



Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry of High Education and Scientific Research
Abbes LAGHROUR University, Khenchela

Faculty of Natural and Life Sciences Department of Ecology and Environment

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عباس لغرور - خنشلة.

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيئة والمحيط

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée

Présenté par : MERAH Chourouk, MAAMERIA Anfel & SIF Leila

Thème

Etude Hydrogéochimique et Analyse Statistique

Des eaux de Sources de la Région de Khenchela

Devant le jury composé de :

Président : Mr. BOULABIEZ Mahrez

MCA Université de Khenchela

Encadrant : Mme. BERKANI Cherifa

MCB Université de Khenchela

Examineur : Mme. LAKHDARI Somia

MCB Université de Khenchela

Année universitaire : 2022/2023

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ

Remerciements

Nous remercions ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenions à exprimer nos plus vifs remerciements à Mme BERKANI notre encadrant, qui n'a pas hésité à nous faire confiance, pour sa bienveillance, ces précieux conseils et ces encouragements incessants durant toute la période de la réalisation de ce travail.

Nous tenions à remercier vivement les membres de jury monsieur BOULABEIZ Mahrez et madame LAKHDARI Somia d'accepter présider notre soutenance et examiner notre mémoire

Un grand merci pour toutes les personnes qui nous aidé de loin ou de près durant la période de notre travail, par le soutien moral, administratif ou technique.



dédicace

A mes chers parents Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être sans oublier mes grandes parents qui m'ont élevé et m'ont appris les principes de vie et je dèdie mes sœurs hala et nariman ,Mes camarades avec qui j'ai vécu la plupart de mes bons et mauvais moments et tout mes professeurs que ce soit du primaire du moyen du secondaire ou du l'enseignement supérieur

ANFEL



dédicace

Je dédie humblement ce travail à ma mère, mon premier professeur qui m'a appris la signification de la vie, ainsi qu'à mon très cher père et mes sœurs Marwa, Houda, Sara et Amira.

À mon cher amis "Boudjellal Seyfeddine" "Abd elhak Moussaoui".

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tout un chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie. Avec toute ma tendresse.



CHOUROUK

dédicace

On remercie dieu le tout puissant de nous
avoir donné la santé et la volentè d'entamer et
de terminer ce mémoire

Merci a ma famille pour leur amour ,leurs
encouragements et leurs sacrifices
particulièrement mes parents

A mes soeurs Sabah Fahima Soriya Hayat Saïda
Djawhara Zoya

Mes frères soufiane et abd ennour sans
oubliers mes beaux-frères abd el djalil et saleh
et spécialement issak

Merci a tous ceux qui ont rendu possible ce
travail et même s'ils ne se retrouvent pas dans
cette petite liste

LEILA



Sommaire

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUMES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

TABLE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE

I.1	Définition et concepts de base	3
I.2	Qualité de l'eau.....	3
I.2.1	Les facteurs	3
I.3	Normes de qualité de l'eau	6
I.4	Les principales Ressources de l'eau.....	7
I.4.1	L'eau de surface	7
I.4.2	L'eau de source.....	7
I.4.3	Eau souterraine.....	7
I.5	Les types des réservoirs d'eaux souterraines.....	7
I.5.1	Les nappes libres.....	8
I.5.2	Les nappes captives.....	8
I.6	Usages de l'eau souterraine	8
I.7	La gestion de l'eau souterraine	8
I.8	Les domaines intervenants avec l'hydrologie	9
I.8.1	L'hydrochimie :	9

I.8.2	L'hydrogéologie :.....	9
-------	------------------------	---

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1	Présentation de la zone d'étude	10
II.2	Localisation géographique de la région Khenchela.....	10
II.3	Cadre Administratif	11
II.4	La population.....	12
II.4.1	Densité et répartition spatiale de la population	12
II.4.2	Evolution de la population au cours des quatre derniers recensements	13
II.5	Cadre hydrologique de la zone de Khenchela	14
II.5.1	Le réseau hydrologique	14
II.5.2	Les bassins versants	15
II.5.3	Les barrages dans la wilaya de Khenchela.....	16
II.6	Cadre géologique.....	18
II.6.1	La géologie.....	18
II.7	Géomorphologique	20
II.7.1	Les reliefs	20
II.7.2	L'altitude	22
II.7.3	La pente	24
II.8	La lithologie.....	26
II.9	Pédologique	26
II.10	La végétation	29
II.11	La climatologie.....	30
II.12	Les données climatiques.....	31
II.12.1	La température.....	31

II.12.2	La pluviométrie	32
II.12.3	La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothermique).....	33
II.12.4	Humidité.....	34
II.12.5	Quotient pluviométrique d'Emberger	35
II.12.6	Indice de Demartone	37
II.12.7	Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euvert :.....	38

CHAPITRE 3 : ANALYSES ET INTERPRETATIONS

III.1	Analyses.....	41
III.1.1	Echantillonnage	41
III.1.2	Etiquetage.....	41
III.1.3	Matériels de prélèvement	42
III.1.4	Matériels de laboratoire.....	42
III.1.5	Technique de prélèvement	43
III.1.6	Echantillonnage et méthodes analytiques	46
III.1.7	Le mode opératoire.....	47
III.2	RESULTATS ET DISCUSSION	51
III.3	Les principaux paramètres physico-chimiques.....	51
III.3.1	La température de l'eau.....	51
III.3.2	La thermalité	53
III.3.3	Le pH.....	55
III.3.4	La conductivité électrique	56
III.4	Paramètres chimiques	57
III.4.1	Diagramme de Piper.....	57
III.4.2	Diagramme de Schoeller	59

III.4.3	Digramme de Stiff.....	59
III.4.4	Le diagramme de Stabler.....	60
III.5	Etude des processus hydrogéochimiques	61
III.5.1	Relations des éléments majeurs en fonction de chlorure	61
III.5.2	Indices de saturation des eaux	64
III.6	L'Apport de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)	66
III.6.1	Principe de l'ACP.....	66
III.6.2	Application de L'ACP aux données physico-chimiques des échantillons prélevés	67
CONCLUSION GENERALE		73
LES REFERENCES		74

Liste des tableaux

Tableau 1. Facteurs toxiques selon le journal officiel Algérien-----	3
Tableau 02. Paramètres physico-chimiques selon le journal officiel algérien -----	4
Tableau 3. Comparaison des normes entre l’OMS, l’UE et l’Algérie -----	6
Tableau 4. Evolution démographique de la wilaya de Khenchela -----	14
Tableau 5. La situation des barrages dans la wilaya de Khenchela-----	16
Tableau 6. Les données de la température pour 30 ans -----	31
Tableau 7. Les données de la pluviométrie pour 30 ans -----	33
Tableau 8. Les données de L’Humidité pour 30ans -----	34
Tableau 9. Type de climat selon l’indice de Demartone -----	37
Tableau 10. Les régimes des mois (rapport de P/T°) en 1991/2021- khenchela-----	38
Tableau 11. Points de prélèvement. Avril ; 2023 -----	44
Tableau 12. résultats physicochimiques des analyses des eaux de sources de la wilaya de Khenchela -----	51
Tableau 13. Variation des températures et des conductivités des eaux en fonction de la profondeur. Juin 2006 -----	55
Tableau 14. Matrice de corrélation des variables adoptés de l’ACP -----	68
Tableau 15. Valeurs propres des deux premiers axes de l’ACP -----	69

Liste des figures

Figure 1. Présentation de la zone d'étude (la wilaya de kenchela).	11
Figure 2. Découpage administratif de la wilaya de Khenchela Source : (Conservation des Forets Khenchela, 2019 ; modifiée).....	12
Figure 3. Répartition de population par commune (DPSI).	13
Figure 4. Répartition de la densité par commune (hab /km ²)......	13
Figure 5. Evolution de la population de la région d'étude (Khenchela).	14
Figure 6. Carte du réseau hydrographique de la wilaya de kenchela.	17
Figure 7. Carte géologique de la Wilaya de Khenchela (Source PAW : 2014).	19
Figure 8. Carte de relief de la Wilaya de Khenchela (SOURCE : DSP Khenchela, 2011)....	21
Figure 9. Carte des altitudes de la wilaya de kenchela.....	23
Figure 10. Carte des pentes de la wilaya de Khenchela (source : DEW 2013).	25
Figure 11. Carte des sols de la wilaya de Khenchela.	28
Figure 12. Répartition de la superficie forestière par massif forestier (Anonyme, 2017, modifiée).....	30
Figure 13. Courbe d'évolution des températures de la région d'étude pour 30 ans (1991/2021).....	32
Figure 14. Courbe de variation des températures mensuelles pour 30 ans (1991/2021).....	32
Figure 15. Histogramme de variation des précipitations mensuelles pour30 ans (1991/2021)	33
Figure 16. Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude pour 30ans (1991/2021).	34
Figure 17. Variation de l'humidité mensuelle pour 30ans (1991/2021).	35
Figure 18. Classification de l'étage bioclimatique de la région d'étude Climagramme (1991- 2021).	36
Figure 19. L'indice d'aridité annuel de Martonne (1991-2021).	38
Figure 20. Carte d'inventaire des points de prélèvement dans la zone d'étude, Avril 2023...	45
Figure 21. Photo réelle de multi paramètre de marque YSI (Pro DSS).	46
Figure 22. Photo réelle de titrage volumétrique.	48
Figure 23. Photo réelle de Spectrophotomètre UV.	49
Figure 24. Photo réelle de Spectrophotomètre à flamme.	50
Figure 26. Filtration l'eau.	50
Figure 25. Dosage des éléments.	50

Figure 27. Échantillon d'eau.....	50
Figure 28. Représentation graphique comparative en histogramme de la température des sources d'eau de la wilaya de Khenchela, 2023.	52
Figure 29. Représentation graphique comparative en histogramme des points d'eau de pH, 2023.....	56
Figure 30. Représentation graphique comparative en histogramme des sources d'eau de la conductivité électrique (CE), 2023.	57
Figure 31. Représentation graphique de Piper de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.	58
Figure 32. Représentation graphique de Schoeller de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.....	59
Figure 33. Représentation graphique de Stiff de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.	60
Figure 34. Représentation graphique de Stabler de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.	61
Figure 35. Relations binaires des ions majeurs de quelques sources d'eaux de Khenchela. ..	63
Figure 36. Représentation graphique indices de saturation des eaux.....	66
Figure 37. Projection des variables des eaux étudiées.	69

Table des abréviations

Abréviation	Signification
GPS	Global positionna system
T	Température
CE	Conductivité électrique
PH	Potentiel hydrogène
TDS	Total dissolve solide
MES	Matière en suspension
ADN	Acide désoxyribonucléique
ARN	Acide ribonucléique
UV	Ultraviolet
IS	Indice de saturation
P	Précipitation
H	Humidité
OMS	Organisation mondiale de la santé
UE	Union européenne
CO2	Dioxyde de carbone
HCO	Hyroxidodioxydo carbonate
Ca	Calcium
Mg	Magnesium
Cl	Chlore
Na	Sodium
No3	Nitrate
So4	Sulfate

K	Potassium
Na Cl	chlorure de sodium
CaSo4	sulfate de calcium
CaCo3	carbonate de calcium
2H2O	Peroxy de d'hydrogène

Résumé

L'utilisation des eaux dans la région de Khenchela à des fins de consommation et d'irrigation a augmenté progressivement au cours de la dernière décennie. La qualité des eaux de cette région a été considérablement altérée par l'activité anthropique. Cette recherche vise à améliorer notre compréhension au fonctionnement hydrogéochimique des aquifères Crétacé et Plio-quaternaire de la région de Khenchela, située au nord est algérien.

Cette étude contribue à l'identification des phénomènes affectant la minéralisation et les mécanismes de salinisation des eaux souterraines. Un total de 13 échantillons d'eau de sources a été collecté pendant les saisons des pluies de l'année 2023 bien répartis dans la zone d'étude. Afin d'obtenir les résultats. On a utilisé des diagrammes hydrochimiques (diagrammes de Piper, Schoeller, Stiff, Stabler, et Wilcox), des modèles thermodynamiques (indices de saturation). Trois faciès chimiques avec une prédominance du faciès bicarbonate calcique reflètent l'influence des intercalations au sein des formations sédimentaires bicarbonatées. Les principaux phénomènes géochimiques naturels intervenant dans l'acquisition de la charge saline sont liés à l'interaction eau-roche (dissolution des minéraux), à l'échange cationique et à l'évaporation, l'activité anthropique est une autre source de salinisation des eaux induite par L'homme. L'évaporation et le caractère endoréique du bassin, l'accroissement démographique et L'extension des superficies irriguées sont les contraintes naturelles et anthropiques qui peuvent conduire à la salinisation des masses d'eau.

Mots clé : Khenchela, minéralisation, eau thermale, eau de source, salinisation.

Abstract

The use of water in the region of Khenchela for consumption and irrigation has increased gradually over the past decade. The quality of water in this region has been significantly altered by anthropogenic activity. This research aims to improve our understanding of the hydrogeochemical functioning of the Cretaceous and Plio-quadernary aquifers of the Khenchela region, located in northeast Algeria.

This study contributes to the identification of phenomena affecting the mineralization and salinization mechanisms of groundwater. A total of 13-spring water samples was collected during the rainy seasons of the year 2023 well distributed in the study area. In order to obtain the results. Hydrochemical diagrams (Piper, Schoeller, Stiff, Stabler, and Wilcox diagrams), thermodynamic models (saturation indices) were used. Three chemical facies with a predominance of the calcium bicarbonate facies reflect the influence of intercalations within the bicarbonate sedimentary formations. The main natural geochemical phenomena involved in the acquisition of the salt load are related to water-rock interaction (dissolution of minerals), cation exchange and evaporation, anthropogenic activity is another source of water salinization induced by Man. The evaporation and the endoreic character of the basin, the demographic growth and the extension of the irrigated areas are the natural and anthropic constraints, which can lead to the salinization of the water masses.

Key words: Khenchela, mineralization, thermal water, spring water, salinization

ملخص

ازداد استخدام المياه في منطقة خنشلة لأغراض الشرب والري تدريجياً خلال العقد الماضي. لقد تغيرت نوعية المياه في هذه المنطقة إلى حد كبير بفعل النشاط البشري. يهدف هذا البحث إلى تحسين فهمنا للأداء الهيدروجيوكيميائي لطبقات المياه الجوفية الطباشيري والرباعي في منطقة خنشلة الواقعة في شمال شرق الجزائر.

تساهم هذه الدراسة في التعرف على الظواهر التي تؤثر على آليات تمعدن وتملح المياه الجوفية. تم جمع 13 عينة من مياه الينابيع خلال موسم الأمطار لعام 2023 موزعة بشكل جيد في منطقة الدراسة. من أجل الحصول على النتائج. تم استخدام المخططات الهيدروكيميائية (مخططات Piper و Schoeller و Stiff و Stabler و Wilcox)، والنماذج الديناميكية الحرارية (مؤشرات التشبع). تعكس ثلاث سحنات كيميائية مع غلبة سحنات بيكربونات الكالسيوم تأثير التداخلات داخل التكوينات الرسوبية للبيكربونات. تتعلق الظواهر الجيوكيميائية الطبيعية الرئيسية التي ينطوي عليها اكتساب حمل الملح بالتفاعل بين الماء والصخور (انحلال المعادن) والتبادل الكاتيوني والتبخر، النشاط البشري هو مصدر آخر لملوحة المياه التي يسببها الإنسان. يعتبر التبخر والطبيعة الداخلية للحوض والنمو السكاني وامتداد المناطق المروية من المعوقات الطبيعية والبشرية التي يمكن أن تؤدي إلى تملح المسطحات المائية.

الاصطلاحات الرئيسية: خنشلة، التمعدن، المياه الحرارية، مياه الينابيع، التملح.



Introduction

Introduction générale

L'aspect qualitatif et quantitatif des eaux est devenu plus important, car une eau de bonne qualité peut être utilisée à diverses fins telles que l'approvisionnement en eau potable, l'agriculture, l'industrie et les loisirs. **(Tiri et al, 2014).**

Par conséquent, l'accès à l'eau et le programme de surveillance qui doit être bien structuré sont des facteurs clés du développement économique du pays **(Barbieri et al, 2019).**

Les problèmes causés par le changement climatique sont susceptibles d'être extrêmes dans les régions au climat semi-aride. Cela est dû au fait que des niveaux élevés d'évapotranspiration se produisent dans ces régions. La sécheresse affecte le cycle de l'eau, réduisant la quantité d'eau disponible à partir de sources naturelles **(Semadeni-Davies et al, 2008 ; Fletcher et al, 2013 ; Chang& ; AMP ; Bonnette, 2016 ; Nistor et al, 2019).**

Dans les bassins versants endoréiques, les eaux souterraines sont la ressource la plus importante qui peut être utilisée pour la consommation et l'irrigation. En général, la qualité des eaux souterraines est contrôlée par les précipitations, la qualité de la recharge, l'accessibilité des eaux de surface, les processus hydrogéochimiques qui se produisent entre l'eau et les aquifères, les activités humaines et l'irrigation non planifiée **(Singh & ; Kumar, 2010 ; VEDIAPPAN, 2013 ; Nagaraju et al, 2015).**

Les eaux souterraines contiennent des sels dissous, qui sont principalement régulés par l'alimentation en eau, la lithologie et le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère. Un excès d'ions dissous dans l'eau peut affecter la qualité de l'eau. Les études hydrogéochimiques sont particulièrement utiles pour évaluer, protéger et gérer les ressources en eau en termes d'identification et d'évaluation de la qualité de l'eau **(Nagaraju et al, 2015 ; Balaji et al, 2018 ; Adimalla et al, 2020).**

La dégradation de la qualité physico-chimique des ressources en eau dans les aquifères des zones semi-arides fait l'objet de défis futurs. La variabilité et le changement climatique affectent la recharge et la décharge des aquifères et, par conséquent, leurs réserves globales en eau souterraine **(Lăcătușu, et al, 2019 ; Jeff Garçon et al, 2020).**

La salinité est considérée comme l'une des principales causes de dégradation de la qualité des eaux souterraines dans le monde, **(Kloppmann et al, 2011).**

Introduction

Les besoins en eau de la région de Khenchela sont assurés par les eaux de sources et les eaux souterraines des aquifères crétacés et plio-quadernaire. la surexploitation de ces eaux a conduit à une modification de la composition chimique d'origine. Cette condition, associée à la sécheresse, a provoqué le tarissement de nombreuses sources et induit une dégradation de la qualité chimique, illustrée par l'augmentation de la salinité des eaux (**Bencer, 2005 ; Khemmoudj et al, 2016 ; Barbieri et al, 2019 ; Fathi et al, 2017 ; Zubair et al, 2022**).

Tracer et déterminer l'origine de la variation de la chimie de l'eau est souvent lié à des causes naturelles (changement climatique, érosion et altération des formations traversées) et aux activités anthropiques (urbaines, industrielles et agricoles). (**Csete et al, 2021 ; Kumar et al, 2019**).

Certains processus hydrogéochimiques se produisent au cours de cette évolution, qu'il convient d'identifier. (**Gomo et al, 2013**).



Chapitre I

Chapitre 1 : Synthèse bibliographie**I.1 Définition et concepts de base**

L'eau est partout présente dans la nature. C'est un liquide incolore, inodore, sans saveur, de pH neutre et c'est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants.

En écologie, l'eau est considérée comme un élément vital pour de nombreux écosystèmes et organismes vivants. Elle joue un rôle important dans les cycles biologiques et écologiques, tels que le cycle de l'eau et le cycle nutritif, et est nécessaire à la croissance, à la reproduction et à la survie de nombreuses espèces. Les perturbations de la qualité et de la disponibilité de l'eau peuvent avoir des conséquences graves sur les écosystèmes et les communautés vivantes qui en dépendent. (UNESCO, 2018).

I.2 Qualité de l'eau

La qualité de l'eau est déterminée par plusieurs facteurs, compris les facteurs toxiques, physico-chimiques et microbiologiques.

I.2.1 Les facteurs**a) Facteur toxique**

Parmi ces paramètres on distingue les suivants

Tableau 1. Facteurs toxiques selon le journal officiel Algérien. (Les concentrations sont exprimées en mg/l) (JORA, 2011).

Paramètre	Concentration selon le journal officielle de la république algérienne, N°18 de 23 mars 2011
Argent	0.05
Arsenic	0.05
Baryum	1

Cadmium	0.01
Cyanures	0.05
Chromes	0.05
Cuivre	1.5
Fer	0.3
Fluore	2
Manganèse	0.5
Mercure	0.001
Plombe	0.05
Sulfate	0.02
Sélénium	0.01
Zinc	5

b) Facteurs physico-chimiques

Les qualités physico-chimiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Parmi ces paramètres on distingue les suivants :

Tableau 02. Paramètres physico-chimiques selon le journal officiel algérien. (Jora, 2011).

Paramètre	Unité	Concentration selon le journal officielle de la république algérienne, N°18 de 23 mars 2011
Ph	/	6.5-8.5
CE à 20°	µs/cm	2280

MES	Mg/l après séchage 150° C	1000
Dureté total	Mg/l en CaCO ₃	200
Calcium	Mg/l	200
Magnésium	Mg/l	150
Potassium	Mg/l	12
Sodium	Mg/l	200
Sulfate	Mg/l	400
Chlorure	Mg/l	500
Nitrate	Mg/l	50
Nitrite	Mg/l	0.2
Ammonium	Mg/l	0.5
Phosphate	Mg/l	0.5
Température	C°	25

c) Facteurs microbiologiques

Les facteurs microbiologiques sont importants pour évaluer la qualité de l'eau car ils peuvent impacter la santé humaine et animale.

Les facteurs microbiologiques importants incluent :

- **Les indicateurs d'eau non potable** : Les indicateurs sont des bactéries qui indiquent la présence de matières fécales et peuvent être utilisés pour évaluer la qualité de l'eau. Les indicateurs les plus couramment utilisés sont des bactéries hétérotrophes, coliformes totaux, coliformes thermo tolérants et *Escherichia coli*. (Verhille, 2013).
- **Les agents pathogènes** : Ceux-ci incluent les bactéries, les virus et les parasites qui peuvent causer des maladies chez les humains et les animaux. Par exemple, les bactéries

telles que Salmonella, Sighele et Vibron peuvent causer des infections gastro-intestinales chez les humains. Les virus tels que norovirus, rota virus et adénovirus peuvent également causer des infections gastro-intestinales. Les parasites tels que Cryptosporidium et Giardia peuvent causer des maladies telles que la cryptosporidie et la giardia. (Baudart et Paniel., 2014).

- **Paramètres liés aux substances indésirables** : Concernant des substances telles que les nitrates, les nitrites, l'arsenic et le plomb, dans le tableau ci-dessous une comparaison entre les normes de l'Organisation mondiale de la santé, de l'Union européenne et de l'Algérie pour ces substances. (JORA, 2014 ; JOUE, 2020 ; OMS, 2017).

Tableau 3. Comparaison des normes entre l'OMS, l'UE et l'Algérie.

Normes Substances	OMS	UE	Algérien
Nitrates (mg/l)	50	50	50
Nitrites (mg/l)	0.1	0.5	0.2
Arsenic (µg/l)	10	10	10
Plomb (µg/l)	10	5	10

I.3 Normes de qualité de l'eau

Pour définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies qui fixe notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. (Taleb, 2005).

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne qui représente les différents paramètres physico

chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

I.4 Les principales Ressources de l'eau

I.4.1 L'eau de surface

L'eau de surface est l'eau qui s'accumule à la surface de la terre à la suite de nombreuses sources, y compris les précipitations. Il se présente sous la forme de rivières, de lacs et de zones humides et peut se transformer en eau souterraine par la perméabilité du sol ou s'évaporer en raison de la chaleur de surface. Ils sont utilisés pour irriguer les terres agricoles ou pour les animaux et diverses applications nécessaires aux activités humaines.

I.4.2 L'eau de source

L'eau de source est généralement considérée comme de haute qualité, c'est-à-dire pure et saine, en raison de sa source souterraine. Elle peut également être utilisée dans de nombreux domaines tels que la boisson, la cuisine, l'industrie... L'eau de source est affectée par les fluctuations climatiques et les activités humaines, il est donc bon de vérifier la qualité de l'eau avant de l'utiliser.

I.4.3 Eau souterraine

Les eaux souterraines constituent le principal réservoir d'eau douce au monde, contenant près de 98 % de l'eau continentale directement utilisable, peuvent être prélevées via des forages et utilisées pour diverses fins, notamment l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et les activités industrielles. L'existence et la survie de l'humanité dans de nombreuses régions du monde dépendent de la présence et de la qualité de cette ressource précieuse et fragile : 75 à 90 % de la population mondiale utilise les eaux souterraines. **(Danielopol et al., 2004).**

I.5 Les types des réservoirs d'eaux souterraines

Les nappes d'eaux souterraines sont des couches de saturation de l'eau qui se trouvent sous la surface du sol. Elles peuvent être classées en deux types principaux : les nappes libres et les nappes captives.

I.5.1 Les nappes libres

Les puits et sondages du premier aquifère, révèlent un niveau d'eau appelé niveau piézométrique. Selon la convention, cette altitude est utilisée pour désigner la hauteur du niveau d'eau sous la surface du sol. (Ziouch, 2021).

I.5.2 Les nappes captives

Dans les aquifères plus profonds, l'eau souterraine est piégée dans des formations hydrogéologiques perméables entre 2 formations fixes imperméables : le substratum à la base et le toit au sommet. (Ziouch, 2021).

I.6 Usages de l'eau souterraine

Les eaux souterraines ont de nombreuses utilisations dans divers domaines, notamment :

- L'utilisation la plus courante est de fournir de l'eau potable à la population.
- L'utilisation agricole est représentée dans l'irrigation et les élevages.
- Utilisation industrielle telle que les industries chimiques, agroalimentaires et pharmaceutique...etc.
- Les eaux souterraines peuvent également être utilisées pour reconstituer les zones humides et faire couler les rivières en période de sécheresse.

I.7 La gestion de l'eau souterraine

Compte tenu de l'augmentation importante des besoins en eau, ainsi que de la raréfaction et de la dégradation des ressources disponibles, notamment en cette période de sécheresse, une gestion durable de l'eau s'impose, qui vise à préserver cette ressource essentielle et à rationaliser sa consommation, notamment l'eau potable, et à parvenir à un développement durable. En fait, l'agriculture est le principal utilisateur des ressources en eau, en particulier des eaux souterraines.

La gestion intégrée des ressources en eau nécessite de revoir les politiques publiques en proposant des outils de régulation prenant en compte le volume des consommations par rapport aux ressources disponibles.

Certaines mesures simples peuvent contribuer à rationaliser la consommation d'eau par des campagnes de sensibilisation ou en imposant des taxes sur le gaspillage ou la pollution de l'eau.

Les eaux usées traitées peuvent également être utilisées dans l'agriculture et l'industrie pour réduire la consommation des ressources naturelles en eau.

I.8 Les domaines intervenants avec l'hydrologie

I.8.1 L'hydrochimie :

C'est une branche de l'hydrogéologie qui décrit et étudie les substances présentes dans l'eau. Déterminer les paramètres clés tels que la température, le pH, le potentiel redox, la conductivité et la teneur en oxygène pour une première évaluation. Ce sont les paramètres de l'eau de l'hydrosphère. (**AquaPort ail.com**)

De plus, des échantillons d'eau sont analysés pour déterminer la teneur en éléments (cations, anions et complexes non chargés) et en composants organiques. Nous pouvons tirer des conclusions sur la qualité de l'eau, sa source et une éventuelle contamination.

I.8.2 L'hydrogéologie :

Est la science qui étudie les eaux souterraines. C'est la partie de la géologie qui traite du cycle de l'eau souterraine : recherche d'aquifères, évaluation de réservoirs, bassins versant et débits possibles, etc....(**sigescen.brgm.fr**).



Chapitre II

Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude

II.1 Présentation de la zone d'étude

Le milieu est un aspect crucial pour comprendre la biologie et l'écologie d'une région.

Ce chapitre présente les différentes caractéristiques de Khenchela en incluant sa localisation géographique, sa géologie, sa composition du sol, son hydrologie ainsi que son climat.

II.2 Localisation géographique de la région Khenchela

La région de Khenchela est située au nord de l'Algérie, au sud-est de Constantine ; au pied du Mont des Aurès entre 34°06' 36" et 35°41' 21" de latitude nord ; entre 06°34'12" et 07° de longitude Est Entre 35'56", avec une altitude moyenne de 1122 mètres et une superficie de 9811 kilomètres carrés. (DSA, 2015).

De part, sa position géographique, la wilaya de Khenchela est entourée par les :

L'est : la wilaya Tébessa

Le Nord : la wilaya wilayas d'Oum el Bouaghi

L'ouest : la wilaya Batna et Biskra

Le sud : la wilaya El Oued

La région est reconnue pour ses milieux physiques et naturels très diversifiés et multiformes, notamment :

-**Paysages telliens** (zones alpines, eau abondante, paysages verdoyants) : ouest de wilaya.

-**Paysage de haute plaine**, haute plaines céréalière semi-aride au nord de la wilaya

-**Le paysage steppique et saharien est composé de** : montagnes complètement exposées et érodées (monts Némenchas à l'est), oasis (Siar, Khirane et El Ouldja) et basses plaines (El Meita). (Madani et Benaroua, 2010)

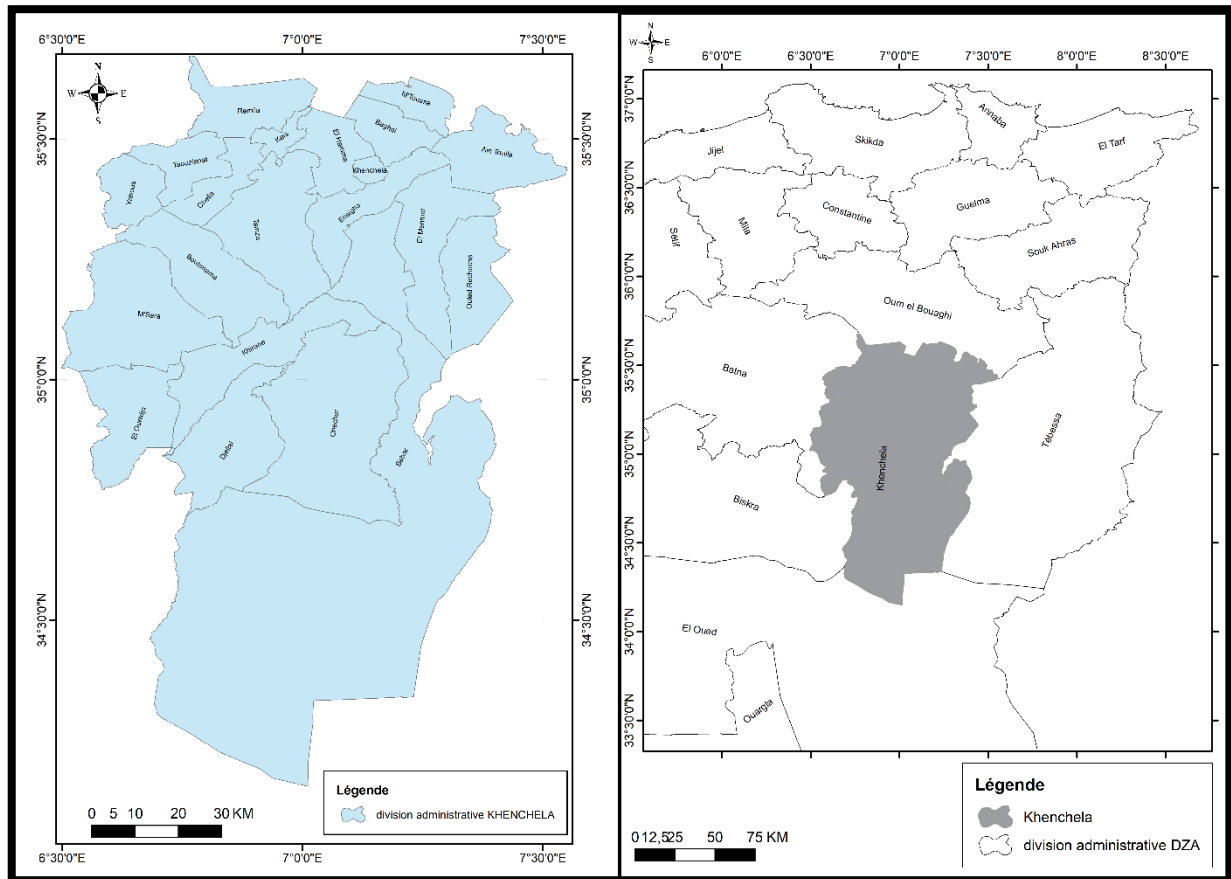


Figure 1. Présentation de la zone d'étude (la wilaya de khenchela).

II.3 Cadre Administratif

La Wilaya de Khenchela est créée suite à la réorganisation territoriale de la loi n084-09 du 04 Février 1984. Avant cela, elle était attachée à trois Wilayas différentes entre 1977 et 1984.

* Oum El Bouaghi pour autrefois connue sous le nom de Daïra de Khenchela.

*Tebessa pour la Daïra de Chechar

*Batna pour la Daïra de Kais.

Aujourd'hui, la wilaya de khenchela est constituée de 21 communes regroupées en 08 Dairas, dont cinq ont été créées en 1990.

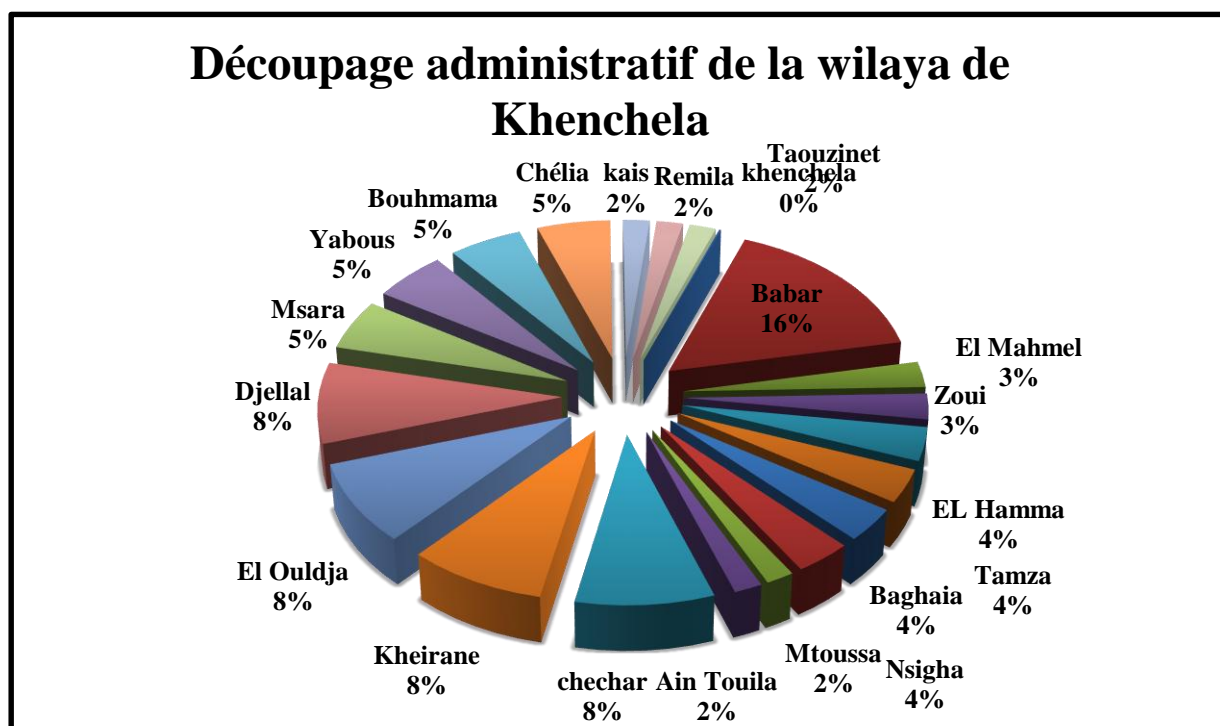


Figure 2. Découpage administratif de la wilaya de Khenchela Source : (Conservation des Forêts Khenchela, 2019 ; modifiée).

II.4 La population

II.4.1 Densité et répartition spatiale de la population

Selon l'Annuaire statistique du Département des statistiques et de la planification statistique de Khenchela au 31 décembre 2018, la superficie totale de Khenchela est estimée à 9 715 kilomètres carrés. Selon le recensement de 2008, la population de la province de Khenchela était de 386 683. En 2018, la population était de 479 900, soit une augmentation de 10 390, avec un taux de croissance annuel moyen de 2,21 %. Khenchela et Mahamel avaient les densités de population les plus élevées à 4329,06 et 127,65 personnes par kilomètre carré, tandis qu'Ensigha, El-Hamma et Babar avaient les densités de population les plus faibles à 70,43 et 89,11 personnes par kilomètre carré, soit 10,63 personnes par kilomètre carré. (DPSI, 2019).

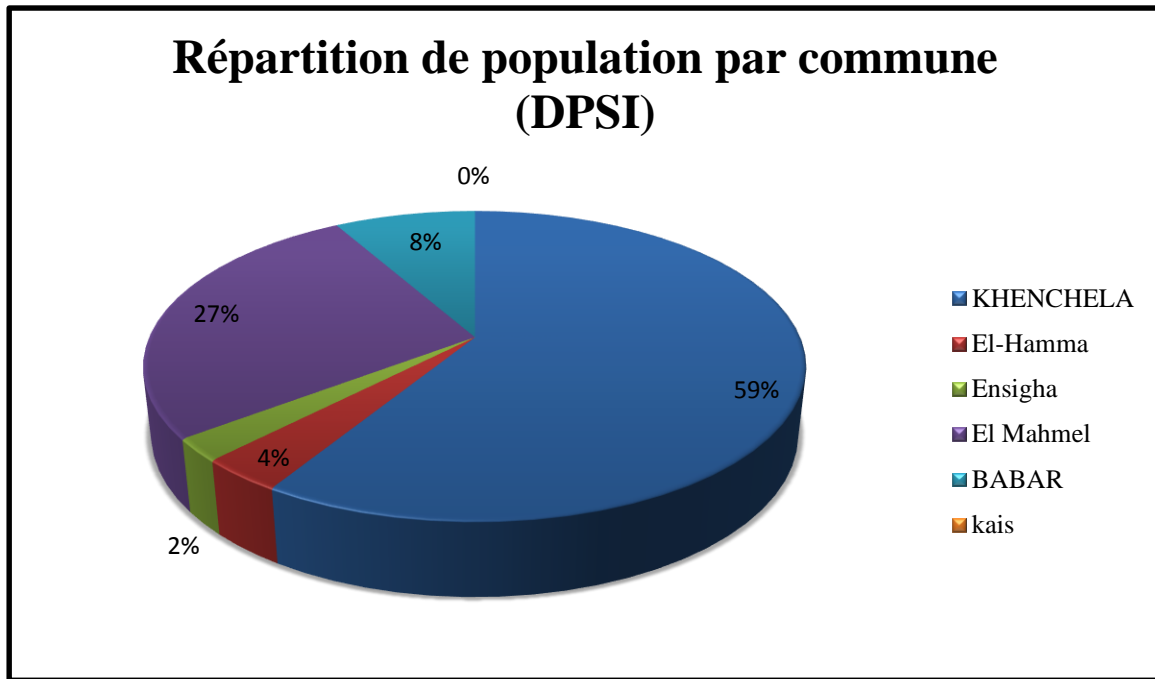


Figure 3. Répartition de population par commune (DPSI).

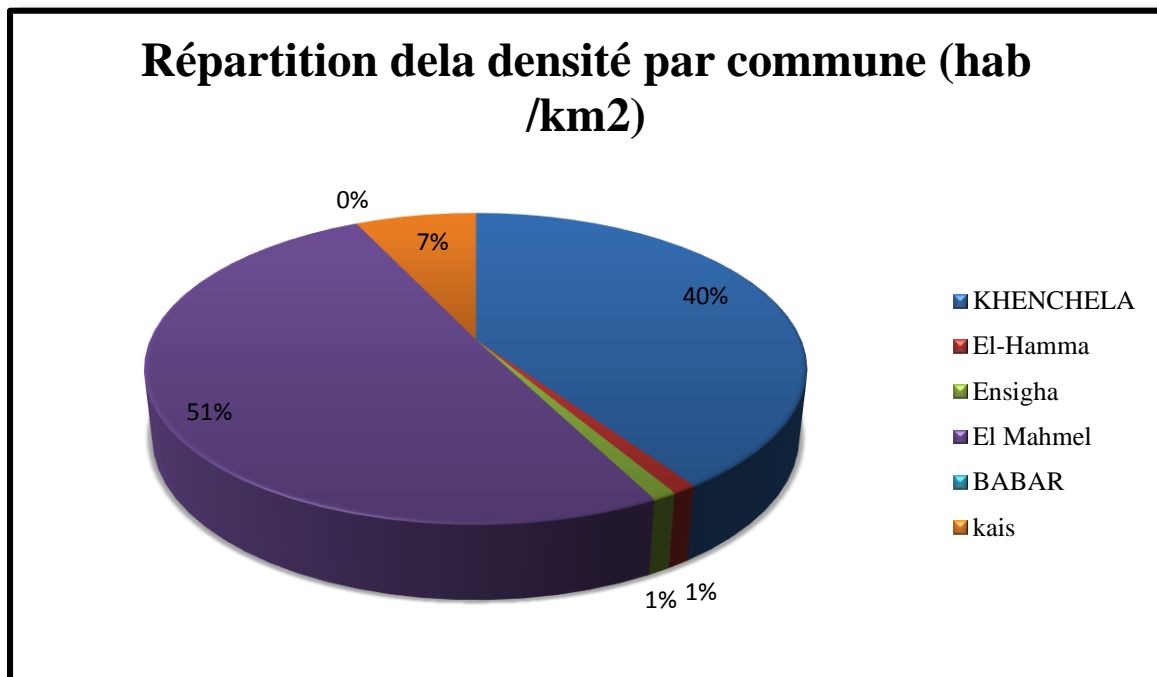


Figure 4. Répartition de la densité par commune (hab /km²).

II.4.2 Evolution de la population au cours des quatre derniers recensements

La population de la wilaya de Khenchela, globalement connu une légère évolution en 1966 et une forte évolution en 2022.

Tableau 4. Evolution démographique de la wilaya de Khenchela (1966-2022).

Année	Population	Densité (hap/km ²)
1966	118148	13 km ²
1977	161005	20 km ²
1987	217699	26 km ²
2008	318025	39 km ²
2018	386682	39.41 km ²
2022	415268	40 km ²

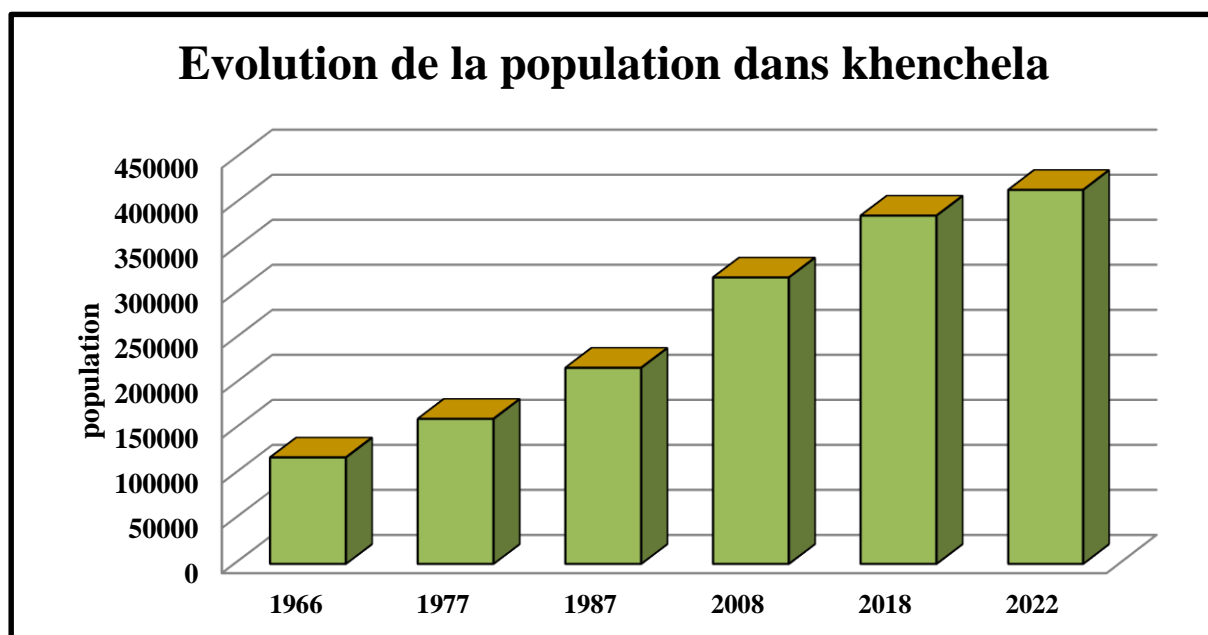


Figure 5. Evolution de la population de la région d'étude (Khenchela).

II.5 Cadre hydrologique de la zone de Khenchela

II.5.1 Le réseau hydrologique

La zone de Khenchela se caractérise par un réseau hydrologique constitué de vallées à régime d'écoulement temporaire, moins réparti au nord qu'au sud de la zone. Cela affecte l'utilisation

optimale des eaux de surface insuffisantes ou inexistantes à certaines périodes de l'année, ce qui a un impact sur l'approvisionnement en eau de la ville de Khenchela. (DRE, 2019).

Il se caractérise par deux grands systèmes de drainage :

➤ **Le réseau hydrographique du Nord de la wilaya**

Le Nord a un réseau hydrographique peu important qui n'a qu'une faible influence sur l'économie régionale.

➤ **Le réseau hydrographique du sud de la wilaya**

-**Oued El Arab** : C'est le lieu de rencontre de deux vallées de Mellagou et d'El Abiod.

- **Oued El Abiod** : prend sa source dans les Aurès et rejoint l'oued Mellagou.

- **Oued Mellagou** : prend sa source dans les Aurès avant de rejoindre l'oued El Abiod. (Khabtane, 2015).

II.5.2 Les bassins versants

Les limites géographiques de la zone d'étude couvrent les 03 bassins versants :

❖ **Le bassin versant des Hautes Plaines constantinoises**

Le bassin versant du plateau de Constantine, comprenant les contreforts septentrionaux de l'Aurès et les dépressions au nord de la wilaya, est drainé par les vallées du Boulefreis, de la Remila et du Gueis. Toutes ces rivières se déversent dans de petites sebkhas situées au nord de la wilaya.

❖ **Le bassin versant de l'oued Medjerdah**

Ce bassin comprend des montagnes et des vallées au nord-est de la province et est principalement drainé par l'Oued Guergoub.

❖ **Le bassin versant de chott Melghir**

Le bassin comprend le centre et le sud de Wilaya, y compris le massif des Aurès, les montagnes Nementas, les vallées des rivières El Arab et Mellagou, et les prairies et plaines subsahariennes au sud. (KHABTANE, 2015).

II.5.3 Les barrages dans la wilaya de Khenchela

Les ressources en eau de surface de la wilaya ne sont pas bien comprises en raison de l'irrégularité du débit des oueds. Sont réparties de la manière suivante :

Tableau 5. La situation des barrages dans la wilaya de Khenchela (DRE, 2019).

Barrage	Capacité	Situation
Babar	41 Hm3	Exploitation
Foum El-Gueiss	03 Hm3	Envasé
Tagharist	5,7 Hm3	Phase de remplissage
Ouldja	57 Hm3	Étude Achevée
Mellagou	50 Hm3	Étude APD en cours
Lazreg	2,3 Hm3	Étude d'APD Finalisée
Rakhouche	10,0 Hm3	Étude de faisabilité inscrite en 2012
Collinaires	5,52 Hm3	24 retenues réalisés (2,34 hm3), 37 sites inventoriés pour un volume de 3,24 hm3/an

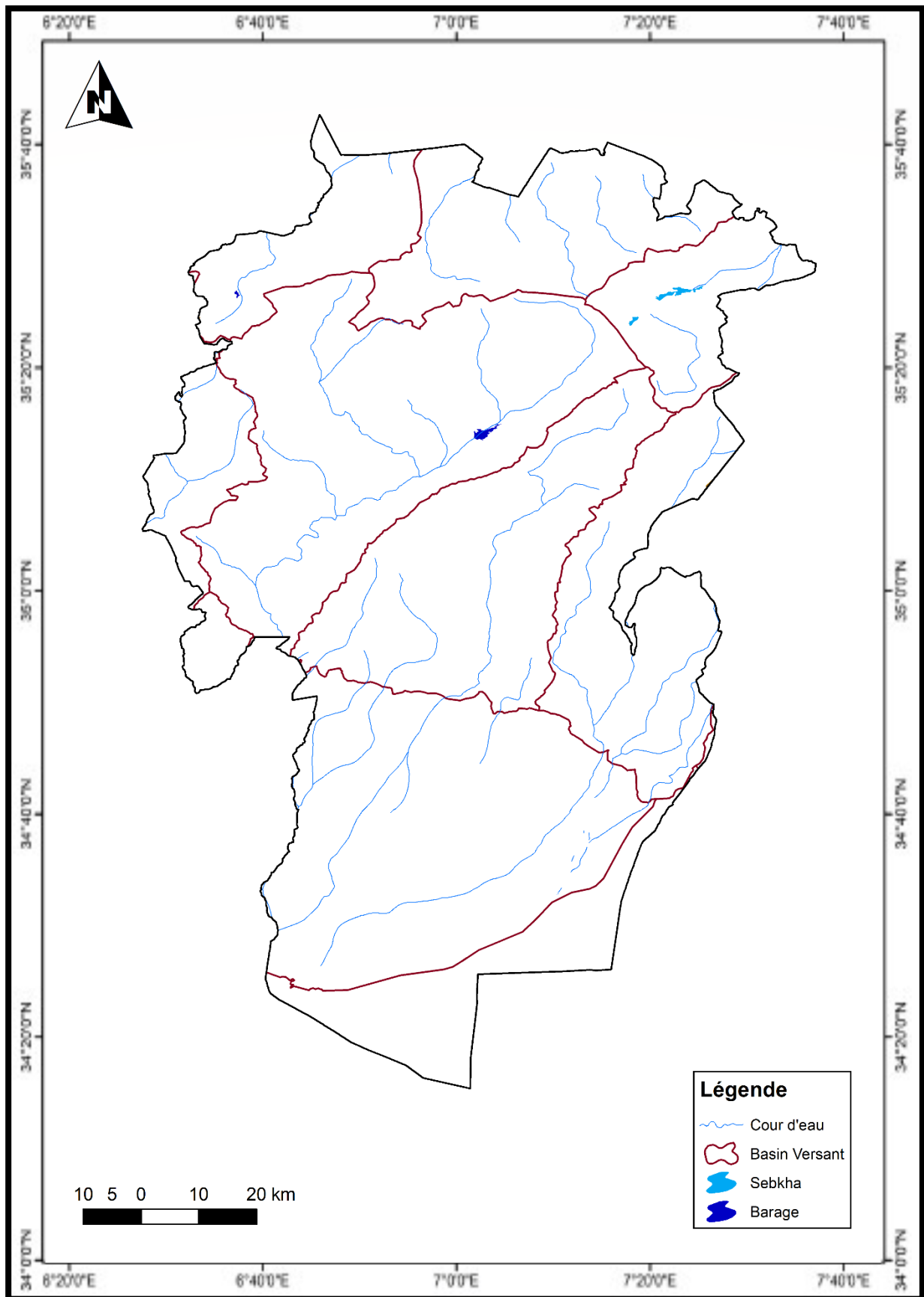


Figure 6. Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Khenchela.

II.6 Cadre géologique

II.6.1 La géologie

La géologie joue un rôle fondamental dans la détermination des formations géologiques pouvant former des aquifères. Elle se concentre sur l'analyse de la lithologie des formations pour déterminer leur potentiel d'être aquifères et sur les relations entre elles.

Le comportement géologique de la zone d'étude s'est inspiré des travaux et recherches antérieurs menés dans le massif des Aurès, les hautes plaines prairiales et les zones humides. La plupart de ces études se sont concentrées sur la stratigraphie, la géomorphologie, la sédimentologie et les caractéristiques structurelles. (**Ouanassi et Salhi., 2021**).

En particulier, la topographie la plus ancienne est attribuée au Trias et la plus récente au Quaternaire, selon des inventaires de strates compilés par plusieurs géologues. On pense que depuis le Trias, cette zone est une zone sédimentaire de surface continentale, avec différents types de dépôts et des épaisseurs variables. (**Ouanassi et Salhi., 2021**).

Au cours de cette période, la région présaharienne représentait une plate-forme caractérisée par différentes accumulations de sédiments. D'un point de vue tectonique, la région présaharienne est liée à l'Atlas tunisien, qui est séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès, avec un sommet à 2328 m.

La région de Khenchela est caractérisée par l'existence de trois (03) régions distinctes, qui se distinguent comme suit :

- **Au nord** : nous avons les bassins miocènes de Timgad et Douffana. Il s'agit d'une zone herbeuse plate correspondant à la bordure sud de la Grande Dépression de Garat El Taref.
- **Ouest et Centre** : constituent la terminaison clinique.
- **Au nord-est** : la chaîne des Aurès, zone caractérisée par le diapir triasique.
- **Région sud** : La région sud est formée par les montagnes Nememcha. Au sud, c'est le replat correspondant à la frontière septentrionale du pays des chotts.

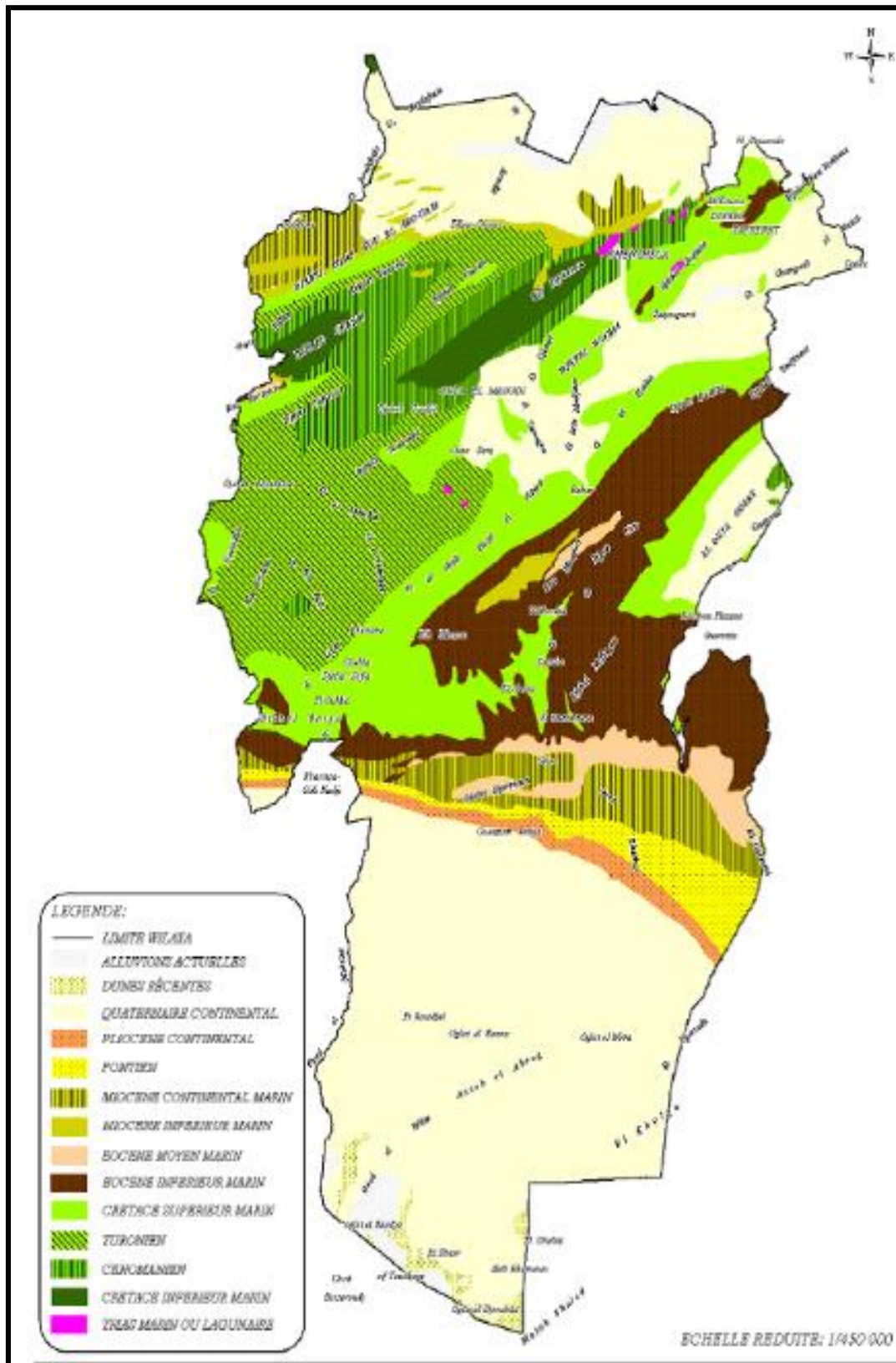


Figure 7. Carte géologique de la Wilaya de Khenchela (PAW, 2014).

II.7 Géomorphologique

La zone d'étude se trouve dans une région de transition entre la région montagneuse de l'Atlas au Nord et la plate-forme saharienne au Sud et au Nord-est (Ain -Touila).

Trois formes physiographiques importantes se dégagent en liaison avec la structure géologique :

II.7.1 Les reliefs

Le relief de la Wilaya se caractérise par quatre grands ensembles géographiques :

❖ **Les montagnes 35%de la superficie de la wilaya**

- l'Ouest de la wilaya se trouve les plus hautes montagnes du massif des Aurès (avec le mont Chelia à 2328m) : Djebels Tiskatine, Djebels Aoures, Djebels Pharaoun (1815), Djebels Akar, Djebels ElMenchar, Djebels Chaouia et Dj Djahfa...

-Dans la zone centrale les monts des Nememcha :

BouDjellal, Djebels Boudakhan, Djebels Sidi Abid, Djebels Abiod, Djebels Guetar....

-Nord-est les montagnes de tafrent (Ain Touila).

❖ **Les Hautes plaines au Nord**

Une région de plaines, représentant 15% du territoire, a de fortes capacités hydriques et offre de grandes opportunités pour le développement agricole.

❖ **Les plateaux** : au Nord-est : El Mahmel et Ouled Rechache.

❖ **Les plaines** : Situées au Nord et Nord -Ouest de la Wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa. (Madani, et Benaroua., 2010).

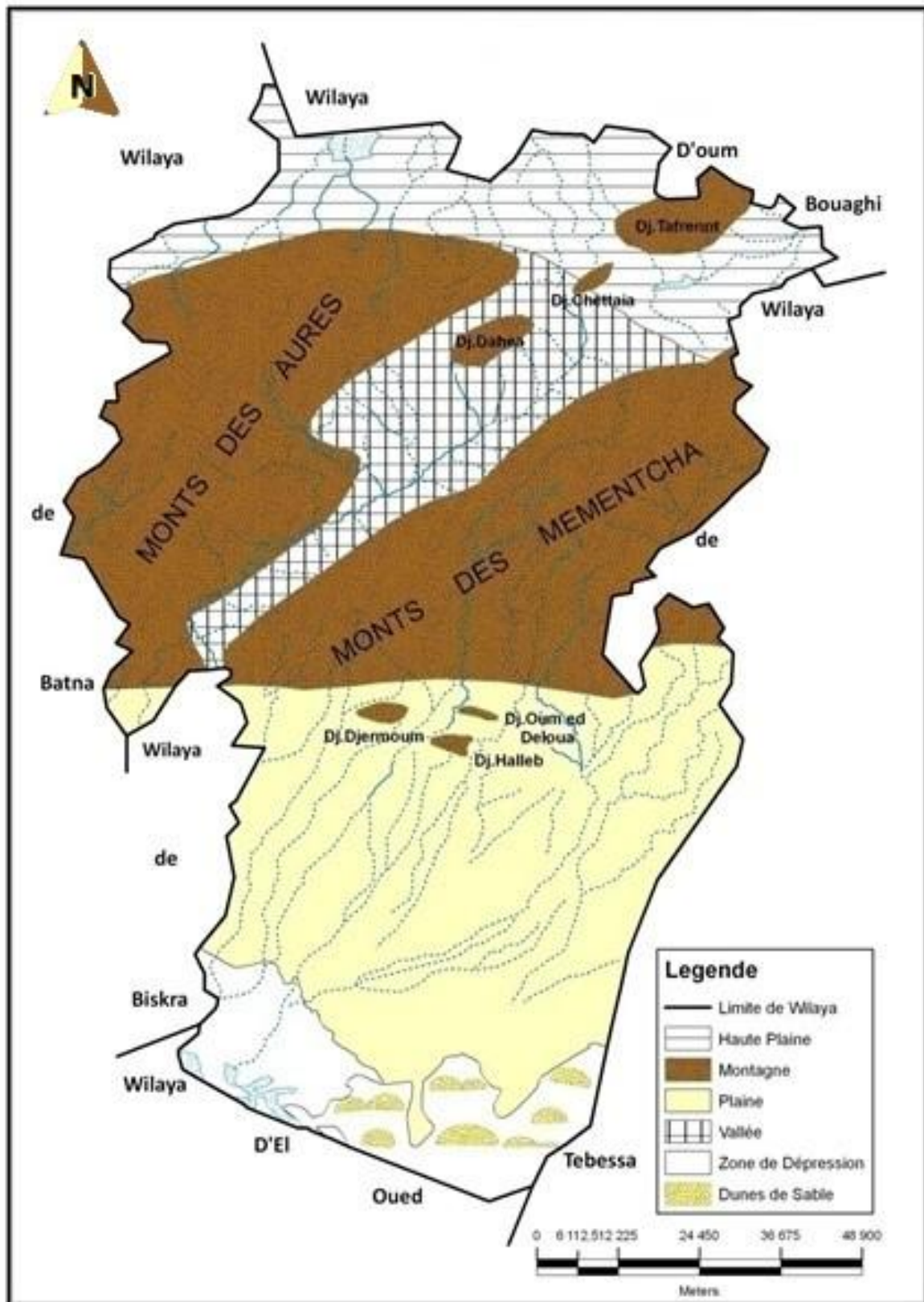


Figure 8. Carte de relief de la Wilaya de Khenchela (DSP Khenchela, 2011).

II.7.2 L'altitude

La province de Khenchela est caractérisée par des tombants abrupts qui oscillent entre -26 mètres d'altitude (Chott Melghir au sud-est) et 2169 mètres d'altitude (Djebel Chélia dans les Aurès au nord-ouest).

Il y a cinq zones de hauteurs différentes :

- Montagnes des Aurès, au Nord-Ouest : la wilaya est connue pour sa haute altitude, avec de nombreux sommets dépassant 1500 m, comme le Djebel Chélia (2169 m), les sommets du Djebel Tafrent s'échelonnent de 1623 à 2113 m etc. ...
- Montagnes Nemenchas, à l'est, les Montagnes Nemenchas s'échelonnent entre 600 et 1400 mètres d'altitude, avec quelques sommets atteignant près de 1600 mètres. Ils se caractérisent par de grandes différences de hauteur du nord au sud.
- Dans la zone des hautes plaines au nord, l'altitude oscille généralement entre 800 et 1000 m.
- Les contreforts des Némemchas, entre 200 et 600 mètres d'altitude.
- Région bas-saharienne avec une altitude comprise entre moins 26 mètres au bord du Chott Melghir et 200 mètres au pied du Nemenchas.

❖ **La distribution générale des classes d'altitude en fonction de la superficie est la suivante :**

- **Classes d'altitude entre 0 et 400 mètres** : correspondant à la partie sud de la province plaine du Sahara, qui représente 37,95% de la superficie totale de la province.
- **Classes d'altitude entre 400 et 800 mètres** : correspondant aux contreforts des Nemenchas, 19,13 % de la superficie totale de la province.
- **Classes d'altitude entre 800 et 1200 mètres** : correspondant principalement aux zones de plateau, représentant 36,83% de la superficie totale de la province.
- **Classe d'altitude supérieure à 1200 m** : correspond aux régions alpines des Aurès et Némemchas, qui représentent 6,08 % de la superficie totale de la province. (Khabtane, 2015).

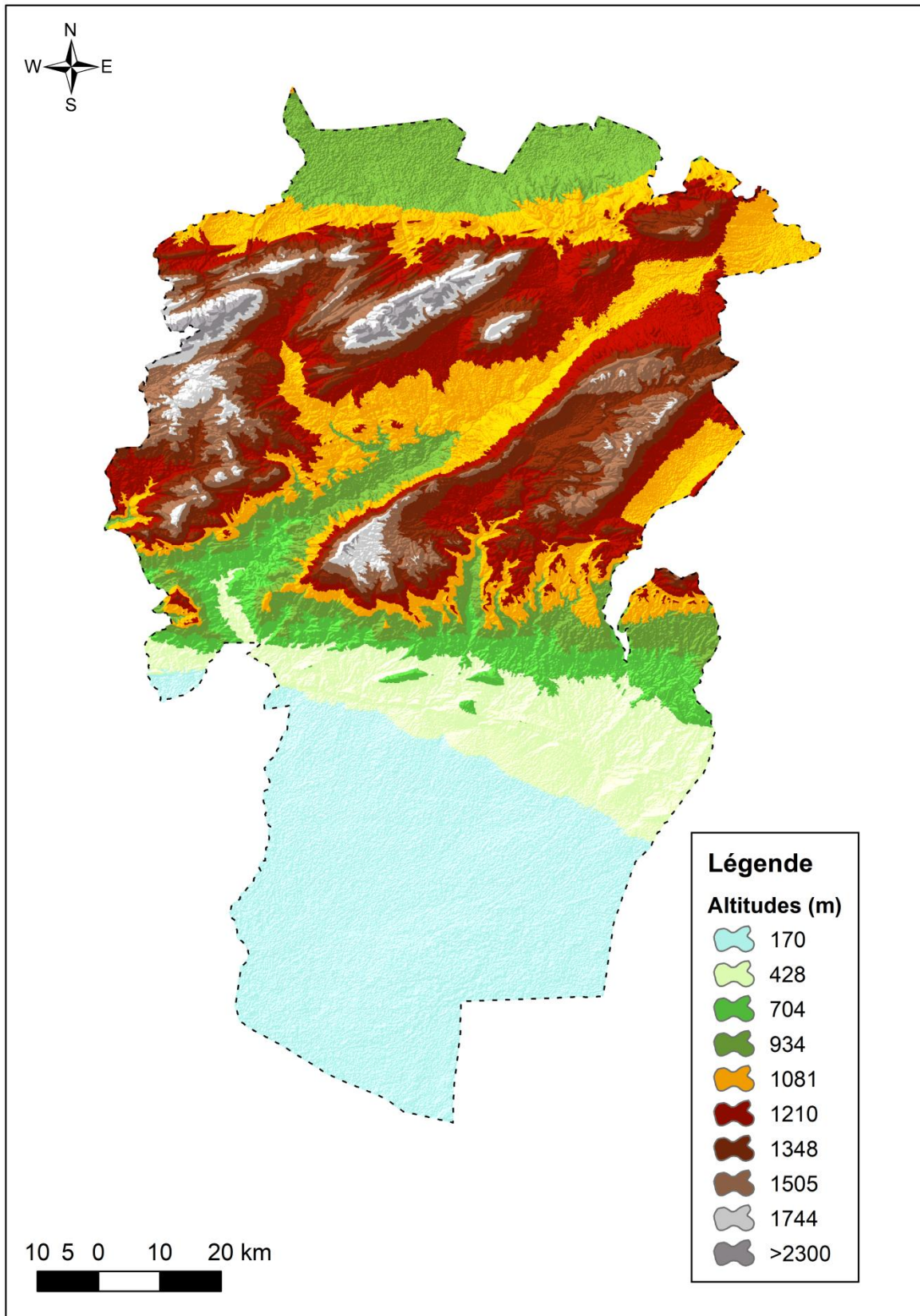


Figure 9. Carte des altitudes de la wilaya de Khenchela.

II.7.3 La pente

Une carte des classes de pente caractérisant le territoire de la wilaya, a été établie en utilisant la grille recommandée par le MATET pour le classement des zones montagneuses. Cette grille, propose 04 classes :

- **Première catégorie : Inclinaison allant de 0 à 3,5 %.**

Cette classe particulière offre une topographie exceptionnellement propice à une agriculture intensive à l'aide de la mécanisation et de l'irrigation. De plus, la construction d'infrastructures techniques, sociales et économiques est moins coûteuse en raison de la facilité d'accès sans nécessiter d'installations particulières.

- **Catégorie 2 : Pentas avec une pente allant de 3 à 12,5 %.**

De pente modérée, ce parcours s'avère être un lieu propice à l'agriculture intensive à semi-intensive, en fonction de l'acuité de la pente. En employant des techniques et des mesures antiérosives, la terre devient hospitalière pour l'agriculture.

- **Catégorie 3 : inclinaison allant de 12,5 % à 25 %.**

L'inclinaison de cette classe particulière est plutôt raide. Les agriculteurs devraient privilégier la plantation d'arbres fruitiers et de cultures pérennes qui aident à fixer le sol plutôt que les cultures annuelles et les grandes cultures. Cette dernière favorise l'érosion et accélère la détérioration de la qualité des sols, ce qui peut être préjudiciable à long terme.

- **Catégorie 4 : inclinaison supérieure à 25 %.**

L'extrême pente de cette classe de terres particulière pose des obstacles importants aux activités agricoles et au développement des infrastructures. **(Boumaiza, 2012).**

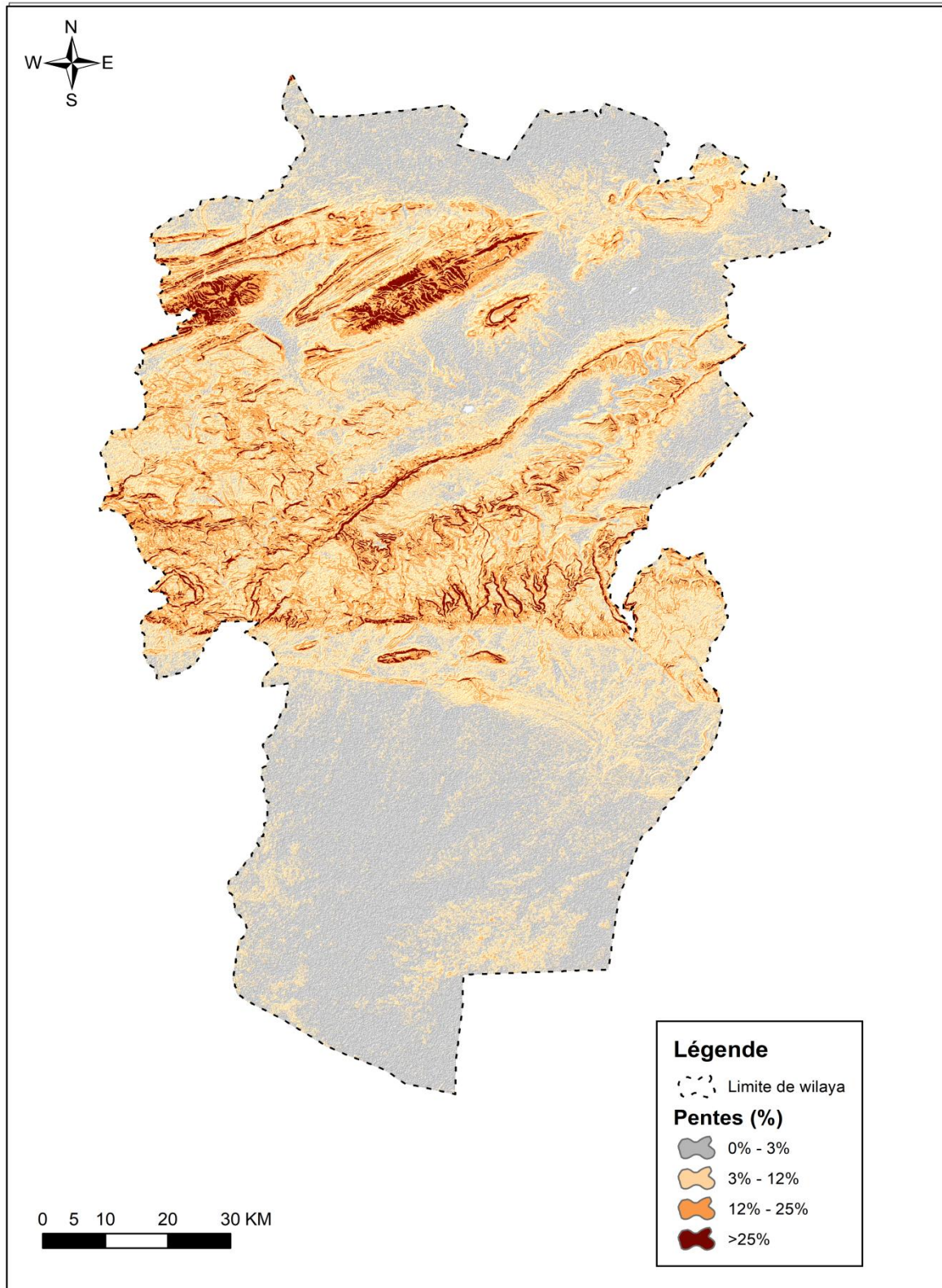


Figure 10. Carte des pentes de la wilaya de Khenchela ..

II.8 La lithologie

D'après **Khabtane, 2015** au niveau de lithologique, la région de la wilaya de Khenchela il existe une variété de faciès dont les plus représentatifs sont les suivants :

- **Le gypse :**

Formation saline, le trias est essentiellement répandu sur les basses plaines sahariennes au sud de la wilaya. Par ailleurs, on le trouve localement au Nord de de Khenchela, à l'est de Babar et au sud d'Oulad Rechache.

- **Les calcaires et dolomies dures :**

Formations à bonne résistance à l'érosion, les calcaires et dolomies dures sont présent sur la presque totalité du massif des Aurès et sur les reliefs du nord-est de la wilaya.

- **Les marnes :**

Sont présentes tout le long de la vallée de l'Oued El Arab et sur la partie est de la wilaya, correspondant aux monts des Némenchas, Au niveau de ces derniers, qui sont dépourvus de végétation forestière.

- **Les calcaires friables :**

Peu répandus dans la wilaya, sont localisés principalement sur la bande médiane séparant le nord du sud de la région, et localement au nord, dans la zone des Garâtes. Ces roches donnent naissance à des sols calcaires, de profondeur variable suivant leurs positions topographiques, et riches en humus quand ils sont couverts de végétation forestière.

- **Les alluvions et sables :**

Ces phases sont stables et se produisent principalement dans le nord du plateau, les terrasses alluviales d'El Meroudj et de l'oued Guergoub, et au sud des niveaux glaciaires dans les contreforts des Aurès-Némenchas et les basses plaines.

II.9 Pédologique

En raison de la diversité morphologique, lithologique et climatique de la région de la wilaya, il existe une variété de sols répartis en six catégories dont nous mentionnons :

- **Les sols calcaires humifères :**

On les trouve dans les montagnes et contreforts des Aurès entre 1000 et 1500 mètres d'altitude.

- **Les sols insaturés humifères :**

Ces sols sont présents sur les zones les plus élevées (au-dessus de 1 500 mètres) de l'Aurès et sont couverts de forêts.

- **Les sols calciques :**

Ces sols se trouvent dans les zones basses des montagnes et sur le plateau le long de la route reliant Khenchela et Faïs, en passant par Kaïs et Remila.

- **Les sols éoliens d'ablation :**

Ces sols se trouvent au Sud de la région, sur les contreforts des montagnes Nementchas, avec une altitude comprise entre 200 et 500 mètres.

- **Les sols salins ou solontchak :**

Ces sols associés aux dépressions se trouvent dans les zones de dépôt. Ils sont formés par une hydrologie interne ou par la présence de roches salines du Trias, telles que le gypse.

- **Les roches mères :**

Ces roches qui ont été intensément érodées par des facteurs défavorables tels que les montagnes, les fortes pluies, un substrat mou et l'absence de végétation permanente, sont visibles en surface notamment dans les monts de Nementchas. (**Amrani, 2018**).

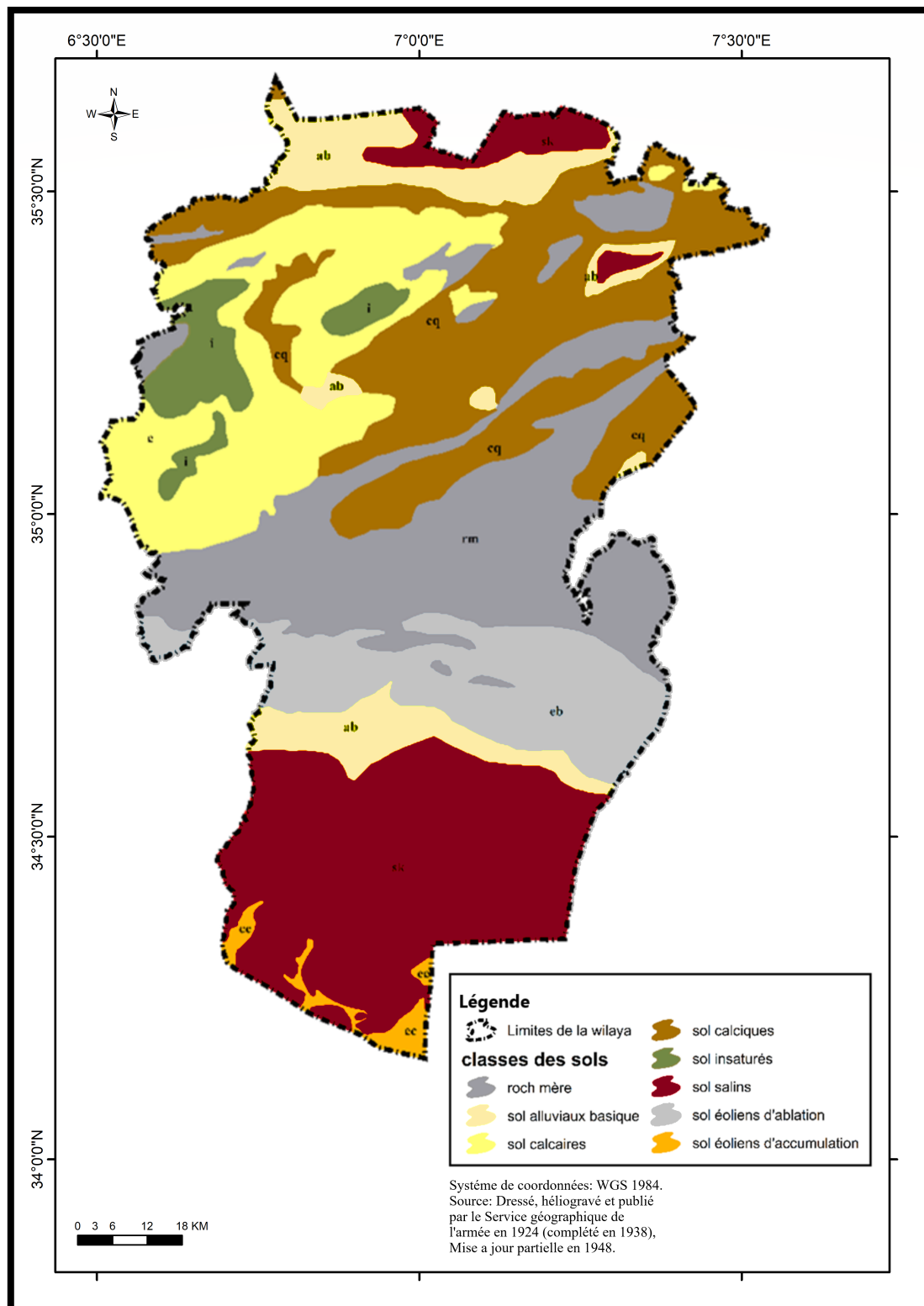


Figure 11. Carte des sols de la wilaya de Khenchela.

II.10 La végétation

Les forêts se trouvent sur les reliefs montagneux des communes de la zone d'étude. Parmi eux les différentes espèces présentes dans les considérables forêts de l'Aurès :

✓ Le cèdre

Les limites altitudinales minimales et maximales pour le cèdre varient entre 1400 et 2200 m sur les pentes abritées du siroco. Le cèdre occupe une surface de 11.027 ha (**BAHRI, 2006**) et préfère les sols meubles et caillouteux, ce qui lui permet de survivre aux premières saisons estivales. Sa reproduction est optimale sur des sols facilement perméables, tels que les grès, les schistes délites et les calcaires caillouteux. (**Boudy, 1952**).

✓ Le Chêne vert

Le développement optimal du chêne vert dépend des facteurs climatiques. Il se trouve à une altitude de 1000 m où la température moyenne varie entre 9 et 14°C et les précipitations sont d'environ 600 mm. Il peut croître dans les étages bioclimatiques semi-arides à humides, indépendamment de la nature du sol.

➤ Forêt domaniale des Beni Oudjana

La forêt se trouve sur les territoires des communes de Taouzient, Yabous et Chelia et couvre 40 000 hectares à diverses altitudes de 1000 à 2328 mètres d'altitude à Ras Keltoum à Chelia. Elle mesure 40 km de longueur et sa largeur maximale est de 32 km et minimale de 10 km. Cette parcelle forestière est constituée de plusieurs essences résineuses et feuillues, à savoir le pin d'Alep, le genévrier, le cèdre de l'Atlas etc.... (**Hani et al, 2020**).

➤ Forêt domaniale des Ouled Yagoub

La forêt se trouve sur le territoire de la commune de Tamza, couvrant 21 666 ha en un seul bloc, avec des altitudes allant de 1100 à 2200 m. Elle mesure 30 km de longueur et 15 km de largeur. Cette forêt regroupe des peuplements précieux aux limites du Sahara, où le cèdre peut être trouvé dans la région d'Ain Mimoun sur les montagnes de Djebel Pharaoun.

➤ Forêt domaniale des Beni Melloul

La forêt se trouve sur le territoire de la commune de M'sara, couvrant 67.655 ha en un seul bloc et faisant suite à la forêt des Beni Oudjana. Les altitudes varient entre 1100 et 1700 m. Elle

s'étend au sud jusqu'aux limites d'Oued Lâarab et constitue une pinède classée première en Afrique. (Ziani et boukarkar., 2017).

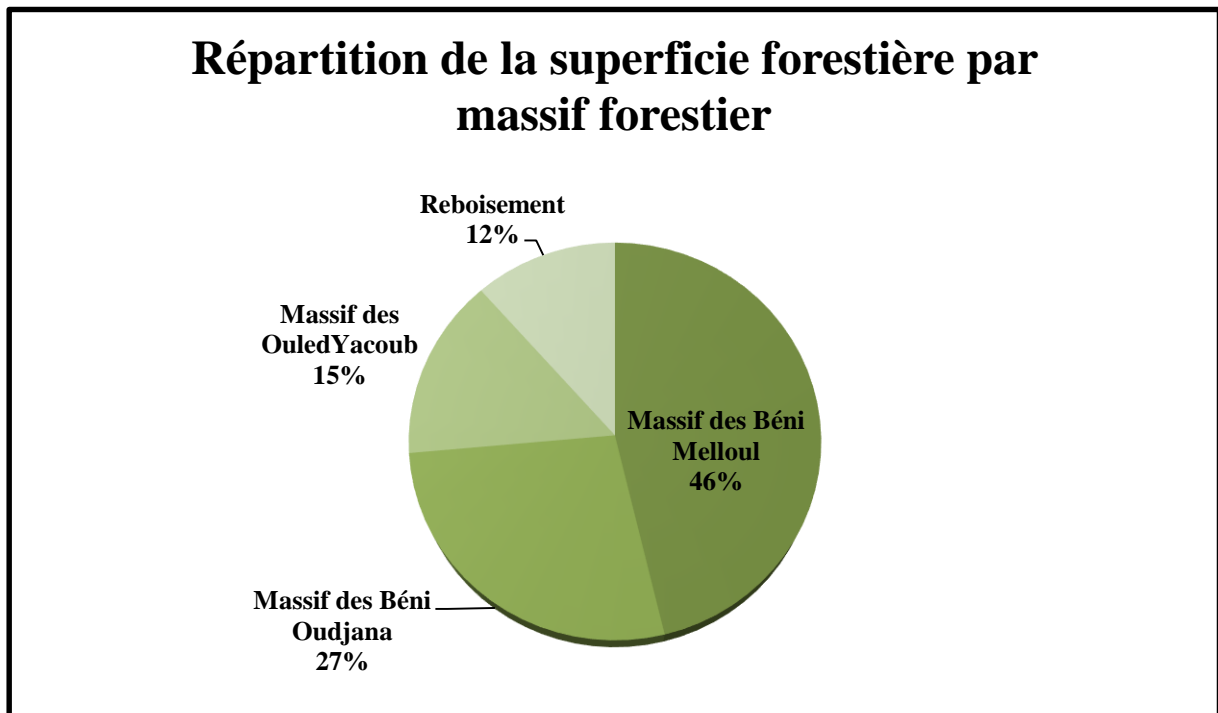


Figure 12. Répartition de la superficie forestière par massif forestier (Anonyme, 2017, modifiée).

II.11 La climatologie

La climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des paramètres requis pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la durée d'insolation, la direction et la vitesse du vent, l'humidité. Le climat représente donc le « temps moyen » en un lieu donné (Emselem, 1989).

Le cycle de l'eau souterraine et le climat sont étroitement liés. Les fluctuations climatiques ont un impact significatif sur les réserves d'eau souterraine, qui sont alimentées par l'infiltration directe et déchargées par l'évaporation pendant la saison aride et semi-aride. Le climat contrôle la quantité d'eau dans les eaux souterraines et de surface en raison de sa teneur en eau (précipitations) et influence même la formation et la qualité des sols dans toutes les régions.

De point de vue climatique, la wilaya de Khenchela se caractérise par un climat continental, semi-aride : à hiver froid et été chaud et sec.

II.12 Les données climatiques

II.12.1 La température

Représente un facteur limitant de toute première importance car elle conditionne la répartition De la totalité des espèces (**Ramade, 2003**). Les espèces végétales sont plus sensibles aux Températures maximales de la saison chaude et aux températures minimales de la saison froide (**M'herit, 1982**).

Tableau 6. Les données de la température pour 30 ans (1991/2021).

Mois	Jan	fév	Mar	avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	oct.	nov.	déc.
T Max(C°)	9.1	9.8	14	18.2	22.7	28	32.1	30.9	25.5	20.6	13.7	9.9
T min(C°)	-0.3	-0.2	2.5	5.8	9.5	13.9	17.4	17.1	13.6	9.9	4.3	1.1
T(C°)	4.4	5	8.25	12	16.1	20.95	24.75	24	19.55	15.25	9	5.5
M-m(C°)	8.8	9.6	11.5	12.4	13.2	14.1	14.7	13.8	11.9	10.7	9.4	8.8

En été, les températures les plus élevées sont mesurées dans les mois de (juin, juillet et aout) atteignant 28, 32.1 et 30.9 °C.

En hiver, les températures les plus moins sont mesurées dans les mois de (janvier, février, décembre). Atteignant 4.4, 5 et 5.5°C (figure13 et tableau 06).

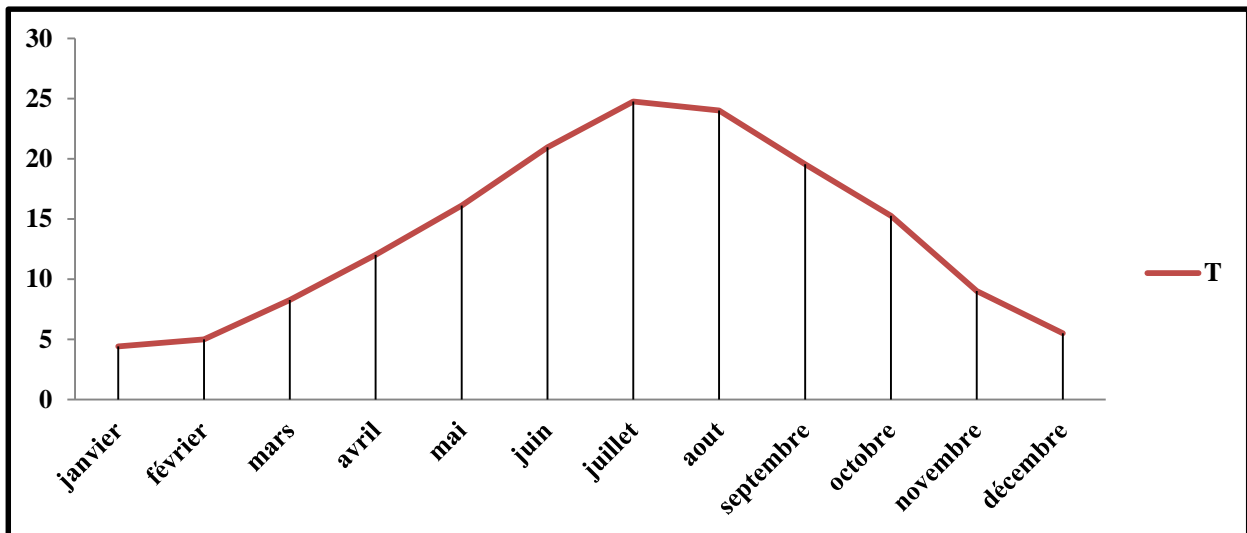


Figure 13. Courbe d'évolution des températures de la région d'étude pour 30 ans (1991/2021).

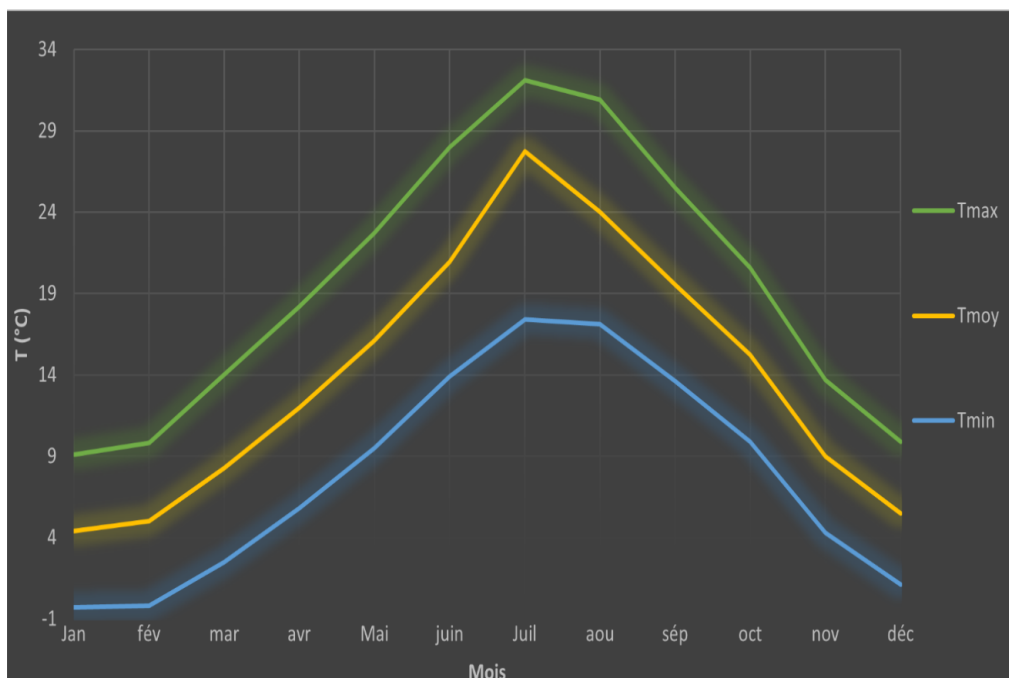


Figure 14. Courbe de variation des températures mensuelles pour 30 ans (1991/2021).

L'analyse des données thermiques révèle une variabilité importante de la température au cours de 30 ans. L'hiver est très froid avec une moyenne de 4.4°C en janvier, tandis que l'été est chaud avec une moyenne de 24.75°C en juillet.

II.12.2 La pluviométrie

Les précipitations en Algérie ont principalement une origine orographique, qui est influencée par divers paramètres tels que l'altitude, l'orientation des chaînes de montagnes et leur exposition. Les versants Nord et Nord-Ouest reçoivent une quantité plus importante de

précipitations par rapport aux autres expositions, soulignant ainsi l'impact majeur de la topographie sur la répartition des précipitations dans le pays. (Seltzer, 1946 ; Halimi, 1980).

Tableau 7. Les données de la pluviométrie pour 30 ans (1991/2021).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc
P (mm)	39	30	40	45	42	21	11	20	33	33	35	32

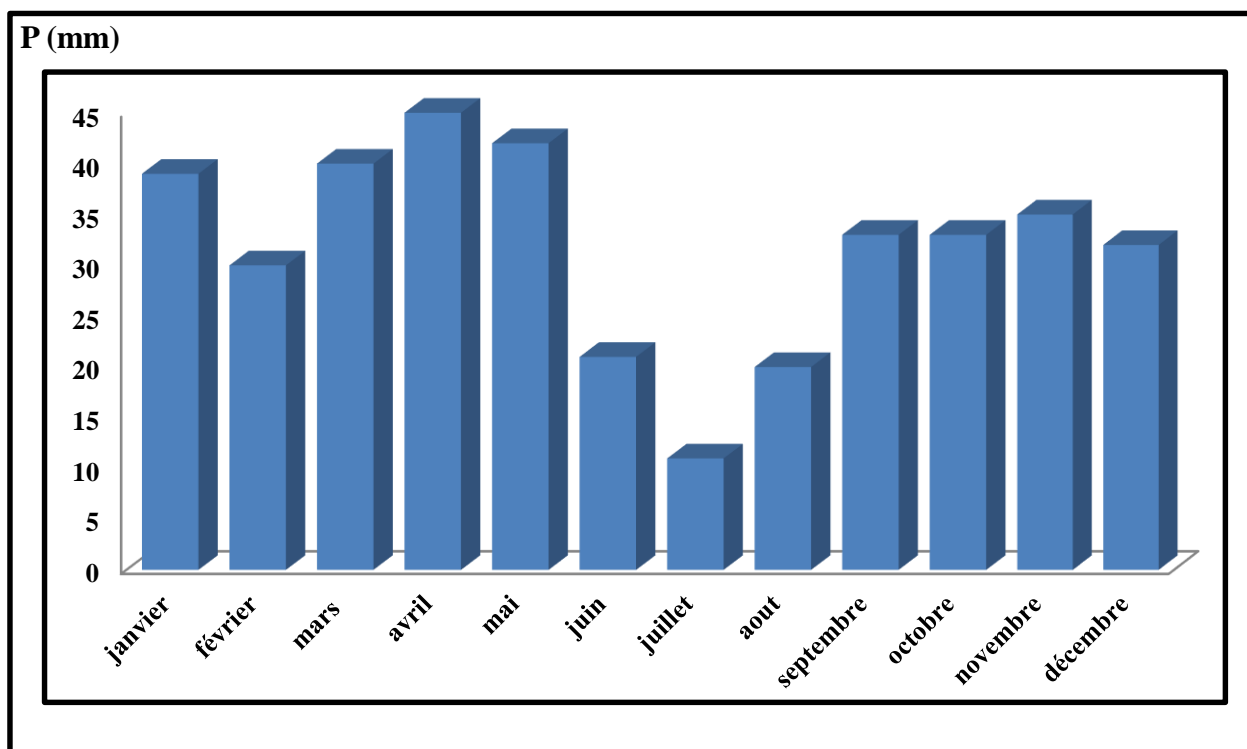


Figure 15. Histogramme de variation des précipitations mensuelles pour 30 ans (1991/2021).

Les données pluviométriques révèlent une forte variabilité des précipitations au cours de 30 ans. Le mois le plus pluvieux est avril, avec une moyenne de 45 mm.

Il y a deux périodes, l'une est la saison des pluies de septembre à mai, et l'autre est la période de sécheresse : juin, juillet et août.

II.12.3 La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothermique)

L'établissement du diagramme Ombrothermique de Bagnoul et Gausson nous permet de classer graphiquement les climats en fonction des paramètres hydriques (pluviométrie) et thermiques (température). Ce diagramme permet également de déterminer les gradients d'humidité en identifiant les périodes sèches et les périodes humides des 30 ans, (1991/2021).

Cette information est cruciale pour comprendre l'impact des conditions climatiques sur l'état et l'évolution du couvert végétal.

Ainsi, les différents cas être considérés :

- ✓ Si $P \leq 2T$: Les mois est considéré comme étant sec.
- ✓ Si $2T < P \leq 3T$: Le mois est considéré subi sec.
- ✓ Si $P > 3T$: Le mois est considéré comme étant humide.

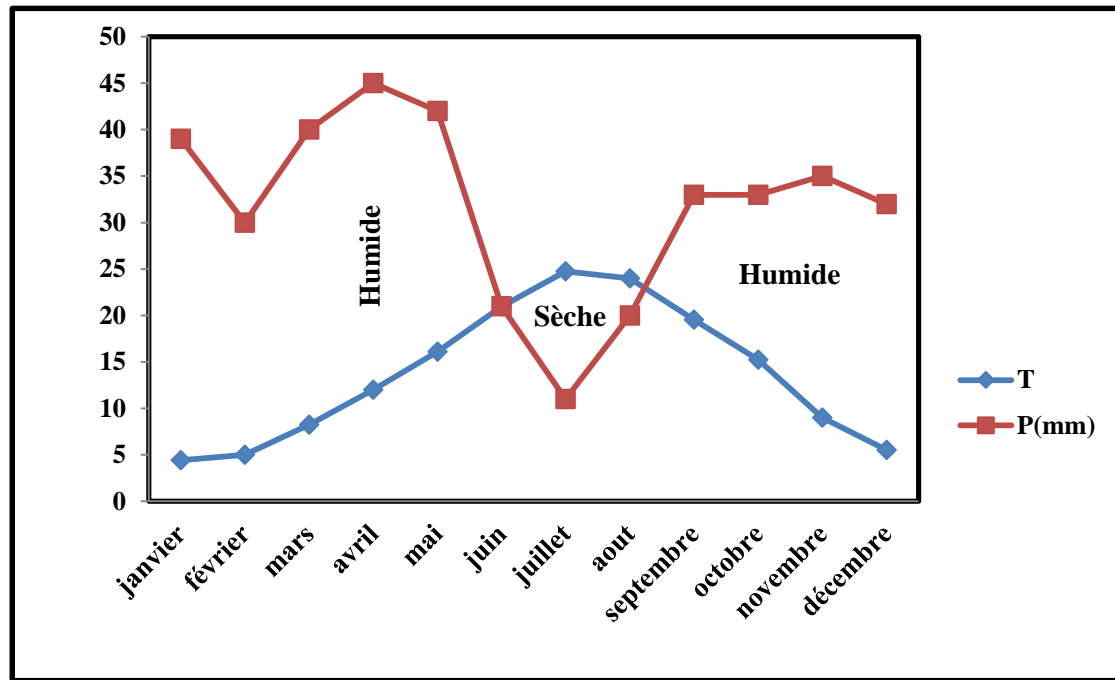


Figure 16. Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude pour 30ans (1991/2021).

L'examen de ce diagramme Ombrothermique indique que le climat de la région d'étude se caractérise par une période sèche qui dure 4 mois (Juin à Septembre).

II.12.4 Humidité

Tableau 8. Les données de L'Humidité pour 30ans (1991/2021).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	juill.	Aout	Sep	oct.	nov.	Déc
H%	71	66	59	54	50	41	33	37	52	58	68	72

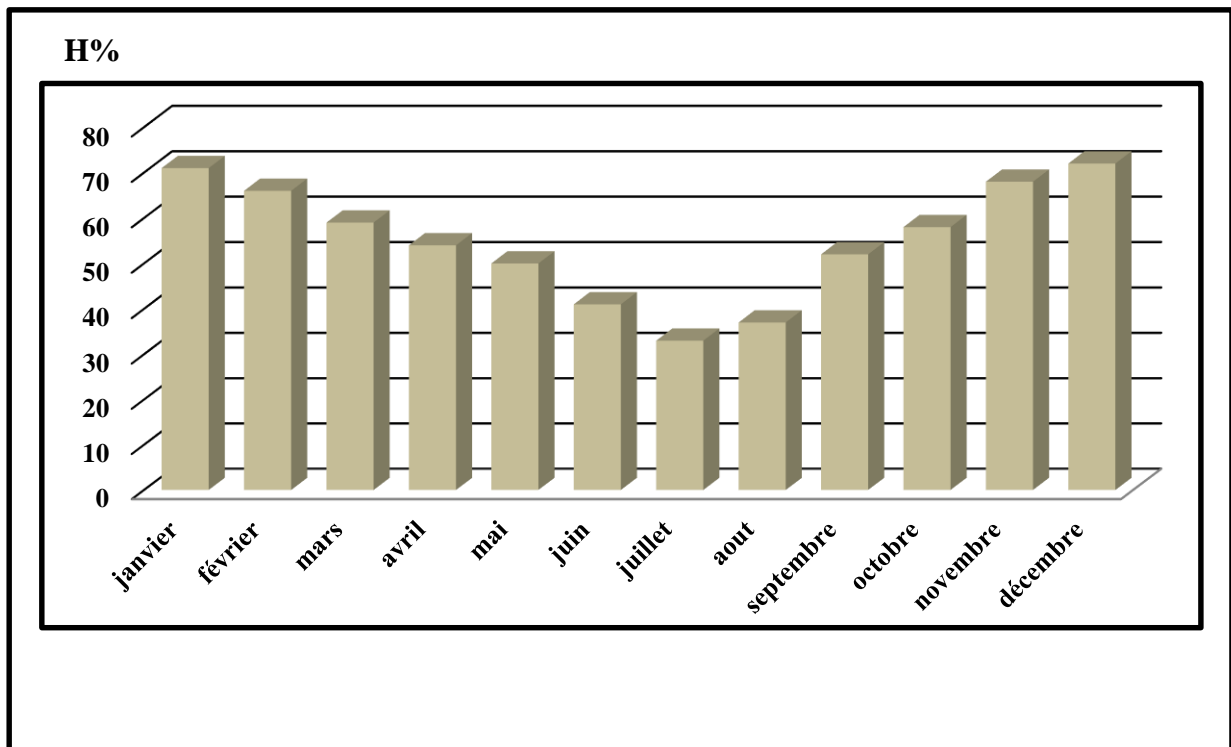


Figure 17. Variation de l'humidité mensuelle pour 30ans (1991/2021).

Le graphique ci-dessus montre la variation mensuelle de l'humidité. Les données hydro-climatiques indiquent que le taux le plus élevé est observé en décembre, atteignant 72%, tandis que le taux le plus bas est enregistré en juillet, avec 33%.

II.12.5 Quotient pluviométrique d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger est un indicateur climatique qui mesure la répartition des précipitations au cours de l'année. Ce quotient est utilisé pour évaluer la distribution des précipitations dans différentes régions.

Cet indice climatique est le plus fréquemment utilisé pour caractériser le bioclimat d'une région méditerranéenne, et notamment en Afrique du nord. C'est un paramètre combinant trois facteurs caractérise le bioclimat d'une région donnée par-là l'équation suivante :

$$Q2 = 1000P / ((M+m) / 2 \times (M-m)) \text{ soit } 2000P / M^2 - m^2$$

Selon Stewart (1969) Cette formule peut s'écrire avec une erreur négligeable de la manière suivante :

$Q_2 = 3,43 \cdot P/M-m$

Dont :

P : précipitations annuelles (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud. (°C)

m : moyenne des minima du mois le plus froid. (°C)

M et **m** sont exprimés dans l'expression de Stewart en degré Celsius $P = 381$, $M-m = 24.75 -$

$4.4 = 20.35$, $Q_2 = 3,43 \times 381 / 20.35$, $Q_2 = 64.14$

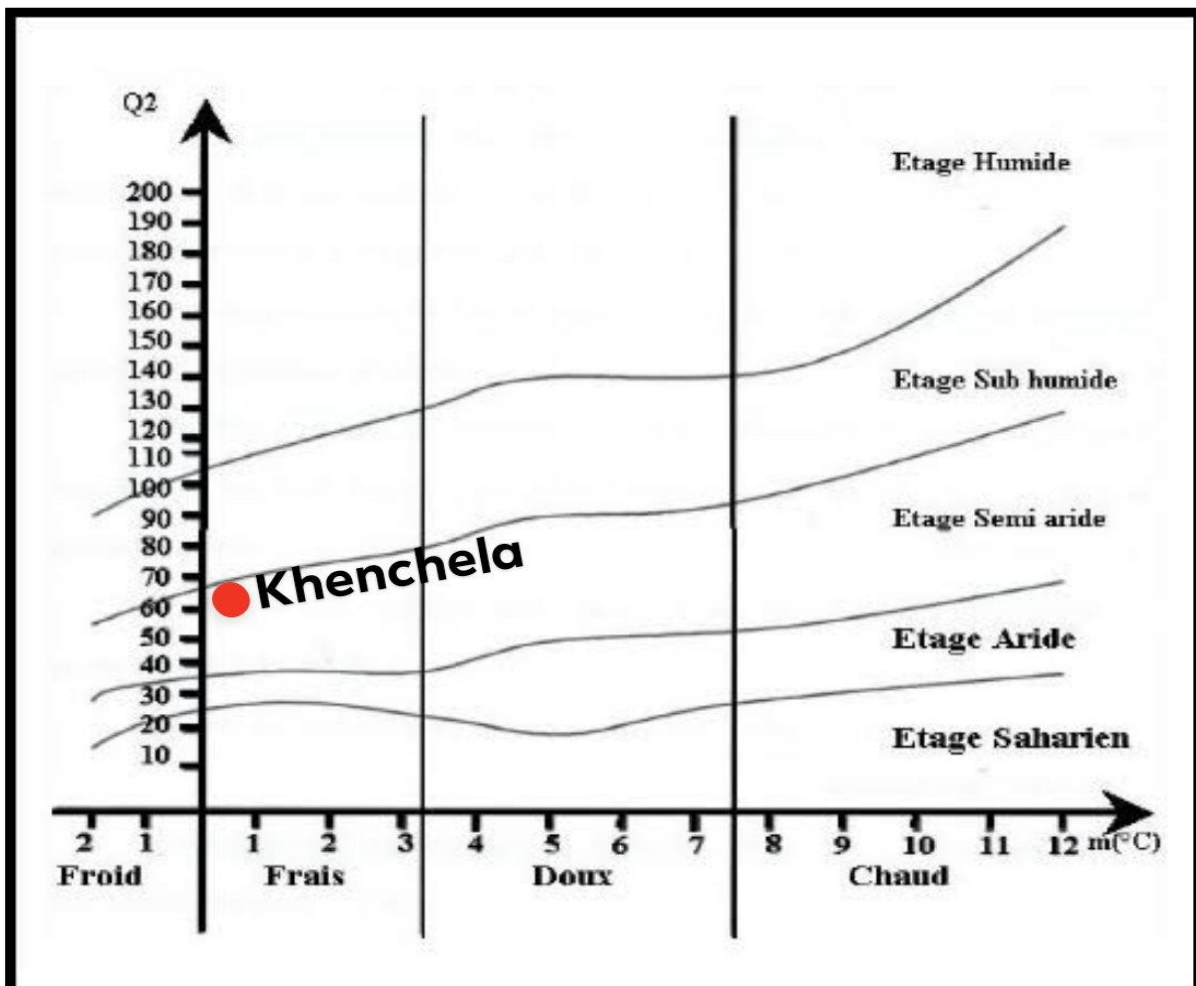


Figure 18. Classification de l'étage bioclimatique de la région d'étude Climagramme (1991-2021).

Pour la région de Khenchela, les résultats calculés du quotient pluviométrique d'Emberger pour La période de 1991-2021 est de $Q_2 = 64.14$, avec la mise en évidence de $P = 381$ mm, $M = 24.75^\circ\text{C}$, $m = 4.4^\circ\text{C}$, les résultats sont projetés dans le Climagramme d'Emberger (Figure18), ou elle classe la région de khenchela dans l'étage bioclimatique des zones semi- aride

II.12.6 Indice de Demartone

Le géographe « Demartone » (1929) définit l'indice d'aridité (I) en se basant sur la combinaison de régime thermique et hygrométrique selon la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

P : Précipitation annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en ($^\circ\text{C}$)

Pour la wilaya de khenchela

$$P = 381\text{mm}, T = 23.27, I = 381/23.27, I = 16.37$$

Tableau 9.Type de climat selon l'indice de Demartone.

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I < 5$	Hyper aride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi humide
$30 < I < 55$	Humide

- Le Climat de la région de Khenchela est du type : **Semi-aride**

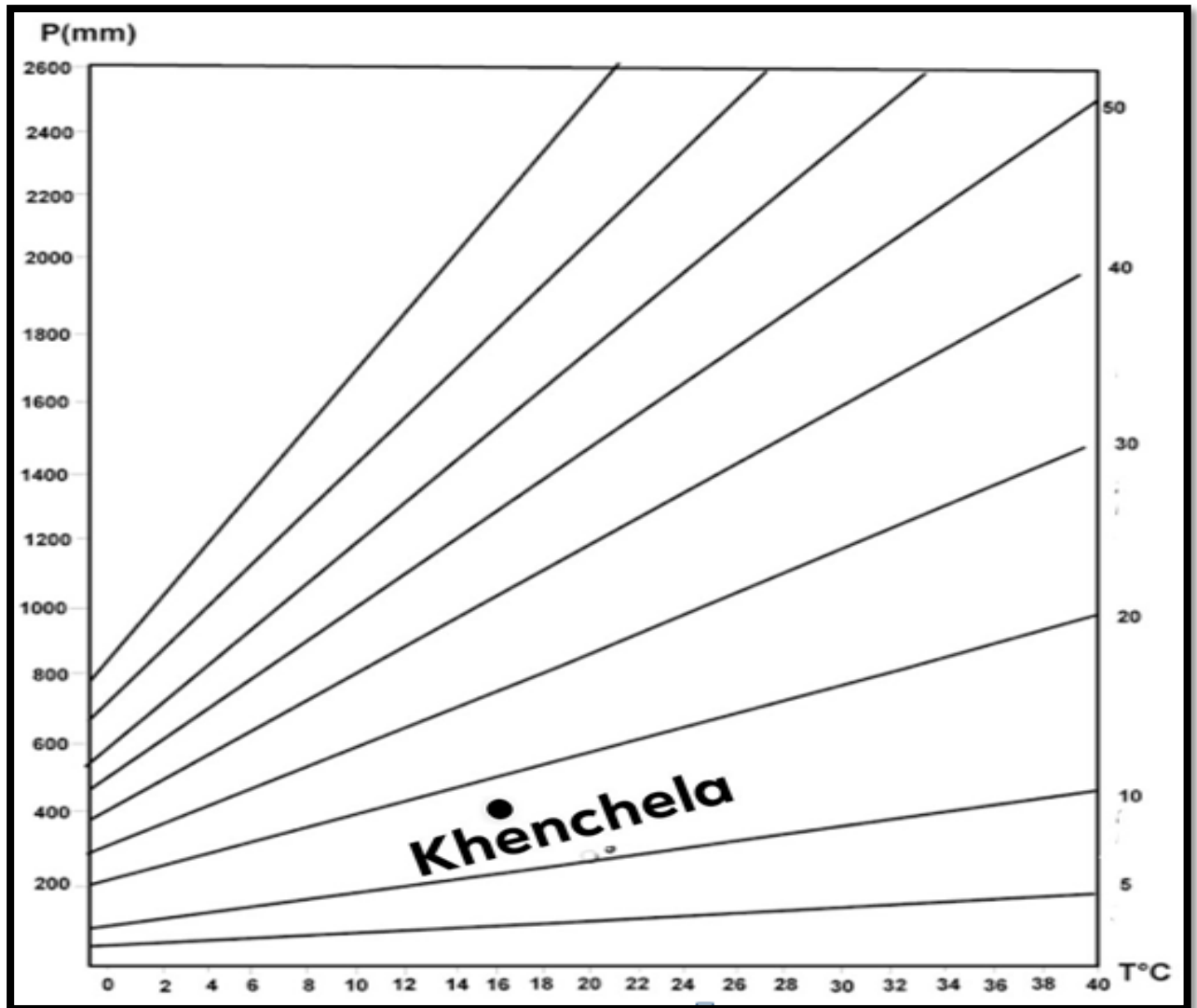


Figure 19. L'indice d'aridité annuel de Martonne (1991-2021).

II.12.7 Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euvert :

Euverte a déterminé l'humidité du sol selon quatre types de régimes à partir des moyennes mensuelles des précipitations et des températures :

- ❖ Un régime très sec : $P / T < 1$.
- ❖ Un régime sec : $1 < P / T < 2$.
- ❖ Un régime subhumide : $2 < P / T < 3$.
- ❖ Un régime humide : $P / T > 3$.

Tableau 10. Les régimes des mois (rapport de P/T°) en 1991/2021- khenchela

Mois	Jan	fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	juill.	Aout	Sep	oct.	nov.	déc.
T(C°)	4.4	5	8.25	12	16.1	20.95	24.75	24	19.55	15.25	9	5.5
P (mm)	39	30	40	45	42	21	11	20	33	33	35	32
P/T	8.86	6	4.84	3.75	2.60	1.00	0.44	0.83	1.68	2.16	3.88	5.81

Le régime des mois est le suivant :

- Juillet, aout : **Très sec**
- Septembre, juin : **Sec**
- Mai, octobre : **Subhumide**
- Janvier, février, novembre, décembre, mars, avril : **humide.**



CHAPTER III

Chapitre 3 : Analyses et interprétations

Objectif

Notre objectif principal est d'évaluer la qualité hydrogéochimique des sources d'eau dans la région de Khenchela.

- Définir la qualité des eaux de sources en ayant recours aux analyses.
- Etudier et comprendre les mécanismes responsables de cette qualité.

Afin de faciliter la compréhension générale des résultats de l'étude hydrogéochimique et de l'analyse statistique, plusieurs tableaux et diagrammes ont été créés.

III.1 Analyses

III.1.1 Echantillonnage

Il est essentiel de traiter avec le plus grand soin le processus de prélèvement des échantillons d'eau, car il influe directement sur les résultats analytiques et leur interprétation.

Ont été déterminé 10 points de prélèvement d'eau comprenant les sources de l'eau potable, et trois sources thermales : Hammam El Salihine, Hammam El Kenif, et Hammam Djaarir, dont l'écoulement est pérenne et la localisation est reprise sur la figure 20, ont été ainsi échantillonnés pendant la période d'étude de l'année 2023. Leurs coordonnées géographiques : la latitude, longitude et altitude sont reprises aussi à l'aide d'un GPS de type Garmin.

III.1.2 Etiquetage

L'étiquetage ou le marquage précis de chaque flacon d'échantillon d'eau est une étape délicate qui doit être effectuée avec le plus grand soin. Il est essentiel de repérer de manière claire et durable tous les récipients contenant les échantillons, afin de garantir leur identification sans ambiguïté au laboratoire.

Les échantillons prélevés doivent être clairement identifiés. À fournir les informations suivantes de manière explicite :

- Origine de l'eau.
- Date et heure du prélèvement.

- Nom du point d'eau et sa localisation.

Il existe deux méthodes de désignation des échantillons :

- La première consiste à apposer une étiquette sur les flacons, sur laquelle sont précisées l'origine de l'échantillon et les conditions de prélèvement.
- La seconde option consiste à simplifier cette procédure en utilisant un système d'étiquettes numérotées ou codées.

Etiquetage complet par exemple :

Station :

Date :

Heure :

Analyses à effectuer :

III.1.3 Matériels de prélèvement

Pour la réalisation de notre travail, nous avons utilisé le matériel suivant :

Des bouteilles en plastique de 1.5 L

Glacière

Un dispositif de prélèvement manuel

Multi paramètre YSI (Pro DSS).

III.1.4 Matériels de laboratoire

Verrerie (Entonnoirs, Bêchers de différents volumes)

Spectrophotomètre UV

Spectrophotomètre à flamme

Le dispositif de titrimétrie (dosage)

Les réactifs.

Fioles en verre et en plastique.

Becher de 50 ml.

Burette

Cuvette.

Pipette.

Eprouvette.

Agitateur magnétique.

III.1.5 Technique de prélèvement

Cette méthodologie est applicable les bouteilles de prélèvement chaque échantillon sera répartie dans différents flacons destinés au laboratoire. Dans le cas où le prélèvement d'eau est effectué directement dans les flacons prévus pour les analyses physico-chimiques, sans l'ajout de conservateur afin de minimiser les risques de contamination et d'interaction avec les réactifs.

La technique de prélèvement est décrite comme suit :

-Avant de procéder au prélèvement des échantillons d'eau, les bouteilles et leurs bouchons seront rincés trois fois avec de l'eau distillée.

-Puis elles sont rincées sur le terrain avec l'eau à analyser pour éviter toutes les contaminations avec les autres solutions.

-Les bouteilles sont soigneusement bouchées, en veillant à éliminer toute présence de bulles d'air, de manière à remplir les flacons complètement.

Tableau 11. Points de prélèvement. Avril ; 2023

Source d'eau	Djebel	Latitude x	Longitude y	Altitude z(m)	Nature du gisement
S1	Chélia	35° 18' 04 "	6° 38' 98"	1572	Froid
S2	Chélia	35° 18' 04 "	6° 37' 02"	1738	Froid
S3	Chélia	35° 21 ' 34"	6° 38 '34"	1329	Froid
S4	Chélia	35° 26 ' 49 "	6° 48' 98"	1158	Froid
S5	Aidel	35° 26' 02"	7° 05' 14"	1166	Froid
S6	Manchare	35° 27' 46"	7° 08' 38"	1025	Froid
S7	Serdoune	35° 26' 09"	7° 08' 19"	1147	Froid
H1	El Kenif	35° 29' 11"	7° 15' 11"	1058	Chaud
H2	Aidel	35° 26 ' 22"	7° 05' 06"	1071	Chaud
H3	Chelia	35° 16' 45"	6° 47' 23"	1102	Chaud

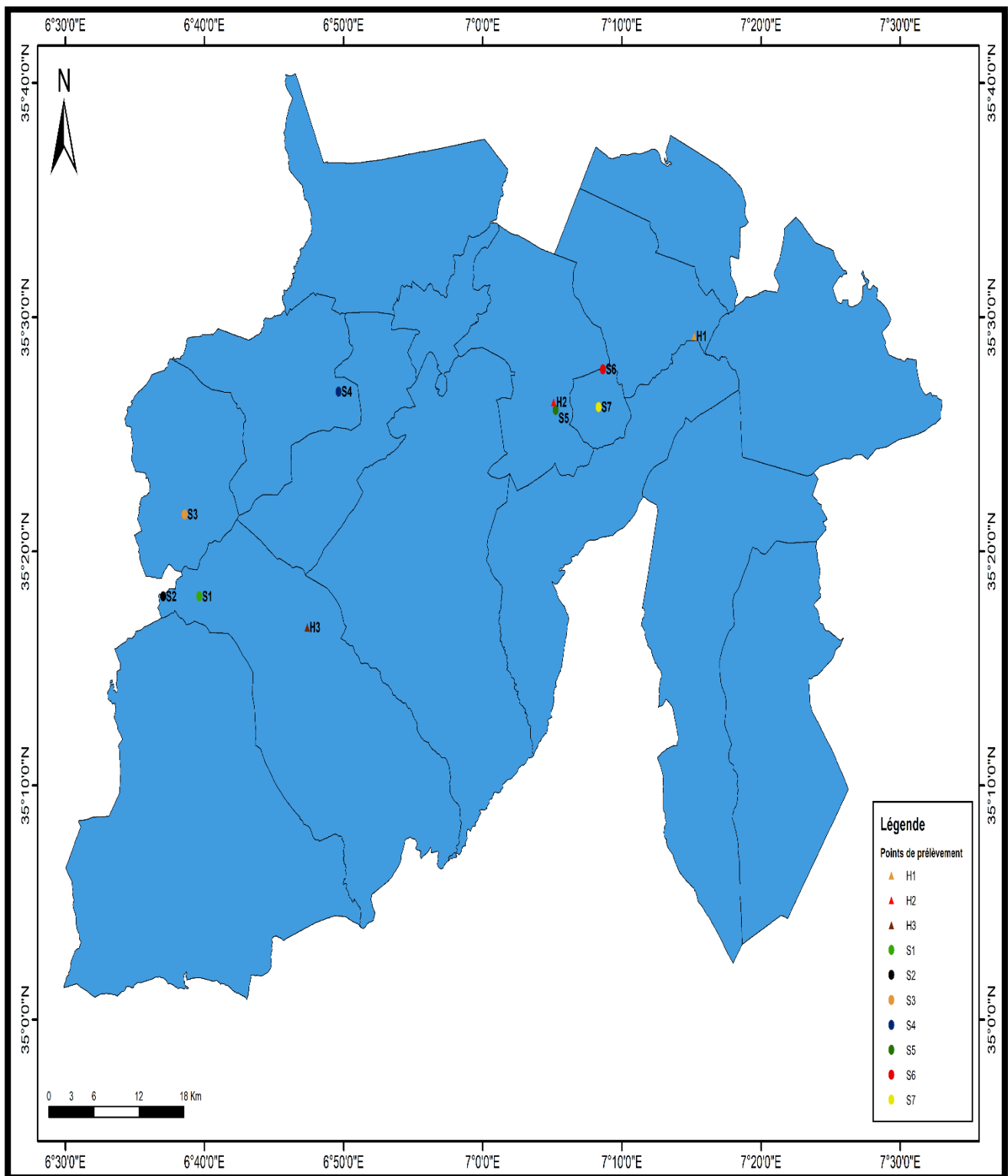


Figure 20. Carte d’inventaire des points de prélèvement dans la zone d’étude, Avril 2023.

III.1.6 Echantillonnage et méthodes analytiques

Le suivi saisonnier des paramètres physico-chimiques de quelques points d'eau (sources) a été réalisé pendant la période humide de l'année 2023. Les prélèvements d'eau ont concerné 10 sources d'eau, dont 3 de gisements thermaux, bien répartis dans l'aquifère.

Les paramètres physiques : température ($T^{\circ}\text{C}$), pH, conductivité électrique (CE), et TDS, ont été mesurés in situ à l'aide d'un multiparamètre de marque YSI (Pro DSS).



Figure 21.Photo réelle de multi paramètre de marque YSI (Pro DSS).

L'analyse chimique des ions majeurs de l'eau a été réalisée au laboratoire pédagogique d'université Abbas Laghrour et l'Algérienne des Eaux. (ADE de Khenchela)

Les ions Mg^{2+} , Cl^- ont été mesurés par la méthode de titrage, tandis que les autres ions Ca^{2+} , K^+ et Na^+ ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme, et pour So_4^- mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV. En raison de l'indisponibilité des réactifs, nous avons dû effectuer le reste des analyses à un niveau de l'Algérienne des Eaux.

La modélisation hydrochimique a été réalisée avec le logiciel DIAGRAMME, version 6.77.

Le calcul des indices de saturation SI a été effectué avec le logiciel PHREEQC 3.

III.1.7 Le mode opératoire

a) Méthode de titration

Une titration consiste à déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution par une réaction de neutralisation de cette espèce : une solution de concentration connue, appelée titrant, est utilisée pour neutraliser une espèce chimique, appelée analyte, contenue dans la solution à titrer.

Le point de neutralisation, ou équivalence, est connu via la mesure continue d'un paramètre directement lié à cette réaction de neutralisation (ex : changement de couleur, pH, potentiométrie). (Rodier, 2005). Il s'agit du moment où le titrant et l'analyte ont réagi dans des proportions stœchiométriques : la quantité de titrant utilisée renseigne alors sur la quantité d'analyte présent dans l'échantillon. (Rodier, 1952).

La méthode de titrage la plus utilisée est :

Le titrage volumétrique : Elle consiste à ajouter graduellement une solution de réactif titrant (avec une concentration volumique connue) afin de « neutraliser » l'espèce à déterminer (à titrer) dans la solution inconnue (appelée analyte).

Il existe d'autres types de titrage :

Le titrage gravimétrique : ce titrage diffère du titrage volumétrique en ce que la quantité de solution ajoutée pour compléter la réaction est mesurée en masse plutôt qu'en volume ;

Le titrage coulométrique : le réactif titrant est généré par voie électrolytique plutôt que d'être ajouté comme solution standard ;

La titration immunométrique : ce titrage fait varier, à volume constant, la concentration d'analyte à titrer (+ou- dilué préalablement) tandis que l'agent titrant (anticorps marqué) est en concentration constante.



Figure 22. Titrage volumétrique.

b) Spectrophotomètre UV

Spectrophotomètre UV/Vis double faisceau compatible avec de nombreuses applications, notamment pour les laboratoires pharmaceutiques, biochimiques, cliniques et de recherche générale, le développement de nouveaux matériaux et le contrôle qualité.

Photométrie standard : absorption, transmission et concentration

Analyse quantitative et cinétique, balayage sur plusieurs longueurs d'onde et balayage du spectre

Analyse de l'ADN/ARN et des protéines

Commande interne par clavier et par ordinateur (en option)

Logiciel UV-Vis Analyst pour un traitement des données plus efficace et une collecte plus importante de données



Figure 23. Photo réelle de Spectrophotomètre UV.

c) Spectrophotomètre de flamme PFP7

- Conçu pour l'analyse clinique
- Fourni avec les filtres Na^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , Ba et Li
- Basse température
- Système de sécurité de défaut de flamme
- Fonctionne avec le gaz naturel est un photomètre de flamme monovoie à basse température. Il est spécifiquement conçu pour la détermination du sodium, du potassium et du lithium dans les applications cliniques, calcium et barium. Le circuit de linéarisation intégré du PFP7 permet d'effectuer des lectures à la fois sur le sodium et le potassium avec affichage direct en mmol/l. Le diluteur série 7 s'utilise avec le PFP7. Il permet de diluer efficacement les échantillons de sérum, dans le rapport voulu avec précision.



Figure 24. Spectrophotomètre à flamme.



Figure 25. Dosage des éléments.

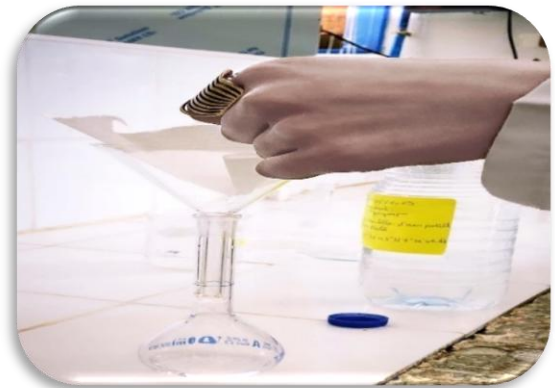
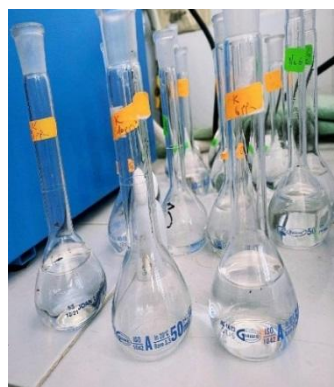


Figure 26. Filtration d'eau.



Figure 27. Échantillon d'eau.



***Résultats et
Discussion***

Résultats et discussion

III.2 Résultats et Discussion

Les données obtenues, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et les ions majeurs sont présentés dans le tableau suivant et discutés dans l'interprétation qui suit

Tableau 12. résultats physicochimiques des analyses des eaux de sources de la wilaya de Khenchela.

Point d'eau	T °C	PH	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl
S1	13.8	6.97	260	10.69	1.03	3.28	0.53	4.25	7.8	5
S2	14.2	7.13	423	12.12	2.13	12.01	0.48	2.32	9.52	14.8
S3	17.3	7.05	370	9.3	2.11	4.84	0.69	12.63	3.11	2.4
S4	15.4	7.15	685	6.25	1.6	4.46	0.55	10.28	2.7	3.3
S5	14	6.96	419	10.11	2.53	6.10	0.38	4.71	12.58	4
S6	12.5	7.21	213	12.22	2.21	5.32	0.41	03.77	13.1	2.15
S7	16	7.38	321	13.2	0.22	6.6	0.86	14.53	0.98	4.04
H1	33	7.74	1500	5.14	4.53	16.4	0.51	2.63	0.94	20.94
H2	48	7.046	2100	5.23	6.31	18.1	0.41	1.78	1.21	16.45
H3	65	7.012	3400	6.49	5.21	14.89	0.33	3.14	2.5	14.66

III.3 Les principaux paramètres physico-chimiques

III.3.1 La température de l'eau

La température de l'eau est influencée par la température de l'air, elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, c'est l'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques, On remarque que les températures élevées témoignent d'une origine profonde des eaux. (Rodier, 2005 ; Berkani, 2016).

Résultats et discussion

La température des eaux froides varie en 12.5 et 17.3°C, elles sont voisines autour d'une moyenne de 15°C. Ce phénomène est à expliquer par l'influence de la température de l'air sur les eaux superficielles. Nous rappelons que la température moyenne annuelle de l'air est de 16°C.

La température des sources thermales présente un minimum de 33 °C et un maximum de 65°C et une moyenne de 49°C. Ce déséquilibre thermique entre l'atmosphère et l'aquifère indique que les eaux ont une origine très profonde. Elles sont influencées par le gradient géothermique d'une part, l'activité sismique, la désintégration radioactive et les réactions chimiques endogènes productrices d'énergie d'autre part. Notons aussi que les frictions entre les couches géologiques lors de l'activité sismique produit de la chaleur qui fait chauffer l'eau des aquifères. (Houha, 2007 ; Berkani, 2016). La figure suivante montre la variation de la température selon les sources d'eau.

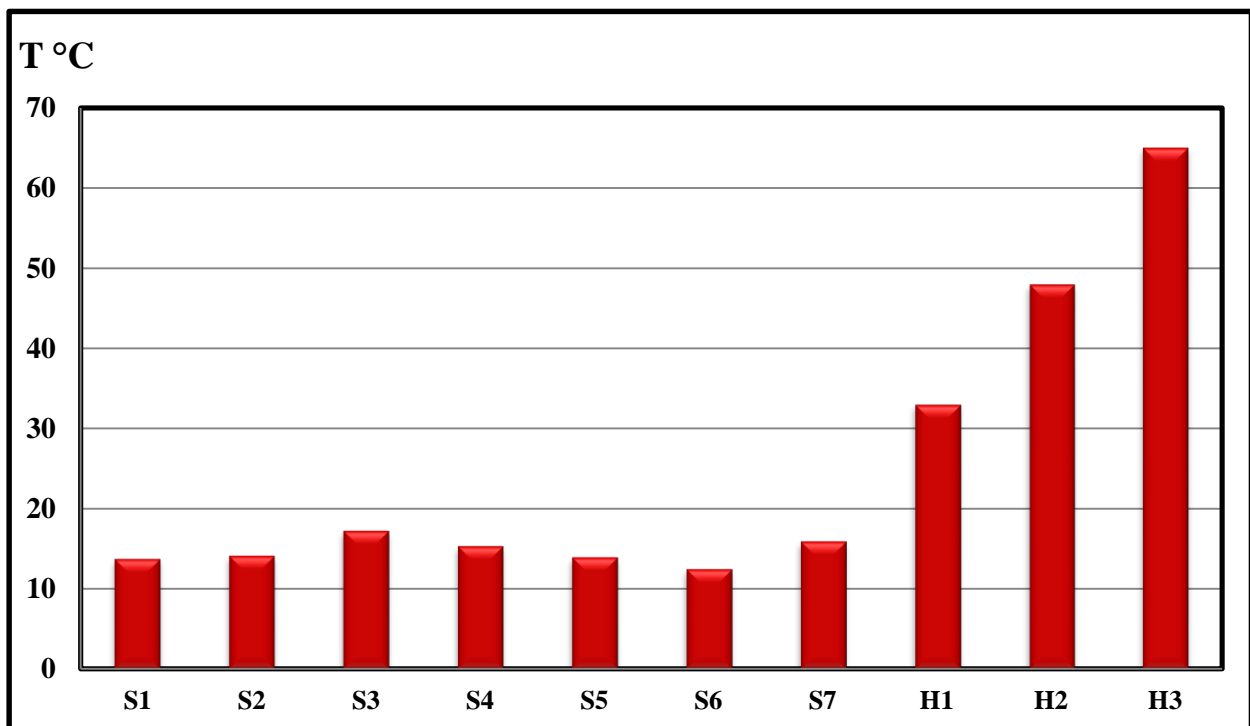


Figure 28. Représentation graphique comparative en histogramme de la température des sources d'eau de la wilaya de Khenchela, 2023.

Résultats et discussion

III.3.2 La thermalité

Dans l'hypothèse d'un échauffement de l'eau météorique sous l'influence du gradient géothermique, on doit supposer que l'eau s'infiltré lentement pour avoir la possibilité de s'échauffer et qu'elle doit remonter rapidement pour éviter qu'elle ne perde sa chaleur au contact des roches encaissantes plus froides, encore qu'en régime permanent ces pertes soient faibles (**Goguel, 1971**).

L'hypothèse de la contribution de l'activité tectonique, très actives actuellement, à la thermalité des eaux de Khenchela, par une chaleur produite par friction le long des plans de failles, qui s'ajoute à l'influence du degré géothermique (**Chaterji et Guha., 1969**), me parait être nécessaire pour expliquer des températures supérieures à 40-45°C, car le gradient géothermique à lui seul n'explique pas l'hyperthermalité des sources de Khenchela, compte tenu que dans l'état actuel les eaux ne peuvent circuler à des profondeurs supérieures à 600 ou 1000 m en supposant un gradient géothermique de 4.19°C / 100 m (**Isaadi et Haouchine, 1994**) et une température moyenne annuelle de 16°C.

Cette contribution de la chaleur due à des mouvements tectoniques reste du domaine des hypothèses eu égard à l'activité sismique régionale.

Les sources thermales de Khenchela sont situées dans un anticlinal au pied mont de Ras Serdoun. Dans ce secteur les terrains qui affleurent s'étendent du Trias au Quaternaire.

Les géothermomètres employés utilisent des rapports de concentration : Na/K (**Fournier, 1979 ; Trusdell, 1975, Ellis, 1970 ; Arnorson et al, 1983**), d'autres font appel aux concentrations en silice (**Fournier, 1977 ; Michard, 1979 ; Verma, 1997**) ; cette méthode basée sur la silice n'est citée que pour mémoire, car la silice n'a pas été dosée.

D'autres types de géothermomètres chimiques ne sont que des extensions de la méthode Na/K (par exemple $\text{Na}^{2+} \cdot \text{K}^+ \cdot \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ (**Fournier and Potter, 1979**)).

Dans de nombreux cas de la littérature les chercheurs font appel aux géo Na /Li. Ce géothermomètre peut donner de bons résultats, son application aux données présentées dans ce travail conduit à des températures de réservoirs totalement aberrantes ; il sera écarté pour cette étude.

Résultats et discussion

Les géothermomètres, d'Ellis et Trusdell ont fourni des valeurs de températures assez proches et de même ordre de grandeur que celles trouvées par des auteurs comme **Bouchareb-Haouchine, F. Z. (1993)** dans l'Est Algérien, et à Hmeima dans l'Atlas tunisien au Centre Ouest de la Tunisie (**Mouez et Gouasmia, 2006**).

Il semble que le griffon 2 et Guelta seraient alimentés par le même filon hydrothermal c'est-à-dire qu'ils ont subis les mêmes conditions d'échauffement.

Le gradient géothermique estimée dans la région des Aurès est de $4.19^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ (**Isaadi et Haouchine, 1994**). La température moyenne annuelle de l'air est 16°C . En principe, sachant l'ordre litho-stratigraphique local, la formation géologique accueillant le réservoir géothermique peut être identifiée. Par exemple, la source 2, possède une température calculée de 119°C , un gradient géothermique de $4.2^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ et une température de l'air moyenne annuelle de 16°C . La profondeur de réchauffement des eaux dans le réservoir serait de près de 3000 mètres, dans les formations profondes (Barrémo-Aptien) du Crétacé inférieur. La géologie de la zone montre que l'aquifère géothermique est de nature gréseuse -carbonatée, attribuable au Barémo-gréseux. (**Guiraud, 1973**) avec des intercalations calcaires. Notons que la puissance de ces grès est plus de 2000 m de dépôts parfois, (**Laffitte, 1939**).

Les mesures de température prises directement dans le forage d'El Kenif d'une profondeur de 220 m, indiquent des valeurs de l'ordre de 47°C . En revanche, les mesures indirectes, utilisant la géothermométrie chimique, aboutissent à une valeur de température du réservoir de 98°C (soit à une profondeur de 1673 m).

Au Kenif, il existe un puits naturel d'où sortait un air chaud et sec à plus de 50° , aménagé en station thermale pour le traitement des rhumatismes. La température du réservoir géothermale, 98°C , porte les eaux à ébullition et serait à l'origine de cette vapeur. La distance à parcourir pour la remontée contribue au refroidissement du mélange.

Les valeurs de températures calculées sur les deux sites, hammam Salihine et Knif, caractérisent la géothermie moyenne température ou moyenne enthalpie, que l'on retrouve généralement dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2000 à 4000 m (**Adem et brgm., 2005**).

Résultats et discussion

Tableau 13. Variation des températures et des conductivités des eaux en fonction de la profondeur. Juin 2006 (Houha, 2007).

Noms	T (°C) à l'émergence	CE (25°C)	Classification
Hamмам Salihine (Source1)	54	3710	Eau hyperthermale
Hamмам Salihine (source2)	61	3570	Eau hyperthermale
Hamмам Salihine (Guelta)	42	1813	Eau mésothermale
Hamмам Kénif	47	3770	Eau mésothermale

III.3.3 Le pH

Le pH est déterminé par la teneur en acide carbonique libre. Il peut cependant aussi être influencé par l'utilisation du sol (utilisation d'engrais ammoniacés) ou par des processus naturels (échanges de matières entre les plantes et le sol, formation d'acides humiques au cours de la dégradation de matière organique, etc.). Par ailleurs, les pluies acides (apport d'ions H⁺) peuvent abaisser le pH des eaux souterraines dans des sols peu tamponnés, car dépourvus de carbonates.

Le pH de toutes les sources mesurées sur le terrain s'inscrit dans la gamme **6.96 à 7.74** avec une moyenne de **7.16** avec un caractère plus ou moins acide. La pression CO₂ contribue d'une manière exhaustive à l'acidité de l'eau. Les quelques valeurs inférieures à 7 pourraient correspondre aux eaux qui n'ont eu qu'un contact bref avec les roches réservoir.

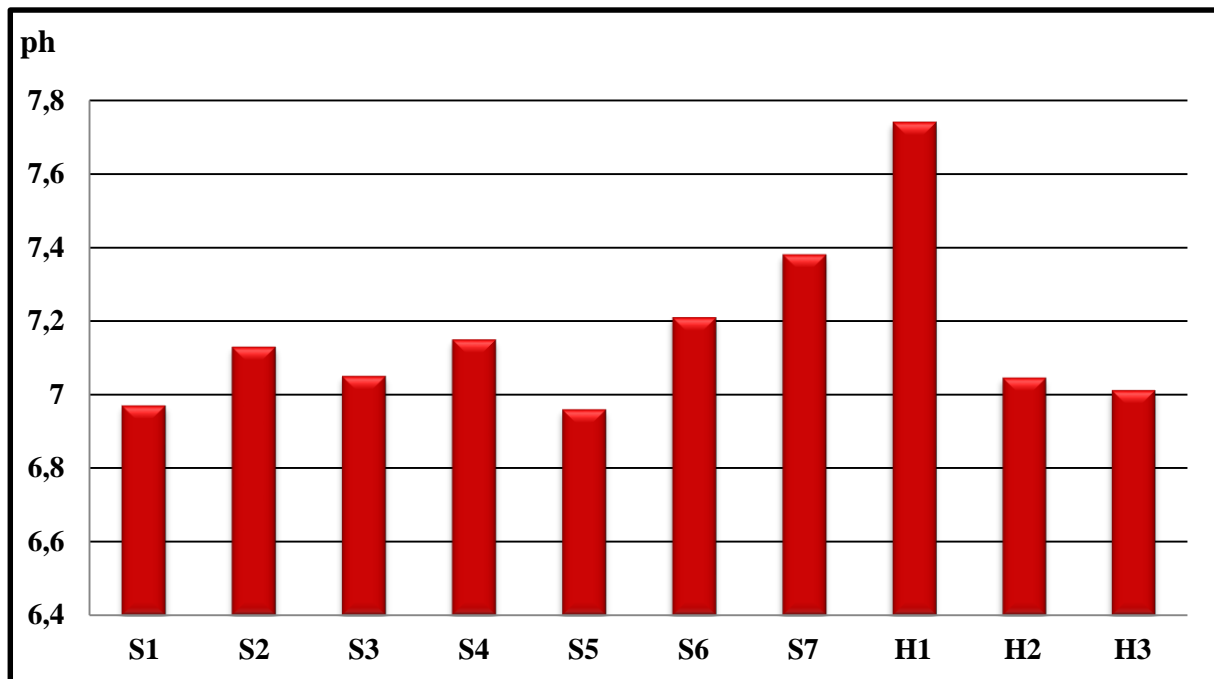


Figure 29. Représentation graphique comparative en histogramme des points d'eau de pH, 2023.

III.3.4 La conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure du contenu de l'eau en substance dissoute ions et électrolytes. Une variation de la conductivité électrique peut avoir une cause aussi bien anthropique (pollution de l'eau) que naturelle (dilution par les eaux météoriques, infiltration d'eau de surface peu minéralisée, etc. (**Capaccioni et al, 2005**).

Les valeurs mesurées de la conductivité électrique des sources d'eau dans le massif nord des Aurès indiquent une minéralisation élevée surtout celle des eaux thermales. Elles sont toutes globalement supérieures à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cela traduit la grande solubilité des sels à des grandes températures. Ces valeurs indiquent que les eaux thermales de la zone d'étude sont minéralisées et auraient traversé les terrains triasiques gypso-salifères et sont liées à la grande solubilité des sels (NaCl , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4 et Na_2SO_4). (**Kumar et al, 2019**). L'amplitude de la conductivité électrique des eaux de sources froides est relativement faible entre 730 et 785 $\mu\text{S}/\text{Cm}$, avec une moyenne de 584.5 $\mu\text{S}/\text{Cm}$, les eaux donc sont faiblement minéralisées et les valeurs les plus élevées correspondent très probablement à des pollutions agricoles locales ou diffuses de la nappe.

L'histogramme de fréquence de conductivité présente une hétérogénéité des mesures et se traduit par la grande solubilité des sels minéraux à des grandes températures, par les facteurs de

Résultats et discussion

la pollution anthropique, que ce soit l'apport des engrais chimiques, ordures ménagères. (Bebière, 2002 ; Drouiche, 2022).

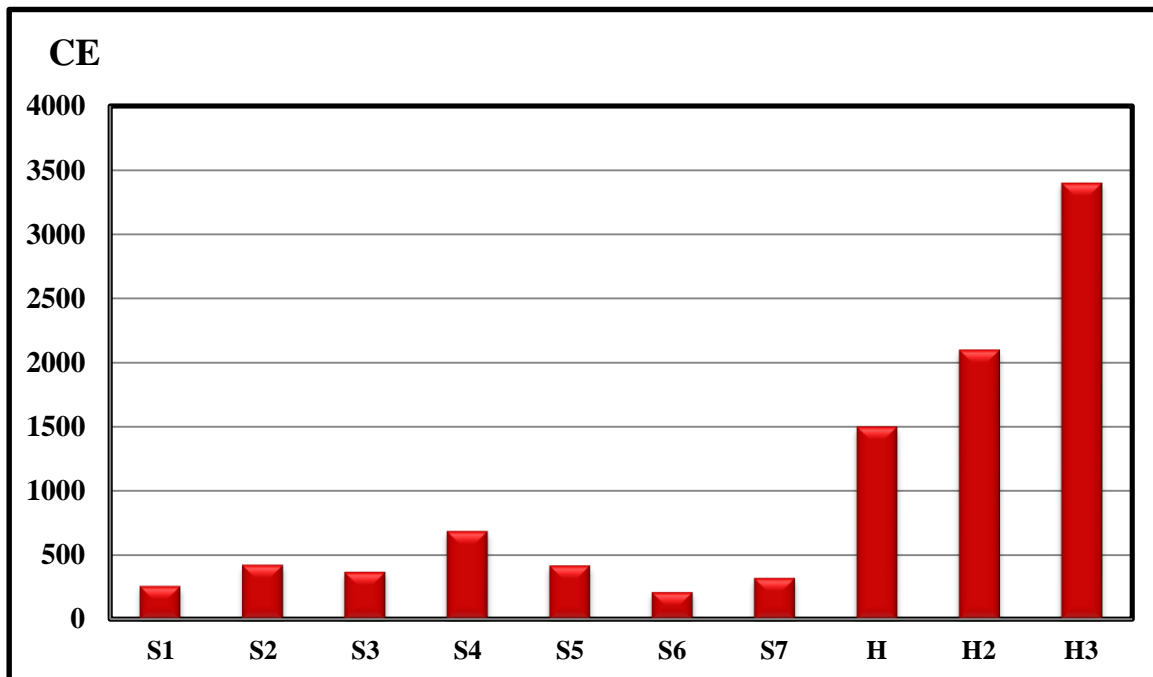


Figure 30. Représentation graphique comparative en histogramme des sources d'eau de la conductivité électrique (CE), 2023.

III.4 Paramètres chimiques

III.4.1 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper présente les minéraux (Anions et Cations) les plus abondants dans l'eau. Donc il renseigne sur la tendance minéralogique. Le diagramme de Piper est composé de deux triangles équilatéraux à la base (un pour les anions et l'autre est destiné aux cations), avec un losange au milieu. Les côtés des triangles sont divisés en 100 parties égales. Chaque élément est représenté sur le triangle par rapport à ses paires de même nature. La projection des points sur le losange par deux droites menées depuis les triangles correspond au faciès chimique. Cette représentation graphique est utilisée pour déterminer le faciès chimique des eaux et suivre ses variations dans l'espace et dans le temps. Il permet également de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses. Le faciès chimique des eaux a été déterminé classiquement à l'aide du diagramme de Piper, en ayant recours au logiciel Diagramme du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (Simler, 2007).

Résultats et discussion

Les données des ions majeurs, reportées sur le diagramme de Piper ont permis de mettre en évidence l'évolution du faciès chimique des eaux, ainsi les eaux superficielles froides situées à haute altitude présentent un faciès bicarbonaté calcique, une fois chauffées en profondeur au piedmont des montagnes. Ces eaux évoluent vers un faciès sulfaté calcique à chloruré sodique. Les eaux évoluent d'un faciès à l'autre, en passant d'eaux bicarbonatées calciques vers des eaux chlorurées sodiques avec un faciès mixte intermédiaire de type chloruré et sulfaté calcique. (Berkani, 2023).

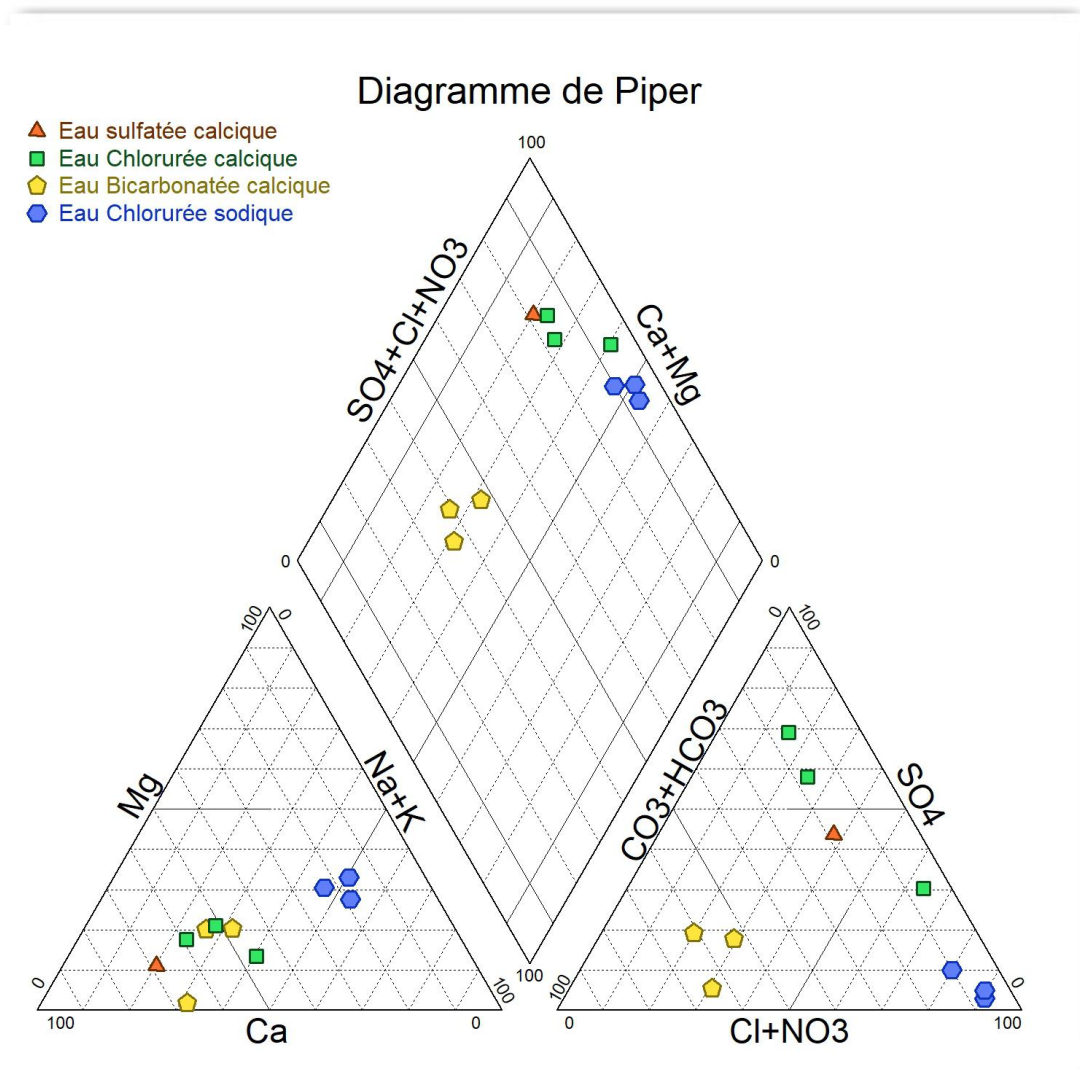


Figure 31. Représentation graphique de Piper de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.

Résultats et discussion

III.4.2 Diagramme de Schoeller

Sur la représentation du Scholler (Figure32), on remarque que les droites s'entrecoupent entre elles, ce qui traduit que les eaux sont d'origine différente ; même s'il existe des eaux qui ont le même faciès chimique.



Figure 32. Représentation graphique de Schoeller de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.

III.4.3 Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff nous permet d'obtenir une géométrie polygonale (Figure33) caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical initial. Les cations sont représentés à gauche (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+}), et les anions à droite (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) (Stiff, 1951).

Résultats et discussion

L'interprétation du diagramme de Stiff obtenu à partir des échantillons d'eau a permis de diviser les eaux souterraines selon leur minéralisation en 2 groupes présentant :

- Minéralisation moyenne : eaux profondes
- Minéralisation faible : eaux superficielles

Cette différenciation de la minéralisation a été étudiée par **Ligban et al. 2009**. Elle pourrait refléter un temps de résidence plus long pour l'eau des profondes par rapport à eaux superficielles.

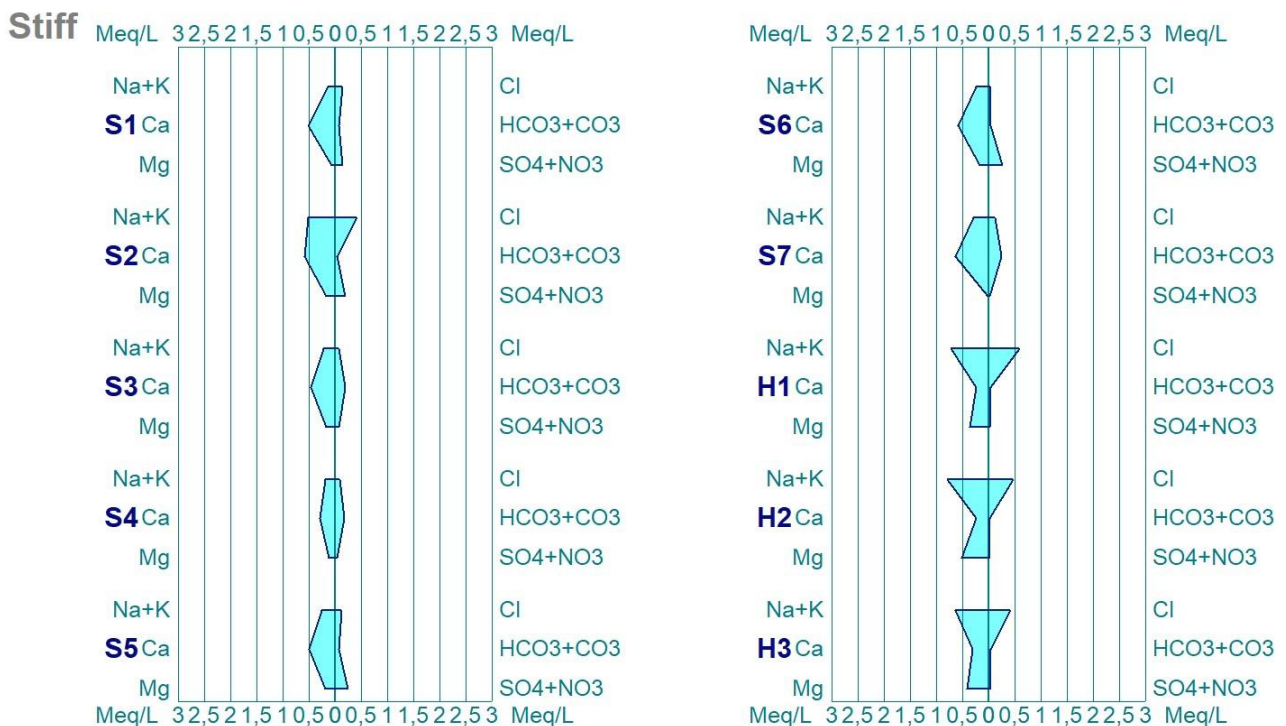


Figure 33. Représentation graphique de Stiff de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.

III.4.4 Le diagramme de Stabler

A la lumière de la figure 34. Le diagramme de Stabler est établi à partir des ions HCO_3^- . On remarque que les teneurs en bicarbonates, calcium, et chlorure, sont élevées mais celles en sulfates, magnésium, sodium, sont les plus faibles.

On constate que le taux d'alcalinité est également élevé.



Figure 34. Représentation graphique de Stabler de quelques eaux de sources de la wilaya de Khenchela.

III.5 Étude des processus hydrogéochimiques

III.5.1 Relations des éléments majeurs en fonction de chlorure

Pour mieux comprendre le processus de minéralisation des eaux de sources, nous avons étudié les relations des éléments majeurs avec l'ion Chlorure, est un élément utile pour l'identification de l'origine de la minéralisation des eaux. (Figure 35).

Les diagrammes Ca^{2+} vs. Cl^- (Figure 35.a) et Mg^{2+} vs. Cl^- (Figure 35.b) illustrent bien ceci en montrant que les points sont souvent en dessus de la droite de mélange (eau douce-eau salée.)

L'enrichissement en Ca^{2+} et en Mg^{2+} observé peut être approché aux formations sédimentaires. **(Berkani, 2017).**

Le diagramme Na^+ vs Cl^- montre que la majorité des points se trouvent en dessus de la droite de mélange. Etant donné que la teneur en Na^+ devrait équilibrer la teneur en Cl^- .

L'excès en Na^+ est expliqué par le phénomène d'échange de base ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une libération de Na^+ et une adsorption de Ca^{2+} (Figure 35.c). Ces eaux sont contrôlées surtout par des réactions d'échange cationique entre l'eau et les argiles

Résultats et discussion

rouges du Pontien se traduisant par une fixation du sodium et libération du calcium (**Nagarajuet al,2015**).

Le rapport SO_4^{2-} vs Cl^- (figure35. d). Montre que la majorité des points d'eau se placent au-dessus de la droite de mélange et que le rapport SO_4 / Cl est en faveur des sulfates. On peut suggérer que cette augmentation du rapport est due au lessivage des couches évaporitiques de l'assise géologique, sans oublier la pollution par retour des eaux d'irrigation chargées en fertilisants et aux quantités d'eau qui s'échappent de l'oued Baghai pollué pour alimenter la nappe. (**Berkani 2016, Berkani et al., 2023**).

Le rapport HCO_3^- vs. Cl^- (figure35.e) présente une distribution hétérogène des bicarbonates due à la variation du pH et aux échanges gazeux avec l'atmosphère. L'excès en bicarbonates est témoigné par la dissolution des formations bicarbonatées. La relation entre le Chlorure et la minéralisation montre que le chlorure est un facteur important dans la salinité des eaux, il contribue à la minéralisation des eaux. (**Djenba et al, 2015**).

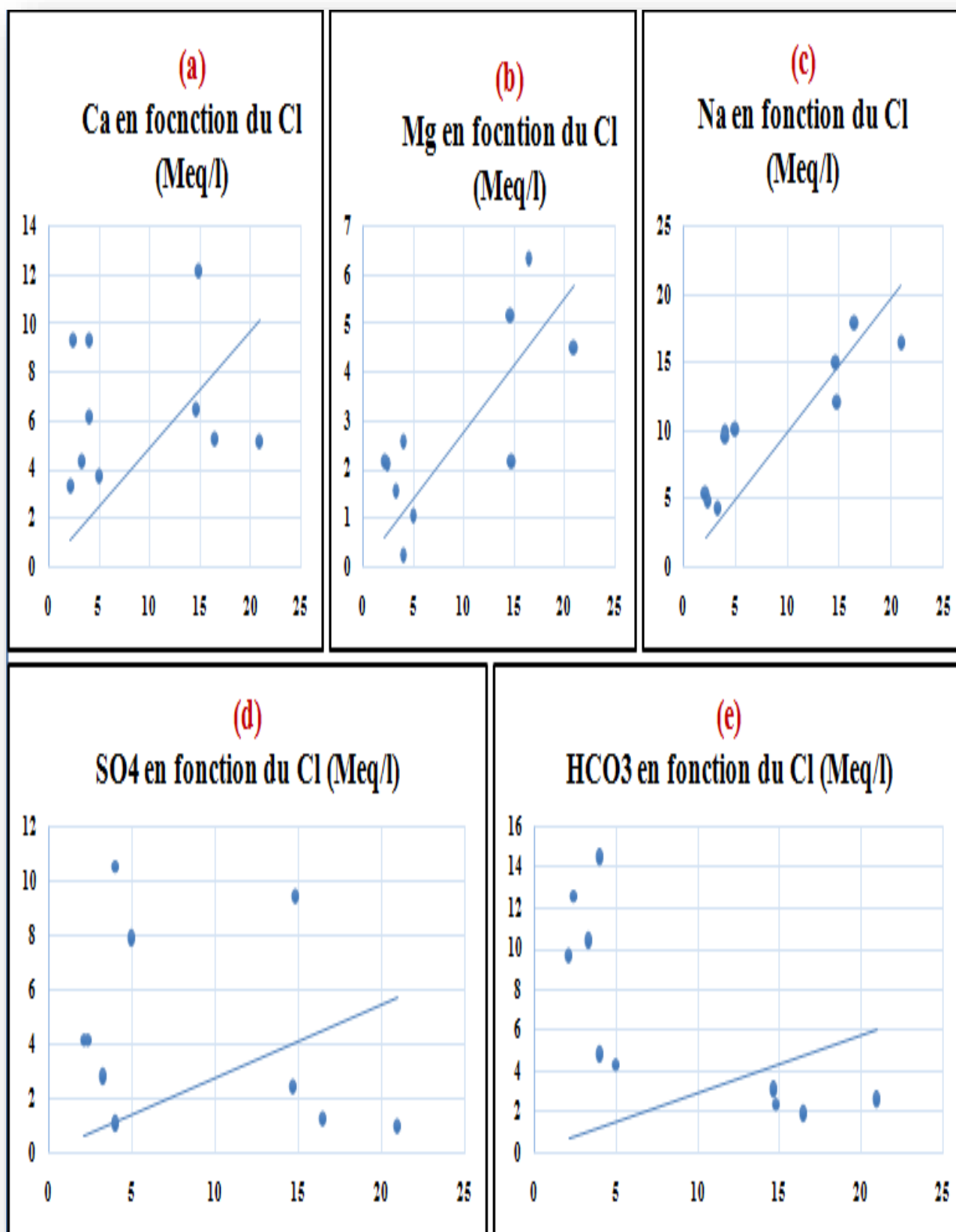


Figure 35. Relations binaires des ions majeurs de quelques sources d'eaux de Khenchela.

Résultats et discussion

III.5.2 Indices de saturation des eaux

Les eaux souterraines sont le siège de réactions multiples et contiennent diverses espèces ioniques qui peuvent, d'une manière ou d'une autre, influencer le pH.

En géochimie, il est souvent utile de déterminer le degré de solubilité d'un minéral dans l'eau. Pour cela, on calcule l'indice de saturation (Is de cette eau vis-à-vis du minéral considéré par la formule suivante : $Is = \text{Log} (PAI/K)$).

PAI : le produit d'activité ionique ;

K : la constante d'équilibre relative à la dissolution du minéral ;

Quand $Is = 0$, l'eau est alors en équilibre avec le minéral. En revanche, l'eau est sous-saturée ou sursaturée vis-à-vis du minéral dans le cas où Is serait respectivement inférieur ou supérieur à zéro. Toutefois, dans la pratique, il faut tenir compte des erreurs de précision dans

La mesure de teneurs en éléments majeurs. Par conséquent, certains auteurs considèrent que

L'état d'équilibre est obtenu dans un domaine de saturation plus large tel que $-1 < Is < 1$ (in Daoud, 1995).

L'étude de l'état d'équilibre des phases minérales par rapport à l'eau est indispensable pour préciser le sens d'évolution des réactions citées ci-dessus. Ainsi, l'hypothèse d'un gain de magnésium par dissolution de dolomite (ou de calcite magnésienne) nécessite que l'eau soit sous-saturée ou proche de la saturation vis-à-vis de ces minéraux.

Un modèle simple du logiciel de géochimie PHREEQC est utilisé pour déterminer les indices de saturation des minéraux à l'origine de la minéralisation des eaux source de la wilaya de kenchela. Les résultats sont présentés dans la figure 36.

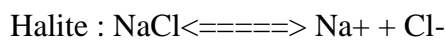
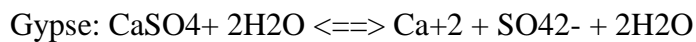
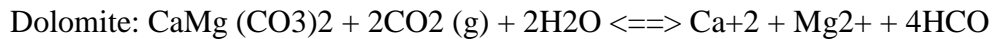
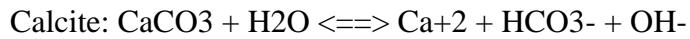
Une valeur d'IS supérieure à zéro indique que l'eau souterraine est sursaturée en sels minéraux et est donc incapable de dissoudre de nombreux minéraux.

Une telle valeur d'indice reflète la décharge d'eau souterraine d'un aquifère contenant une quantité suffisante de matière minérale avec un temps de résidence suffisant pour atteindre l'équilibre. Néanmoins, la sursaturation peut également être produite par d'autres facteurs qui

Résultats et discussion

incluent la dissolution, l'effet des ions communs, l'évaporation, l'augmentation rapide de la température et la concentration de CO₂ dissous.

Selon (**Ahoussi et al., 2012**) : la présence d'ions carbonate de calcium et d'hydrogène dans l'eau proviendrait de l'altération des carbonates (CaCO₃) selon la formule suivante :



Cette réaction explique la dominance du faciès bicarbonate de calcium dans les eaux du bassin. Cela dénote l'existence d'une différenciation chimique entre les aquifères échantillonnés.

Pour tous les échantillons, il y a une sous-saturation en gypse. La dissolution du gypse est confirmée par la relation inversement proportionnelle à l'état sous-saturé. L'hypothèse d'une hydrolyse du gypse pourrait être suggérée à cet effet dans l'aquifère quaternaire.

Les indices de saturation en calcite des eaux (Figure 36) concernant les minéraux concernés montrent un état de sursaturation pour la plupart des échantillons, ce qui confirme la dissolution des minéraux carbonatés, avec la précipitation de la calcite.

Les indices de saturation en dolomite de la plupart des échantillons sont positifs, ce qui confirme également l'hypothèse de la dissolution de ces minéraux dans l'eau, avec la précipitation de la dolomite.

Les indices de saturation de l'Halite présentent un état de sous-saturation, ce qui confirme l'hypothèse de la dissolution des évaporites (**Adimalla et al, 2020 ; Zahi, 2014**).

D'autre part, le lessivage des sels par les événements pluvieux et le retour des eaux d'irrigation favorisent l'accumulation des sels dans les sols et contribuent à l'acquisition de la minéralisation et à l'augmentation de la charge saline des eaux de cet aquifère.

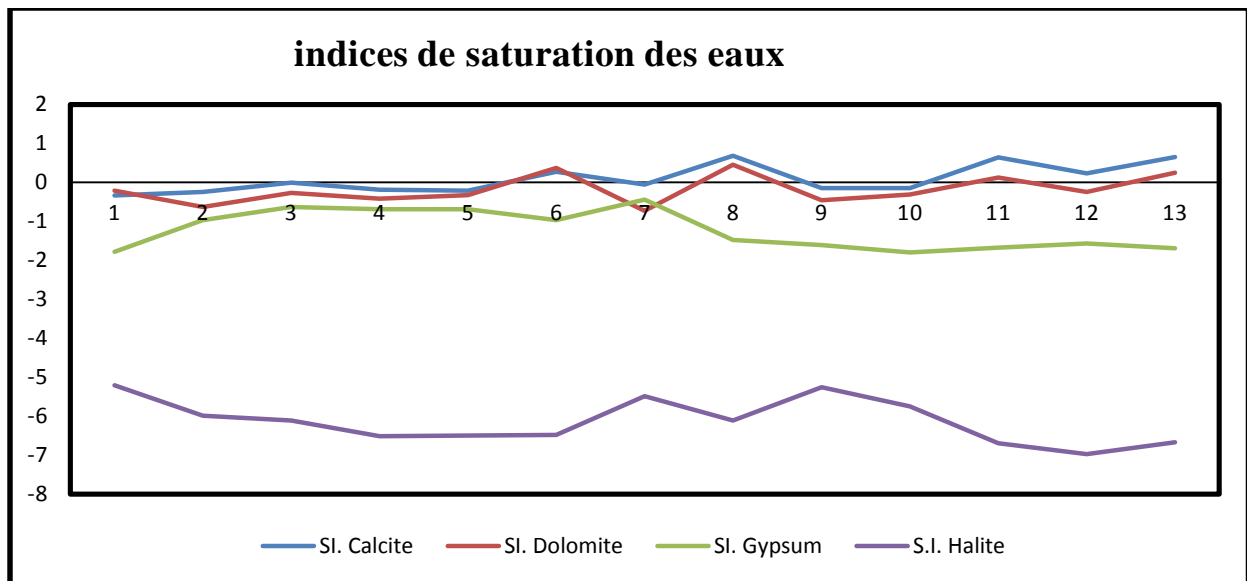


Figure 36. Représentation graphique indices de saturation des eaux.

III.6 L'Apport de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'information contenu dans un tableau de données.

Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (forages, puits, sources...) sur lesquels sont mesurées des « variables » quantitatives (pH, température, minéralisation, teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+) disposées en colonnes.

III.6.1 Principe de l'ACP

Dans un tableau comportant (N) variables quantitatives, les individus peuvent être représentés dans un espace à (N) « dimensions ». Pour des raisons de visualisation, les espaces retenus sont à une dimension (droites), et ce sera le cas le plus fréquent, à deux dimensions (plans).

Les droites et les issus d'un ACP, ne sont pas réalisés avec les variables initiales mais avec des « indices synthétiques » obtenus par combinaisons linéaires des variables initiales. Parmi tous les indices possibles, l'ACP recherche d'abord celui qui permet de voir au mieux les individus c'est-à-dire pour lequel la variance des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale, ou encore premier axe principal. Une certaine proportion de la variation totale des individus est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée, cette deuxième composante principale fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à

Résultats et discussion

l'obtention de la dernière composante principale. Si la variable ou un individu joue un rôle particulier, on l'introduit dans l'ACP « variable à expliquer » ou « variable supplémentaire » (ne participe pas à la construction des axes). (Berkani, 2016 ; in Ziani., 2009).

III.6.2 Application de L'ACP aux données physico-chimiques des échantillons prélevés

Au cours de ce travail, une analyse statistique (ACP) a été réalisée sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel Excel statistique. Sur l'ensemble de 10 individus représentés par les eaux échantillonnées. 10 variables à savoir, les paramètres physico-chimiques (pH, T, CE) et les ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) ont été prises en compte.

Le rapport de l'ACP a donné une valeur supérieure au seuil de signification statistique indiquant une bonne distribution statistique pour cette matrice de corrélation. On applique l'analyse en composantes principales, à ce stade, sur les variables adoptées dans le tableau X pour reconnaître les principaux facteurs qui conditionnent le mécanisme d'acquisition de la minéralisation sur l'ensemble de 10 individus. Ainsi, la représentation graphique (Figure 37.) montre de fortes corrélations entre la minéralisation et le Cl^- , Na , Ca^{2+} , Mg^{2+} et SO_4^{2-} et très faiblement avec les bicarbonates (HCO_3).

L'ACP, appliquée sur les paramètres physico-chimiques, confirme les résultats sur l'origine de la minéralisation obtenus précédemment.

Le tableau 14 présente les pourcentages de variance expliquée ainsi que celui de la variance cumulée pour chaque axe factoriel responsable de cette distribution statistique.

L'application de l'ACP sur les variables physicochimiques des eaux des sources étudiées montre une position des variables selon un sens très significatif (Figure 37). Ce sens confirme le mélange des eaux des principaux niveaux aquifères. Ceci est indiqué surtout pour l'allure des paramètres suivants le HCO_3^- , le pH, le SO_4^{2-} , le Mg^{2+} , et la température.

Résultats et discussion

Tableau 14.Matrice de corrélation des variables adoptés de l'ACP

Variables	Ph	T°C	CE ($\mu\text{s/cm}$)	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}
Ph	1									
T°C	0.241	1								
CE ($\mu\text{s/cm}$)	0.166	0.862	1							
Ca^{2+}	-0.204	-0.223	-0.111	1						
K^+	0.375	0.269	0.236	-0.354	1					
Na^+	-0.206	0.417	0.521	-0.041	-0.141	1				
Mg^{2+}	0.195	0.189	0.122	-0.341	-0.174	0.047	1			
HCO_3^-	-0.106	-0.289	-0.317	0.344	0.101	-0.490	-0.589	1		
Cl^-	-0.101	0.547	0.789	0.004	0.019	0.893	0.066	-0.461	1	
SO_4^{2-}	0.011	-0.423	-0.342	-0.043	-0.412	-0.049	0.612	-0.544	-0.201	1

Dans l'espace des variables, l'axe F1 apparaît comme un facteur de minéralisation (FIGURE 37) sur lequel sont corrélés positivement la majeure partie des éléments (CE, minéralisation, Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} et SO_4^{2-}), il explique 41.72 % de la variance totale. L'axe factoriel F2, exprime 22.57% de la variance, et montre l'opposition de deux pôles, un pôle sulfato-magnésien et un pôle bicarbonaté-calcique.

On peut donc conclure que l'axe F2 permet de distinguer les eaux froides douces à infiltration rapide, riches en HCO_3^- et Ca^+ , des eaux chaudes riches en SO_4^{2-} et Mg^{2+} , qui ont séjourné longtemps dans le circuit souterrain et à transit lent.

Résultats et discussion

Tableau 15. Valeurs propres des deux premiers axes de l'ACP.

Axe de composante	F1	F2
Valeur propre	4.216	2.123
Variabilité (%)	41.74	22.57

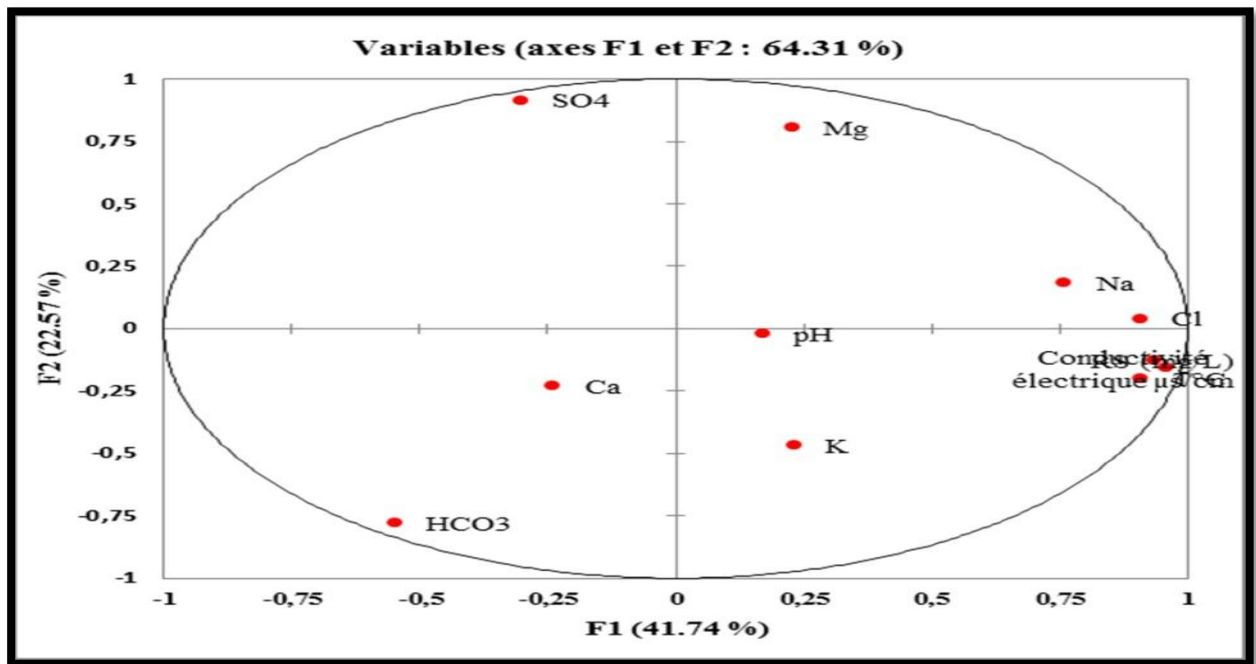


Figure 37.Projection des variables des eaux étudiées

Synthèse

L'étude des paramètres et des résultats hydrogéochimiques permet de caractériser l'hydrogéochimie des eaux de sources de gisements chauds et froids dans le versant nord de l'Aurès.

L'étude des paramètres physiques a montré que la température des sources froides varie de 12,5 à 17,3°C, avec une moyenne de 15°C, elle est voisine de la température annuelle moyenne de l'air. Ce sont tous des eaux prélevées en altitude dans les massifs ou bien au pied des flancs. Il semblerait que les bassins d'alimentation des sources qui présentent des températures très faibles soient situés à des altitudes beaucoup plus élevées que les points d'émergences.

La température des sources thermales est très supérieure à la température annuelle moyenne de l'air, elle varie de 33°C à 65°C, avec une moyenne de 49°C. Il semblerait que ces eaux proviennent d'une origine très profonde ; elles sont influencées par le gradient géothermique de la région qui est de 4.19°C /100 m (**Houha, 2007**) ; notons, que l'activité sismique contribue de son côté à l'augmentation de la température des eaux (**Houha, 2007, Durozoy, 1949**).

Le pH mesuré sur toute l'eau présente des valeurs qui varient de **6.96- 7.74** Les quelques valeurs inférieures à 7 pourraient correspondre aux eaux qui n'ont eu qu'un contact bref avec les roches réservoir.

La conductivité électrique des eaux présente des valeurs supérieures à 1500 µS/cm, elle indique ainsi, des eaux minéralisées qui auraient traversé des terrains gypso-salifères (Na Cl, CaSO₄ 2H₂O, CaSO₄). Ce cas est répandu dans les sources thermales de Hammam El Salihine, Hammam el Kenif et Hammam Djaarir, qui émergent en faveur du Trias. Les eaux des sources non thermales sont faiblement minéralisées et circulent dans des formations carbonatées de l'Albo-aptien.

Les données des ions majeurs, reportées sur le diagramme de Piper ont permis de mettre en évidence l'évolution des eaux, d'un faciès à l'autre, en passant d'eaux bicarbonatées calciques vers des eaux chlorurées sodiques avec un faciès mixte intermédiaire de type chloruré et sulfaté calcique. Les relations binaires, Les indices de saturation des eaux, ont tout confirmé l'hypothèse de l'origine de la salinité. Les mécanismes de la minéralisation des eaux de sources s'expliquent par les interactions eau-roche qui se produisent au sein des aquifères, la circulation plus au moins prolongée des eaux dans l'aquifère, le temps de résidence de l'eau, les différents

Synthèse

trajets traversés et le contact eau-roche avec des roches de nature calcaire, argileuse des dépôts Triasique, et carbonatée du Crétacé. Cette dissolution des sels minéraux provoque une augmentation de la minéralisation des eaux, l'infiltration des eaux des pluies chargées en sels et surtout en chlorures, qui sont des ions très mobiles, contribuent à l'augmentation de la salinité des eaux, et sans oublier le facteur anthropique.

L'ACP a confirmé les résultats obtenus précédemment sur l'origine de la minéralisation.

La géochimie des eaux a mis en évidence l'acquisition de la minéralisation de l'eau de source dans la zone d'étude, en premier lieu, dépendante de la chimie du mélange des eaux qui peuvent avoir des origines diverses, mais toutes avec une empreinte des actions anthropiques comme la pollution agricole.

Conclusion générale

Cette étude hydrogéochimique vise à identifier les processus responsables de l'évolution de la chimie des eaux de sources, et les mécanismes d'acquisition de la charge saline.

Elle a contribué à la connaissance du fonctionnement hydrogéochimique de l'aquifère crétacé et plio-quadernaire de la région de Khenchela en utilisant des traceurs géochimiques.

La région de Khenchela se trouve dans des conditions semi-arides, où la seule source d'eau est les eaux de sources et les eaux souterraines. La majorité des eaux étudiées ont un faciès bicarbonaté calcique. Cette eau se concentre en éléments salins gypseux le long de son parcours et se transforme en faciès chloruré sodique, Chloruré calcique à sulfaté calcique.

Plusieurs processus devraient contrôler la géochimie de ces eaux. Il s'agit de la dissolution, de la précipitation des sels minéraux, des échanges cationiques, de l'influence du climat qui augmente la minéralisation de l'eau, mais aussi de la pollution agricole.

Les indices de saturation nous ont permis de savoir que tous les éléments évaporitiques sont sous-saturés. D'après les valeurs de l'IS de la calcite et de l'IS de la dolomite, la majorité des points échantillonnés sont sursaturés, donc précipitent. L'eau infiltrée au niveau des calcaires du Crétacé de l'aquifère profond est enrichie en calcium et en bicarbonates, le long de son parcours souterrain et en présence de dolomite, et de gypse, halite, il en résulte une eau enrichie principalement en sulfates, sodium et chlorure. Ceci indique clairement un facteur géologique dominant dans l'enrichissement de ces éléments

Les références

1. **Adimalla, N et all., (2020).** Appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes in Central Telangana, India, Groundwater for Sustainable Development, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100334>.
2. **Amrani Mebarek. (2018).** Les entreprises industrielles face à la fiscalité environnementale dans la wilaya de khenchela [master en protection des écosystèmes]. Université abbes laghrour -khenchela-
3. **Aouachria, M. (2008).** Analyses morphodynamique et hydropluviométrique de la vallée d'oued el arab et leurs impacts sur la pérennité du barrage de Babar (doctoral dissertation, Batna, université el hadj Lakhdar. Faculté des sciences).
4. **AquaPortail, É. (2019).** Hydrochimie. AquaPortail.
5. **Berkani, Ch & Houha, B. (2016).** Hydro-geochemical Characterization of Water Springs of the Aures region. (North-eastern Algeria), J. Mater. Environ. Sci, (6): 1856-1865.
6. **Houha, B et all (2023).** Hydrogeochemical modeling of groundwater of the quaternary aquifer in Mellagou valley -Bouhmama- (Northeastern Algeria). arpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 18, No. 1, p. 115 – 126; DOI:10.26471/cjees/2023/018/245
7. **Boudy p. (1952).** Guide du forestier en afrique du nord. La maison rustique, paris : 245-258
8. **Boumaiza, I. (2012).** Origine de la salinité et modélisation thermodynamique des eaux souterraines de l'aquifère de khenchela. De mémoire magister. 13p
9. **Capaccioni, B et all. (2005).** Saline intrusion and refreshing in a multilayer coastal aquifer in the Catania Plain (Sicily, Southern Italy): dynamics of degradation processes according to hydrochemical characteristics of groundwaters, J. Hydrol, (1-16):307
10. **D.R.E(2019) :** Direction de Ressource d'Eau de la wilaya de khenchela
11. **D.S.P.I, (2019) :** Direction De Planification Statistique De Khenchela.
12. **Danielopol, d et all (2004).** - incorporating ecological perspectives in european groundwater management policy. environ. conserv., 31, 185-189.

13. Djenba, S et all. 2015). Hydrochemical approach of the superficial aquifer of AinDjacer. East of Algeria, Larhyss Journal, (24): 281-299.
14. Drouiche, A et all. 2022. Assesment of surface water quality: cas of Jijel region, North-east Algeria, Arab J Geosci, (252): 15-23. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09458-9>.
15. **DSA (2015)** : Situation géographique de la région de Khenchela
16. **Hani et all. (2020)**. Étude de la dynamique des Peuplements naturels de pinus halepensis dans la forêt de beni oudjana (khenchela, algérie). Ecologie, environnement et conservation.
17. Health Canada. guidelines for canadian drinking water quality - guideline technical document. total coliforms. ottawa, on: health canada; 2012 mar. available from: <http://www.hcsc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/coliforms-coliformes/index->
18. **Houha, B. (2007)**. Study of hydrogeochemical and isotopic functioning of Khenchela waters. PhD. thesis, University of Avignon, France. Pp.110-140.
19. **Houha, B et all. (2016)**. Hydrochemical differentiation of salinisation process of the water in Endoreic Semi-Arid Basin: Case of Rémila Basin, Alegria, American Journal of Applied Sciences, (7): 891–895.
20. **Hydrogéologie. (2016)**. Brgm. <https://sigescen.brgm.fr/-Hydrogeologie-.html>
21. **Journal Officiel Algérie N°13, 2014**
22. Journal officiel de l'Union européenne L 435/1, 2020
23. **Julia baudart, nathaliepaniel. (2014)**. Source et devenir des microorganismes pathogènes dans les environnements aquatiques. Université de Paris.
24. **Khabthane abdelhamid. (2015)**. Contribution à l'étude des caractères morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires pour l'évaluation du polymorphisme phénotypique et génétique des espèces du genre tamarix dans différents écotopes de la zone steppique de khenchela (est algerien) [docteur en sciences filière : biologie-écologie végétale]. Université des frères mentouri - constantine-.
25. **Kumar, P., Meena, N.K., Mahajan, A.K. (2019)**. Major ion chemistry, catchment

- weathering and water quality of Renuka Lake, north-west Himalaya, India, *Environmental Earth Sciences*, 78(10):319, <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8315-z>
26. **Lafitte, R. (1939)**. Structure and relief of the Aures (Algeria). *Bulletin of the Association of French Geographers*. No. 119: pp.34–40.
27. **Madani, o. (2010)**. Ressources et essai de gestion intégrée des eaux du nord des aures dans la wilaya de khenchela**nord est algérien**. P3
28. Organisation mondiale de la Santé, 2017
29. **Ouanassi, M & Salhi, M. (2021)**. Étude de la possibilité d'une éventuelle réhabilitation et mise en eau dans le barrage de foug el geiss, kais, wilaya de khenchela (n, e algérien) [master en géologie de l'ingénieur et géotechnique]. Université larbitebessi -tebessa-
30. **Salhi mariama & ouanassi maroua. (2022)**. La géologie générale de la wilaya de khenchela (ville de kais) (numéro 30 volume 30) [dataset ; asjp].
31. **Sophie verhille. (2013)**. Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable : interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique. Centre de collaboration nationale en santé environnementale.
32. **Taleb, s. (2005)**. confrontation of the algerian standards of drinking waters to the directives of the world health.
ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/284162132_Confrontation_of_the_Algerian_standards_of_drinking_waters_to_the_directives_of_the_world_health_organizatin_WHO
33. **UNESCO. 2018**. rapport de la comest sur « l'éthique de l'eau : océans, eau douce, zones côtières ». Paris sponible à :
https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265449_fre/pdf/265449fre.pdf.multi
34. **Ziouch, OR. (2020/2021)**. Cours : hydrologie, hydrogéologie et écologie [master 1 écologie fondamentale et appliquée]. Université abbes laghrour -khenchela-.
35. **Zubair, S et all. (2022)**. Physicochemical analysis of drinking water for the detection of arsenic from manga mandi Punjab, Pakistan, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* August 2022, Vol. 17, No. 2, pp. 267 – 274; DOI:10.26471/cjees/2022/017/220