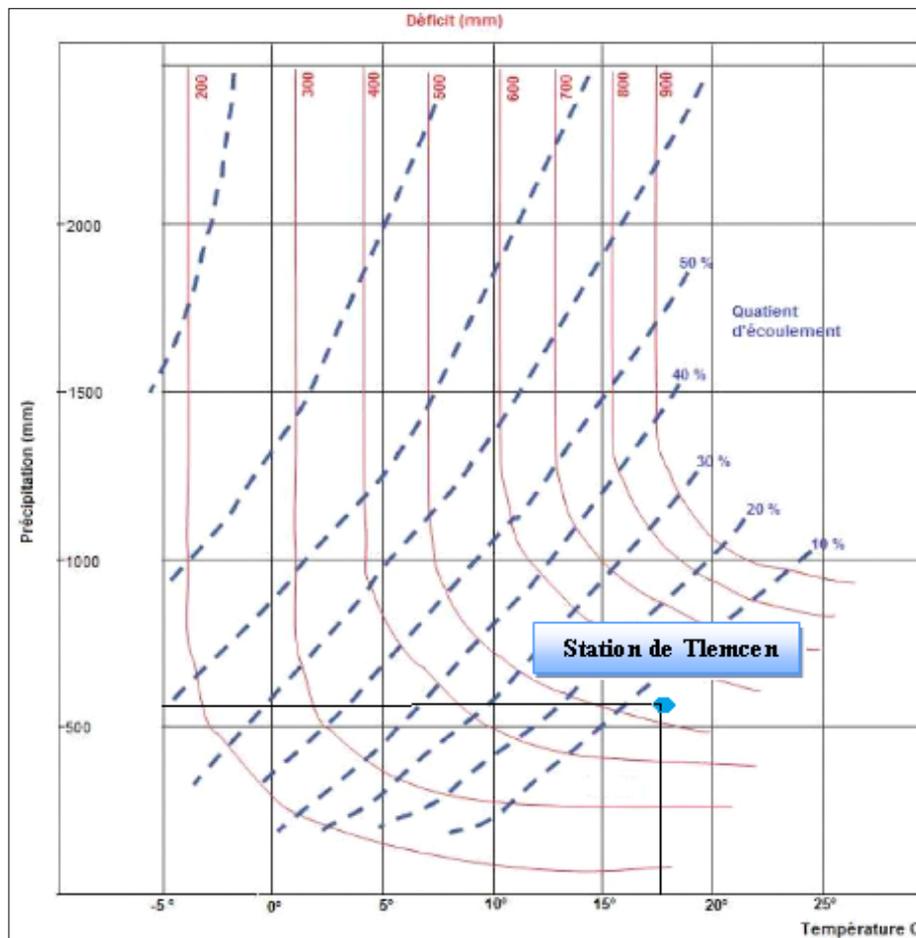


Fig. I.8 : Détermination du déficit d'écoulement (Abaque de WUNDT)

❖ **Méthode de P.VERDEIL :**

Pour estimer les valeurs de l'évapotranspiration réelle ou du déficit d'écoulement, Verdeil(1988), a établi en Algérie un abaque bi-logarithmique pour les régions semi-arides, en tenant compte uniquement des précipitations annuelles.

Les résultats de cette méthode sont présentés dans le tableau ci-dessous :

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

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

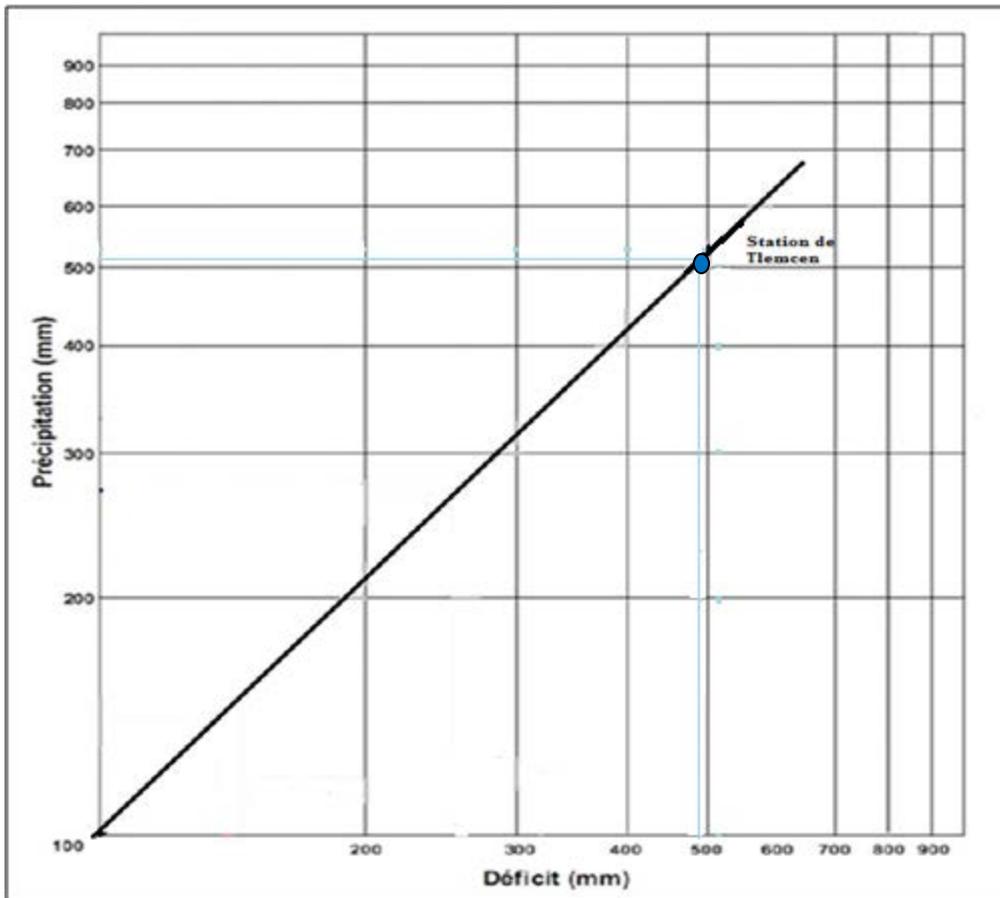


Fig. I.9 : Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie (P.VERDEIL, 1988).

1) Evapotranspiration potentielle (ETP) :

❖ Méthode de THORNTHWAITE :



Pour appliquer la méthode de Thornthwaite, on doit calculer :

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

Avec :  $a = 0.016 I + 0.5$

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

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm),

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

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

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

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

Tableau. I.17 : Valeurs de l'ETP corrigée à la station de Tlemcen (1995-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	A	Annuel
T (°C)	22,9	19,5	14,2	11,2	10,5	11,2	13,4	15,5	18,8	23,1	26,2	26,5	17,8
i	10.01	7,85	4,86	3,39	3,07	3,39	4,45	5,55	7,43	10,15	12,28	12,49	84.92
ETP non corrigée (mm)	101.38	74.70	40.89	26.05	23.04	26.05	36.62	48.29	69.69	103.07	130.93	133.79	814.51
K	1,03	0,97	0,87	0,86	0,88	0,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	/
ETP corrigée (mm)	104.42	72.46	35.57	22.40	20.28	22.14	37.72	52.64	83.63	123.68	159.73	155.20	889.88

## 2-Evapotranspiration réelle (ETR) :

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

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

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

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

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

Avec :

**Ru** : Réserve utile en eau du sol.

**C** : Capacité au champ.

**f** : Capacité au point de flétrissement.

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

**D** : Densité apparente du sol (D=1).

**30 mm** : Enracinement capillaire

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

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

## 4) Le bilan hydrologique selon C.W Thornthwaite :

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

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

**Tableau. I.18** : Calcul du bilan hydrologique de la station de Tlemcen (1995-2020)  
Selon C.W Thornthwaite.

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

**P** : Précipitations (mm)

**ETP** : Evapotranspiration potentielle (mm)

**Ru** : Réserve utile (mm)

**ETR** : Evapotranspiration Réelle (mm)

**D.A** : Déficit Agricole (mm)

**Exc** : Excédent (mm)

**R** : Ruissellement (mm)

**I** : Infiltration.

### **I.5 Conclusion :**

D'après les résultats des calculs obtenus, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations moyennes annuelles sont de 517mm .La température moyenne mensuelle est d'environ 17,8 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (26.2°C et 26.5°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.5°C). Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussens, nous a permis de définir une période humide entre le début du mois de Septembre et la fin du mois de Mai et une période sèche pour le reste des mois de l'année.

- ✓ Les calculs du bilan ont fait ressortir les résultats suivants :
- L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à environ **889.9mm**.
- L'évapotranspiration réelle annuelle est de **454.4 mm**.
- L'écoulement de surface annuel est de **62mm**.
- L'infiltration annuelle est de **60 mm**.

*CHAPITRE II*

*Cadre Géologique*

## II.1 Introduction :

Les monts de Tlemcen sont constitués essentiellement de formations d'âge Jurassique supérieur et Crétacé inférieur. Les calcaires et dolomies du Kimméridgien et du Tithonien forment plus de 80% des parties sommitales des plateaux. Au Sud et au Nord, ces formations sont masquées par une sédimentation tertiaire épaisse représentée par des dépôts fluviatiles éocènes sur le revers sud et par des marnes miocènes et des dépôts continentaux du Plio-Quaternaire au Nord (voir extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/50000 Fig N°II-1).

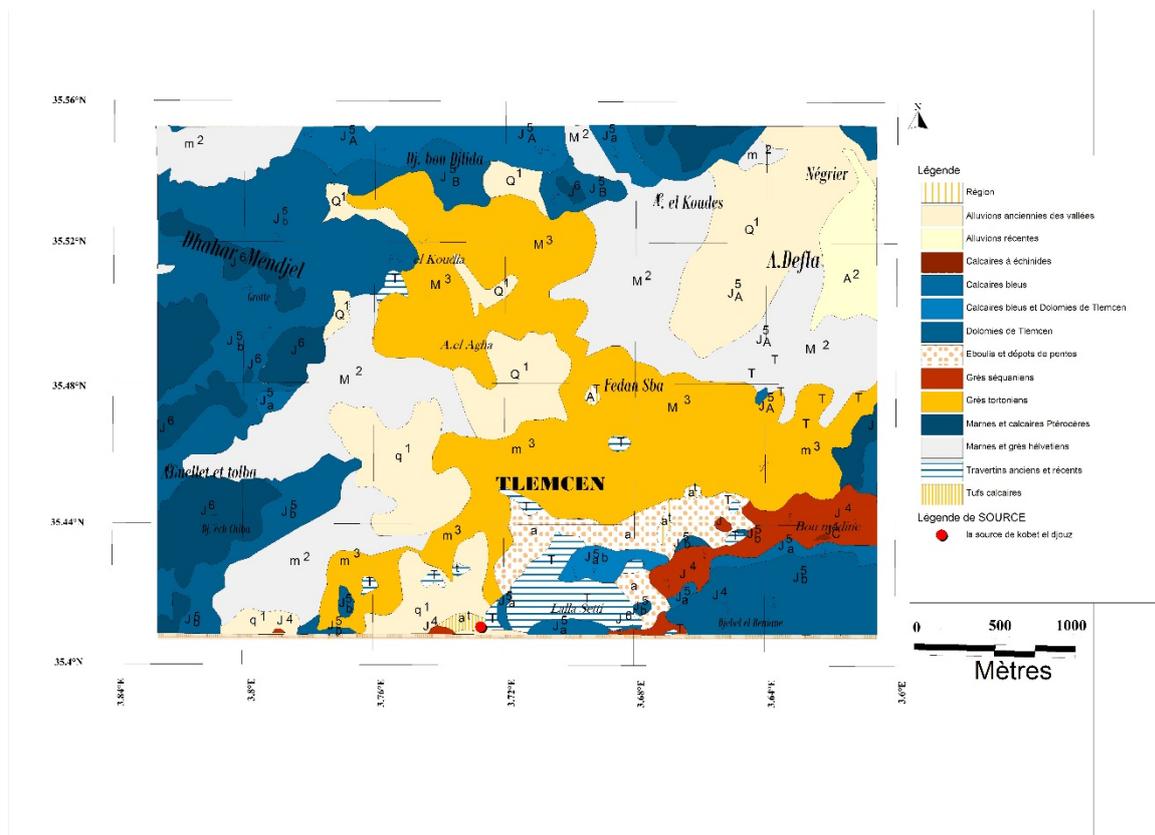


Fig.II.1 : Carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922).

## II.2 Série litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen :

### A. Le secondaire

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

#### 1. Le TRIAS :

Bien visible au niveau d'Ain Tellout et au Djebel Larbi, il est constitué par des argiles rouges violacées, emballant des niveaux de gypse fibreux. Il est souvent accompagné de basaltes, de tufs calcaires (très développés auprès des grandes sources qui sortent des dolomies et calcaires kimméridgiens, avec fossiles végétaux EL Kalàa, Lalla Setti) (F. Doumergue). Les argiles à gypses seules affleurent au Djebel El Arbi (Auclair D. et Biehler J., 1967).

## **2. LE LIAS ET LE DOGGER :**

Les terrains carbonatés du Lias et du Dogger n'apparaissent qu'à la faveur des horsts de Ghar Roubane et du Djebel Tenoucheffi. Le Lias inférieur et moyen correspond à des calcaires massifs de plus de 200m d'épaisseur. Des variations latérales de faciès ont été observées dans le Dogger inférieur de la région du Djebel Tenoucheffi et au Sud-Ouest de ce massif, en direction de Sidi Aissa (Benest M. et al, 1978).

## **3. LES ARGILES DE SAIDA :**

Elles sont d'âge Callovo-Oxfordien, représentées par des dépôts argileux et marneux à passées gréseuses. Cette formation apparait dans la région de Sabra ainsi que près du barrage de Béni Bahdel. D'une puissance de 300 m à 500 m (Ablaoui H., 2013), elle assure parfois une transition assez progressive aux grès de Boumediène.

## **4. LES GRÈS DE BOUMEDIÈNE :**

D'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur, il s'agit d'un ensemble à dominance gréseuse, avec des passées argileuses masquées le plus souvent, par des éboulis (constitués, le plus souvent, par les éléments de désagrégation des dolomies ; des calcaires kiméridgiens et des grès séquaniens), (F.DOUMERGUE) ou de la végétation. Ces grès à ciment calcaire, se présentent en bancs assez durs.

Les grès de Boumediène sont particulièrement développés dans les forêts de Zarifet et d'Ahfir au SW de Terni et au niveau des cascades d'El Ourit au Sud du bassin d'oued Sekkak (Bouanani .A. 2004).

## **5. LES CALCAIRES DE ZARIFET :**

Ils ont été définis par DOUMERGUE en 1910 sous le nom de calcaires bleus géodes.

M.BENEST(1972) les désigne sous ce nom, car ils sont particulièrement bien exposés au col de Zarifet ; au Sud de Tlemcen. Il s'agit de bancs calcaires séparés par de minces intercalations de calcaires marneux écailleux, parfois quelques peu fossilifères, marquant presque partout la base très nette du Kimméridgien et reposent directement en concordance sur les grès de Boumediène, formant les falaises des environs de Tlemcen. (BOUANANI A., 2004).

## **6. LES DOLOMIES DE TLEMCEN :**

Il s'agit de dolomies cristallines grises, avec de nombreuses cavités remplies de calcite. Elles affleurent autours d'Ain Fezza, dans la forêt de Zarifet, au Nord de Tlemcen, dans les Djebels Teffatisset, Ain El Houtz et sur le plateau de Terni ; Elles peuvent être surmontées par les calcaires de Stah, épargnés par la dolomitisation. Cette formation peut atteindre jusqu'à 300 m aux environs de Tlemcen, à El Ourit (Ablaoui H., 2013).

## **7. LES CALCAIRES DE STAH :**

Benest M. (1972) les décrit 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 (Bensaoula.F., 2006).

## **8. LES MARNO- CALCAIRES DE RAOURAI :**

Cette formation a été définie pour la première fois par F.DOUMERGUE en 1910 et correspond aux marno-calcaires intermédiaires d'Auclair et Biehler (1967). En 1972, M .Benest les désigne sous le nom de « marno-calcaires de Raourai », car ils sont bien exposés au Djebel Raourai.(M.Hayane, 1983).D'âge Tithonique inférieur, ce sont des marnes grises, blanchâtres en surface, où s'intercalent de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs. Cette formation est limitée à sa base par les calcaires de Stah et à son sommet par les calcaires du Lato ou par les premières assises des dolomies de Terni. Leur épaisseur varie de 90m à 150m. Cette formation affleure particulièrement sur le plateau de Terni, dans le Djebel Lato et à l'Est d'Ain Fezza (Ablaoui H., 2013).

## **9. LES CALCAIRES DE LATO :**

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

## **10. LES DOLOMIES DE TERNI :**

Définies par F.Doumergue en 1910 dans les falaises rouges. Elles ont un aspect ruiniforme et forment les sommets des Djebels Nador et Terni. Ces dolomies sont parfois vacuolaires, parfois massives avec de nombreuses stratifications obliques qui permettent de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen. Elles sont développées au niveau des plateaux des Azails, de Terni, des Djebels El Guern, Bouchiba et du Lato. Leur épaisseur est de 100 m au niveau du plateau de Terni .Doumergue (1910) les a rangées dans le Kimméridgien supérieur, alors que Benest M. (1982) leur donne un âge Tithonique inférieur (Ablaoui H., 2013).

## **11. LES MARNO-CALCAIRES DE HARIGA :**

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

## **12. LES MARNO-CALCAIRES D'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 citons de bas en haut :

### **❖ Les argiles de Lamoricière :**

D'âge Berriasien moyen- Valanginien, c'est une formation argilo-gréseuse, nettement calcaire au sommet qui affleure au niveau de Hassi Zerga.

❖ **Les grès de Berthelot :**

D'âge Hauterivien, ces grès sont caractérisés par une récurrence de la smectite mais surtout par la présence du chlorite (10 m à 15 m). La base, riche en stratifications obliques, est marquée par un banc de dolomie pulvérulente.

❖ **Les calcaires de Zigyne :**

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

**B. Le Tertiaire**

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

**1. L'ÉOCÈNE :**

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. Ces alternances, d'une puissance de 100 m à 150 m ont été attribuées à l'Eocène supérieur (Ablaoui H., 2013).

**2. LE MIOCÈNE :**

❖ **Inférieur**

Débuté par une assise de poudingues à éléments calcaires dolomitiques à ciment calcaire-gréseux très dur à blocs bien roulés hétérométriques et polygéniques pouvant atteindre 20 m de puissance (**DOUMERGUE .F**). Ce faciès, très résistant et fissuré, montre un grano-classement normal avec des intercalations marneuses à la base. La partie supérieure est constituée par des argiles marneuses de teinte verdâtre, dans lesquelles s'intercalent des bancs décimétriques de grès ferrugineux friables, formant un ensemble pouvant dépasser 100 m d'épaisseur (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, pouvant atteindre 300 m d'épaisseur (Benest M. et Bensaoula F., 1994).

❖ **Supérieur (Tortonien)**

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

**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).

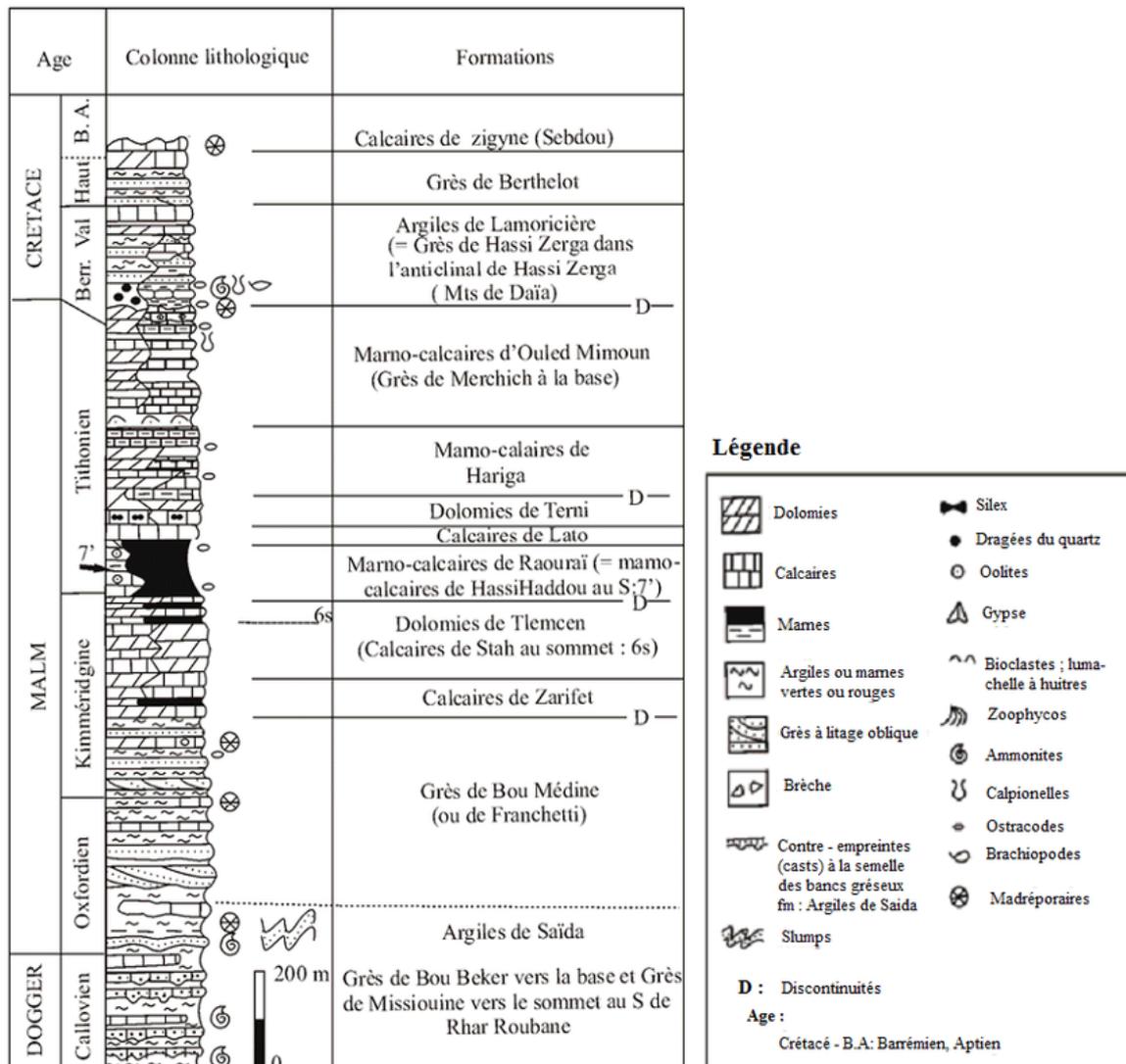


Fig.II.2 : Colonne stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux hautes plaines (Benest&Bensalah, 1999).

### II.3 Analyse structurale :

Les grandes fractures, leur direction générale est orientée WSW-ENE (direction tellienne) (Auclair & Biehler, 1967). Le style tectonique général est de type cassant, avec quelques déformations souples qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux. Les failles sont subverticales et résultent de déformations du socle. Elles limitent des horsts et des grabens, orientés N50°E à N70°E.

### II.3.1 Principales phases tectoniques :

C'est surtout la tectogenèse tertiaire et quaternaire qui a le plus conditionné l'évolution morpho-structurale de l'avant- pays tlemcenien (Benest, 1982 et 1985). Cinq phases principales sont envisagées :

#### 1) Une phase distensive Eo-crétacée :

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 syn-sédimentaires qu'il a rapporté à une tectogenèse pré-atlasique. (Bensaoula F ,2006).

#### 2) Une phase atlasique :

Cette phase correspondrait sensiblement aux mouvements mis en évidence par Guardia dans les Monts des Traras et qui se seraient produits à partir du Sénonien. Etudiée 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 anté-messinienne, (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 Terni, antérieurement atteinte par la transgression du Miocène supérieur (Doumergue, 1912) ou du Mio-Pliocène. Le rejeu 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.

### **II.3.2 Les unités structurales :**

Les Monts de Tlemcen sont composés de plusieurs unités structurales (Elmi S., 1970) :

#### **II.3.2.1 Zone synclinale de Terni :**

Limitée par deux accidents de direction moyenne N 70° E, le plateau de Terni se présente comme un synclinal effondré, dont le flanc sud est plus redressé que le flanc nord. Cette dépression formée au sein de la série jurassique, s'enfonce légèrement vers l'Est. Dans cette zone, la plupart des contacts entre les formations se font par failles.

#### **II.3.2.2 Zone effondrée de Tlemcen :**

Elle fait partie du même ensemble effondré que la plaine de Maghnia, dont elle est séparée par le Djebel Tefatisset. Elle est limitée au Sud et au Nord par les failles passant par Bréa et Chetouane qui relient les panneaux des Djebels Tefatisset et Ain El Hout.

#### **II.3.2.3 Zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz :**

Elle est limitée au Sud par une faille et au Nord par une série de failles en relais de même direction.

#### **II.3.2.4 Zone d'Er-Ramlya :**

Est un dôme affecté par une tectonique cassante et découpé en de nombreux panneaux soulignés par des accidents, le plus souvent rectilignes.

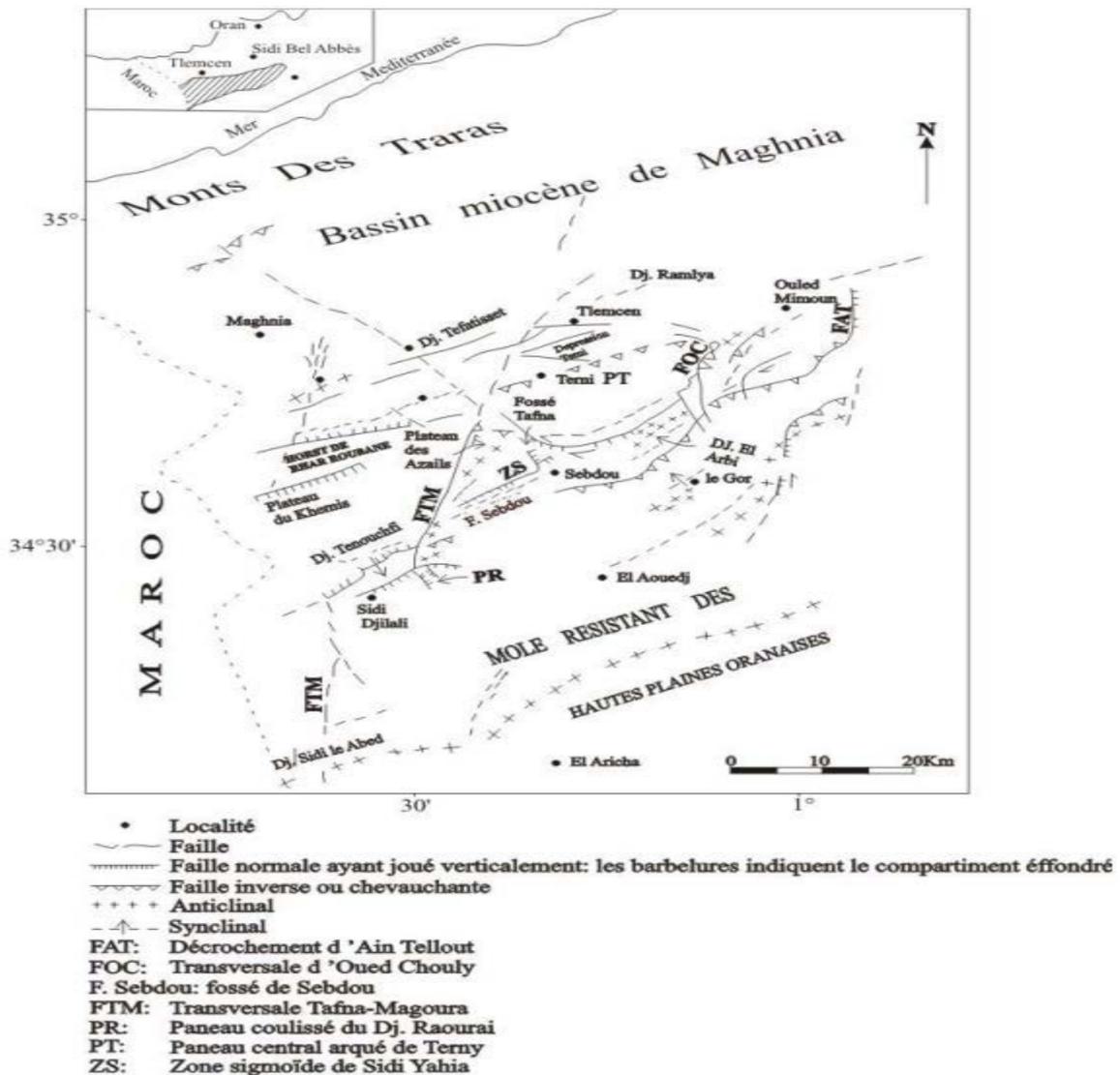


Fig II.3 : Schéma structural des Monts de Tlemcen d'après M. Benest, 1985 (Azziz H, 2017).

#### II.4 Conclusion :

Les Monts de Tlemcen constituent un édifice régulier, formé essentiellement de terrains mésozoïques, formant une ossature par des formations mio- plio- quaternaires.

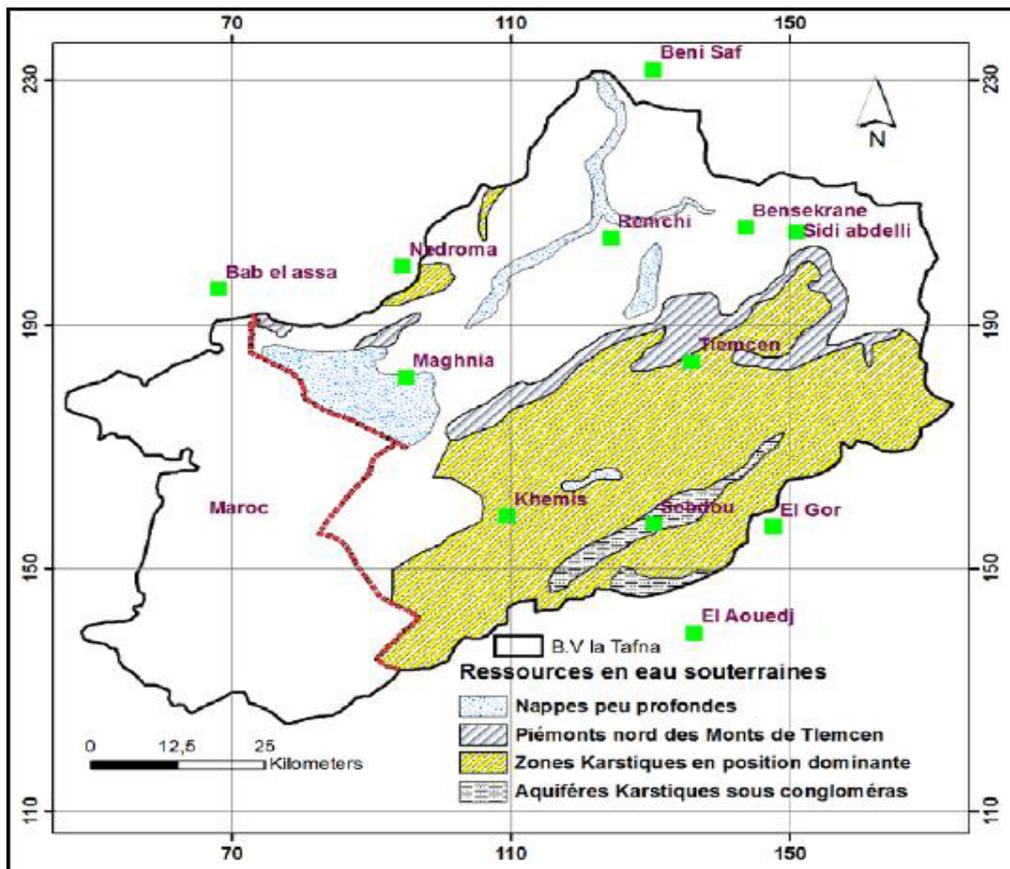
L'analyse structurale de la région montre qu'elle présente une tectonique cassante, avec des déformations qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux. Selon M. Benest (1982), il y a cinq phases tectoniques, contrôlées par le jeu et le rejeu d'accidents distensifs SW-NE à WSW-ENE, parfois compressifs. La tectonique joue un rôle important dans la structure géologique du secteur étudié. Les nombreuses failles et diaclases ont contribué dans le développement de la karstification et l'émergence des sources.

*CHAPITRE III*

*HYDROGEOLOGIE*

### III.1 Introduction :

Les Monts de Tlemcen sont souvent appelés «le château d'eau naturel de l'Ouest algérien». Correspondent à un vaste horst où affleurent principalement les formations carbonatées 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 constituent la ressource en eau la plus mobilisée qui alimente, pour une grande part, la population de Tlemcen. (Bensaoula F, 2006).



*Fig.III.1 : Zones aquifères de Tlemcen.  
(D'après Collignon B., 1984 ; in Bemoussat A., 2012).*

### III.2 Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques :

#### ❖ Les formations calcaires du Jurassique :

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

#### ❖ Les formations du Crétacé :

- ✓ Les marnes constituent un ensemble imperméable.
- ✓ les niveaux calcaires lorsqu'ils sont fissurés.

❖ **Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :**

La perméabilité des formations alluvionnaires et gréseuses dépend du degré de cimentation ainsi que de leur teneur en éléments fins.

❖ **Les formations à forte capacité de rétention souterraine :**

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

• **Les formations calcaires du Jurassique :**

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

• **Les dolomies de Tlemcen**

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

• **Les dolomies de Terni :**

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

**III- 3 Les formations à capacité de rétention souterraine faible à très faible :**

❖ **Les conglomérats du Miocène inférieur :**

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

❖ **Les grès de Boumediène :**

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

- ✓ L'existence de bancs calcaires dans la partie supérieure de la formation où ils jouent le rôle de drains, permettant aux grès de constituer localement un aquifère intéressant.
- ✓ La présence de diaclases et de fissures qui donnent à ces grès une certaine perméabilité.

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

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

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

❖ **Grès de Merchiche :**

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

**III.4 Présentation de la source étudiée (Ain Kobet El Djouz) :**

Elle se situe dans la propriété de Lachachi à Mansourah, au Nord de la localité d'El Attar et à 400 m environ à l'Est de la cité de Béni Boublène. Cette source alimente le propriétaire du terrain en eau potable et sert à l'irrigation. Auparavant, une partie de son débit alimentait des fontaines à l'extérieur de la propriété, utilisé par les personnes qui viennent s'approvisionner, dont l'idée que cette eau est d'une qualité supérieure.

Ain Kobt El Djouz émerge à la faveur d'un contact entre les dolomies de Tlemcen et les grès de Boumédiène.



*Fig.III.2 : Source Kobet EL Djouz (2021)*

**III.5 Conclusion :**

Les Monts de Tlemcen constituent un édifice régulier formé essentiellement de terrains cénozoïques et mésozoïques formant une ossature couronnée par des formations plio-quadernaires. Les dolomies, les calcaires du Jurassique et les grès de Boumediene lorsqu'ils sont fissurés sont les principales formations qui présentent un intérêt hydrogéologique dans la région d'étude.

***CHAPITRE IV :***

***Hydrogéochimie***

#### IV.1 Introduction :

L'étude du chimisme des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie beaucoup de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes qui se produisent dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire dans les échanges entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par dissolution et altération des minéraux du réservoir. La qualité physico-chimique de l'eau informe sur l'évolution d'un niveau de pollution s'il existe, en fonction d'un ensemble de paramètres, basée sur des valeurs de référence, elle s'apprécie à l'aide de plusieurs paramètres physico-chimique et bactériologiques (Keddah K et Médjahdi N, 2018).

Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé les analyses physico-chimiques de la source de Kobet El Djouz, effectuées par le laboratoire de l'A.D.E et de l'A.N.R.H pour la période : 1999 à 2013.

#### IV.2 Balance ionique :

Le calcul de 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 méq/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. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau 02, en annexes.

#### IV.3 Interprétations des paramètres physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques ont porté sur :

➤ *Les paramètres physiques :*

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

➤ *Les paramètres chimiques :*

Les éléments majeurs :

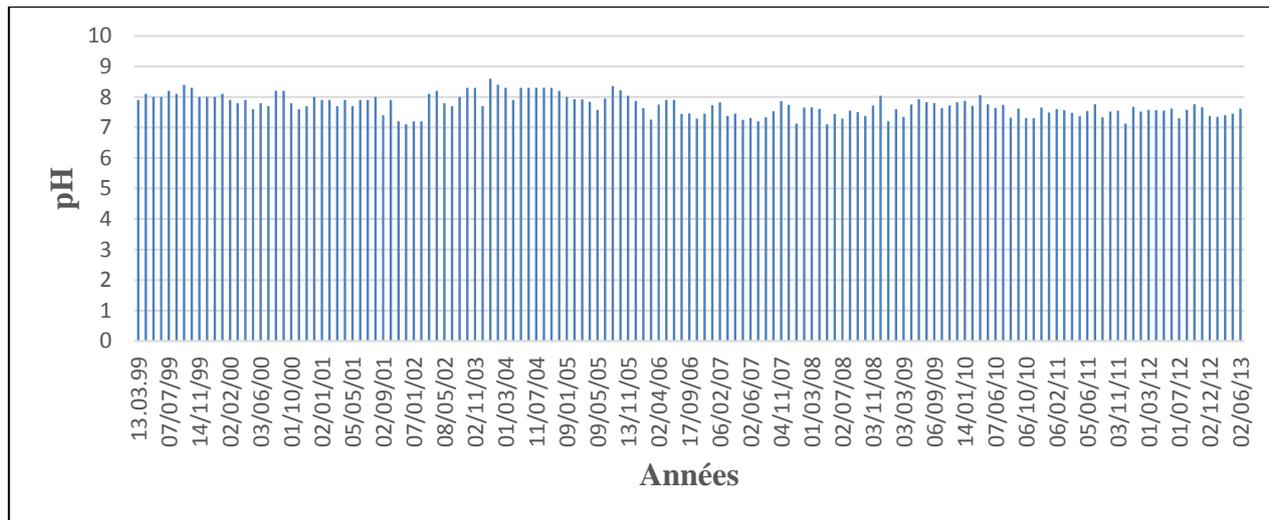
Cations : Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>

Anions: Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

**Interprétations et discussions :**

- *Les paramètres physiques :*
- ❖ *Le potentiel d'Hydrogène pH :*

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H<sup>+</sup> contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établie entre les différentes formes de l'acidité carbonique, et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (MAKHOUKH .M, 2011).



**Fig. IV.1 : Diagramme de pH**

- Les valeurs des pH de la source étudiée varient entre 7.1 et 8.6. Ces eaux sont conformes à la norme algérienne ( $\geq 6.5$  et  $\leq 9$ ).

❖ *La conductivité électrique :*

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. (RODIER J, 2005) Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (MENS et DEROUANE, 2000).

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

Conductivité (µS/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

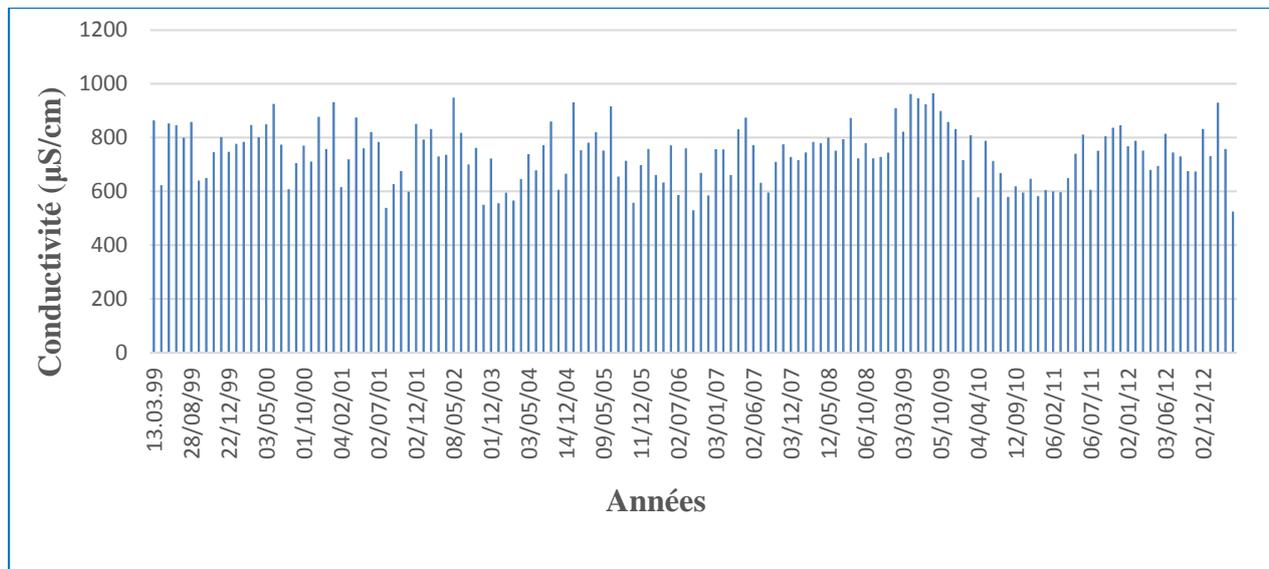


Fig. IV.2 : Diagramme des conductivités électriques.

- La valeur des conductivités de la source étudiée, oscillent entre 525µS/cm et 965 µS/cm. Ces valeurs sont inférieures à la norme (2800µS/cm).

❖ **La dureté totale (TH) :**

La dureté de l'eau est due à la présence des ions calcium et de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium (Rodier .J, 2009). Elle est aussi très souvent donnée en degrés français. 1°F correspond à 5 meq/l.

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

On peut classer les eaux en fonction de leur dureté suivant le tableau ci-dessous :

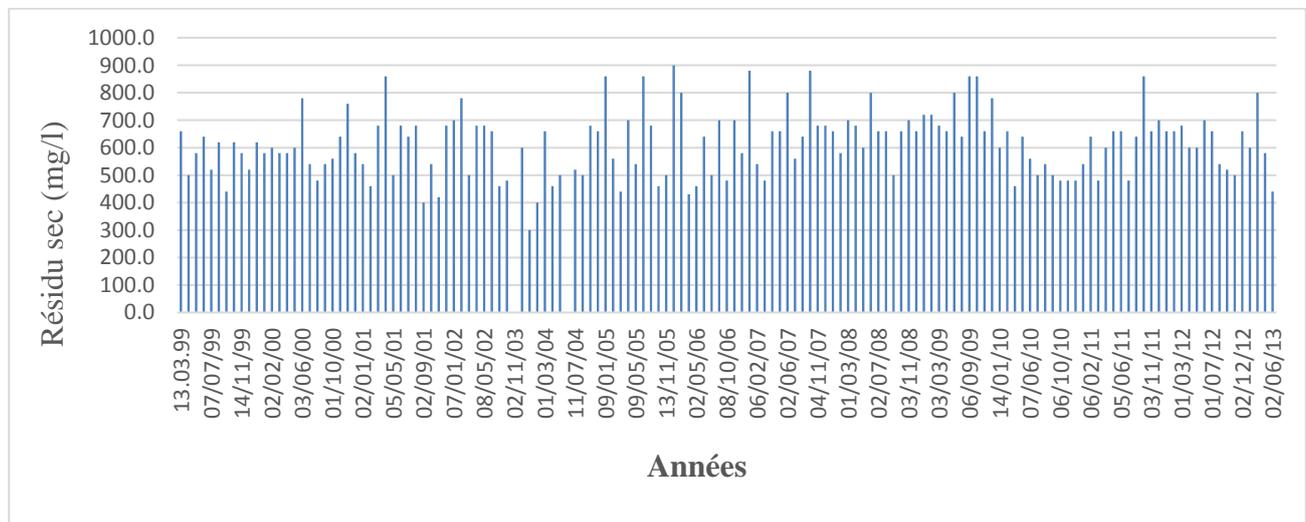
Tableau IV. 2 : Classification des eaux en fonction de la dureté.

0	Eau pure
0 à 5°F	Eau très douce
5 à 15°F	Eau douce
15 à 25°F	Eau moyennement dure
25 à 35°F	Eau dure
≥ 35 °F	Eau très dure

- La valeur de la dureté totale d'eau de la source étudiée est comprise entre 336mg/let 434 mg/l en CaCO<sub>3</sub>, elle est classée en eau très dure selon les intervalles du tableau V.4 .Cette eau est conforme à la norme algérienne (500mg/l). (Tab 04, en annexes).

❖ *Résidu sec :*

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



**Fig. IV.3 :** Diagramme des résidus secs.

- Les valeurs du résidu sec de la source sont comprises entre 300 mg/l et 900 mg/l. Elles sont conformes à la norme (1500mg/l).
- *Les paramètres chimiques :*

**Les cations :**

***L'ion calcium Ca<sup>2+</sup> :***

Le calcium est un métal alcalino-terreux, extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates (Rodier, 2009).

- Pour l'eau de la source étudiée, les valeurs du calcium varient entre 40.3 mg/l et 89 mg/l. Toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme algérienne (200mg/l).

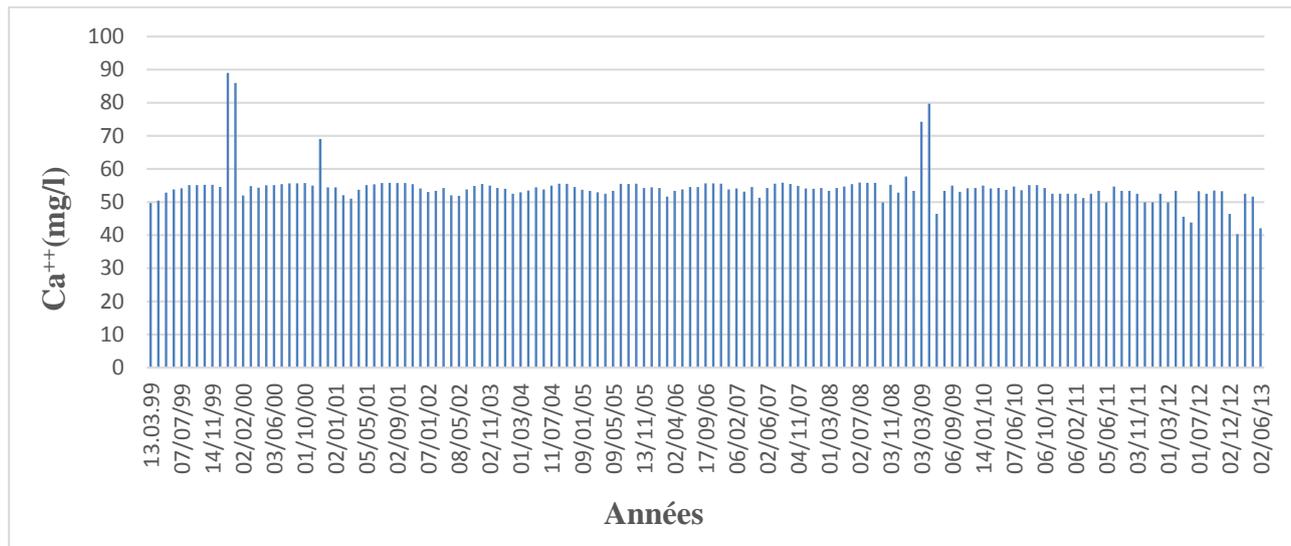


Fig. IV.4 : Diagramme de calcium

**L'ion magnésium Mg<sup>2+</sup> :**

Un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre, la teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies.) (Rodier, 2009).

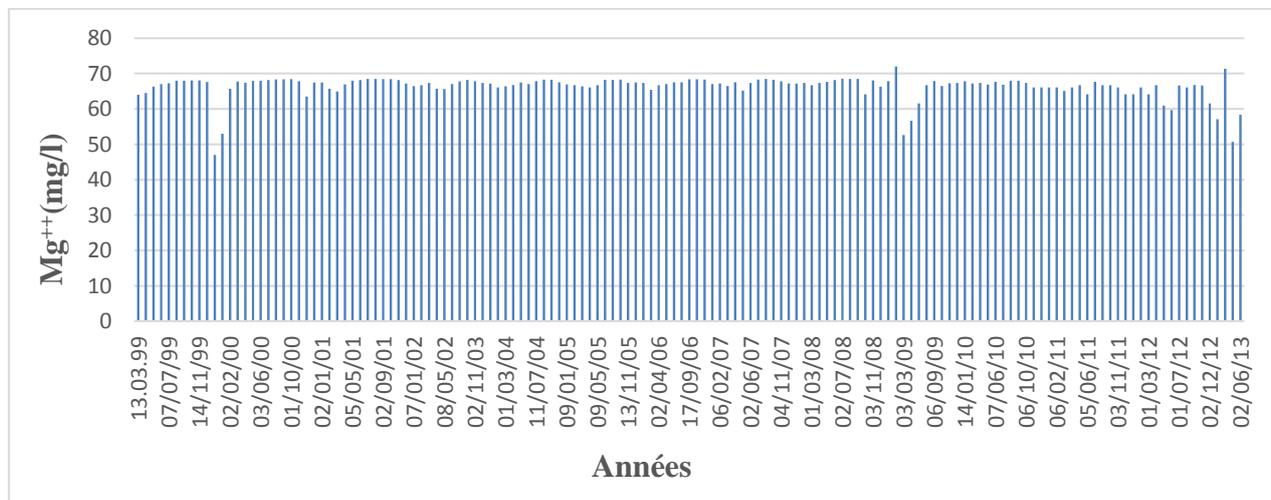


Fig. IV.5 : Diagramme de magnésium.

- Pour l'eau étudiée, les valeurs de magnésium trouvées sont comprises entre 47mg/l et 72 mg/l. Ce résultat est conforme à la norme algérienne (150mg/l).

**L'ion sodium Na<sup>2+</sup> :**

Le sodium, sous forme de chlorure de sodium, indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères.(Rodier,2009).

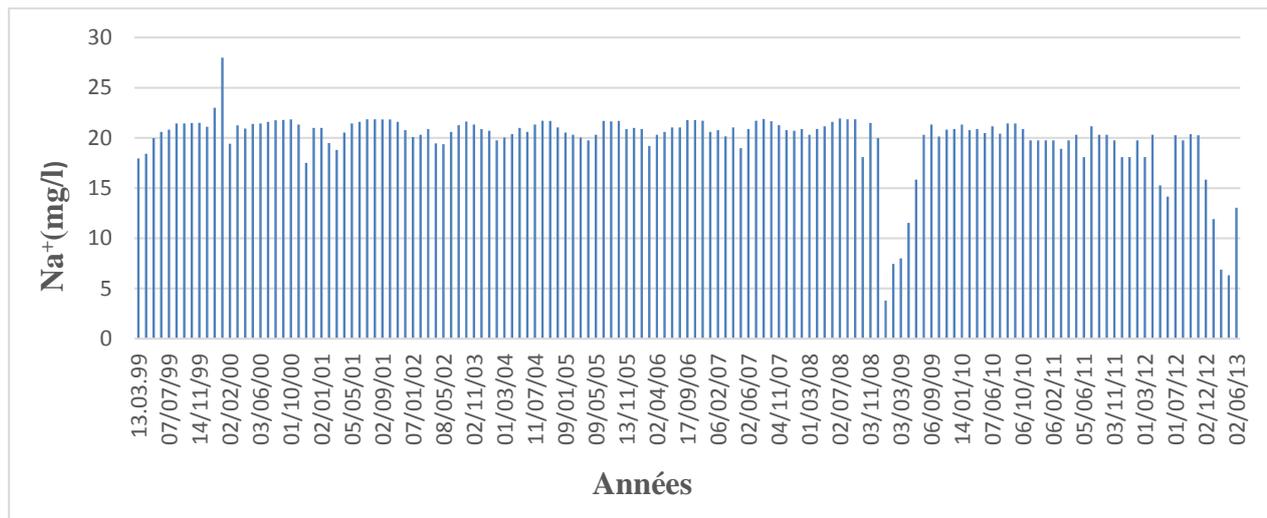


Fig. IV.6 : Diagramme de sodium.

- La teneur de sodium est comprise entre 3.8mg/l et 28 mg/l. Elle reste conforme à la norme algérienne (200mg/l).

**L'ion potassium K<sup>+</sup> :**

Sa présence est constante dans les eaux naturelles, elle ne dépasse pas habituellement 10 à 15mg/l. certains rejets industriels, en particulier de mines de potasse et d'usines d'engrais, peuvent entraîner dans l'eau des quantités de potassium relativement importantes. (Rodier, 2009).

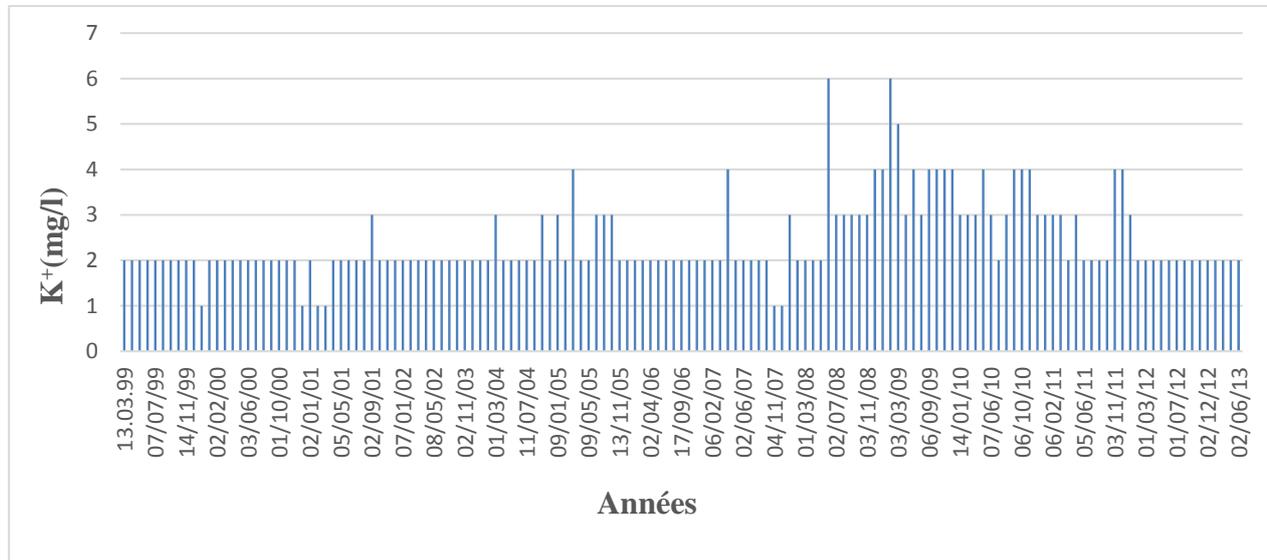


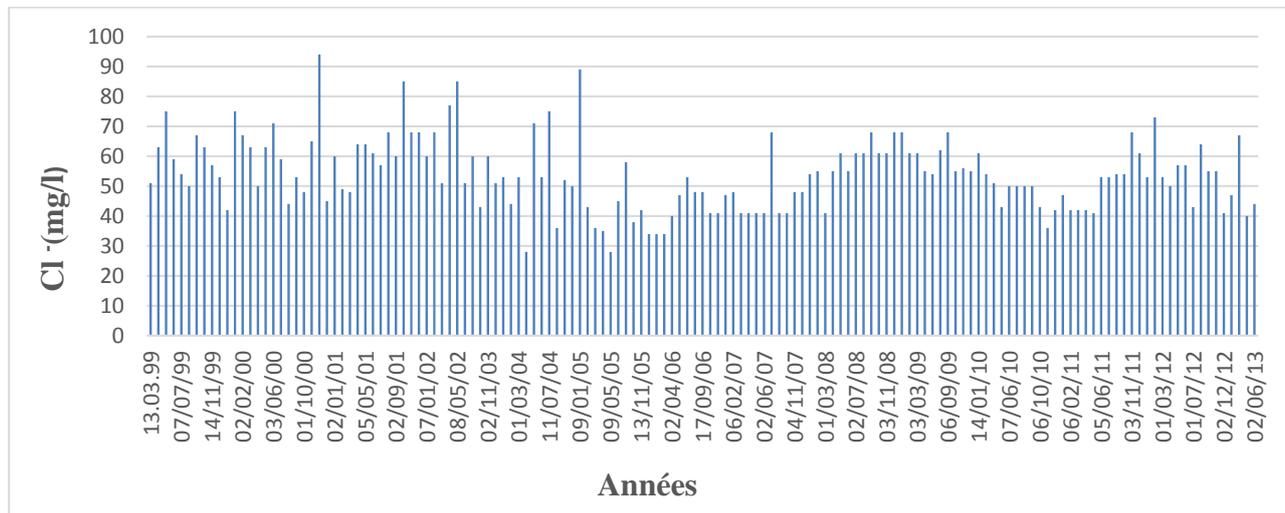
Fig. IV.7 : Diagramme de potassium.

- Les résultats obtenus pour notre eau étudiée sont conformes aux normes prescrites (12mg/l). Ces derniers sont compris entre 1 mg/let 6 mg/l.

**Les anions :**

**L'ion chlorure  $Cl^-$  :**

La teneur en  $Cl^-$  des eaux souterraines est essentiellement fonction de la nature des terrains traversés (RODIER J., 2009). La norme algérienne indique une concentration maximale admissible de 500mg/l.

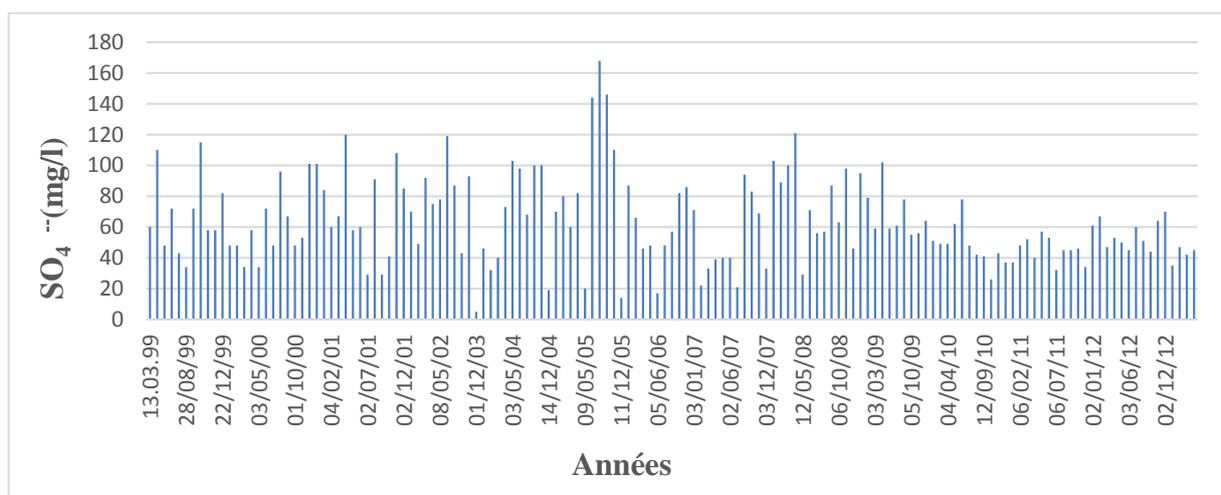


**Fig. IV. 8 : Diagramme des Chlorures.**

- La réglementation de notre pays fixe 500 mg/l comme teneur limite. La teneur trouvée au niveau de notre source est entre 28mg/l et 94 mg/l, elle est dans la norme prescrite.

**L'ion sulfate  $SO_4^{2-}$  :**

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

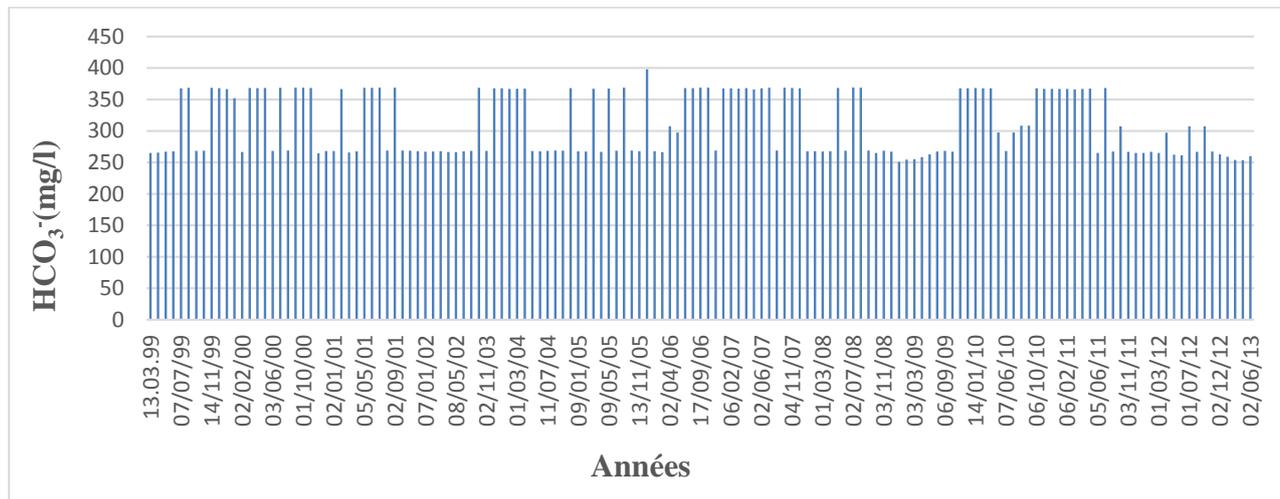


**Fig. IV.9 : Histogramme des sulfates.**

- La valeur des sulfates trouvée au niveau de la source étudiée est comprise entre 5mg/l et 168 mg/l, elle reste inférieure à la concentration maximale admissible (400 mg/l).

**L'ion bicarbonate  $HCO_3^-$  :**

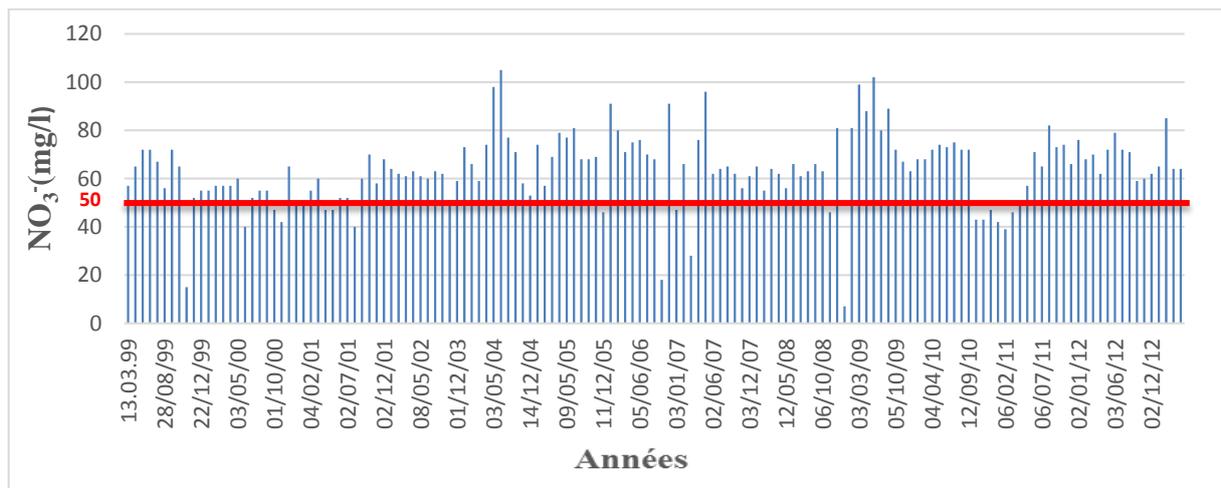
La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés (RODIER J., 2005). Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonates dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. Les valeurs de bicarbonates des eaux analysées varient entre 251 mg/l et 398 mg/l.



**Fig. IV. 10 :** Histogramme des Bicarbonates.

**L'ion nitrate  $NO_3^-$  :**

Les nitrates sont souvent liés au développement des élevages, à une fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais, les excréments et fumiers divers, voire les boues de stations d'épuration. Les rejets des collectivités et occasionnellement de certaines industries (Rodier, 2009).



**Fig. IV.11 :** Histogramme des Nitrates.

- Pour l'eau étudiée, les valeurs des nitrates obtenues sont supérieures à la norme prescrite (50mg/l), elles sont comprises entre 7mg/l et 105 mg/l.
- D'après le graphe, nous avons remarqué que 13% des dates où le taux des nitrates est inférieur à la norme indiquée par le JORA :(14/11/1999, 03/06/2000, 1/10/2000, 4/11/2000, 02/04/2000, 05/05/2001, 01/08/2001, 11/12/2005, 03/01/2007, 03/03/2007, 03/11/2008,

04/01/2009, 06/10/2010, 02/11/2010, 05/12/2010, 09/01/2011, 06/02/2011, 07/03/2011, 05/04/2001). Les autres dates présentent des valeurs supérieures. Ces teneurs élevées en nitrates peuvent provoquer des risques de méthémoglobinémie chez les nourrissons de moins de six mois alimentés au biberon, en raison que les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) transformés en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) dans l'estomac conduisent à l'oxydation et à la transformation de l'hémoglobine. Cet effet toxique, appelée également « cyanose du nourrisson » ou « syndrome du bébé bleu », entraîne une réduction des capacités de transport de l'oxygène par le sang. Chez l'adulte, les nitrites sont soupçonnés de provoquer des cancers. Ce qui implique que cette eau est non potable sauf, si elle passe par des traitements spécifiques, tels que l'échange ionique sur résines (ou une dénitrification).

#### IV .4 Classification des eaux :

Nous avons procédé à la représentation graphique des analyses des eaux, en utilisant les méthodes suivantes :

- Le diagramme triangulaire de PIPER.
- Potabilité des eaux étudiées (classification selon les normes algériennes).
- Aptitude des eaux destinées à l'irrigation.

##### a. Diagramme logarithmique de PIPER :

La représentation des analyses chimiques dans le diagramme de PIPER permet d'avoir une approche de la composition chimique d'une eau. Ce diagramme est établi à partir des quantités en réaction (en%).

Les résultats ont été représentés sur le diagramme de Piper. La position des points représentatifs des anions et des cations caractérise la composition chimique de l'eau des différents points d'eau. Selon les diagrammes, ces eaux appartiennent à deux familles :

- ***Bicarbonatée calcique et magnésienne*** : représenté par les dates : (13/03/1999, 11/05/1999, 07/07/1999, 28/08/1999, 14/11/1999, 01/12/1999, 22/12/1999, 02/01/2000, 02/02/2000, 01/03/2000, 01/04/2000, 03/05/2000, 01/07/2000, 05/09/2000, 01/10/2000, 04/11/2000, 04/02/2001, 02/04/2001, 05/05/2001, 02/07/2001, 02/09/2001, 03 /11/2001, 07/01/2002, 11/02/2002, 02/03/2002, 08/05/2002, 08/06/2002, 01/12/2003, 03/01/2004, 08/09/2004, 14/12/2004, 09/01/2005, 12/02/2005, 01/03/2005, 13/06/2005, 08/10/2005, 13/11/2005, 12/12/2006, 04/03/2006, 02/04/2006, 02/05/2006, 08/10/2006, 04/11/2006, 03/01/2007, 07/04/2007, 02/05/2007, 02/06/2007, 07/07/2007, 03/12/2007, 02/02/2008, 01/03/2008, 04/04/2009, 02/06/2009, 01/07/2009, 06/09/2009, 05/10/2009, 04/11/2009, 02/12/2009, 14/01/2010, 01/03/2010, 04/04/2010, 04/05/2010, 07/06/2010, 01/07/2010, 05/08/2010, 12/09/2010, 06/10/2010, 02/11/2010, 05/12/2010, 09/01/2011, 06/02/2011, 07/03/2011, 05/04/2011, 05/06/2011, 05/10/2011, 03/11/2011, 01/02/2012, 01/03/2012, 01/04/2012, 06/05/2012, 03/06/2012, 01/07/2012, 02/10/2012, 04/11/2012, 02/12/2012, 18/03/2013, 18/03/2013, 05/05/2013, 02/06/2013).
- ***Bicarbonatée sulfatée calcique et magnésienne*** : qui englobent ce qui reste des dates.

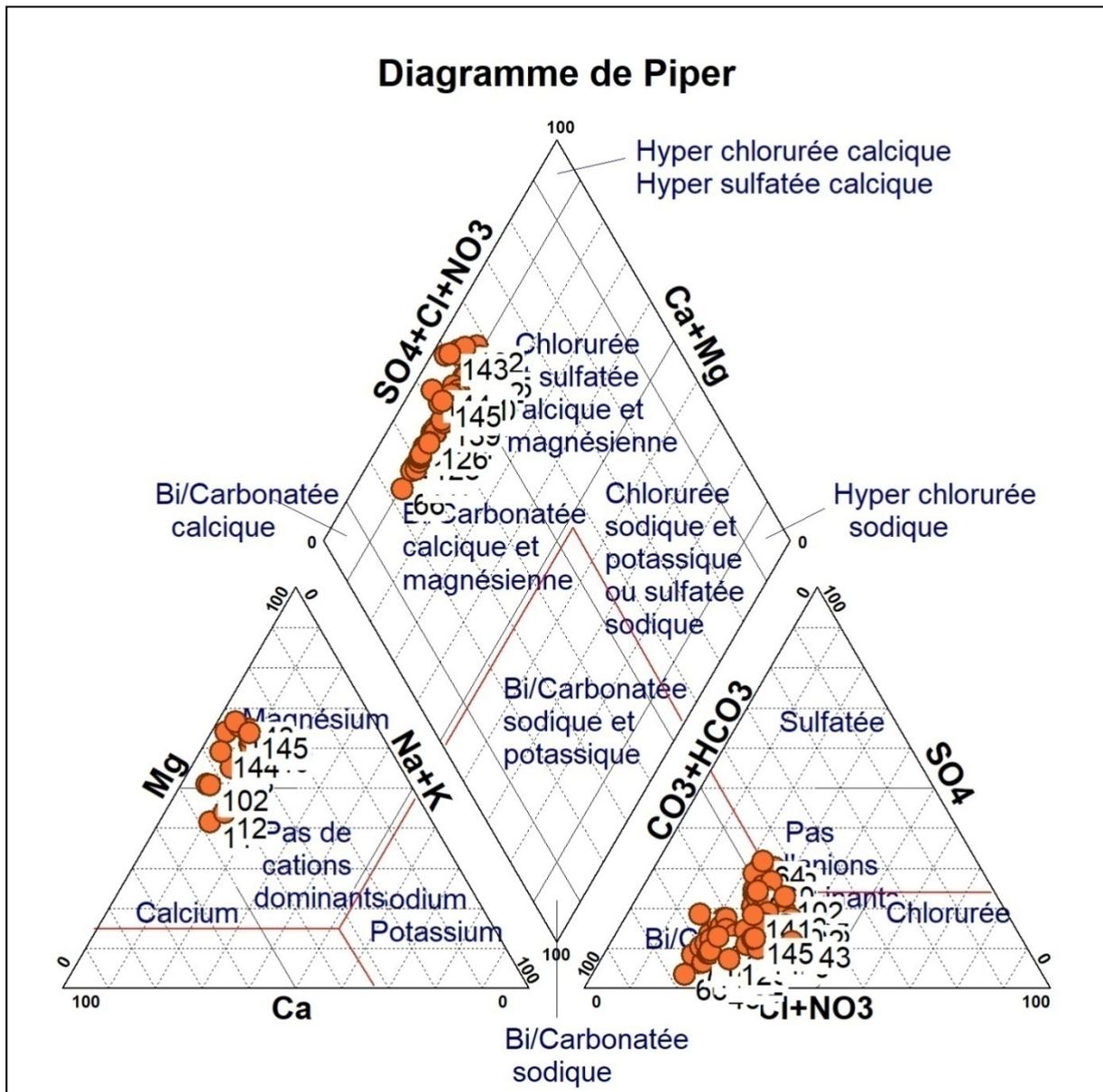


Fig. IV.12 : Diagramme de Piper

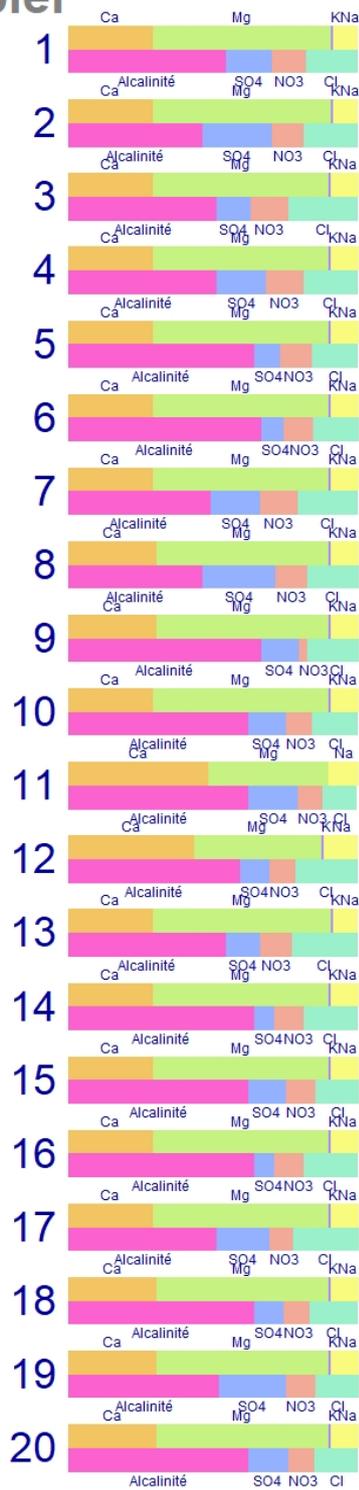
**b. diagramme logarithmique de Stabler :**

Le diagramme de Stabler est utilisé pour déterminer les différents titres d'une eau (titre d'alcalimétrie, titre en sels d'acides forts et titre d'hydrotimétrie). Pour cela les concentrations en meq/L des anions et des cations sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur, les concentrations étant reportées en %. La détermination des différents titres est visuelle.

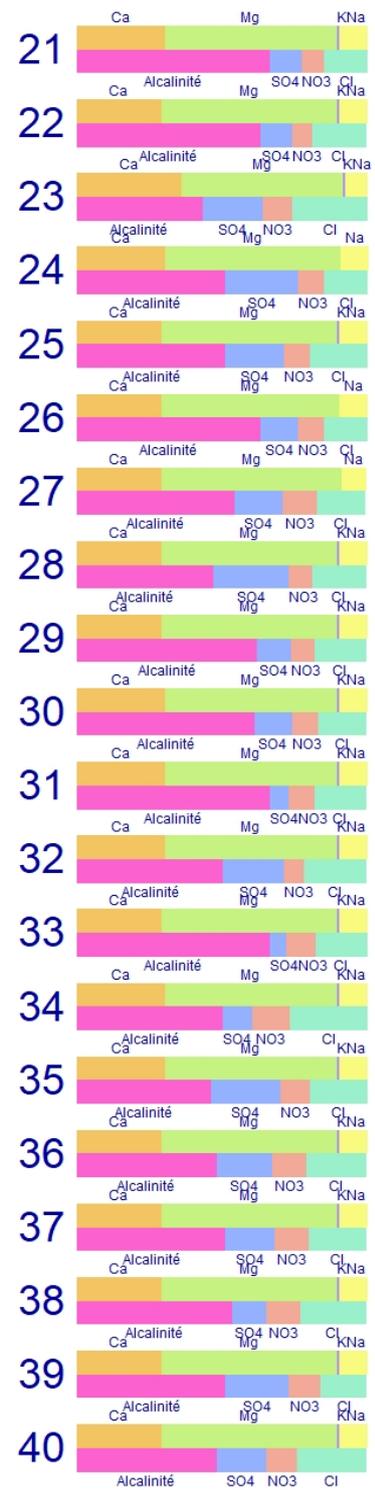
Nous remarquons que tous les groupes sont :

- pour les anions : alcalinité (bicarbonates).
- pour les cations : (Mg)
  - donc le faciès est **bicarbonaté magnésien**.

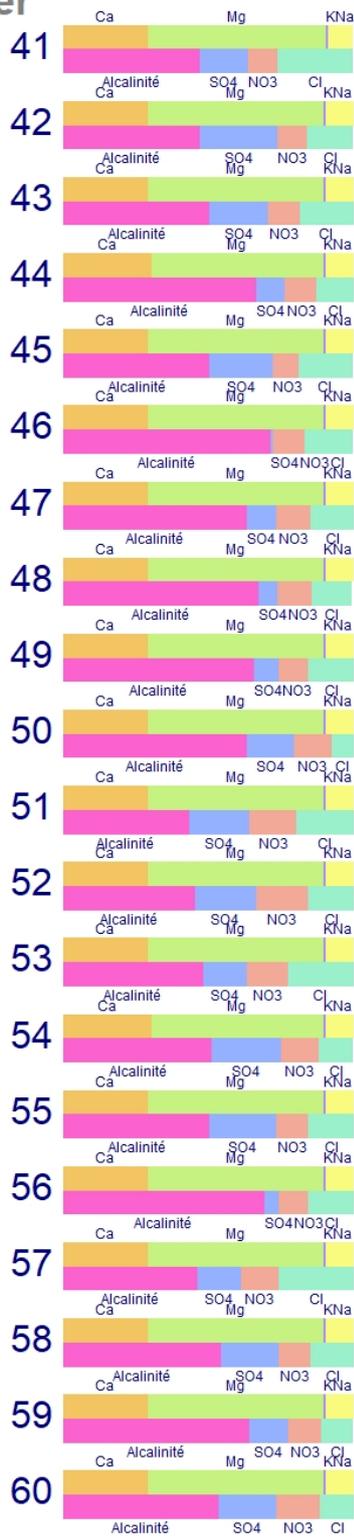
Stabler



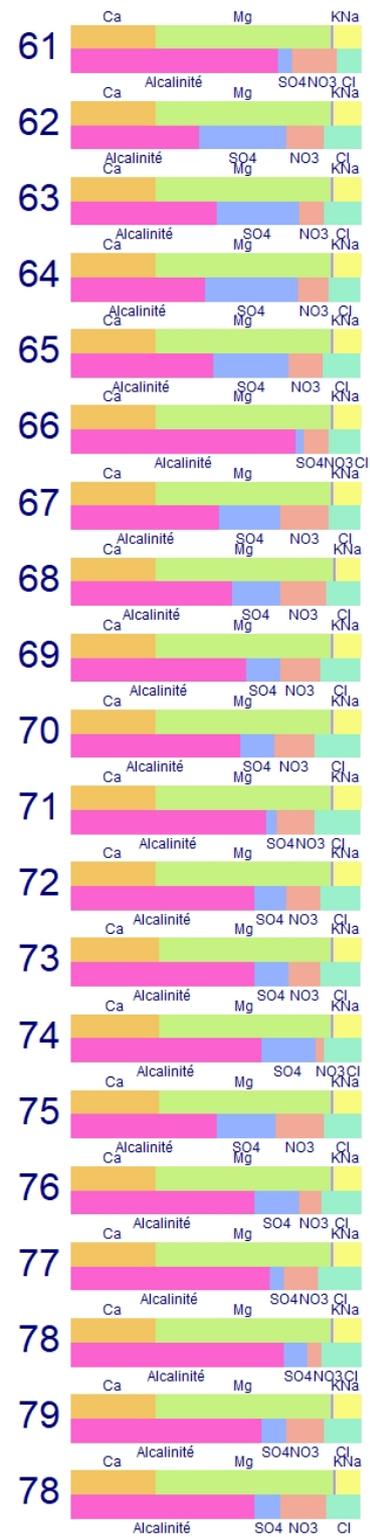
Lieu

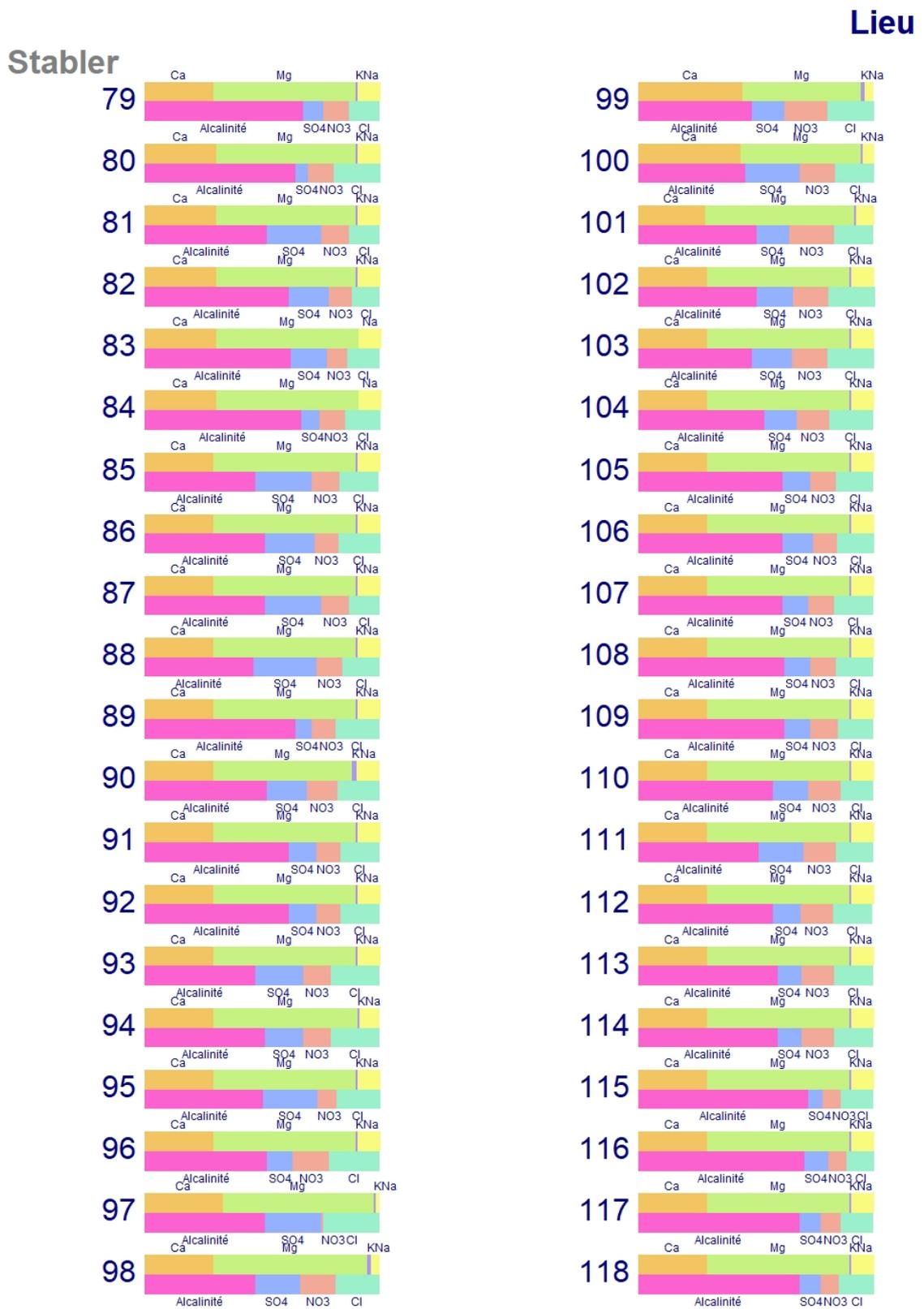


Stabler



Lieu





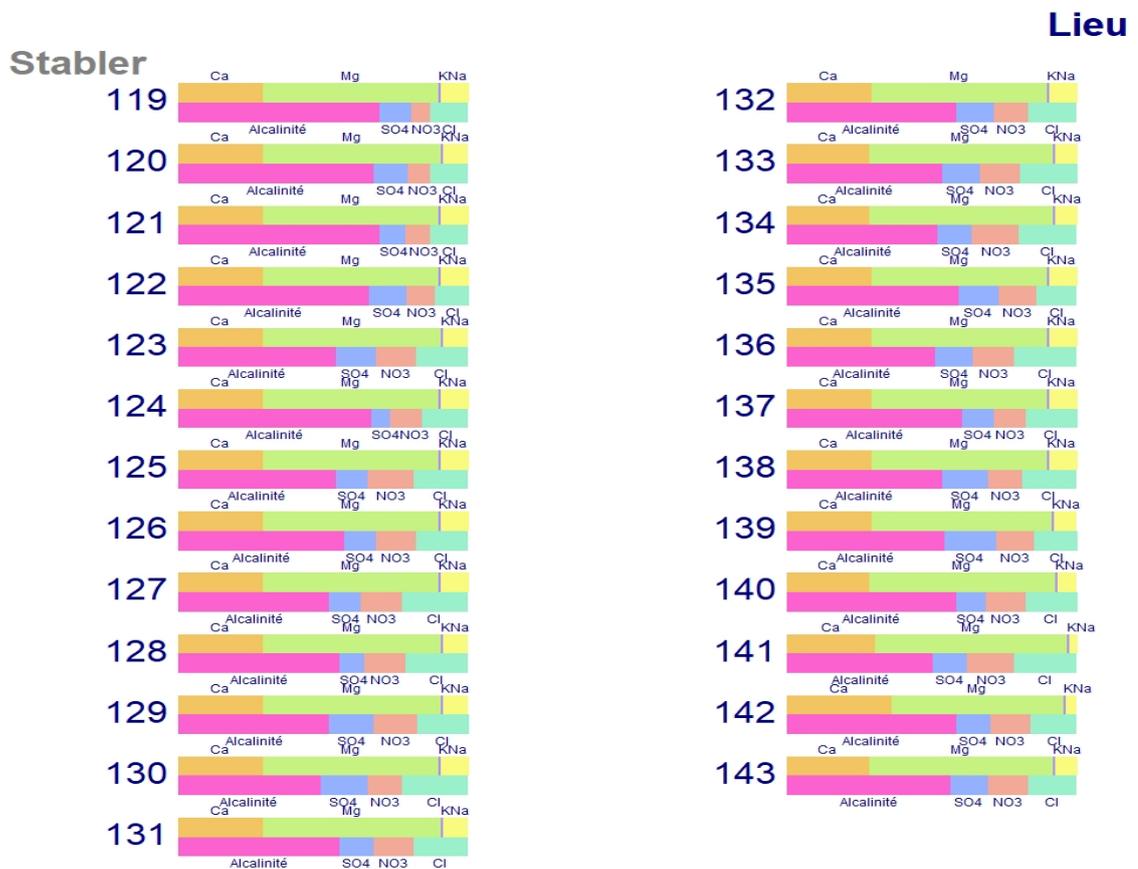


Fig. IV.13 : Diagrammes de stabler

**Potabilité de l'eau étudiée (classification selon les normes algériennes) :**

❖ **Classification selon les paramètres physico-chimiques :**

Le tableau IV.9 présente la classification des eaux de la source de Kobet El Djouz, selon leur potabilité : elles étaient non potables, car elles avaient des concentrations en nitrates qui dépassent la valeur maximale admissible (50 mg/l) déduite par le JORA, à l'exception des dates : 14/11/1999, 03/06/2000, 1/10/2000, 4/11/2000, 02/04/2000, 05/05/2001, 01/08/2001, 11/12/2005, 03/01/2007, 03/03/2007, 03/11/2008, 04/01/2009, 06/10/2010, 02/11/2010, 05/12/2010, 09/01/2011, 06/02/2011, 07/03/2011, 05/04/2001.

Tableau IV.3 : Classification des eaux de la source de Kobet El Djouz, selon leur potabilité, suivant les normes algériennes (N A 2014,2011).

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration Maximale admissible	Résultats des analyses physico-chimiques	
				Conformes aux normes	Non conformes aux normes
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	-	200	la source étudiée	/
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	-	150	la source étudiée	/
Na <sup>+</sup>	mg/l	-	200	la source étudiée	/
K <sup>+</sup>	mg/l	-	12	la source étudiée	/
Cl <sup>-</sup>	mg/l	-	500	la source étudiée	/
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	-	400	la source étudiée	/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	-	50	/	Supérieur à la norme à l'exception de quelques dates.
pH	-	6.5	9	la source étudiée	/
Dureté totale	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	-	500	la source étudiée	/
Résidu sec	mg/l	-	1500	la source étudiée	/
Conductivité	µS /cm	-	2000	la source étudiée	/

❖ Classification des eaux selon les analyses microbiologiques :

L'eau destinée à l'alimentation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables. Ce sont des bactéries, des virus, voire des champignons et des algues.

Nous n'avons pas pu avoir les résultats des analyses bactériologiques de la série étudiée pour les paramètres physico-chimiques. Nous avons utilisé les analyses microbiologiques effectuées par le laboratoire de l'A.D.E/Tlemcen (prélèvement en Mai 2021).

Tableau IV.4 : Analyse microbiologique de la source de Kobet El Djouz (A.D.E, Mai 2021).

Source	Coliformes totaux		Coliformes fécaux		Entérocoques		Germes totaux à 37 °C		Germes totaux à 22°C	
	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	C.M.A	Valeur (germe/ml)	Niveau guide	Valeur (germe/ml)	Niveau guide
Kobet El Djouz	00	00	00	00	132	00	242	<10	85	<100

C.M.A. : Concentration Maximale Admissible.

**Les Coliformes totaux :**

Les Coliformes totaux parmi lesquels *Escherichia coli*, représentent approximativement 10% des microorganismes intestinaux humains et animaux, sont considérés comme étant des organismes indicateurs de pollution (Sari H., 2014).

La réglementation de notre pays exclue impérativement la présence des coliformes totaux dans 100 ml. D'après les analyses microbiologiques, nous avons constaté l'absence des coliformes totaux, elles sont conformes aux normes.

**Coliformes fécaux :**

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo-tolérants ; sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44.5°C .l'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia Coli* (Wikipédia).D'après les résultats bactériologiques, nous constatons l'absence de ces germes dans l'eau.

**Entérocoques :**

Les Entérocoques sont des coques à métabolisme aéro-anaérobie, dites cocci à germe positif, présentant habituellement sous forme de chainettes, ce sont des pathogènes opportunistes causant des septicémies, infections urinaires, ou abdominales d'origine intestinale(Wikipédia).

Selon le tableau ci-dessus, la valeur 132 germes/ml dépasse la norme prescrite.

**Les Germes totaux :**

Le dénombrement des germes totaux est considéré comme un type d'indicateur beaucoup plus général, vis-à-vis de toute pollution microbiologique ; celui-ci détermine la totalité de la charge bactérienne. La stabilité des dénombrements bactériens est donc un bon signe de protection (Sari H., 2014).

D'après les résultats obtenus, les valeurs de Germes totaux 242 germes/ml à 37°C, la source n'est pas conforme à la norme prescrite par la réglementation algérienne (<10 germes/ml à 37°C).Tandis qu'à 22°C, le nombre de germes (85germes/ml) est inférieur à la norme (<100).

En conclusion, vue la qualité bactériologique mauvaise des eaux de la source de Kobet El Djouz, elles sont impropres à la consommation humaine. A confirmer par les analyses physico-chimiques, que malheureusement, nous n'avons pas pu les avoir.

**c. 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<sup>+</sup>).
- Indice de Kelly's Ratio (Kr).
- Diagramme de RIVERSIDE.
- Diagramme de WILCOX.

### 1. Le pourcentage en sodium :

L'usage agricole d'une eau demande un pourcentage en sodium inférieure à 60% (seuil maximal admissible) (Rodier J., 1996).

Le pourcentage en Na<sup>+</sup> est donné par la formule suivante :

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

*Tableau IV.5 : Classification des eaux, selon le pourcentage en Na<sup>+</sup>*

Classe	Eau très bonne	Eau bonne	Eau admissible	Eau médiocre	Eau mauvaise
Na <sup>+</sup> %	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80

- D'après les résultats obtenus (Tab 05, en annexes), le pourcentage en sodium est compris entre 5.85% et 18.26%
- Les eaux sont classées très bonnes pour l'irrigation (< 20).
- Les eaux étudiées de la source de Kobet El Djouz ont un taux de sodium inférieur à 60%, donc elles sont aptes à être utilisées en irrigation.

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

Cet indice est exprimé par la formule suivante :

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

Avec :

Kr < 1 : Eau bonne pour l'irrigation.

Kr > 1 : Eau mauvaise pour l'irrigation.

- Les valeurs calculées du Kr (Tab 06 en annexes) indiquent que l'eau de source est de bonne qualité pour l'irrigation (inférieur à 1).

### 3. Diagramme de Riverside :

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR : Sodium Adsorption Ratio) et la conductivité.

Le SAR est défini par la relation suivante :

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

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.

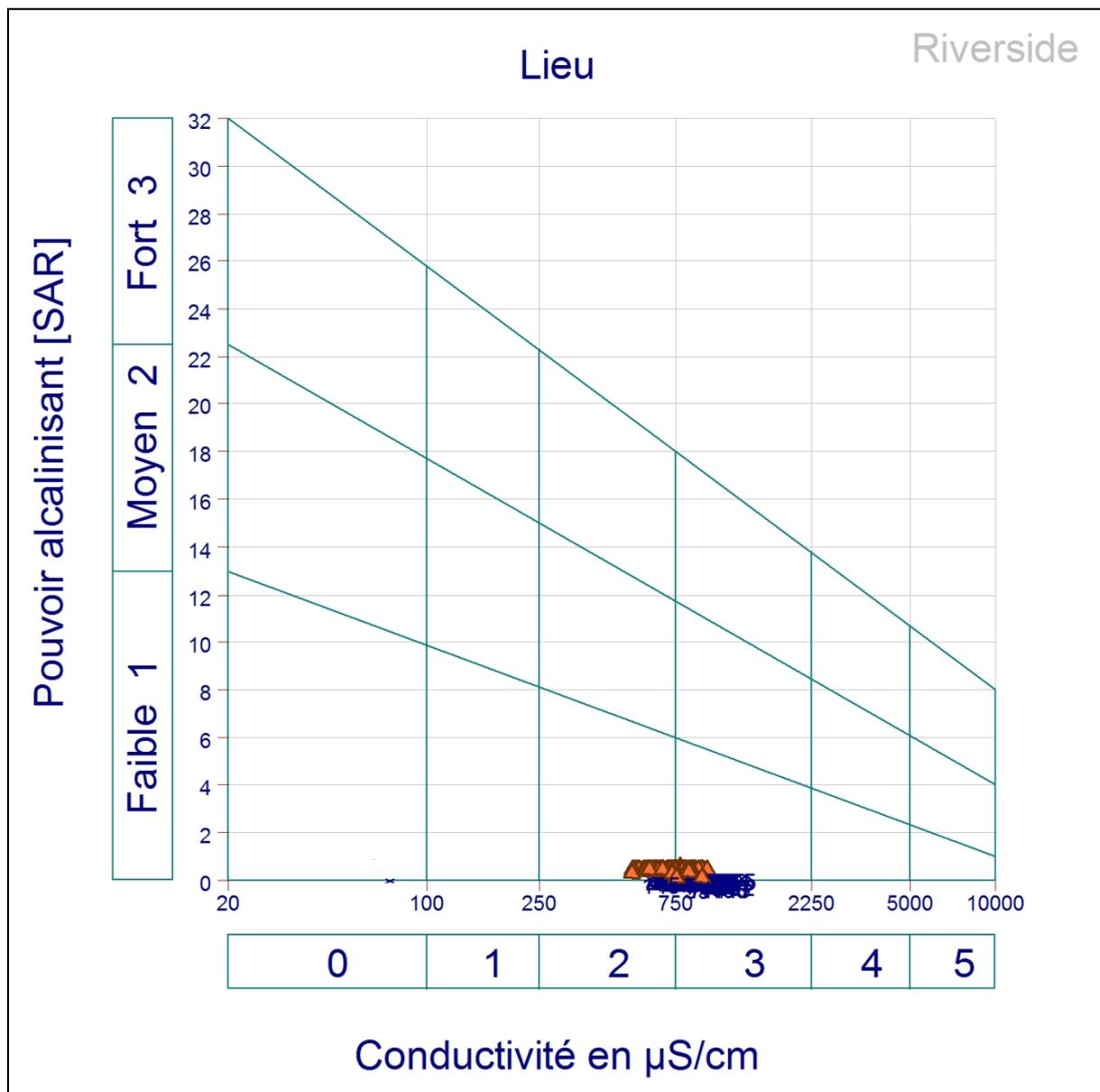


Fig. IV.14 : Diagramme de RIVERSIDE.

➤ D'après le diagramme de Riverside (Fig.V.15), les eaux de la source de Kobet El Djouz sont classées dans deux classes : C3-S1 (qualité admissible), C2-S1 (Bonne qualité pour l'irrigation).

#### 4. Diagramme de WILCOX :

WILCOX est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau, définissant 5 classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise).

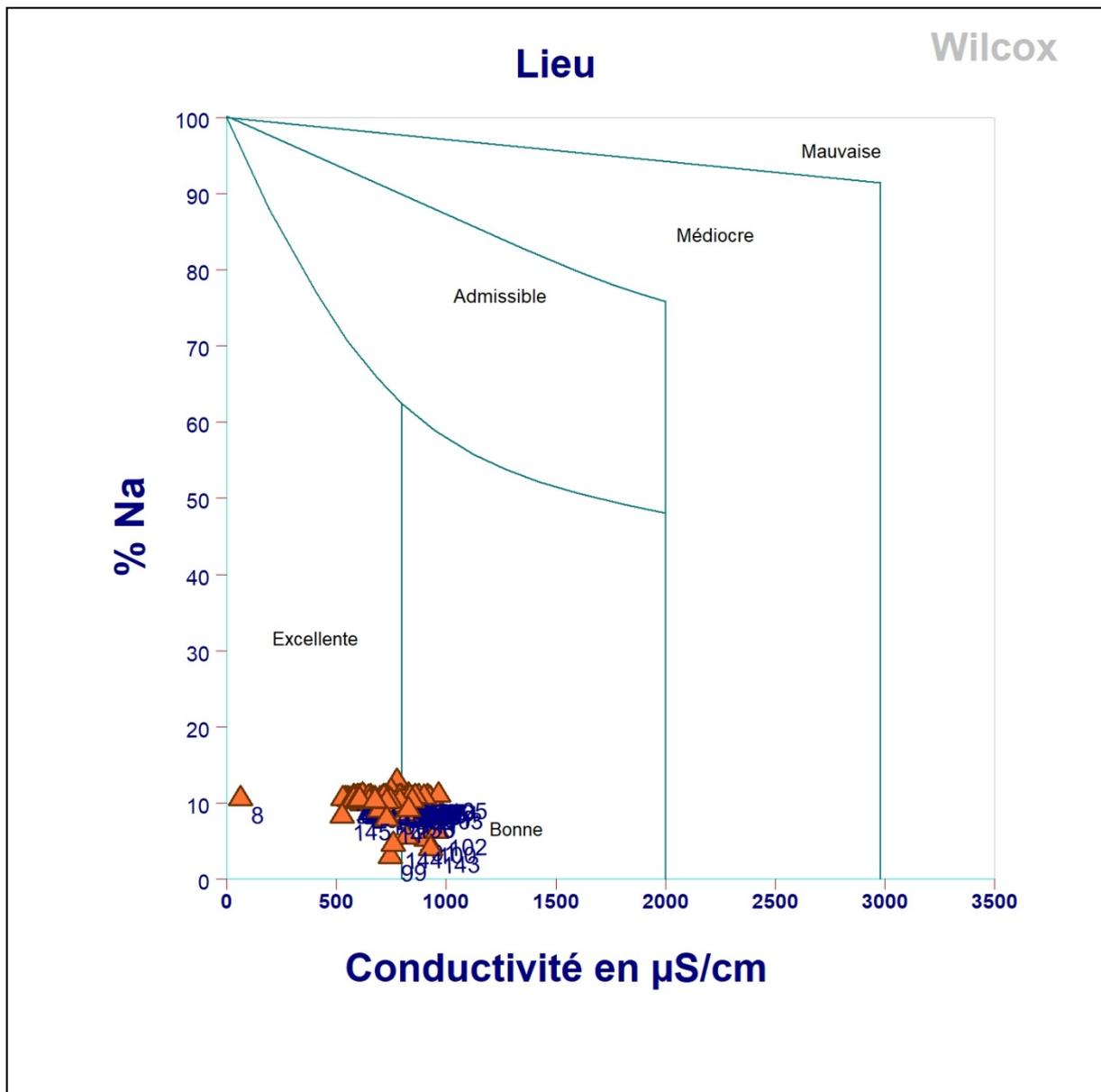


Fig. IV.15 : Diagramme de WILCOX.

- D'après le diagramme de WILCOX (Fig.V.16), les eaux de la source de Kobet El Djouz sont réparties en deux classes : Excellente et bonne.

#### IV.5 Origine de la minéralisation :

##### IV.5.1 Indice de saturation :

L'étude des équilibres chimiques des eaux de la source de Kobet El Djouz vis-à-vis des minéraux est fondée sur le calcul des activités ioniques. Pour cela, le programme PHREEQC-2 (VERSION 2.10) est utilisé pour déterminer les indices de saturation de quelques minéraux spécifiques (la calcite, l'aragonite, la dolomie, le gypse, l'anhydrite, l'halite et le quartz).

$$I.S = \log (Q/K) \quad (1)$$

Q : est le produit ionique de la solution.

K est le produit de solubilité de la calcite.

Les indices de saturation (IS) sont utilisés pour évaluer l'état de saturation de l'eau et contrôler la chimie et l'équilibre avec la phase solide. Si l'on admet que l'état d'équilibre se fait lorsque à IS=0, on peut dire que les trois minéraux carbonatés sont sursaturés, à l'exception de quelques périodes qui sont sous-saturées où l'indice de saturation est négatif, tandis que les Minéraux évaporitiques sont sous-saturés.

#### IV.6 Etude statistique :

##### IV.6.1 Matrice des corrélations et matrice des covariances :

La matrice Pearson, corrélation entre les paramètres physico-chimiques pour les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche. Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient de corrélation « r » est comprise entre + 0,5 et 1 (relation positive) et -0.5 et -1 (relation négative) . Dans notre cas, plusieurs liaisons sont significatives mais à des degrés variables (Tableau IV.11). La matrice de corrélation montre une forte corrélation positive (0.766 à 0.919) entre le les éléments chimiques ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) et ( $\text{Ca}^{2+}\text{Na}^+$ ), ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ). Tandis qu'une forte corrélation négative est marquée entre le débit et les éléments chimiques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et le  $\text{HCO}_3^-$ ).

Tableau IV.6 : Matrice de corrélation.

Variables	Q_LS	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>
Q_L/S	1								
Ca <sup>++</sup>	-0.705	1							
Mg <sup>++</sup>	-0.906	0.364	1						
Na <sup>+</sup>	-0.944	0.874	0.766	1					
K <sup>+</sup>	0.231	-0.261	-0.147	-0.251	1				
Cl <sup>-</sup>	0.068	-0.016	-0.054	-0.028	0.066	1			
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.050	0.041	0.030	0.039	0.006	0.096	1		
HCO <sub>3</sub>	-0.964	0.543	0.919	0.825	-0.206	-0.103	0.059	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0.110	-0.134	-0.070	-0.128	0.168	0.019	0.062	-0.090	1

##### IV.6.2 Coefficient de variation :

Le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne. Les calculs des coefficients de variation portés sur les paramètres physico- chimiques (Tableau IV.12) ont montré que les CV pour la plupart des éléments chimiques sont inférieurs à 50% (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) ,témoignant ainsi d'une certaine homogénéité, suite à une répartition assez régulière de la concentration de ces paramètres dans l'espace aquifère. Tandis que les débits sont très variables dans le temps (sup à 50%), suite à l'irrégularité des précipitations dans la région, témoignant ainsi que le potentiel hydrique de cet aquifère est lié directement à la précipitation de la région.

Tableau IV.7 : Paramètres statistiques des variables.

Variables	Moyenne	Ecart type	Coefficient de variation (%)
Q_L/S	3.943	5.559	140.985
Ca <sup>2+</sup>	53.098	6.309	11.8825
Mg <sup>2+</sup>	65.899	4.024	6.10601
Na <sup>+</sup>	19.901	3.179	15.9721
K <sup>+</sup>	2.4069	0.894	37.1276
Cl <sup>-</sup>	53.966	11.96	22.1531
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	63.324	27.98	44.1879
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	266.72	3.33	1.2486
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	63.766	14.99	23.5143

#### IV.6.3 Analyse en Composante Principale :

L'analyse en composantes principales (ACP), est un outil permettant de comparer simultanément tous les éléments en question entre eux et de quantifier les relations qui les lient. Bien que l'ACP soit une méthode exploratoire et descriptive, le but du traitement est d'identifier les principaux facteurs qui contrôlent la chimie des eaux souterraines. Cette méthode statistique multi-variée a été largement appliquée pour étudier les phénomènes environnementaux. Ces outils statistiques multi-variés ont été utilisés avec succès pour étudier les processus hydrogéochimiques (WHO, 1994). Ce travail vise à faire la caractérisation des variations hydro-chimiques des éléments présents dans les eaux de la région, en appliquant l'analyse multi-variée.

- Les résultats analytiques portés sur l'ensemble des analyses ont généré onze facteurs variables. Seuls les quatre premiers facteurs qui représentent 82.297% de la variance totale (Tableau IV .13) peuvent interpréter d'une manière satisfaisante la minéralisation des eaux. F1 représente 47.343% de la variance et il est déterminé positivement par le débit (TableauIV.14) et négativement avec Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, C'est un facteur qui représente le temps de contact de l'eau avec la roche (pouvoir de dissolution de la roche). Par contre, les facteurs F2, F3, F4 représentés respectivement par les 13.046 %,11.738 %,10.17 % de la variance et représentent les facteurs de pollution entropique.

TableauIV.8 : Pourcentage des facteurs cumulés

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	4.261	1.174	1.056	0.915
Variabilité (%)	47.343	13.046	11.738	10.170
% cumulé	47.343	60.390	72.127	<b>82.297</b>

. **Tableau IV.9** : Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4
Q_L/S	<b>0.992</b>	-0.077	0.067	0.037
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0.759</b>	-0.083	0.215	-0.007
Mg <sup>2+</sup>	<b>-0.870</b>	0.155	-0.197	-0.076
Na <sup>+</sup>	<b>-0.964</b>	0.024	0.053	-0.056
K <sup>+</sup>	0.314	<b>0.515</b>	-0.377	-0.362
Cl <sup>-</sup>	0.083	0.428	<b>0.640</b>	<b>-0.582</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.055	<b>0.542</b>	0.461	<b>0.638</b>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0.937</b>	0.102	-0.146	-0.007
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.163	<b>0.621</b>	-0.422	0.170

#### IV.7 Conclusion :

L'étude hydrogéochimique réalisée à partir des analyses physico-chimiques et bactériologique des eaux de la source étudiée Kobet El Djouz a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- La classification de la source selon les normes algériennes par rapport à la période étudiée est non potable, suite au taux élevé en nitrates à l'exception des dates :(14/11/1999, 03/06/2000,1/10/2000,4/11/2000,02/04/2000,05/05/2001,01/08/2001,11/12/2005,03/01/2007,03/03/2007,03/11/2008,04/01/2009,06/10/2010,02/11/2010,05/12/2010,09/01/2011,06/02/2011,07/03/2011,05/04/2001). L'analyse bactériologique (Mai 2021) a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C) et en Entérocoques.

Selon le diagramme de Stabler, le faciès 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**
  - **Bicarbonatée calcique et magnésienne.**
    - L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en Na<sup>+</sup>, et le Kr a fait révéler que :
- L'eau de source en calculant le % en Na<sup>+</sup> et le Kr est classée : eau de très bonne qualité (% Na<sup>+</sup>) et de bonne qualité (Kr inférieur à 1) pour l'irrigation.
  - Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source de Kobet El Djouz est classée dans deux classes : C2-S1, elle est de bonne qualité pour l'irrigation et C3-S1 elle est admissible.
  - Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne.

- Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les minéraux carbonatés sont généralement sursaturés à l'exception de quelques périodes qui sont soit sous-saturées ou même en équilibre. Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés.

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

# Conclusion Générale

Ce modeste travail a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de la source de Kobet El Djouz.

-L'étude climatologique faite sur une période allant de 1995 à 2020 a montré que le type du climat de la ville de Tlemcen est semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec.

- La moyenne annuelle des précipitations est de 517 mm.
- La température moyenne mensuelle est d'environ 17,8 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (26.2°C et 26.5°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.5°C).
- Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausson, nous a permis de définir une période humide entre la fin du mois de Septembre et le début du mois de Mai et une période sèche pour le reste des mois de l'année.
- Les calculs du bilan ont fait ressortir les résultats suivants :
  - L'évapotranspiration potentielle a été évaluée à environ 889.9mm.
  - L'évapotranspiration réelle annuelle est de 454.4 mm.
  - L'écoulement de surface annuel est de 62mm.
  - L'infiltration annuelle est de 60 mm.

-L'étude géologique a révélé que les Monts de Tlemcen sont constitués essentiellement de terrains mésozoïques, formant une ossature par des formations mio-plio-quaternaires. L'analyse structurale de la région montre qu'elle présente une tectonique cassante, avec des déformations qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux.

-La synthèse hydrogéologique a montré que les formations carbonatées du Jurassique supérieur lorsqu'ils sont fissurés présentent un intérêt hydrogéologique dans la région d'étude.

-L'étude hydrogéochimique réalisée à partir des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la source étudiée Kobet El Djouz a permis d'aboutir aux résultats suivants :

La classification de la source selon les normes algériennes par rapport à la période étudiée est non potable, suite au taux élevé en nitrates, à l'exception de quelques périodes. L'analyse bactériologique (Mai 2021) a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C) et en Entérocoques.

La représentation des eaux sur des diagrammes a donné les résultats suivants :

- Le diagramme de Stabler : faciès bicarbonaté magnésien.
- Le diagramme de Piper : les eaux de la région d'étude sont classées selon deux familles:
  - *Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.*
  - *Bicarbonatée calcique et magnésienne.*

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en  $\text{Na}^+$ , et le Kr a fait révéler que :

- L'eau de source en calculant le % en  $\text{Na}^+$  et le Kr est classée : eau de très bonne qualité (%  $\text{Na}^+$ ) et de bonne qualité (Kr inférieur à 1) pour l'irrigation.
- Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source de Kobet El Djouz est classée dans deux classes : C2-S1, elle est de bonne qualité pour l'irrigation et C3-S1 elle est admissible.
- Selon WILCOX, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne.
- Le report des éléments chimiques sur le diagramme de PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les minéraux carbonatés sont généralement sur-saturés à l'exception de quelques périodes qui sont soit sous-saturées ou même en équilibre. Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés.
- L'étude statistique nous a permis de comprendre l'origine de la minéralisation qui est due à la nature carbonatée de l'aquifère et probablement aux facteurs anthropiques et au débit de la source.

# Références bibliographiques.

**-ABLAOUL.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. Ann. Ser. N°34.

**-BENEST.M (1978).**- Modalités de l'apparition de la sédimentation carbonatée de plateforme interne sur la frange méridionale du domaine Tlemcenien pendant l'Aalénien et le Bajocien : Les dolomies du Tenouchfi (Algérie Nord-Occidentale). Livre jubilaire Jacques.F Docum. Lab.Géol.Fac.Sci.Lyon, H-S.4, p.29-69.

**-BENEST.M (1981).**-la marge gondwanienne de l'ouest Algérien au Jurassique supérieur et à l'Eocrétacé : les grands traits de l'évolution tectono-aédimentaire mégarythmique. Bull. So.Géol. France.t. XXIII, n°6.

**-BENEST.M (1982).**- Importance des décrochements senestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daia (Algérie occidentale). Revue Géologie Dynamique et Géographie Physique, 23 (5). 345-362.

**-BENEST .M (1985).**- Evolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse Sc. Lyon, Laboratoire Géologique, 95: 581 p.

**-BENSAOULA .F(2006).**- Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques. Mise au point d'outils pour leur protection (Application aux Monts de Tlemcen – Ouest Oranais). Thèse Doctorat, Univ. Tlemcen.203p.

**-BOUANANI A. (2004).** : Hydrologie, transport solide et modélisation : Etude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie). Thèse Doct. Univ. Tlemcen.250p

**-DOUMERGUE F. (1924).**- carte géologique consultée de Tlemcen 1/50000.

**-ELMI .S (1970).**- Rôle des accidents décrochant de direction SSW/NNW dans la structure des Monts de Tlemcen (Ouest algérien).Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Algérie, fasc. 3-4, pp. 3-8.

**-GUARDIA.P (1975).**- Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Relation structurales et paléogéographiques.

**-HAYANE S.M (1983).**- Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). *Thèse. Doc. 3eme cycle, Univ.Oran, 236 p, 91f.*

**-KEDDAH .K et MEDJAHDI .N (2018).**- Contribution à l'étude physico-chimique de quelques sources dans le groupement urbain de Tlemcen, Mémoire. Master. P37, p40.p49

**-LUCAS G. (1942).**-Description Géologique et pétrographique des Monts de Ghar Rouban et de Sidi El Abed Monographie.539p.

**-MAKHOUKH .M (2011).**- Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc. Mém. Master.

**-MENS et DEROUANE (2000).**- État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie. Mém. Master

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

**-RODIER .J (2005).**- l'Analyse de l'eau. 5ème édition *.Dunod, Paris 1383p.*

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

**-WHO (World Health Organization)(1994).**- Directive de qualité de l'eau de boisson critères d'hygiène, 2e édition, vol, Genève.

**Site internet :**

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya\\_de\\_Tlemcen](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Tlemcen)

# **Annexes**

**Tableau N° 01 : Précipitations enregistrées dans la station de Tlemcen (1995-2020).**

	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août
1995-1996	15.6	43.4	20.7	82.5	123.4	106.1	119.9	52.1	54.9	21.0	10.8	9.8
1996-1997	36.2	26.9	0.2	39.2	119.6	0.1	15.4	104.0	16.3	2.8	18.0	31.0
1997-1998	54.4	29.4	73.3	100.5	39.2	52.2	62.2	34.5	79.4	0.8	0.0	2.3
1998-1999	14.1	6.9	46.4	16.9	164.0	94.4	120.8	0.0	0.4	7.4	0.5	2.7
1999-2000	40.4	34.1	93.7	105.2	0.0	0.0	2.4	26.6	36.4	0.0	0.0	0.0
2000-2001	21.6	108.9	68.0	47.9	84.2	80.2	7.9	10.0	28.6	7.8	0.0	0.0
2001-2002	43.7	51.4	158.2	35.1	2.3	14.8	40.0	120.6	78.0	0.7	0.0	32.8
2002-2003	0.0	45.2	105.2	30.8	172.3	103.4	19.6	49.5	14.1	5.8	0.0	0.4
2003-2004	14.2	72.3	63.8	139.4	50.3	25.5	115.0	49.2	90.7	14.9	3.3	3.7
2004-2005	1.8	32.2	44.5	88.7	26.6	71.4	72.1	27.4	5.2	5.1	0.0	1.0
2005-2006	20.5	31.7	56.4	49.0	79.3	95.7	32.0	39.3	74.5	1.9	5.5	0.0
2006-2007	36.6	15.7	7.9	71.7	29.8	46.3	52.8	127.0	15.2	0.0	0.0	0.8
2007-2008	21.5	93.7	66.6	14.0	34.7	22.1	20.1	24.0	71.1	7.2	1.3	0.0
2008-2009	58.7	97.6	106.9	202.3	175.7	50.2	39.5	54.5	21.7	5.5	4.5	0.2
2009-2010	95.3	2.0	59.0	60.9	64.5	82.0	118.7	50.9	40.1	20.6	0.8	11.1
2010-2011	24.3	98.7	61.5	45.4	47.6	53.0	28.0	93.4	102.6	20.2	0.0	10.0
2011-2012	6.5	123.7	122.1	35.3	21.6	72.1	33.1	47.0	14.7	2.3	5.4	8.2
2012-2013	21.6	50.7	309.2	18.6	160.8	113.5	100.8	45.6	74.9	0.0	2.2	4.5
2013-2014	43.6	0.0	61.3	198.5	129.4	84.6	64.9	19.2	26.8	30.1	0.2	0.0
2014-2015	28.7	13.5	71.8	145.2	80.3	98.9	33.5	11.3	63.0	2.4	0.8	16.2
2015-2016	21.0	48.7	31.5	0.0	52.8	151.9	80.3	137.5	30.6	4.5	1.5	1.1
2016-2017	29.5	48.9	77.5	71.6	79.0	67.5	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5
2017-2018	1.0	15.0	7.6	34.8	38.6	31.2	80.8	77.0	15.3	8.6	0.0	0.5
2018-2019	15.24	79.24	35.81	2.03	63.23	10.92	6.35	34.55	26.23	0.25	8.12	1.02
2019-2020	8.39	55.87	59.69	24.63	17.53	0	8.88	108.72	28.19	0	0.25	2.03

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

*Tableau N° 02: Températures moyennes enregistrées dans la station de Tlemcen (1995-2020).*

	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août
<b>95-96</b>	20.8	19.5	16.5	13.2	12.3	9.5	12.5	14.7	17.2	23	25	24.6
<b>96-97</b>	20.7	17.2	14.3	12.6	11.5	12.9	14	16.1	17.9	21.6	23.3	24.8
<b>97-98</b>	21.1	16.9	13.5	11.5	11.9	13.7	13.9	15.3	20.9	25.2	26.6	26.9
<b>98-99</b>	21.2	15.6	12.4	10.2	9.7	11.1	15.3	18.5	21.6	25	25.9	26.5
<b>99-00</b>	21.7	20.5	12.5	10	9.1	13.4	13.7	14.5	18.9	24.3	26.3	27.1
<b>2000-2001</b>	22.9	17.1	13.7	13.4	11.5	11.5	16	15.7	17.9	25	26.5	27.1
<b>2001-2002</b>	22.9	21.8	12.6	11.1	10.9	12.7	14	14.4	17.9	23.9	25.5	24.4
<b>2002-2003</b>	22.3	19.3	14.3	12.5	8.8	9.7	13.9	15.2	16.2	24.9	28.2	27.7
<b>2003-2004</b>	23.8	19.8	14.9	11.4	11.9	12.5	12.9	14.6	15.6	24	27.5	27.9
<b>2004-2005</b>	24.9	21.5	13.2	10.8	8.4	8.2	12.3	14.3	20.4	24.3	26.7	27.1
<b>2005-2006</b>	22.2	19.9	13.7	10.4	9.5	9.9	13.9	17.7	20.1	23	28.1	26.6
<b>2006-2007</b>	23.4	21.6	17.1	10.9	11.6	12.3	12.3	13.1	18.5	21.5	25.7	26.9
<b>2007-2008</b>	23	18.4	13.8	10.2	10.3	11.3	11.7	16.7	16.3	21.9	26.7	27
<b>2008-2009</b>	22.8	18.2	11.2	8.6	8.3	9.5	12.4	14	19.9	24.3	28.4	26.5
<b>2009-2010</b>	21.5	20.1	17.5	13.3	11.1	12.8	13.1	15.4	17	20.9	27.8	27.7
<b>2010-2011</b>	24.1	18.5	13.5	8.4	10.5	9.5	11.8	16.4	18.6	22.5	26.5	26
<b>2011-2012</b>	24.3	20.7	15.1	10.6	9.6	7.9	12	13.7	20.4	25.1	26.7	29.3
<b>2012-2013</b>	24.1	19.6	14.8	11.7	10.9	9.6	13.5	14.3	16.6	20.6	24.8	26.2
<b>2013-2014</b>	23.1	21	12.8	10.5	11.4	11.3	12.2	17.1	19.4	20.7	24.7	26
<b>2014-2015</b>	22.6	21.4	15.8	10.6	12.3	12.1	12.9	16.8	19.6	20.8	22	22.7
<b>2015-2016</b>	22.9	20.1	14.4	11.9	13	13.1	12.6	15.9	19	23.7	26.2	26.4
<b>2016-2017</b>	24.1	20.8	15.1	12.1	9	13.1	14.2	16.3	20.2	24.8	26.7	26.9
<b>2017-2018</b>	23.4	20	13.9	10.8	11	10.1	14	14.9	17.4	21.9	25.6	27.1
<b>2018-2019</b>	24.1	18.7	14.1	11.69	9.9	10.6	13.4	15.5	20.1	22	25.9	26.7
<b>2019-2020</b>	23.6	19.4	14.5	12.8	9.2	12.6	15.4	17.5	22.8	23.4	27	27.5

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

**Tableau N° 03 : Paramètres physico-chimiques de la source de Kobet El Djouz.**

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Q	0.100	32.500	3.943	5.559
Ca <sup>2+</sup>	27.725	89.000	53.098	6.309
Mg <sup>2+</sup>	47.000	68.546	65.899	4.024
Na <sup>+</sup>	3.800	28.000	19.901	3.179
K <sup>+</sup>	0.000	6.000	2.407	0.894
Cl <sup>-</sup>	28.000	94.000	53.966	11.955
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5.000	168.000	63.324	27.982
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	250.800	268.944	266.718	3.330
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.000	105.000	63.766	14.994
pH	7.100	8.600	7.735	0.330
Conductivité	65.000	965.000	738.097	118.062
Résidu sec	300.000	900.000	613.172	117.584

Source : ADE.

**Tableau N° 04 : Dureté totale d'eau de la source étudiée.**

Dates	TH (°F)	Dureté totale (TH) mg/l en CaCO <sub>3</sub>	Classification
13.03.99	38.8	388	Eau très dure
05/04/19	39.2	392	Eau très dure
11/05/99	40.5	405	Eau très dure
01/06/99	41.0	410	Eau très dure
07/07/99	41.2	412	Eau très dure
28/08/99	41.8	418	Eau très dure
08/09/99	41.8	418	Eau très dure
09/10/99	41.8	418	Eau très dure
14/11/99	41.8	418	Eau très dure
01/12/99	41.5	415	Eau très dure
22/12/99	41.6	416	Eau très dure
02/01/00	43.3	433	Eau très dure
02/02/00	40.0	400	Eau très dure
01/03/00	41.6	416	Eau très dure
01/04/00	41.3	413	Eau très dure

<b>Dates</b>	<b>TH (°F)</b>	<b>Dureté totale (TH) mg/l en CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Classification</b>
03/05/00	41.7	417	Eau très dure
03/06/00	41.8	418	Eau très dure
01/07/00	41.9	419	Eau très dure
01/08/00	42.0	420	Eau très dure
05/09/00	42.1	421	Eau très dure
01/10/00	42.1	421	Eau très dure
04/11/00	41.7	417	Eau très dure
04/11/00	43.4	434	Eau très dure
02/12/00	41.4	414	Eau très dure
02/01/01	41.4	414	Eau très dure
04/02/01	40.1	401	Eau très dure
04/03/01	39.5	395	Eau très dure
02/04/01	41.0	410	Eau très dure
05/05/01	41.8	418	Eau très dure
17/06/01	41.9	419	Eau très dure
02/07/01	42.1	421	Eau très dure
01/08/01	42.1	421	Eau très dure
02/09/01	42.1	421	Eau très dure
01/10/01	42.1	421	Eau très dure
03/11/01	41.9	419	Eau très dure
02/12/01	41.2	412	Eau très dure
07/01/02	40.6	406	Eau très dure
11/02/02	40.8	408	Eau très dure
02/03/02	41.3	413	Eau très dure
23/04/02	40.0	400	Eau très dure
08/05/02	40.0	400	Eau très dure
08/06/02	41.0	410	Eau très dure
02/07/02	41.6	416	Eau très dure
01/10/03	41.9	419	Eau très dure

<b>Dates</b>	<b>TH (°F)</b>	<b>Dureté totale (TH) mg/l en CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Classification</b>
02/11/03	41.7	417	Eau très dure
01/12/03	41.3	413	Eau très dure
03/01/04	41.1	411	Eau très dure
03/02/04	40.3	403	Eau très dure
01/03/04	40.6	406	Eau très dure
06/04/04	40.8	408	Eau très dure
03/05/04	41.4	414	Eau très dure
01/06/04	41.0	410	Eau très dure
11/07/04	41.7	417	Eau très dure
08/09/04	42.0	420	Eau très dure
02/10/04	42.0	420	Eau très dure
14/12/04	41.4	414	Eau très dure
09/01/05	41.0	410	Eau très dure
12/02/05	40.8	408	Eau très dure
01/03/05	40.6	406	Eau très dure
12/04/05	40.3	403	Eau très dure
09/05/05	40.8	408	Eau très dure
13/06/05	42.0	420	Eau très dure
10/09/05	41.9	419	Eau très dure
08/10/05	42.0	420	Eau très dure
13/11/05	41.3	413	Eau très dure
11/12/05	41.4	414	Eau très dure
12/12/06	41.3	413	Eau très dure
04/03/06	39.8	398	Eau très dure
02/04/06	40.8	408	Eau très dure
02/05/06	41.0	410	Eau très dure
05/06/06	41.4	414	Eau très dure
02/07/06	41.4	414	Eau très dure
17/09/06	42.0	420	Eau très dure

<b>Dates</b>	<b>TH (°F)</b>	<b>Dureté totale (TH) mg/l en CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Classification</b>
08/10/06	42.0	420	Eau très dure
04/11/06	42.0	420	Eau très dure
03/01/07	41.0	410	Eau très dure
06/02/07	41.2	412	Eau très dure
03/03/07	40.6	406	Eau très dure
07/04/07	41.4	414	Eau très dure
02/05/07	39.6	396	Eau très dure
02/06/07	41.3	413	Eau très dure
07/07/07	42.0	420	Eau très dure
01/09/07	42.1	421	Eau très dure
15/10/07	41.9	419	Eau très dure
04/11/07	41.6	416	Eau très dure
03/12/07	41.2	412	Eau très dure
02/01/08	41.1	411	Eau très dure
02/02/08	41.3	413	Eau très dure
01/03/08	40.8	408	Eau très dure
01/04/08	41.3	413	Eau très dure
12/05/08	41.5	415	Eau très dure
16/06/08	41.9	419	Eau très dure
02/07/08	42.2	422	Eau très dure
18/08/08	42.1	421	Eau très dure
15/09/08	42.1	421	Eau très dure
06/10/08	38.9	389	Eau très dure
03/11/08	41.8	418	Eau très dure
06/12/08	40.5	405	Eau très dure
04/01/09	42.3	423	Eau très dure
04/02/09	43.0	430	Eau très dure
03/03/09	40.2	402	Eau très dure
04/04/09	43.2	432	Eau très dure

<b>Dates</b>	<b>TH (°F)</b>	<b>Dureté totale (TH) mg/l en CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Classification</b>
02/06/09	36.9	369	Eau très dure
01/07/09	40.8	408	Eau très dure
06/09/09	41.7	417	Eau très dure
05/10/09	40.6	406	Eau très dure
04/11/09	41.2	412	Eau très dure
14/01/10	41.3	413	Eau très dure
01/03/10	41.7	417	Eau très dure
04/04/10	41.2	412	Eau très dure
04/05/10	41.3	413	Eau très dure
07/06/10	40.9	409	Eau très dure
01/07/10	41.5	415	Eau très dure
05/08/10	40.9	409	Eau très dure
12/09/10	41.8	418	Eau très dure
06/10/10	41.8	418	Eau très dure
02/11/10	41.3	413	Eau très dure
05/12/10	40.3	403	Eau très dure
09/01/11	40.3	403	Eau très dure
06/02/11	40.3	403	Eau très dure
07/03/11	40.3	396	Eau très dure
05/04/11	40.3	403	Eau très dure
08/05/11	40.8	408	Eau très dure
05/06/11	38.9	389	Eau très dure
06/07/11	41.5	415	Eau très dure
08/09/11	40.8	408	Eau très dure
05/10/11	40.8	408	Eau très dure
03/11/11	40.3	403	Eau très dure
04/12/11	38.9	389	Eau très dure
02/01/12	38.9	389	Eau très dure
01/02/12	40.3	403	Eau très dure

<b>Dates</b>	<b>TH (°F)</b>	<b>Dureté totale (TH) mg/l en CaCO<sub>3</sub></b>	<b>Classification</b>
01/03/12	38.9	408	Eau très dure
01/04/12	40.8	408	Eau très dure
06/05/12	36.5	365	Eau très dure
03/06/12	35.5	355	Eau très dure
01/07/12	40.7	407	Eau très dure
02/09/12	40.3	403	Eau très dure
02/10/12	40.8	408	Eau très dure
04/11/12	40.7	407	Eau très dure
02/12/12	36.9	369	Eau très dure
18/03/13	33.6	336	Eau très dure
18/03/13	42.5	425	Eau très dure
05/05/13	33.8	338	Eau très dure
02/06/13	34.5	345	Eau très dure

**Tableau. N°05 : Pourcentages en Sodium de la source étudiée**

<b>Dates</b>	<b>Na<sup>+</sup> %</b>
13.03.99	14.93
05/04/99	15.08
11/05/99	15.57
01/06/99	15.76
07/07/99	15.82
28/08/99	16
08/09/99	16
09/10/99	16.01
14/11/99	16.01
01/12/99	15.9
22/12/99	15
02/01/00	17.75

<b>Dates</b>	<b>Na<sup>+</sup> %</b>
02/02/00	15.4
01/03/00	15.94
01/04/00	15.85
03/05/00	15.98
03/06/00	16
01/07/00	16.04
01/08/00	16.09
05/09/00	16.09
01/10/00	16.11
04/11/00	15.96
04/11/00	12.84
02/12/00	15.28
02/01/01	15.87
04/02/01	14.81
04/03/01	14.58
02/04/01	15.74
05/05/01	16
17/06/01	16.04
02/07/01	16.11
01/08/01	16.11
02/09/01	16.67
01/10/01	16.11
03/11/01	16.04
02/12/01	15.8
07/01/02	15.61
11/02/02	15.67
02/03/02	15.84
23/04/02	15.41
08/05/02	15.39
08/06/02	15.76

<b>Dates</b>	<b>Na<sup>+</sup> %</b>
02/07/02	15.95
01/10/03	16.05
02/11/03	15.96
01/12/03	15.84
03/01/04	15.79
03/02/04	15.51
01/03/04	16.18
06/04/04	15.69
03/05/04	15.87
01/06/04	15.76
11/07/04	15.96
08/09/04	16.07
02/10/04	16.63
14/12/04	15.89
09/01/05	16.32
12/02/05	15.67
01/03/05	16.77
12/04/05	15.51
09/05/05	15.67
13/06/05	16.63
10/09/05	16.62
08/10/05	16.63
13/11/05	15.84
11/12/05	15.87
12/12/06	15.84
04/03/06	15.33
02/04/06	15.67
02/05/06	15.76
05/06/06	15.89
02/07/06	15.89

<b>Dates</b>	<b>Na<sup>+</sup> %</b>
17/09/06	16.09
08/10/06	16.09
04/11/06	16.07
03/01/07	15.76
06/02/07	15.8
03/03/07	15.62
07/04/07	17.03
02/05/07	15.26
02/06/07	15.84
07/07/07	16.07
01/09/07	16.12
15/10/07	16.06
04/11/07	14.78
03/12/07	14.62
02/01/08	16.37
02/02/08	15.84
01/03/08	15.67
01/04/08	15.84
12/05/08	15.92
16/06/08	18.26
02/07/08	16.7
18/08/08	16.67
15/09/08	16.67
06/10/08	15.6
03/11/08	16.58
06/12/08	16.75
04/01/09	5.85
04/02/09	9.684
03/03/09	9.295
04/04/09	9.628

<b>Dates</b>	<b>Na<sup>+</sup> %</b>
02/06/09	15.52
01/07/09	16.26
06/09/09	17.1
05/10/09	16.79
04/11/09	16.97
02/12/09	16.99
14/01/10	16.54
01/03/10	16.39
04/04/10	16.42
04/05/10	16.89
07/06/10	16.49
01/07/10	15.71
05/08/10	16.56
12/09/10	17.13
06/10/10	16.99
02/11/10	16.69
05/12/10	16.1
09/01/11	16.1
06/02/11	16.1
07/03/11	15.86
05/04/11	15.51
08/05/11	16.26
05/06/11	14.97
06/07/11	15.92
08/09/11	15.67
05/10/11	15.67
03/11/11	16.69
04/12/11	16.22
02/01/12	15.6
01/02/12	15.51

<b>Dates</b>	<b>Na<sup>+</sup> %</b>
01/03/12	14.97
01/04/12	15.67
06/05/12	13.96
03/06/12	13.51
01/07/12	15.66
02/09/12	15.51
02/10/12	15.69
04/11/12	15.66
02/12/12	14.18
18/03/13	12.5
18/03/13	6.691
05/05/13	7.519
02/06/13	13.02

**Tableau. N°06 : Valeur du Kr.**

<b>Dates</b>	<b>Kr</b>
13.03.99	0.16
05/04/19	0.16
11/05/99	0.17
01/06/99	0.17
07/07/99	0.17
28/08/99	0.17
08/09/99	0.17
09/10/99	0.17
14/11/99	0.17
01/12/99	0.17
22/12/99	0.17
02/01/00	0.2
02/02/00	0.17
01/03/00	0.17
01/04/00	0.17
03/05/00	0.17
03/06/00	0.17
01/07/00	0.17
01/08/00	0.18
05/09/00	0.18
01/10/00	0.18
04/11/00	0.17
04/11/00	0.13
02/12/00	0.17

<b>Dates</b>	<b>Kr</b>
02/01/01	0.17
04/02/01	0.17
04/03/01	0.16
02/04/01	0.17
05/05/01	0.17
17/06/01	0.17
02/07/01	0.18
01/08/01	0.18
02/09/01	0.18
01/10/01	0.18
03/11/01	0.17
02/12/01	0.17
07/01/02	0.17
11/02/02	0.17
02/03/02	0.17
23/04/02	0.17
08/05/02	0.16
08/06/02	0.17
02/07/02	0.17
01/10/03	0.18
02/11/03	0.17
01/12/03	0.17
03/01/04	0.17
03/02/04	0.17
01/03/04	0.17
06/04/04	0.17
03/05/04	0.17
01/06/04	0.17
11/07/04	0.17
08/09/04	0.18
02/10/04	0.18
14/12/04	0.17
09/01/05	0.17
12/02/05	0.17
01/03/05	0.17
12/04/05	0.17
09/05/05	0.17
13/06/05	0.18
10/09/05	0.18
08/10/05	0.18
13/11/05	0.17
11/12/05	0.17
12/12/06	0.17
04/03/06	0.16
02/04/06	0.17
02/05/06	0.17
05/06/06	0.17
02/07/06	0.17
17/09/06	0.18
08/10/06	0.18
04/11/06	0.18
03/01/07	0.17
06/02/07	0.17

<b>Dates</b>	<b>Kr</b>
03/03/07	0.17
07/04/07	0.17
02/05/07	0.16
02/06/07	0.17
07/07/07	0.18
01/09/07	0.18
15/10/07	0.18
04/11/07	0.17
03/12/07	0.17
02/01/08	0.17
02/02/08	0.17
01/03/08	0.17
01/04/08	0.17
12/05/08	0.17
16/06/08	0.17
02/07/08	0.18
18/08/08	0.18
15/09/08	0.18
06/10/08	0.16
03/11/08	0.17
06/12/08	0.17
04/01/09	0.03
04/02/09	0.06
03/03/09	0.06
04/04/09	0.08
02/06/09	0.15
01/07/09	0.17
06/09/09	0.17
05/10/09	0.17
04/11/09	0.17
02/12/09	0.17
14/01/10	0.17
01/03/10	0.17
04/04/10	0.17
04/05/10	0.17
07/06/10	0.17
01/07/10	0.17
05/08/10	0.17
12/09/10	0.17
06/10/10	0.17
02/11/10	0.17
05/12/10	0.17
09/01/11	0.17
06/02/11	0.17
07/03/11	0.16
05/04/11	0.17
08/05/11	0.17
05/06/11	0.16
06/07/11	0.17
08/09/11	0.17
05/10/11	0.17
03/11/11	0.17
04/12/11	0.16

Dates	Kr
02/01/12	0.16
01/02/12	0.17
01/03/12	0.16
01/04/12	0.17
06/05/12	0.14
03/06/12	0.14
01/07/12	0.17
02/09/12	0.17
02/10/12	0.17
04/11/12	0.17
02/12/12	0.15
18/03/13	0.12
18/03/13	0.06
05/05/13	0.06
02/06/13	0.13

*Tableau N°07 : Indice de saturation d'après PHREEQ C.*

Les dates	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques	
	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypse	Anhydrite
13.03.99	0.35	0.49	0.89	-2.07	-2.29
05/04/99	0.52	0.67	1.24	-1.82	-2.04
11/05/99	0.47	0.61	1.12	-2.15	-2.37
01/06/99	0.47	0.61	1.12	-1.97	-2.19
07/07/99	0.79	0.94	1.78	-2.2	-2.42
28/08/99	0.71	0.86	1.61	-2.29	-2.51
08/09/99	0.85	0.99	1.88	-1.97	-2.19
09/10/99	0.75	0.89	1.68	-1.78	-2
14/11/99	0.61	0.76	1.41	-2.06	-2.28
01/12/99	0.61	0.75	1.4	-2.07	-2.29
22/12/99	0.81	0.95	1.43	-1.71	-1.93
02/01/00	0.88	1.02	1.64	-1.96	-2.18
02/02/00	0.37	0.51	0.92	-2.15	-2.37
01/03/00	0.42	0.57	1.03	-2.29	-2.51
01/04/00	0.51	0.65	1.2	-2.07	-2.29
03/05/00	0.23	0.38	0.64	-2.29	-2.51
03/06/00	0.29	0.43	0.76	-1.96	-2.18
01/07/00	0.33	0.47	0.84	-2.14	-2.36
01/08/00	0.67	0.81	1.51	-1.84	-2.06
05/09/00	0.8	0.94	1.78	-2	-2.22
01/10/00	0.43	0.57	1.04	-2.14	-2.36
04/11/00	0.23	0.37	0.63	-2.1	-2.32
04/11/00	0.27	0.41	0.59	-1.73	-1.95
02/12/00	0.47	0.61	1.12	-1.83	-2.05
02/01/01	0.38	0.52	0.93	-1.9	-2.12
04/02/01	0.49	0.64	1.18	-2.07	-2.29
04/03/01	0.16	0.3	0.51	-2.01	-2.23
02/04/01	0.36	0.5	0.9	-1.76	-1.98
05/05/01	0.32	0.47	0.83	-2.06	-2.28
17/06/01	0.52	0.66	1.21	-2.05	-2.27

Les dates	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques	
	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypse	Anhydrite
02/07/01	0.53	0.67	1.24	-2.35	-2.57
01/08/01	0.48	0.62	1.14	-1.86	-2.08
02/09/01	0.04	0.19	0.26	-2.35	-2.57
01/10/01	0.4	0.54	0.97	-2.2	-2.42
03/11/01	-0.31	-0.17	-0.45	-1.79	-2.01
02/12/01	-0.41	-0.27	-0.65	-1.9	-2.12
07/01/02	-0.32	-0.17	-0.45	-1.98	-2.2
11/02/02	-0.31	-0.16	-0.43	-2.13	-2.35
02/03/02	0.56	0.71	1.31	-1.87	-2.09
23/04/02	0.64	0.78	1.47	-1.97	-2.19
08/05/02	0.26	0.4	0.71	-1.95	-2.17
08/06/02	0.17	0.31	0.51	-1.76	-1.98
02/07/02	0.47	0.62	1.13	-1.89	-2.11
01/10/03	0.9	1.04	1.98	-2.19	-2.41
02/11/03	0.75	0.9	1.69	-1.86	-2.08
01/12/03	0.33	0.48	0.85	-3.12	-3.34
03/01/04	1.14	1.29	2.48	-2.19	-2.41
03/02/04	0.97	1.11	2.13	-2.34	-2.56
01/03/04	0.88	1.02	1.95	-2.24	-2.46
06/04/04	0.5	0.64	1.19	-1.97	-2.19
03/05/04	0.74	0.89	1.67	-1.83	-2.05
01/06/04	0.74	0.88	1.67	-1.85	-2.07
11/07/04	0.76	0.9	1.7	-2	-2.22
08/09/04	0.76	0.9	1.69	-1.83	-2.05
02/10/04	0.76	0.9	1.69	-1.83	-2.05
14/12/04	0.81	0.95	1.8	-2.54	-2.76
09/01/05	0.47	0.61	1.12	-1.99	-2.21
12/02/05	0.4	0.54	0.98	-1.93	-2.15
01/03/05	0.52	0.66	1.23	-2.06	-2.28
12/04/05	0.3	0.45	0.8	-1.92	-2.14
09/05/05	0.21	0.35	0.6	-2.52	-2.74
13/06/05	0.41	0.56	1	-1.68	-1.9
10/09/05	0.91	1.06	2.01	-1.64	-1.86
08/10/05	0.67	0.81	1.52	-1.68	-1.9
13/11/05	0.5	0.64	1.18	-1.79	-2.01
11/12/05	0.53	0.67	1.24	-2.67	-2.89
12/12/06	0.11	0.26	0.4	-1.89	-2.11
04/03/06	-0.27	-0.12	-0.34	-2.01	-2.23
02/04/06	0.29	0.44	0.77	-2.16	-2.38
02/05/06	0.43	0.57	1.04	-2.14	-2.36
05/06/06	0.53	0.68	1.25	-2.59	-2.81
02/07/06	0.07	0.21	0.32	-2.14	-2.36
17/09/06	0.09	0.24	0.36	-2.06	-2.28
08/10/06	-0.08	0.06	0.02	-1.91	-2.13
04/11/06	-0.05	0.09	0.07	-1.88	-2.1
03/01/07	0.34	0.48	0.86	-1.98	-2.2
06/02/07	0.44	0.59	1.07	-2.48	-2.7
03/03/07	0	0.15	0.2	-2.31	-2.53

Les dates	Minéraux carbonatés		Les dates	Minéraux évaporitiques	
	Aragonite	Calcite		Aragonite	Calcite
07/04/07	0.08	0.22	0.34	-2.23	-2.45
02/05/07	-0.14	0	-0.1	-2.24	-2.46
02/06/07	-0.06	0.08	0.06	-2.22	-2.44
07/07/07	-0.16	-0.01	-0.13	-2.49	-2.71
01/09/07	-0.17	-0.03	-0.17	-1.84	-2.06
15/10/07	0.15	0.3	0.48	-1.91	-2.13
04/11/07	0.47	0.62	1.13	-1.99	-2.21
03/12/07	0.36	0.51	0.91	-2.3	-2.52
02/01/08	-0.39	-0.25	-0.6	-1.82	-2.04
02/02/08	0.13	0.27	0.44	-1.88	-2.1
01/03/08	0.13	0.27	0.45	-1.83	-2.05
01/04/08	0.08	0.23	0.34	-1.75	-1.97
12/05/08	-0.26	-0.12	-0.34	-2.36	-2.58
16/06/08	-0.06	0.08	0.05	-1.96	-2.18
02/07/08	-0.07	0.07	0.03	-2.07	-2.29
18/08/08	0.18	0.32	0.54	-2.07	-2.29
15/09/08	-0.01	0.14	0.16	-1.88	-2.1
06/10/08	-0.16	-0.02	-0.13	-2.05	-2.27
03/11/08	0.2	0.35	0.59	-1.83	-2.05
06/12/08	0.51	0.65	1.2	-2.17	-2.39
04/01/09	-0.31	-0.17	-0.47	-1.82	-2.04
04/02/09	0.05	0.2	0.33	-1.94	-2.16
03/03/09	-0.04	0.11	-0.14	-1.9	-2.12
04/04/09	0.37	0.52	0.68	-1.66	-1.88
02/06/09	0.34	0.49	0.9	-2.1	-2.32
01/07/09	0.31	0.45	0.8	-2.04	-2.26
06/09/09	0.28	0.43	0.75	-1.93	-2.15
05/10/09	0.11	0.26	0.41	-2.08	-2.3
04/11/09	0.33	0.48	0.85	-2.08	-2.3
02/12/09	0.44	0.58	1.06	-2.03	-2.25
14/01/10	0.49	0.63	1.16	-2.12	-2.34
01/03/10	0.33	0.47	0.84	-2.14	-2.36
04/04/10	0.66	0.81	1.51	-2.14	-2.36
04/05/10	0.28	0.43	0.75	-2.03	-2.25
07/06/10	0.13	0.27	0.43	-1.93	-2.15
01/07/10	0.27	0.41	0.72	-2.14	-2.36
05/08/10	-0.12	0.03	-0.05	-2.19	-2.41
12/09/10	0.18	0.32	0.54	-2.2	-2.42
06/10/10	-0.05	0.09	0.07	-2.4	-2.62
02/11/10	-0.08	0.06	0.02	-2.2	-2.42
05/12/10	0.26	0.41	0.71	-2.26	-2.48
09/01/11	0.11	0.25	0.4	-2.26	-2.48
06/02/11	0.21	0.35	0.61	-2.15	-2.37
07/03/11	0.16	0.3	0.51	-2.13	-2.35
05/04/11	0.09	0.24	0.38	-2.23	-2.45
08/05/11	-0.01	0.13	0.16	-2.08	-2.3
05/06/11	0	0.14	0.19	-2.12	-2.34
06/07/11	0.39	0.53	0.95	-2.32	-2.54
08/09/11	-0.18	-0.03	-0.17	-2.17	-2.39

Les dates	Minéraux carbonatés		Les dates	Minéraux évaporitiques	
	Aragonite	Calcite		Aragonite	Calcite
05/10/11	0.07	0.21	0.32	-2.17	-2.39
03/11/11	0.03	0.17	0.25	-2.16	-2.38
04/12/11	-0.4	-0.26	-0.61	-2.3	-2.52
02/01/12	0.13	0.28	0.46	-2.06	-2.28
01/02/12	-0.01	0.14	0.17	-2.01	-2.23
01/03/12	0.04	0.18	0.28	-2.17	-2.39
01/04/12	0.1	0.24	0.39	-2.1	-2.32
06/05/12	-0.03	0.11	0.15	-2.17	-2.39
03/06/12	0.02	0.17	0.27	-2.23	-2.45
01/07/12	-0.16	-0.01	-0.13	-2.05	-2.27
02/09/12	0.06	0.2	0.31	-2.12	-2.34
02/10/12	0.3	0.45	0.79	-2.18	-2.4
04/11/12	0.14	0.28	0.47	-2.02	-2.24
02/12/12	-0.2	-0.06	-0.2	-2.02	-2.24
18/03/13	-0.27	-0.13	-0.31	-2.36	-2.58
18/03/13	-0.14	0	-0.06	-2.16	-2.38
05/05/13	-0.08	0.07	-0.08	-2.17	-2.39
02/06/13	0.01	0.15	0.24	-2.24	-2.46

*Tableau N°08 : 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°09 : Normes algériennes de potabilité des eaux.*

Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
<b>Calcium</b>	mg/l	200
<b>Magnésium</b>	mg/l	150
<b>Sodium</b>	mg/l	200
<b>Chlorures</b>	mg/l	500
<b>Potassium</b>	mg/l	12
<b>Sulfates</b>	mg/l	400
<b>Nitrates</b>	mg/l	50
<b>Turbidité</b>	NTU	5
<b>Résidu sec</b>	mg/l après séchage à 105°C	1500
<b>pH</b>	-	≥ 6,5 et ≤ 9
<b>Conductivité</b>	μS/cm à 20°C	2800
<b>Dureté totale</b>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	200

Source : JORA (2011-2014).

## ملخص

### المساهمة في دراسة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه من منبع قبة الجوز (تلمسان، غرب الجزائر)

يركز العمل الحالي على دراسة تطور الجودة الفيزيائية والكيميائية لمنبع قبة الجوز الواقعة في منصورية (تلمسان).

وفقاً لتحليلات المعايير الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية المتاحة لمياه المنبع، توصلنا إلى أنها غير مناسبة للاستهلاك البشري فهي تحتوي على محتوى نترات أعلى من معيار الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية باستثناء بعض التواريخ.

أظهر التحليل البكتريولوجي (مايو 2021) أن مياه المنبع تتجاوز المعايير المسموح بها للجراثيم الكلية (عدد 37 درجة مئوية)

• صنف مخطط PIPER مياه منطقة الدراسة إلى عائلتين:

كلوريد وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم

وقال **Stabler** فإن الفئة المهيمنة هي بيكربونات المغنيسيوم؛ أظهر تقدير مياه الري. باستخدام مؤشرات مثل النسبة المئوية  $Kr+Na$  أنها جيدة جداً للري، وأظهر مخطط RIVERSIDE أن مياه منبع قبة الجوز مصنفة في فئتين:

- C3-S1 (جودة مقبولة)
  - C2-S1 (نوعية جيدة للري)
- وفقاً لـ **WILCOX**، ينقسم المنبع إلى فئتين: ممتازة وجيدة؛ بتخطيط العنصر الكيميائي على مخطط **PHREEQ C**، وجدنا أن مؤشرات تشبع معادن الكربونات مشبعة بشكل عام، باستثناء فترات قليلة تكون إما أقل تشبعاً أو حتى في حالة توازن معادن التبخر غير مشبعة. سمحت لنا الدراسة الإحصائية بفهم أصل التمعن، والذي يرجع إلى الطبيعة الكربونية للخران الجوفي وربما إلى العوامل البشرية وتدفق المنبع.

**الكلمات الأساسية:** المنبع؛ قبة الجوز؛ التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية؛ **Diagrammes**؛ ري، **PHREEQ C**؛ صالح الشرب؛ **XLSTAT+ACP**

## Résumé

### CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA SOURCE DE KOBET EL DJOUZ (TLEMEN, OUEST ALGERIEN).

Le présent travail est axé sur l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique de la source de Kobet El Djouz, située à Mansourah (Tlemcen).

D'après les analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques disponibles des eaux de la source, nous avons conclu qu'elles ne conviennent pas à la consommation humaine, elles contiennent des teneurs en nitrate supérieures à la norme du JORA, à l'exception de certaines dates. L'analyse bactériologique (Mai 2021) a montré que l'eau de la source dépasse les normes admissibles en germe totaux (à 37°C) et en Entérocoques.

Le diagramme de Piper a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne et bicarbonatée calcique et magnésienne. Selon **Stabler**, le faciès dominant est bicarbonaté magnésien.

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en  $Na^+$ , et le  $Kr$  a fait révéler qu'elles sont très bonnes à bonnes pour l'irrigation.

Le diagramme de RIVERSIDE a montré que les eaux de la source de Kobet El Djouz sont classées dans deux classes : C3-S1 (qualité admissible), C2-S1 (Bonne qualité pour l'irrigation). Selon **WILCOX**, la source est répartie en deux classes : Excellente et bonne.

Le report des éléments chimiques sur le diagramme de **PHREEQ C**, nous a montré que les indices de saturation pour les minéraux carbonatés sont généralement sur-saturés à l'exception de quelques périodes qui sont soit sous-saturées ou même en équilibre. Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés.

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

**Mots clés :** Source ; Kobet El Djouz ; Analyses physico-chimiques et bactériologiques ; Diagrammes ; Potabilité ; Irrigation ; XLSTAT ; PHREEQ C ;

## ABSTRACT

### CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE EVOLUTION OF THE PHYSICO-CHEMICAL QUALITY OF WATER FROM THE KOBET EL DJOUZ SOURCE (TLEMEN, WEST ALGERIAN).

The present work is focused on the study of the evolution of the physico-chemical quality of the spring of Kobet El Djouz, located in Mansourah (Tlemcen).

According to the analyses of the physico-chemical and bacteriological parameters available of the waters of the spring, we concluded that they are not suitable for human consumption, they contain nitrate contents higher than the standard of the JORA; except for some dates. The bacteriological analysis (May 2021) showed that the spring water exceeds the permissible standards for total germ (at 37°C) and Enterococci.

The **Piper** diagram classified the waters of the study area into two families: Chloride and sulfate calcic magnesium and bicarbonate calcic magnesium. According to **Stabler**; the dominant facies is bicarbonate magnesian.

The estimation of waters for irrigation purposes, using indices, such as the percentage of  $Na^+$  and  $Kr$  revealed that they are very good too good for irrigation. The **RIVERSIDE** diagram showed that the waters of Kobet El Djouz spring are classified in two classes: C3-S1 (admissible quality), C2-S1 (good quality for irrigation). According to **WILCOX**, the spring is divided into two classes: Excellent and good.

Plotting the chemical element on the **PHREEQ C** diagram, we found that the saturation indices for carbonate minerals are generally oversaturated, except for a few periods that are either under-saturated or even in equilibrium. The evaporite minerals are under-saturated.

The statistical study allowed us to understand the origin of the mineralization, which is due to the carbonate nature of the aquifer and probably to anthropogenic factors and spring flow.

**Key words:** Spring; Kobet El Djouz; physico-chemical and bacteriological analyses; Diagrams; potability; irrigation; XLSTAT; PHREEQ C; PCA.