



**République algérienne démocratique et populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université Abbes LAGHROUR- Khenchela-**  
**Faculté des sciences de la nature et de la vie**  
**Département de l'Ecologie et l'Environnement**

**Mémoire de fin d'étude**  
**Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master académique**  
**Domaine : Sciences de nature et de la vie**  
**Filière : Ecologie et environnement**  
**Spécialité : Protection des écosystèmes**

**Thème**  
**Contribution à l'étude des paramètres**  
**physiques de quelques sources d'eau de la**  
**région de Yabous**  
**(Wilaya de Khenchela)**

**Présenté par**  
**MEDDOUR Abdelhak**  
**HAFSAOUI Nesrine**  
**REGHIS Fairouz**

**Devant le jury composé de**

Président	TAKOUACHET Radhouane	MCA, Université de Khenchela
Encadrant	BERKANI Cherifa	MCA, Université de Khenchela
Co-encadrant	BOUCHEMA Nadhir	Doctorant, université d'Oum El Bouaghi
Examineur	MEZHOUD Amel	MAA, Université de Khenchela

**Année universitaire : 2023/2024**

## *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions Allah qui nous a dotés une grande volonté et qui nous a aidés et nous a donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce travail.

Je me tiens devant vous aujourd'hui, le cœur rempli d'un mélange de sentiments contradictoires, de joie de la réussite et de tristesse de la séparation, des sentiments mêlés aux souvenirs d'un long parcours éducatif plein de défis et de réalisations.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif d'un certain nombre de personnes que nous tenons à remercier

A notre cher encadrant, Nous n'arrivons pas à trouver des mots suffisamment forts pour exprimer la reconnaissance que nous avons à l'égard de notre encadrant, Dr BERKANI Cherifa ayant accepté de diriger notre travail, pour disponibilité, ses remarques et ses conseils fructueux, qu'il trouve ici toutes nos gratitude.

Nous exprimons vivement nos sincères remerciements aux membres du jury Dr .TAKOUACHET Radhouane ayant accepté la présidence de jury et Dr. MEZHOUD Amel, en tant qu'examineur de ce travail.

Nous sommes très heureux de vous compter aujourd'hui parmi les membres de ce jury. Votre disponibilité constante, vos conseils et suggestions nous ont permis d'améliorer profondément la qualité de ce travail. Permettez-nous cher Maître de vous adresser nos sincères remerciements.

A tout le staff administratif et pédagogique de la faculté SNV.

Je tiens à remercier sincèrement tous ceux qui ont contribué à mon parcours éducatif, notamment les enseignants, les administrateurs et les parents. Ce fut un voyage plein de défis et de réalisations, et chaque étape a été riche d'enseignements précieux. Nous le porterons avec nous dans le futur.

Je souhaite à mes collègues tout le meilleur dans les prochaines étapes de leur vie.

Je n'oublierai jamais les moments qui...Nous l'avons passé ensemble et nos souvenirs à jamais gravés dans nos cœurs.

## ***Merci !***

# *Dédicace*

Tout d'abord, je remercie ALLAH de m'avoir donné la santé et la volonté de poursuivre mes études.

Du fond du cœur, je dédie cet humble travail à toutes les personnes qui me sont chères.

A mon honoraire, soutien et mon aide toute ma vie

Père révérent Salah

Au cœur tendre et plus cher que mon âme

Ma chère mère Baldya .

À mes soutiens dans la vie, mes chers frères : Faïcel et Redha Et à l'autre partie de mon

cœur, mes belles sœurs

Une dédicace particulière aux personnes chères à mon cœur, mes neveux :

Yazan, Iline , Kinda , Matya

À tous mes professeurs

Merci pour le soutien et l'aide précieuse qu'ils m'ont apporté durant mes années d'étude.

Je n'oublierai pas mes amis et mes proches NesRin, Marwa et Mina pour leurs

encouragements au cours de toutes ces années. Et pour leur fidèle amitié.

Et mes collègues de tout la promo master classe Ecologie.

La quintessence de ce mémoire leur y est offerte.

*Fairouz*

# *Dédicace*

Je dédie cette réussite à mes parents, Un grand merci à ma mère et mon père, pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.

A mes chers frères et mes sœurs

A mon cher fiancé

Je tiens à adresser mon profond remerciement à mon encadrant, à mes enseignants et à mes amis pour leurs supports tout au long de mon parcours.

Un grand merci pour toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail, par le soutien moral, administratif ou technique.

À mon chat.

*Nesrine*

# *Dédicace*

Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail et qui ont été une source d'inspiration et de soutien tout au long de ce parcours.

À ma belle-mère, à mon père, à ma sœur, et à mes frères Lakhdar, Azzeddine, Nabil et Chahine, pour leur amour inconditionnel et leur soutien constant.

À mon encadrante, Dr. BERKANI Cherifa, et à mon cher co-encadrant, Dr. Bouchemaa Nadhir, pour leur précieuse guidance, leurs conseils avisés et leur encouragements tout au long de cette aventure académique.

À mes amis Lahcen, Abd Elhak, Naim, Abd Allah, Djallel, Tarek, Hama, Malek et Hamza, pour leur camaraderie et leur soutien indéfectible.

À mes frères du laboratoire d'analyse médicale : Abderahim, Aissam, Akram, Hakou, Abd Elhafid et Takieddine, pour leur aide précieuse et leur amitié.

À l'équipe de radiologie, Amir et Moncef, pour leur collaboration et leur professionnalisme.

À mes collègues Reghis Fairouz et Hafssaoui Nesrine, pour leur aide précieuse dans la réalisation de ce travail.

À ma future femme, pour son amour et son soutien indéfectibles.

À toute ma promotion en protection des écosystèmes 2024/2025, pour leur esprit d'équipe et leur solidarité.

Merci à vous tous pour avoir rendu cette réalisation possible.

Avec toute ma gratitude

MEDDOUR Abdelhak

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'actualiser les paramètres physiques et l'analyse statistiques des eaux de la région de Yabous Wilaya de Khenchela. Cette région est caractérisée par un climat semi-aride. Les valeurs de la température mesurée s'inscrivent dans l'intervalle 6 °C à 19 °C, elles sont influencées par la température de l'air. Les valeurs du pH sont de 6,93 et 7,65. Les valeurs de la conductivité électrique n'ont pas dépassé 1710 µS/cm. Les eaux sont faiblement minéralisées et oxygénées. L'analyse en composante principale a montré une corrélation très significative entre la conductivité électrique, la salinité et TDS.

**Mots clé :** ACP, Paramètres physiques de l'eau, Yabous, Khenchela.

## Abstract

The aim of this work is to update the physical parameters and statistical analysis of the water in the Yabous region of the Khenchela Wilaya. This region has a semi-arid climate. The temperature values measured range from 6°C to 19°C, and are influenced by the air temperature. The pH values are 6.93 and 7.65. Electrical conductivity values did not exceed 1710 µS/cm. The water was poorly mineralized and oxygenated. Principal component analysis showed a highly significant correlation between electrical conductivity, salinity and TDS.

**Key words:** PCA, Physical parameters of water, Yabous, Khenchela.

## الملخص

يهدف هذا العمل إلى تحديث المعايير الفيزيائية والتحليل الإحصائي للمياه في منطقة يابوس بولاية خنشلة. تتميز هذه المنطقة بمناخ شبه جاف. تتراوح قيم درجات الحرارة المقاسة من 6 درجات مئوية إلى 19 درجة مئوية، وتتأثر بدرجة حرارة الهواء. وتبلغ قيم الأس الهيدروجيني 6.93 و 7.65. لم تتجاوز قيم التوصيل الكهربائي 1710 ميكرو ثانية/سم. كانت المياه ضعيفة التمعدن والأكسجين. أظهر تحليل المكونات الرئيسية وجود ارتباط كبير للغاية بين التوصيلية الكهربائية، والملوحة والمواد الصلبة الذائبة.

**الكلمات المفتاحية:** PCA، المعلمات الفيزيائية للمياه، يابوس، خنشلة

## Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....1

### Chapitre I: Présentation de la région de Yabous

<b>I.</b>	<b>Présentation générale et localisation de la zone d'étude .....</b>	<b>3</b>
<b>I.1.</b>	Situation géographique .....	3
<b>I.2.</b>	Les coordonnées géographiques .....	3
<b>II.</b>	<b>Caractéristique socio-économiques .....</b>	<b>5</b>
<b>II.1.</b>	Population.....	5
<b>II.2.</b>	Contexte Agricole dans la Zone d'étude.....	5
<b>II.2.1.</b>	Répartition des terres agricoles.....	6
<b>II.2.2.</b>	Production animale .....	7
<b>III.</b>	<b>Géomorphologie de la zone d'étude .....</b>	<b>8</b>
<b>III.1.</b>	Le relief .....	8
<b>III.2.</b>	Les pentes .....	8

### Chapitre II : Caractéristique hydro climatique de la région d'étude

<b>Introduction</b> .....	9
<b>I. Climatologie de la zone de Yabous</b> .....	9
<b>II. Etude des variations des facteurs climatiques</b> .....	9
<b>II.1. Variation des températures</b> .....	9
<b>II.2. Variation des précipitations</b> .....	10
<b>II.2.1. Répartition mensuelle des précipitations</b> .....	11
<b>II.2.2. Répartition annuelle des précipitations</b> .....	12
<b>III. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN</b> .....	13
<b>IV. Classification du climat</b> .....	15
<b>V. Le bilan hydrique</b> .....	17
<b>V.1. L'évapotranspiration</b> .....	18
<b>V.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)</b> .....	18
<b>V.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)</b> .....	18
<b>V.2. Le ruissellement</b> .....	19
<b>V.3. L'infiltration</b> .....	19
<b>VI. Calcul du bilan hydrique</b> .....	19
<b>VI.1. Interprétation du bilan hydrologique</b> .....	21
<b>VII. Le vent</b> .....	21
<b>VIII. L'Humidité</b> .....	21

### **Chapitre III : Etude géologique et hydrogéologie de la zone**

Introduction .....	23
<b>I. Géologie générale de la Willaya de Khenchela</b> .....	23
<b>II. Géologie locale</b> .....	24
<b>II.1. Le Trias</b> .....	24

<b>II.2.</b>	Le Crétacé.....	24
<b>II.2.1.</b>	Le Crétacé supérieur.....	24
<b>II.2.2.</b>	Le Crétacé moyen.....	25
<b>II.2.3.</b>	Le Crétacé inférieur.....	25
<b>II.3.</b>	Le Quaternaire.....	26
<b>III.</b>	La tectonique de la région de Yabous.....	27
<b>IV.</b>	La perméabilité.....	29
<b>V.</b>	Hydrogéologie de Yabous.....	29

**Chapitre IV : etude des paramètres physiques et analyse statistiques des eaux de la région de Yabous**

Introduction.....	32
<b>I. Etude des variations des paramètres physicochimiques des eaux de Yabous.....</b>	<b>35</b>
<b>I.1.</b> Variation des températures.....	35
<b>I.2.</b> Variation de potentiel d'hydrogène (pH).....	36
<b>I.3.</b> Variation de la conductivité électrique (CE).....	37
<b>I.4.</b> Variation de la TDS	
<b>I.5.</b> Variation de la salinité	
<b>I.6.</b> Variation de l'oxygène dissous	
<b>II. Analyse de la composante principale</b>	
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>64</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>66</b>

## Liste des figures

<b>Figure.01</b> : Situation géographique de la zone d'étude .....	4
<b>Figure.02</b> : Production végétale de la commune de Yabous (2021/2022) .....	5
<b>Figure.03</b> : Répartition des terres dans la commune de Yabous (2021/2022) .....	6
<b>Figure.04</b> : Production animal de la commune de Yabous (2021/2022).....	7
<b>Figure.05</b> : Courbe de variation des températures moyennes (ST El Hamma, 1990-2020)....	10
<b>Figure.06</b> : Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (St El Hamma, 1990-2020) .....	12
<b>Figure.07</b> : Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1990-2020)	13
<b>Figure.08</b> : Diagramme Ombrothérmique de Gaussen.....	14
<b>Figure.09</b> : Climagramme d'Emberger .....	16
<b>Figure.10</b> : Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite (1990-2020) .....	20
<b>Figure.11</b> : Courbe de variation de L'humidité enregistrée à la station la période (2004-2018).....	22
<b>Figure.12</b> : Carte géologie de la région de Khenchela. (Source : DEW, 1992) .....	26
<b>Figure.13</b> : Colonne stratigraphique synthétique de l'Atlas saharien orientale .....	28
<b>Figure.14</b> : Coupe hydrogéologique schématique .....	30
<b>Figure.15</b> : Carte des nappes aquifères (DHW. Khenchela, 1992) .....	31
<b>Figure.16</b> : Carte d'inventaire des points de prélèvements des eaux dans Yabous (Avril, 2023).....	33
<b>Figure.17</b> : Photos des ressources en eau de la région de Yabous .....	34
<b>Figure.18</b> : Echantillonnage d'eau et mesure des paramètres in situ (Avril 2023).....	34
<b>Figure.19</b> : représentation graphique de la variation des températures (Avril, 2024).....	36

<b>Figure.20</b> : représentation graphique de la variation du Ph.....	36
<b>Figure.21</b> : représentation graphique de la variation de la Conductivité électrique .....	37
<b>Figure 22</b> : représentation graphique de la variation du TDS .....	38
<b>Figure 23</b> : représentation graphique de la variation de l'oxygène dissous .....	39
<b>Figure 24</b> : représentation graphique de la variation de la salinité des eaux de Yabous.....	40
<b>Figure 25</b> : variation de la conductivité électrique en fonction de la température .....	41
<b>Figure 26</b> : variation de la salinité en fonction de la température .....	41
<b>Figure 27</b> : projection des variables des eaux étudiées .....	61

## Liste des tableaux

<b>Tableau.01</b> : Production végétale de la commune de Yabous (2022).....	5
<b>Tableau.02</b> : Répartition des terres dans la commune de Yabous (2021/2022).....	6
<b>Tableau.03</b> : Production animal de la commune de Yabous (2021/2022) .....	7
<b>Tableau.04</b> : Les coordonnées géographiques de la station météorologique .....	9
<b>Tableau.05</b> : Température moyenne mensuelle (1990-2020) .....	9
<b>Tableau.06</b> : Précipitation moyenne mensuelle (1990-2020) .....	11
<b>Tableau.07</b> : Précipitation moyenne annuelle (1990-2020) .....	12
<b>Tableau.08</b> : Précipitation et la température moyenne mensuelle (1990-2020).....	14
<b>Tableau.09</b> : Classification des climats selon l'indice de De Martonne .....	15
<b>Tableau.10</b> : Correspondances entre les étages bioclimatiques et les précipitations d'après	17
<b>Tableau.11</b> : Tableau récapitulatif des paramètres climatiques : P, I, R, ETP et ETR.....	19
<b>Tableau.12</b> : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite .....	19
<b>Tableau.13</b> : Vitesse du vent (m/s) enregistrée à la station d'El Hamma (2004-2018) .....	21
<b>Tableau.14</b> : Variation de l'humidité relative à la station d'El Hamma (2004-2018) .....	21
<b>Tableau.15</b> : Caractéristiques de matériaux de bassin versant de point de vue (perméabilité – résistance).....	29
<b>Tableau.16</b> : Statistiques élémentaires des différents paramètres physico-chimiques des eaux de Yabous (Avril, 2024).....	35
<b>Tableau.17</b> : Rapport entre la conductivité et la minéralisation.....	38

## Liste des abréviations

Abréviations	Explication
<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>μS/cm</b>	Micro Siemens par centimètre
<b>BH</b>	Bilan Hydrique
<b>CE</b>	Conductivité électrique
<b>DA</b>	Le déficit agricole
<b>DHW</b>	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
<b>etc</b>	Et cetera
<b>ETP</b>	L'évapotranspiration potentielle
<b>ETR</b>	L'évapotranspiration réelle
<b>E-W</b>	Est-Ouest
<b>EXC</b>	Excédent
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>Ha</b>	Hectare
<b>I</b>	Infiltration
<b>I</b>	Indice d'aridité
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilomètre carré
<b>M</b>	Température maximale
<b>m</b>	Température minimal
<b>m</b>	Mètre
<b>ACP</b>	Analyse en composantes principales

<b>Abréviations</b>	<b>Explication</b>
<b>m/s</b>	Mètre par seconde
<b>Max</b>	Maximum
<b>mg/l</b>	Milligramme par litre
<b>Min</b>	Minimum
<b>mm</b>	Millimètre
<b>Moy</b>	Moyenne
<b>NE-SW</b>	Nord-Est/Sud-Ouest
<b>N-W</b>	Nord-Ouest
<b>NW-SE</b>	Nord-Ouest/Sud-Est
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>P</b>	Précipitation
<b>P</b>	Puits
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène
<b>Q2</b>	Quotient pluviométrique
<b>R</b>	Ruissellement
<b>S-E</b>	Sud-Est
<b>ST</b>	Station
<b>T</b>	Température

# **Introduction générale**

### Introduction générale

L'eau occupe près 70% de la terre, seulement 2,5 % de cette eau est douce, et dont les deux tiers sont bloqués sous forme de glaciers situés dans les régions polaires (**Simonovic 2009**).

Les eaux souterraines sont considérées comme une "ressource cachée", quantitativement plus importante que les eaux de surface et pour laquelle la prévention de la pollution et la réhabilitation sont plus difficiles que pour les eaux de surface, en raison de leur inaccessibilité (**Babana et al., 2018 ; Kumar et al., 2019**).

Le manque d'eau est un problème critique dans de nombreuses régions du monde, en particulier dans les zones arides et semi-arides (**El gallal et al., 2016 ; Xiao et al., 2017, Bounab, 2017**).

Dans les zones arides, les eaux souterraines sont le principal fournisseur d'eau parce qu'elles sont considérées comme plus sûres contre les polluants que les eaux de surface, car elles sont généralement considérées comme moins polluées que les eaux de surface et donc privilégiées pour la consommation (**Ziani, 2017 ; Guergazi et al, 2005**).

Une connaissance approfondie de l'hydrogéologie physique et chimique est nécessaire pour comprendre les systèmes d'eaux souterraines et pour l'utilisation efficace et durable des ressources en eaux souterraines (**Cartwright, 2006**). L'étude régionale de la qualité physique des eaux superficielles et souterraines, chaudes ou froides dans la région de Yabous a fait l'objet de ce travail.

Pour réaliser cette étude nous avons adopté la méthodologie suivante :

Le premier chapitre présente une présentation générale de la région d'étude, qui consistera à bien comprendre notre milieu d'étude et définir à travers la lithologie des formations constituant la région, la stratigraphie, la tectonique et les propriétés géomorphologiques et socio-économiques du bassin versant.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude hydroclimatologique qui permettra d'évaluer les apports en eau et le stockage dans les couches souterraines pour le calcul des indices climatiques et les paramètres du bilan hydrique.

Le troisième chapitre concerne l'étude des paramètres physiques des eaux par le développement et l'identification des propriétés physiques des eaux, ainsi que l'analyse en composante principale.

# **Chapitre 1**

## **Présentation générale de la zone d'étude**

## I. Présentation générale et localisation de la zone d'étude

La commune de Yabous appartient à la tribu de Bani Oujana, qui comprend quatre communes, dont trois sont administrativement subordonnées au district de Bouhmama, notamment a été crier dans le découpage communal de 1984.

Le mot Yabous est le nom donné à une région des Aurès qui a joué un rôle important de l'éternité à l'état nomade jusqu'à l'ère de l'indépendance et de ce que l'histoire a préservé, c'est le théâtre de la bataille entre les byzantins sous la direction de Solomon en 539 et la population. Amazigh sous la direction de Bidas ou Jana (FTY, 2022).

### I.1. Situation géographique

La commune de Yabous est l'une des communes de la wilaya de Khenchela, située à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya à distance de 60 km, elle s'étale sur une superficie 157 km<sup>2</sup>, son climat semi-aride sec et froid (FTY, 2022).

La commune de Yabous est limitée :

- Au nord par les communes de Taouziant et Ouled Fadel,
- Au sud par la commune d'Ichemoul et Bouhmama,
- A l'Est par la commune de Chelia et Taouzianet,
- A l'Ouest par les communes de Foum Toub et Timgad.

### I.2. Les coordonnées géographiques

- La latitude : 35.4081.
- La longitude : 6.64184.
- L'Altitude : 1167 m.
- 35° 24' 29" Nord, 6° 38' 31" Est.

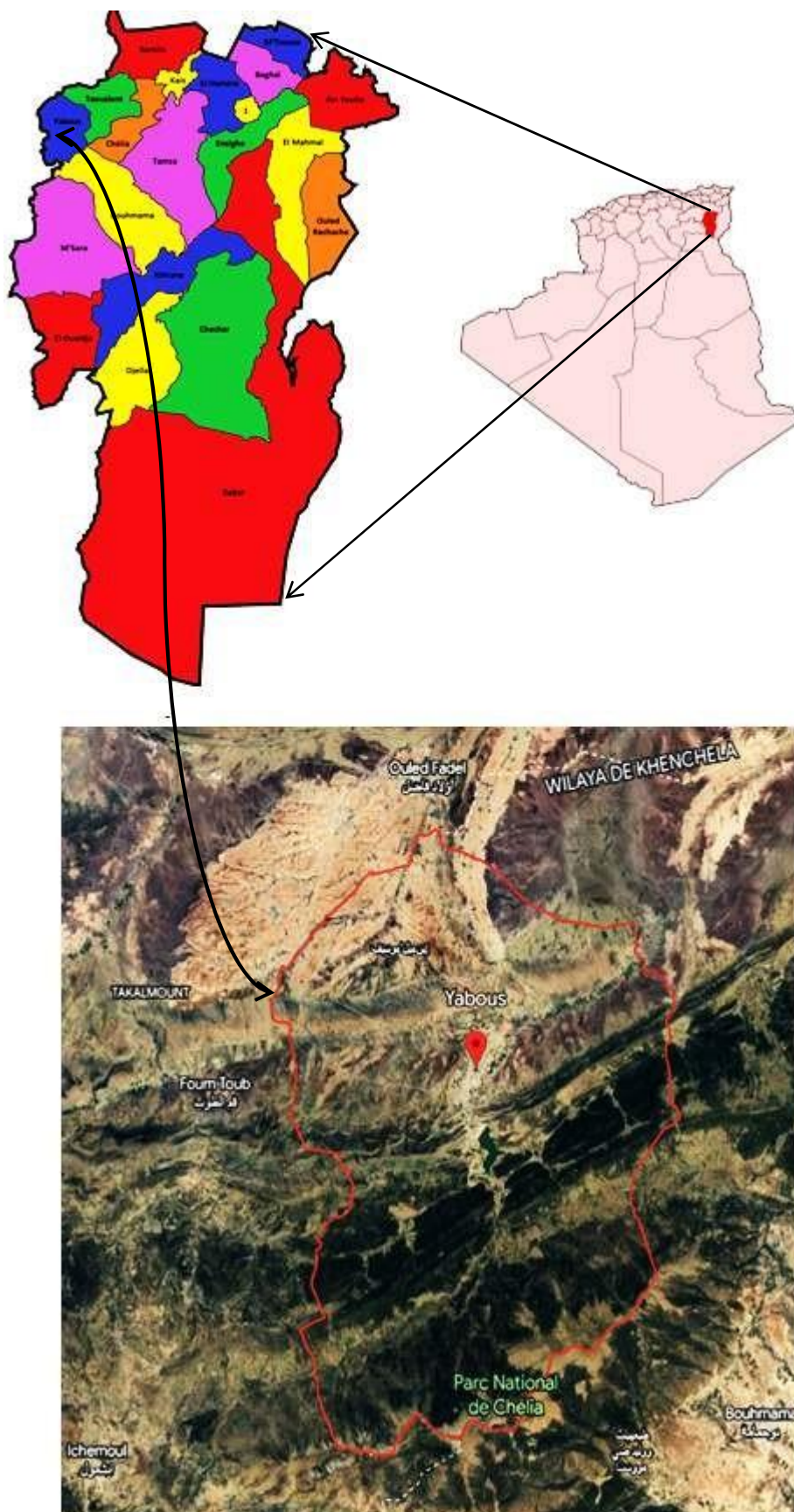


Figure.01 : Situation géographique de Yabous (Google, Earth)

## II. Caractéristiques socio-économiques

### II.1. Populations

Au 31/12/2022 et selon l'annuaire statistique service de planification statistique de Yabous, la surface totale de Yabous a été estimée à 157 km<sup>2</sup>. La commune de Yabous comptait 14000 habitants (FTY, 2022).

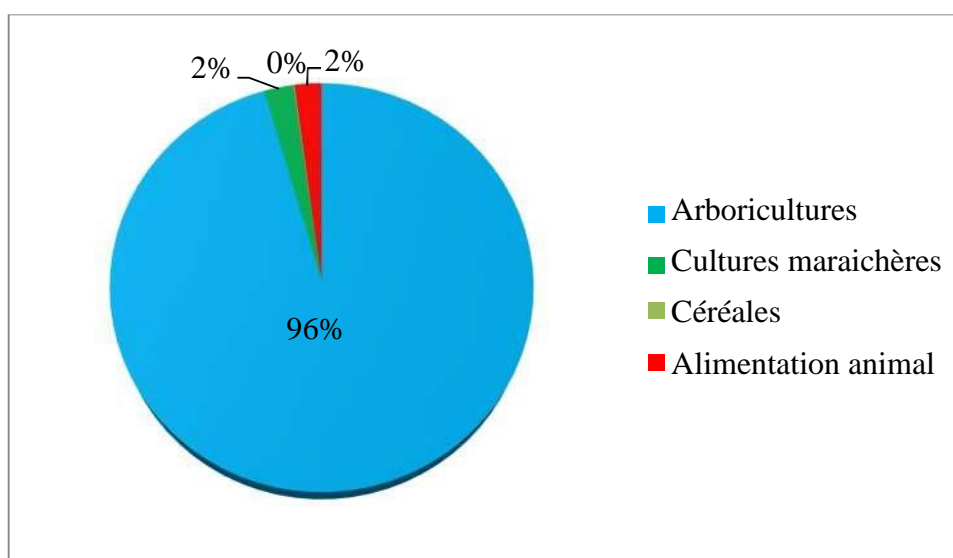
### II.2. Contexte Agricole dans la Zone d'étude

La région de Yabous est à une vocation agricole, dominé par la culture de céréales et de l'élevage qui ont été pratiqué d'une manière traditionnelle. Malgré les conditions naturelles et climatiques pénibles de la région, Yabous a connu un essor ces dernières années par le développement d'une nouvelle spéculation qui prend plus de place de jour en jours, c'est l'arboriculture qui a connu une extension de superficie importante et surtout le pommier.

**Tableau.01** : Production végétale de la commune de Yabous (2021/2022)

Espèces	Production (Q <sub>x</sub> )	Superficie (Ha)
Arboricultures	145410	512
Cultures maraichères	3531	27
Céréales	122	749.2
Alimentation animal	3224	31

(Source : DAY, 2022)



**Figure.02** : Production végétale de la commune de Yabous (2021/2022)

Cette nouvelle spéculation a contribué au développement de l'activité agricole dans la région, de ce fait a donné un souffle de développement dans la région et des revenus aux paysans de la zone, ce qui a une incidence positive sur le niveau de vie la population.

La commune de Yabous a connu un développement très important ces dernières années en termes de développement de la production végétale et plus spécifiquement une nouvelle spéculation d'importance croissante en arboriculture. Cette nouvelle activité spéculative a donné lieu au développement d'activités agricoles dans la région.

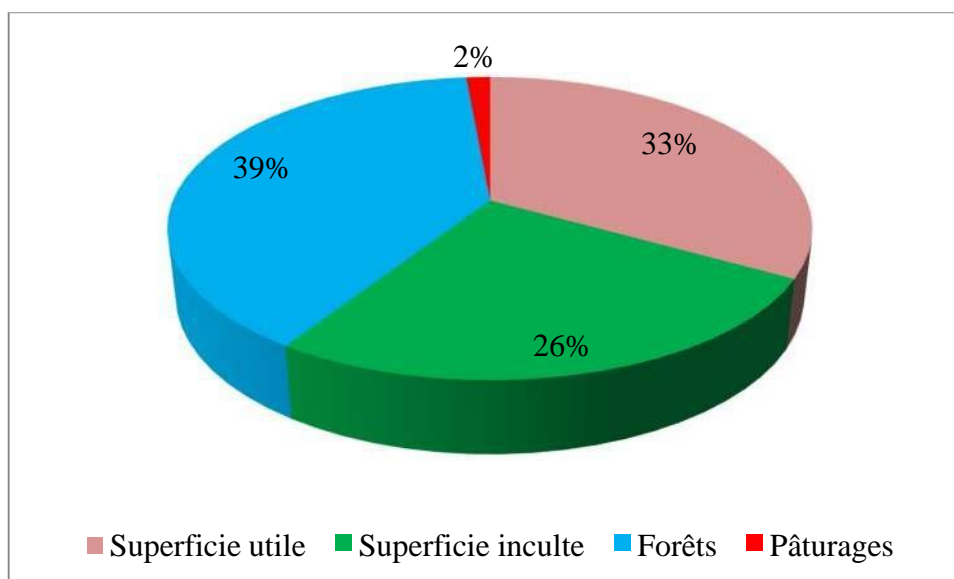
### II.2.1. Répartition des terres agricoles

La commune de Yabous occupe une superficie totale appréciée 16010 ha, est divisée en trois catégories. D'après le tableau 02, nous remarquons que la superficie importante est occupée par des forêts (7349 ha). Deuxièmement, la superficie utile à l'agriculture est 6176 ha, et la superficie ne convient pas à l'agriculture est occupée 4856.8 ha.

**Tableau.02** : La répartition des terres dans la commune de Yabous (2021/2022)

Terres	Superficie (ha)
Superficie utile	6176
Superficie inculte	4856,8
Forêts	7349
Pâturages	267

(Source : DAY, 2022)



**Figure.03** : La répartition des terres dans la commune de Yabous (2021/2022)

### II.2.2. Production animale

La production animale de la commune de Yabous dépend de l'écart quantitatif des différents animaux, puisqu'elle a atteint l'année 2021-2022 :

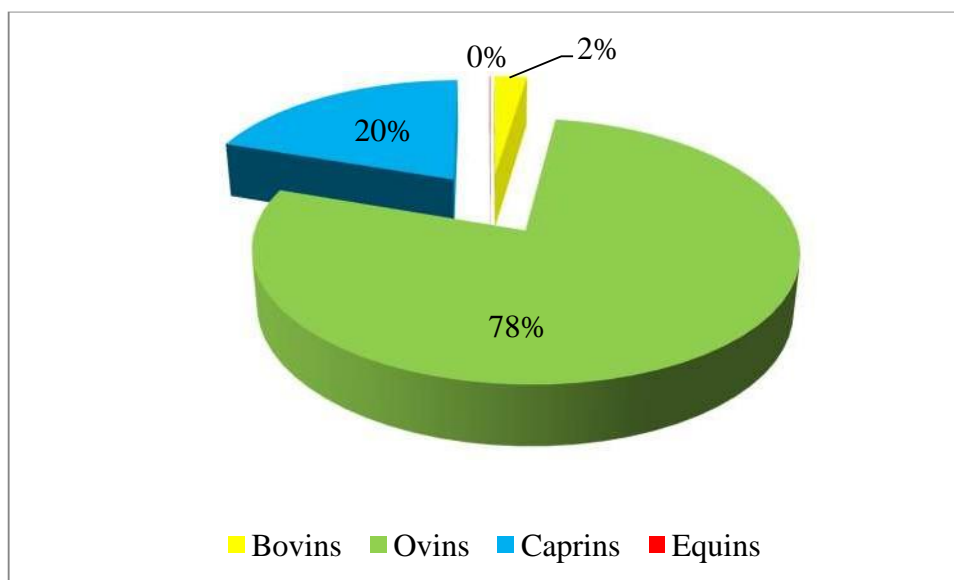
- Nombre de bovins : 416 têtes avec une production laitière 681395 litres.
- Nombre d'ovins : 13630 têtes avec une production laitière 238182 litres et la laine 166 Qx.
- Nombre de caprins : 3442 têtes avec une production laitière 10595 litres.
- Nombre d'équins : 07 têtes.

Il dépend également de l'apiculture d'environ 850 essaims avec une quantité estimée de miel de 23,4 Qx (DAB, 2022).

**Tableau.03** : Production animal de la commune de Yabous (2021/2022)

Animaux	Nb de Tête
<b>Bovins</b>	416
<b>Ovins</b>	13630
<b>Caprins</b>	3442
<b>Equins</b>	07

(Source : DAB, 2022)



**Figure.04** : Production animale de la commune de Yabous (2021/2022)

### III. Géomorphologie de la zone d'étude

#### III.1. Le relief

Le relief est un facteur essentiel qui détermine en grande partie la capacité de ruissellement, d'infiltration et d'évaporation du sol. C'est un facteur majeur du comportement hydrologique d'un bassin versant. La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques sont des fonctions de l'altitude car la hauteur du terrain dépend des précipitations et du gradient de température, et la vitesse d'écoulement est en principe plus élevée en montagne qu'en plaine.

Le plan physique, le territoire de la commune de Yabous est constitué :

- Par un relief montagneux au Sud totalisant une superficie 9677 ha soit 62,2 % la superficie totale.
- Par des plaines au Nord avec 5025 ha, soit 32 % de la superficie totale.
- Un réseau hydrographique constitué essentiellement par des Oueds au régime torrentiels dont le principal est l'Oued Talha (**Rouibi et Bouazizi, 2015**).

#### III.2. Les pentes

La forme en bas-relief de la commune de Yabous se caractérise par une pente dans une grande partie du Sud, il est généralement supérieur à 25 %. Alors que le nord présente un relief plat ou quasi plat (les pentes comprises entre 0 et 03 % représentent des plaines), la zone de transition entre le sud vallonné et les parties plates du nord (partie centrale de la commune) correspond au caractère des contreforts (pente entre 03 et 25 %) (**Badis, 2011**).

# **Etude climatique de la zone d'étude**

## Introduction

La recherche sur le climat est un élément important pour comprendre le comportement des rivières, l'évolution des stocks, les mécanismes naturels d'approvisionnement et de circulation de l'eau, afin d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, avec des effets immédiats ou à long terme sur l'évolution de la nappe.

L'objectif principal de toute étude hydro climatique est d'établir un bilan hydrique sur une période donnée, et les principaux paramètres nécessaires à son établissement sont les précipitations et la température.

### I. Climatologie de la zone d'étude

Pour étudier le climat de la zone d'étude, nous avons exploité des données recueillies au niveau de la station météorologique d'El Hamma gérée par l'office national de la météorologie, et dont la période d'observation va de 1990 à 2020 pour la station d'El Hamma, a servi pour l'évaluation des facteurs du bilan. Cette station est située selon les coordonnées suivantes :

**Tableau.04** : Les coordonnées de la station météorologique d'El Hamma

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période d'observation
El Hamma	7°05'E	35°28'N	928.5 m	1990-2020

## II. Etude des variations des facteurs climatiques

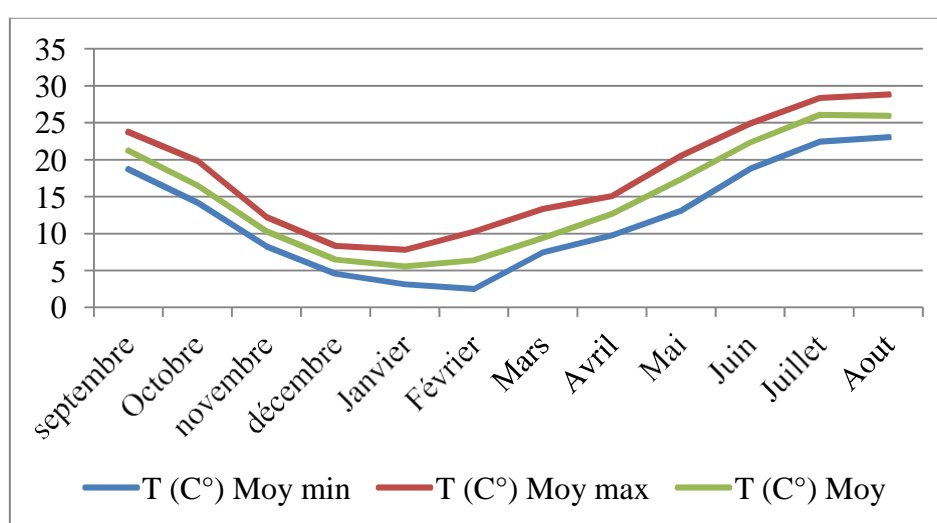
### II.1. Variation des températures

La température est un facteur physique fondamental dans les milieux aquatiques superficiels et terrestres. Elle conditionne grandement la répartition des organismes végétaux et animaux et influence l'activité physique des êtres vivants. Elle contrôle aussi l'évolution et la transformation dans le milieu aquatique, de nombreux facteurs chimiques dont l'oxygène dissous, facteur indispensable aux organismes aquatiques. Les variations de température influent en particulier sur la dynamique des populations de crustacés (**Ounissi, 2022**).

**Tableau.05** : Températures moyennes mensuelles (1990-2020) (Chenaker, 2022)

Mois	T (°C) Moy min	T (°C) Moy max	T (°C) Moy	Amplitude M-m
Septembre	18,69	23,78	21,22	5,09
Octobre	14,19	19,89	16,48	5,7
Novembre	8,28	12,24	10,31	3,96
Décembre	4,60	8,37	6,49	3,77

<b>Janvier</b>	3,14	7,85	5,57	4,71
<b>Février</b>	2,5	10,30	6,39	7,8
<b>Mars</b>	7,5	13,37	9,44	5,87
<b>Avril</b>	9,8	15,11	12,70	5,31
<b>Mai</b>	13,14	20,56	17,37	7,42
<b>Juin</b>	18,78	24,96	22,32	6,18
<b>Juillet</b>	22,43	28,36	26,08	5,93
<b>Aout</b>	23,04	28,85	25,95	5,81



**Figure.05 :** Courbe de variation des températures moyennes

(El Hamma, 1990-2020) (Chenaker, 2022)

La figure (05) représente les variations mensuelles des températures sur une période de 30 ans, à partir du graphique, on remarque que le mois le plus froid c'est le mois de Février avec une valeur de température basse de l'ordre de 2,5 °C, le mois le plus chaud dans la région d'étude est celui d'Aout avec une moyenne max de 28,85 °C.

## II.2. Variation des précipitations

Les précipitations constituant le facteur principal dans l'établissement du bilan hydrique. Quel que soit leur nature (pluie, grêle, neige ou autre forme de condensation), les précipitations jouent un rôle essentiel dans l'alimentation des nappes souterraines et aussi dans le comportement hydrologique des cours d'eau de la région que nous essayerons d'étudier à l'échelle du mois, de la saison et de l'année. L'altitude et l'éloignement de la mer

des stations d'observation, sont les principaux facteurs qui constituent la répartition dans l'espace et le temps de pluie (Saoudi, 2017).

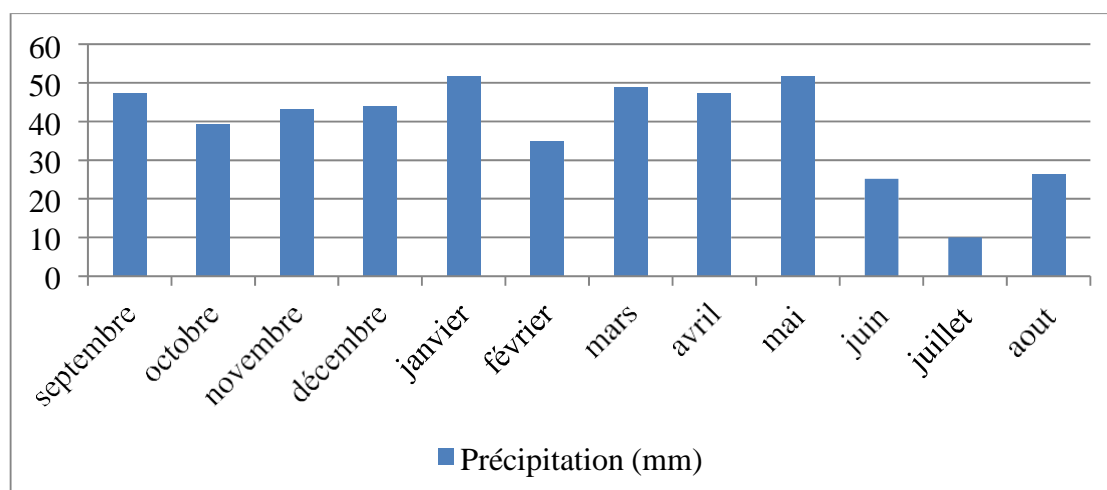
### II.2.1. Répartition mensuelle des précipitations

Pour mesurer la répartition mensuelle des précipitations, il est nécessaire de connaître la quantité de précipitations dans les années successives.

**Tableau.06** : Précipitation moyenne mensuelle (1990-2020) (Chenaker, 2022)

Mois	Précipitations (mm)
Septembre	47,40
Octobre	39,27
Novembre	43,34
Décembre	43,85
Janvier	51,71
Février	34,88
Mars	48,95
Avril	47,47
Mai	51,70
Juin	25,16
Juillet	10,05
Aout	26,43

Les données pluviométriques (Figure.06) montrent une moyenne mensuelle des précipitations d'environ 40 mm. Le mois le moins pluvieux est Juillet avec 10,05 mm d'eau, cependant, les quantités les plus élevées sont observées au mois de Janvier avec 51,71 mm.



**Figure.06 :** Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (1990-2020) (Chenaker, 2022)

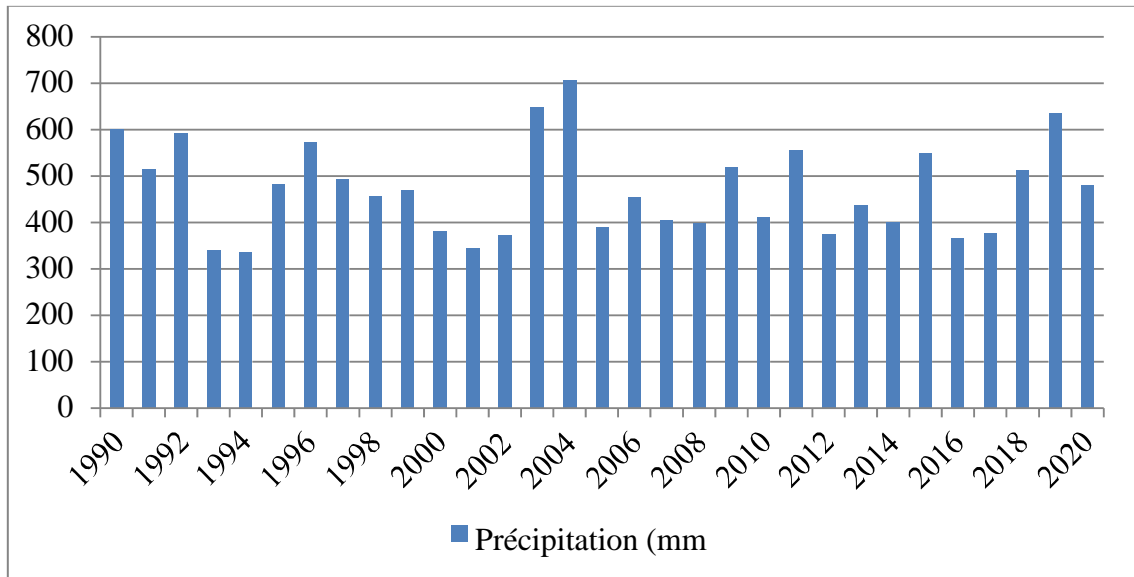
## II.2.2. Répartition annuelle des précipitations

Pour la répartition des précipitations annuelles de la station pluviométrique d'El Hamma durant la période d'observation de 30 ans qui s'étale du 1990 au 2020.

**Tableau.07 :** Précipitation moyenne annuelle (1990-2020) (Chenaker, 2022)

Années	Précipitation (mm)	Années	Précipitation (mm)
1990	599,66	2006	454,6
1991	513,78	2007	404,96
1992	592,81	2008	398,05
1993	339,8	2009	519,5
1994	336,28	2010	410,99
1995	482,74	2011	554,73
1996	571,92	2012	374,89
1997	494,59	2013	436,84
1998	455,93	2014	400,63
1999	470,4	2015	550,46
2000	380,18	2016	366,86
2001	345,45	2017	377,41
2002	371,45	2018	512,94
2003	648,38	2019	635,88
2004	707,18	2020	480,66

On remarque qu'il y'a une irrégularité de la répartition annuelle des précipitations, l'année la plus pluvieuse est celle de 2004 avec une quantité de 707,18 mm d'eau ; alors, que le minimum est enregistré en 1994, avec une valeur de précipitation de 336,28 mm.



**Figure.07 :** Histogramme de variation des précipitations moyennes annuelles (1990-2020) (Chenaker, 2022)

### III. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN

Le diagramme Ombrothérmique de Gausсен est un mode de représentation classique du climat d'une région nous permet de connaître les caractères des saisons dans une région donnée et d'évaluer l'intensité et la durée de la période de sécheresse.

Pour ce diagramme, les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses, il regroupe en même temps la courbe des précipitations (P) représentés en ordonnée à droite en (mm) selon une échelle double de celle des températures (T) représentées à gauche en (°C) (Kerdoud, 2017).

Selon Gausсен une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température :  $P \leq 2T \Rightarrow$  période sèche.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double de la température :  $P = 2T \Rightarrow$  période humide.

**Avec :**

P : Précipitations moyenne mensuelle en (mm).

T : Température moyenne mensuelle en (°C).

Tableau.08 : Précipitation et la température moyenne mensuelle (1990-2020) (Chenaker, 2022)

Mois	P (mm)	T (°C)
Septembre	47,40	21,93
Octobre	39,27	17,03
Novembre	43,34	10,65
Décembre	43,85	6,74
Janvier	51,71	5,75
Février	34,88	6,61
Mars	48,95	9,76
Avril	47,47	13,12
Mai	51,70	17,95
Juin	25,16	23,06
Juillet	10,05	26,95
Aout	26,43	26,82

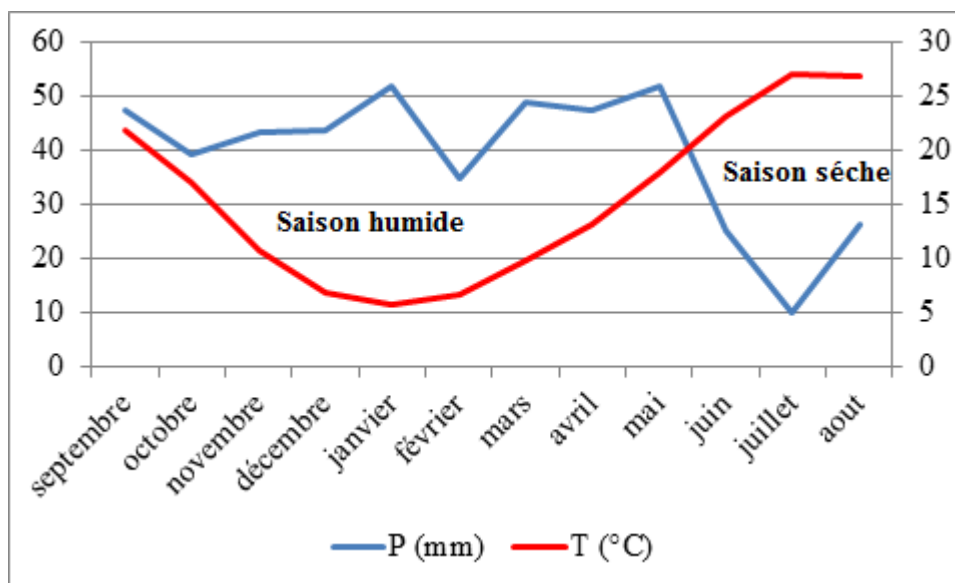


Figure.08 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen L'analyse de la courbe gaussienne (Chenaker, 2022)

Donne le commentaire suivant :

- Une période de sécheresse de trois mois, allant du début Juin jusqu'à la fin d'Aout, elle coïncide avec la période la plus chaude (été).

- Une période humide plus longue, de neuf mois commence du mois de Septembre et se prolonge jusqu'à la fin du mois de Mai, alors que cette période correspond essentiellement l'hiver et le printemps.

**IV. Classification du climat**

Le coefficient d'aridité est déterminé à partir de la formule de De Martonne en 1950, par la formule suivante :

$$I = P/(T+10)$$

Avec :

**I** : Indice d'aridité ;

**P** : Précipitation moyenne annuelle en mm ;

**T** : Température moyenne annuelle en °C.

Pour la région de Yabous : P = 470.21 mm, T = 15,53 °C, donc :

$$I = P/(T+10) = 18,42$$

**Tableau.09** : Classification des climats selon l'indice de De Martonne

INDICE D'ARIDITE	TYPE DE CLIMAT
0 < I < 5	Hyper aride
5 < I < 10	Aride
<b>10 &lt; I &lt; 20</b>	<b>Semi-aride</b>
20 < I < 30	Semi-humide
30 < I < 55	Humide

On peut aussi connaître le type de climat en fonction du climagramme de Sauvage L'indice pluviométrique (Q2) d'Emberger, qui fait intervenir la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M), la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et la moyenne des précipitations annuelles (P), permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région donnée et de la situer dans le climagramme d'Emberger.

Cet indice pluviométrique est une synthèse des précipitations et des températures. Plus le climat est sec, plus le Q2 est faible, ainsi à chaque station, on peut associer deux grandeurs Q2 et m, et les représenter par un point sur un plan à deux axes, à la répartition

géographique des stations, on lui substitue une répartition climatique (Aribi et Lahmar, 2019).

Cette formule s'écrit :

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Avec :

**Q2**: coefficient pluviothermique d'EMBERGER ;

**P** : désigne la précipitation moyenne annuelle, exprimée en mm ;

**M** : désigne le maximum du mois le plus chaud en Kelvin (K) ;

**m** : désigne le minimum du mois le plus froid en Kelvin (K).

$$T (K) = T (C^\circ) + 273.15$$

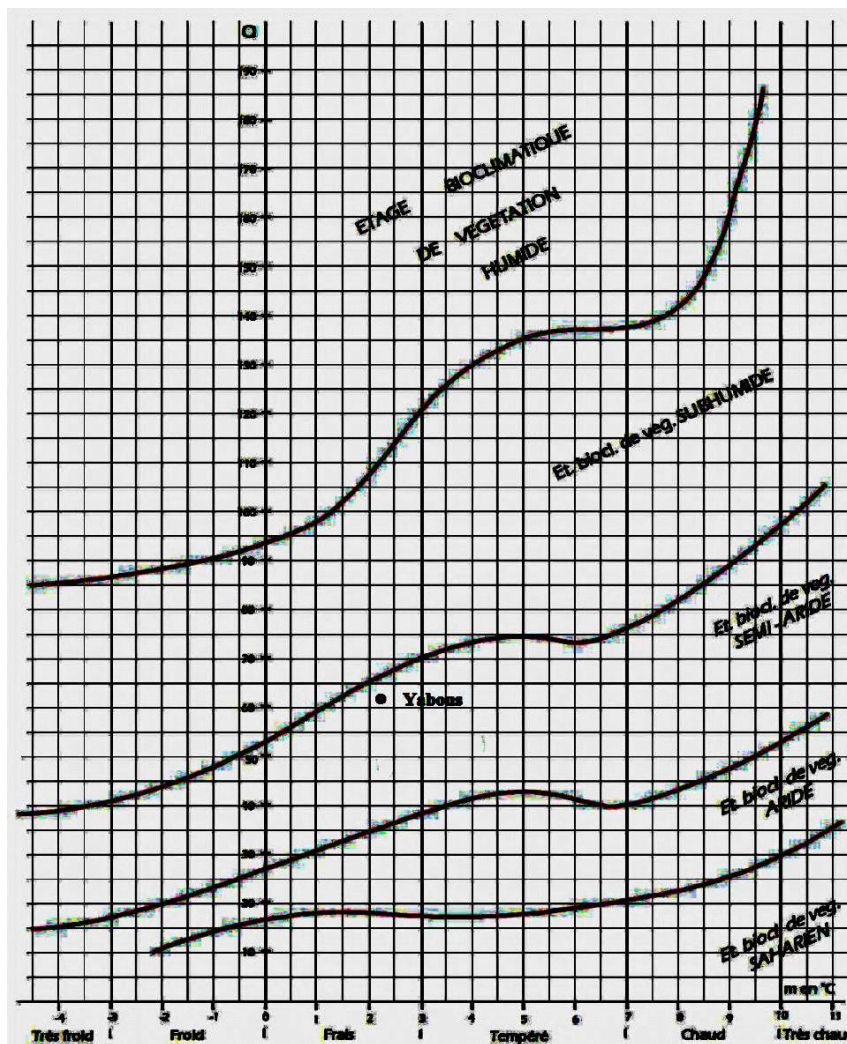


Figure.09 : Climagramme d'Emberger

En Algérie, Stewart (1969-1975) a proposé le quotient pluviothermique Q3 après simplification du Q2 d'Emberger,

Il s'écrit :

$$Q3 = 3.43 P / M-m$$

Avec : M et m en

°C. Pour notre cas :

$$P = 470,21 \text{ mm}$$

$$M = 28,85 \text{ °C} + 273.15 = 302 \text{ K}$$

$$m = 2,5 \text{ °C} + 273.15 = 275,65 \text{ K}$$

$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2 = 61.78$$

$$Q3 = 3.43 P / M-m = 62,20$$

**Tableau.10** : Correspondances entre les étages bioclimatiques et les précipitations d'après Le Houerou et *al* (1975)

Etages bioclimatiques	Quotients pluviométriques	Précipitation
Saharien	$Q2 < 10$	$P < 100$
Aride	$10 < Q2 < 45$	$100 < P < 400$
Semi-aride	$45 < Q2 < 70$	$400 < P < 600$
Subhumide	$70 < Q2 < 110$	$600 < P < 800$
Humide	$110 < Q2 < 150$	$800 < P < 1200$

Source : Lemouchi et Kolli (2020).

### V. Le bilan hydrique

Le bilan hydrologique a pour but principal d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes : infiltration, ruissellement et évapotranspiration (**Bounab, 2017**).

L'équation du bilan hydrologique peut s'écrire pour une période donnée :

$$P = ETR + I + R$$

Avec :

**P** : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

**ETR** : évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm) ;

**I** : infiltration moyenne annuelle (mm) ;

**R** : Ruissellement moyen annuel (mm).

**V.1. L'évapotranspiration**

Le terme d'évapotranspiration désigne la quantité de vapeur d'eau rejetée dans l'atmosphère tant par évaporation directe au niveau du sol lui-même que par transpiration des organes aériens des plantes. L'étude de l'évapotranspiration exige que soient définis deux concepts essentiels : l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Bourbia, 2018).

**V.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)**

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales. Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle, nous avons appliqué la formule de Thornthwaite (Staifi, 2017).

$$ETP = 16 (10t / I)^a \cdot K$$

**Avec :**

**t** : température moyenne mensuelle du mois considéré,

**I** : indice thermique annuel, somme de douze indices thermiques mensuels *i*,

$$i = (T / 5)^{1.514}$$

**a** : fonction complexe de l'indice I,

$$a = 0.016I + 0,5$$

**K** : coefficient d'ajustement mensuel en fonction de la latitude.

**V.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR)**

C'est la quantité d'eau généralement exprimée en mm évaporée ou transpirée par : le sol, les végétaux et les surfaces libres d'un bassin versant (mer, lac, cours d'eau...) et se manifeste de fait en conditions naturelles dans un site donné, compte tenu de la demande climatique de l'air et de la disponibilité en eau du sol (Khelifa, 2021).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

**Où**  $L = 300 + 25T + 0.5 T^3$

**Avec :**

**ETR** : évapotranspiration réelle (en mm/an) ;

**P** : la hauteur annuelle de pluie (en mm) ;

**t** : la température annuelle (en °C).

**V.2. Le ruissellement**

Le ruissellement de surface représente la quantité d'eau des pluies qui coule à la surface du sol et rejoint les cours d'eau (Latifi, 2018). Le ruissellement est estimé par :

➤ **Méthode de Tixeront-Berkaloff**

$$R = P^{3/3} * ETP^2$$

**V.3. L'infiltration**

L'infiltration est la quantité d'eau qui parvient à la nappe. En effet au cours de son trajet, entre la surface du sol et la surface de la nappe. L'eau d'infiltration subit des pertes par l'évapotranspiration.

$$P = ETR + R + I \text{ donc } I = P - ETR - R$$

Avec :

**I** : L'infiltration en (mm) ;

**P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

**ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle en (mm) ;

**R** : Ruissellement en (mm).

**Tableau.11** : Tableau récapitulatif des paramètres climatiques : P, I, R, ETP et ETR.

P(mm)	I (mm)	R (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)
470,21	110,41	43,94	888,1	324,86

**VI. Calcul du bilan hydrique**

Les tableaux ci-dessous résument le bilan hydrique, établies selon la méthode de Thornthwaite.

**Tableau.12** : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite

Mois	P (mm)	T (°C)	i	K	ETP (mm)	BH (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXC (mm)
Sep	47,40	21,93	9,38	1,05	104,64	-57,24	00	47,40	57,24	00
Oct	39,27	17,03	6,39	0,91	59,6	-20,33	00	39,27	20,33	00
Nov	43,34	10,65	3,14	0,75	22,53	20,81	20,81	22,53	00	20,81

<b>Déc</b>	43,85	6,74	1,57	0,70	9,84	34,01	34,01	9,84	00	34,01
<b>Jan</b>	51,71	5,75	1,23	0,73	7,88	43,83	43,83	7,88	00	43,83
<b>Fév</b>	34,88	6,61	1,52	0,78	10,62	24,26	24,26	10,62	00	24,26
<b>Mar</b>	48,95	9,76	2,75	1,02	26,51	22,44	22,44	26,51	00	22,39
<b>Avr</b>	47,47	13,12	4,31	1,15	48,85	-1,38	00	47,47	1,38	00
<b>Mai</b>	51,70	17,95	6,92	1,32	94,34	-42,64	00	51,70	42,64	00
<b>Juin</b>	25,16	23,06	10,12	1,33	144,07	-118,91	00	25,16	118,91	00
<b>Juil</b>	10,05	26,95	12,81	1,33	186,62	-176,57	00	10,05	176,57	00
<b>Aout</b>	26,43	26,82	12,72	1,24	172,6	-146,17	00	26,43	146,17	00
<b>Tot</b>	470,21	15,53	72,86		888,1	-417,89		324,86	563,24	145,3

Avec :

- $P < ETP$  :  $ETR = P$  et  $RFU = 0$
- $P > ETP$  :  $ETR = ETP$  et  $RFU = P - ETP$
- $DA = ETP - ETR$
- $BH = P - ETP$
- $EXC = P - ETR$

Notre bilan est vérifié ( $P = EX + ETR = 145,3 + 324,86 = 470,16$  mm)

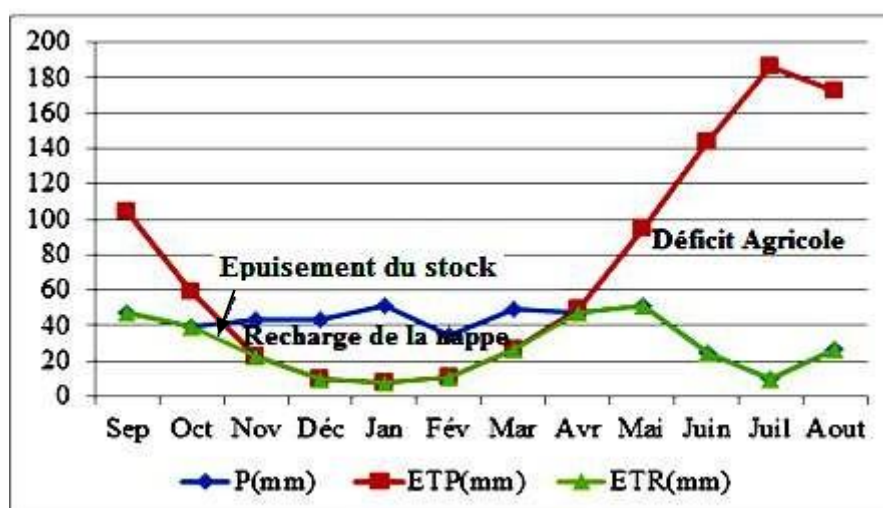


Figure.10 : Représentation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite (1990-2020)

### VI.1. Interprétation du bilan hydrologique

L'ETP atteint son maximum au mois de Juillet et Août ce qui produit un déficit agricole et nécessite une irrigation des terres agricoles. Du mois de Novembre à Avril la nappe se recharge pour l'ETR, il atteint son maximum au mois de Mai.

### VII. Le vent

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat car la sensation de chaleur ou le transfert d'énergie dépend principalement dans une large mesure de sa force, lui confère un intérêt important en matière de connaissance des vitesses maximal dont la région est soumise.

Les potentialités d'évapotranspiration sont également liées aux mouvements de l'air qui conditionnent les variations du bilan hydrique à l'échelle des valeurs moyennes mensuelles et annuelles (**Babana et Sebaa, 2018**).

**Tableau.13** : Vitesse du vent (m/s) enregistrée à la station d'El Hamma (2004-2018)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sép	Oct	Nov	Déc	Tot
Vitesse du vent (m/s)	51,89	60,07	63,13	55,15	50,06	49,32	44,88	43,36	41,92	41,36	48,04	43,43	49,38

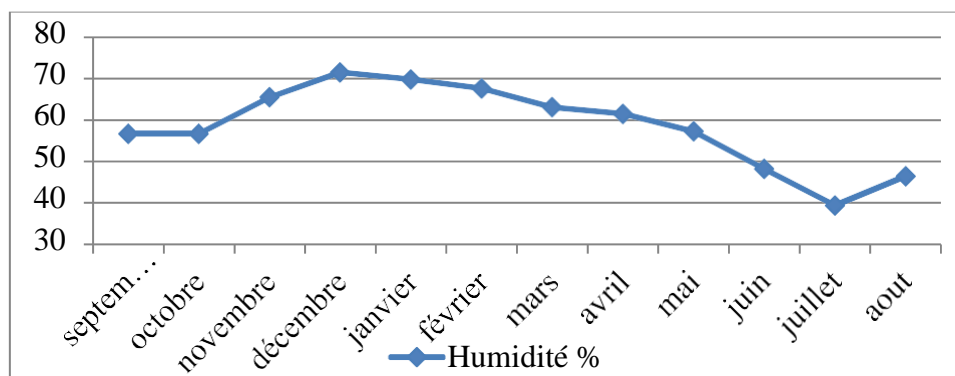
### VIII. L'Humidité

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard, de la rosée et des nuages (**Hasnaoui et Ben Amara, 2019**).

**Tableau.14** : Variation de l'humidité relative à la station d'El Hamma (2004-2018)

Mois	Humidité %
Septembre	56,83
Octobre	56,80
Novembre	65,59
Décembre	71,57
Janvier	69,89
Février	67,71
Mars	63,18
Avril	61,61

<b>Mai</b>	57,41
<b>Juin</b>	48,37
<b>Juillet</b>	39,58
<b>Aout</b>	46,62



**Figure.11** : Courbe de variation de L'humidité enregistrée à la station la période (2004-2018)

Les valeurs d'humidité relative sont relativement homogènes, variant entre 39,58 % et 71,57 %. L'humidité de l'air de Yabous est caractéristique, lors d'une journée d'été (Juin, Juillet et Aout) où la température est plus élevée, nous avons une humidité moyenne quotidienne plus faible à moyenne 39,58 à 48,37 % et inversement la nuit car la température ambiante se dissipe et l'humidité a tendance à augmenter. Par contre, en hiver (Décembre, Janvier et Février) les températures sont plus basses et l'humidité est plus élevée à moyenne 67,71 à 71,57 %.

# **Chapitre 3**

## **Etude géologique de la zone d'étude**

## Introduction

La géologie est une partie essentielle de toute étude de l'hydrologie et de la chimie de l'eau. La lithologie et la structure géologique jouent donc un rôle crucial dans la qualité de l'eau après la dissolution des minéraux dans les roches et la quantité d'eau qui s'écoule ou s'infiltre selon le type de sol (perméabilité ou imperméable).

### I. La géologie générale de la Wilaya de Khenchela

Le comportement géologique de la région d'étude a été inspiré des travaux et études Antérieurs réalisés sur le massif des Aurès, sur les hautes plaines steppiques et sur les zones Humides.

La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédiment logiques et structurales. D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs Géologues et en particulier par les terrains les plus anciens sont attribués au Trias et les plus récents au Quaternaire.

Selon depuis le Trias, la région est le Siège de dépôts épicontinentaux à faciès divers et d'épaisseur variable. Dans cette période, la Région présaharienne représentait une plate-forme qui se caractérisait par l'accumulation de Différents sédiments.

Du point de vue tectonique, la région présaharienne se rapporte à l'Atlas Tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec un point culminant à 2328 m. La région de Khenchela se caractérise par la présence de trois (03) zones différentes qui Peuvent être distinguées comme suit :

- Au Nord : on a le bassin miocène de Timgad et de Douffana. C'est une zone plate, steppique qui correspond à la bordure méridionale de la grande dépression de Garat El Taref ;
- Les parties occidentales et centrales constituent la terminaison périclinale Nord-Est de la chaîne des Aurès, région caractérisée par les Diapirs triasiques ;
- La zone méridionale au Sud constitue les monts des Nememcha; et plus au Sud, c'est la zone plate qui correspond à la bordure septentrionale du pays des chotts.

Du point de vue tectonique, le territoire de la Wilaya de Khenchela est situé au Nord de la Flexure Sud atlasique. Les reliefs montagneux sont très accidentés caractérisée par la présence De plusieurs failles. On rencontre deux principales familles : la première correspond aux plus Grandes failles de direction Est-Ouest à Nord-Est / Sud-Ouest.

La seconde celle des plus Petites failles de direction Nord-Ouest / Sud-Est. Ces deux types de failles sont verticaux. Il est à noter que les Diapirs ou dômes triasiques se trouvant dans la Partie orientale, empruntent Généralement les zones de failles et de faible résistance

pour remonter à la surface du sol et Affleurer. Du point de vue lithologie, on rencontre des calcaires, des marnes, des argiles, du Gypse, des sables, des grès et des conglomérats La géologie de la région d'étude (**Salhi et Ounassi, 2022**).

## **II. La géologie locale**

Les formations représentées dans la zone d'étude sont :

### **II.1. Trias**

Cet étage est caractérisé par la présence de marne accompagnée de gypse et de sel gemme, et se situe sur les flancs des anticlinaux.

Le Trias affleure en masse chaotique, sans aucune stratification. Dans ces masses, divers éléments sont reconnaissables (dolomies noires, grès, gypses marneux et gypses fibreux) et emballés dans des argilites vertes. Les pointements Triasiques sont en contact anormal à Khenchela avec l'Aptien, le Cénomaniens et le Coniacien.

### **II.2. Le Crétacé**

Le Crétacé a été subdivisé par Laffite (1939). En Crétacé inférieur ou série gréseuse (Berriasien à l'Albien) et en Crétacé supérieur ou série marnocalcaires (Cénomaniens à Maestrichtien). Les formations crétacées présentent une masse énorme de calcaire marneux, de marno-calcaire et de marne qui s'allonge depuis les plis de Khenchela, les monts de Delaa et ceux de F'kirina jusqu'aux montagnes bordant GaraetTarf suivant des directions NE-SW (**Aouidane, 2017**).

#### **II.2.1. Le Crétacé supérieur**

Il occupe une grande superficie à l'affleurement dans les Aurès et forme l'essentiel des affleurements Mésozoïques des confins des Aurès. Dans la région, il affleure au Djebel Aurès, Djebel Djahfa, Khenchela, Djebel Chettaia.

Le Maestrichtien supérieur est une assise constante et homogène de calcaires massifs blanchâtres grumeleux, en bancs décimétriques ou métriques, à large stratification oblique avec les empreintes d'inocérames. Cette formation contient des modules de silex et des tests de lamellibranches.

Les principaux affleurements constituent le Djebel Tadleste et Djebel Bouzendag et le sommet de Djebel Djahfa. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m. Cependant, le Maestrichtien inférieur est constitué par une alternance de marnes beiges et de calcaires ocre ou beiges avec une épaisseur de 40 m.

Tandis que le Campanien comporte à sa base une barre de marnes crayeuses, en bancs décimétriques ou métriques. A la fin on a un passage de marne avec une épaisseur de 65 m.

Au-dessus se développe 150 m de marne noire à microfaune comparable qui est bien visible dans les différentes parties du bassin versant surtout sur les limites Sud.

Le Santonien et le Coniacien comportent de la marne avec à la base et au sommet quelques barres de marno-calcaires. Cette formation se trouve essentiellement sur le flanc Sud du Djebel Djehfa et ne dépasse pas les 100 m.

### **II.2.2. Le Crétacé moyen**

Le Turonien occupe des intercalations calcaires et crée une barre bien visible dans la morphologie au Nord-Ouest du bassin. Le Turonien comporte, en effet, au-dessus des marno-calcaires de base, un ensemble de marnes beiges et des calcaires. Le Turonien est schisteux à la base, calcaire dans la partie moyenne et marno-calcaire au sommet.

L'épaisseur du Turonien peut atteindre 800 m dans les faciès marno-calcaires se trouvant du cœur des Aurès. Tandis que, le Cénomaniens, il est présent dans tous les grands anticlinaux des Aurès. Il est essentiellement calcaire-marneux.

La partie inférieure est surtout marneuse. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais. L'épaisseur de cette formation est très variable, elle peut atteindre 500 à 600 m au cœur des Aurès.

Le Cénomaniens comporte une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, verts ou ocres, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses. Une série terminale constituée de marne et de calcaires formant une corniche.

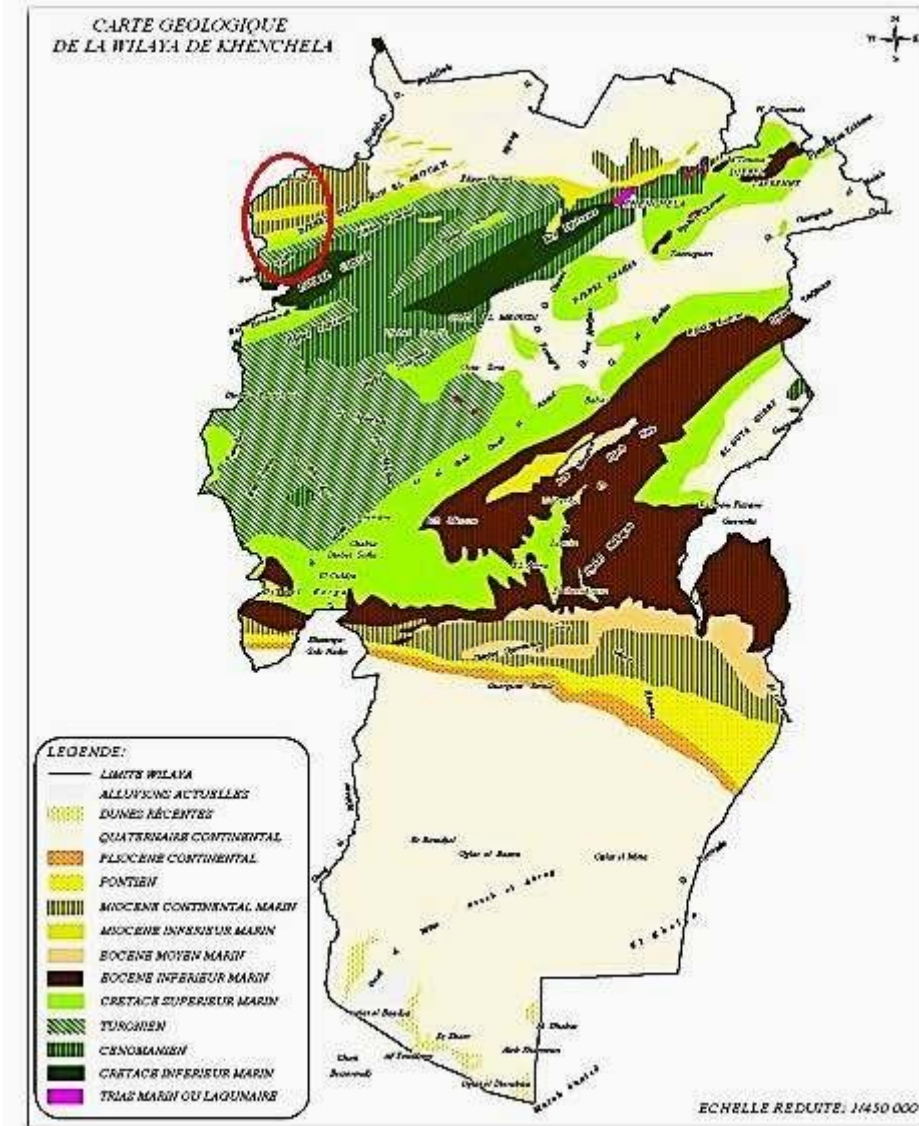
### **II.2.3. Le Crétacé inférieur**

Il couvre une grande partie des anticlinaux du Djebel Chelia, il affleure aussi au Kef Tifekressa, Ras Serdoun, Djebel Chenntgouma, Djebel Faraoun et Djebel Aidel. Laffitte (1939) a soigneusement décrit la plupart des faciès et c'est à partir de ses descriptions, modifiées ou complétées en quelques points, par Guiraud (1973) qui résume de façon schématique les principales variations observables.

Le Barrémien affleure au Nord-Ouest du bassin versant à (Dj. Aidel) sous forme d'une petite bande locale. Sa lithologie est constituée essentiellement de matériaux détritiques (grés, calcaires, gréseux, grés quartzeux, conglomérat et marnes vertes ou rouges).

Cependant, l'Albien entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus au moins continue au-dessus de l'Aptien. Il s'agit d'une alternance de grés et de marne grise, des dolomies et des argiles grises. La limite inférieure correspond à une surface minéralisée dans les limites Nord-Ouest du bassin à Djebel El Aidel et Tadlist avec une épaisseur totale de 160 m.

Alors que, l'Aptien est formé essentiellement à la partie basse par une alternance d'oomicrite, d'oosparite et de calcaire marneux. Cet étage est caractérisé par des calcaires dolomitiques fortement minéralisés (fer, azurite, malachite, barytine) largement développés au sommet des montagnes au N-W avec une épaisseur totale est de 330 m (Gaagai, 2017)



**Figure.12** : La carte géologie de la région de Khenchela (Source : DEW, 1992)

### II.3. Le Quaternaire

Les formations récentes sont aussi largement répandues à la périphérie de l'Aurès qu'ils sont rares dans le centre du massif : ils sont représentés uniquement par des éboulis et des terrasses, tandis qu'ils forment en périphérie, de larges et d'épaisses nappes alluviales.

Les dépôts quaternaires recouvrent le majeur parti des plaines, ce sont des éboulis à bloc, alluvions récentes ou actuelles, terres arables, alluvions anciennes, glacis polygénique nappant les reliefs et des croutes calcaires.

Les dépôts de quaternaires sont tout d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces dans notre région, principalement dans les plaines d'étude, il s'agit du (Vila, 1977).

### III. La tectonique de la région de Yabous

La région présaharienne se rapporte à l'Atlas Tunisien séparé de l'Atlas saharien par le massif des Aurès avec le plus haut sommet à 2328 m où la direction des plis change de Nord-Est au Nord-Nord-Est. À partir de la carte géologique de Khenchela, on peut remarquer une opposition entre deux secteurs : à l'Ouest, le style tectonique ressemble à celui des Aurès. À l'Est, l'organisation plissée perd sa prédominance et les structures sont compliquées par la présence de diapirs triasiques.

À la lumière des résultats acquis dans les domaines de la chaîne Atlasiques, principalement par (Guiraud, 1973 et Vila, 1977) et en particulier, les diverses documentations publiées par Laffitte (1939) font état d'un très petit nombre de failles affectant les anticlinaux de Khenchela, Djebel Aidel et Chelia), orientées presque exclusivement NWSE (Bouafia, 2015). En fait les structures sont nombreuses dans cette zone et elles se répartissent très généralement suivant des directions voisines de NW-SE (les plus fréquents), E-W. Du Nord vers le Sud on a :

- **Les grands plis de l'Ouest :** On a l'anticlinal de Djebel Chelia dont la voûte est visible à l'Est, et au Sud-Est du Djebel Tirkabine. Cet anticlinal paraît effondré et son extrémité Sud-Est est affectée par des accidents cassants orientés selon une direction NW-SE qui peuvent être d'anciens coulissements alpins. Le synclinal des Aurès s'enfonce sous le Miocène gréseux sans terminaison périclinale visible. On signale également l'anticlinal de Khenchela, puissamment fracturé par des failles directionnelles ou sensiblement E-W.
- **Les diapirs de l'Est et du Nord-Est :** Ce sont des zones en forme d'anticlinale. Il s'agit du diapir de Khenchela qui a une forme très allongée. Le Trias recoupe des terrains allant du Cénomaniens inférieur au Coniacien ; du diapir de Djebel El-Kroume et Knif qui possèdent une forme plus complexe qui peut être induite par la présence des corps récifaux et des compartiments bousculés par la phase Alpine. Le Trias découpe des terrains allant de l'Albien au Maestrichtien supérieur ; du diapir d'El Mahmal qui est le plus développé malgré le recouvrement Quaternaire qui empêche d'évaluer son tracé et ses dimensions. Le Trias n'est en contact qu'avec le Crétacé supérieur. Entre ces diapirs, les terrains ont gardé une disposition subtabulaire ou faiblement synclinale comme Djebel Djehfa.

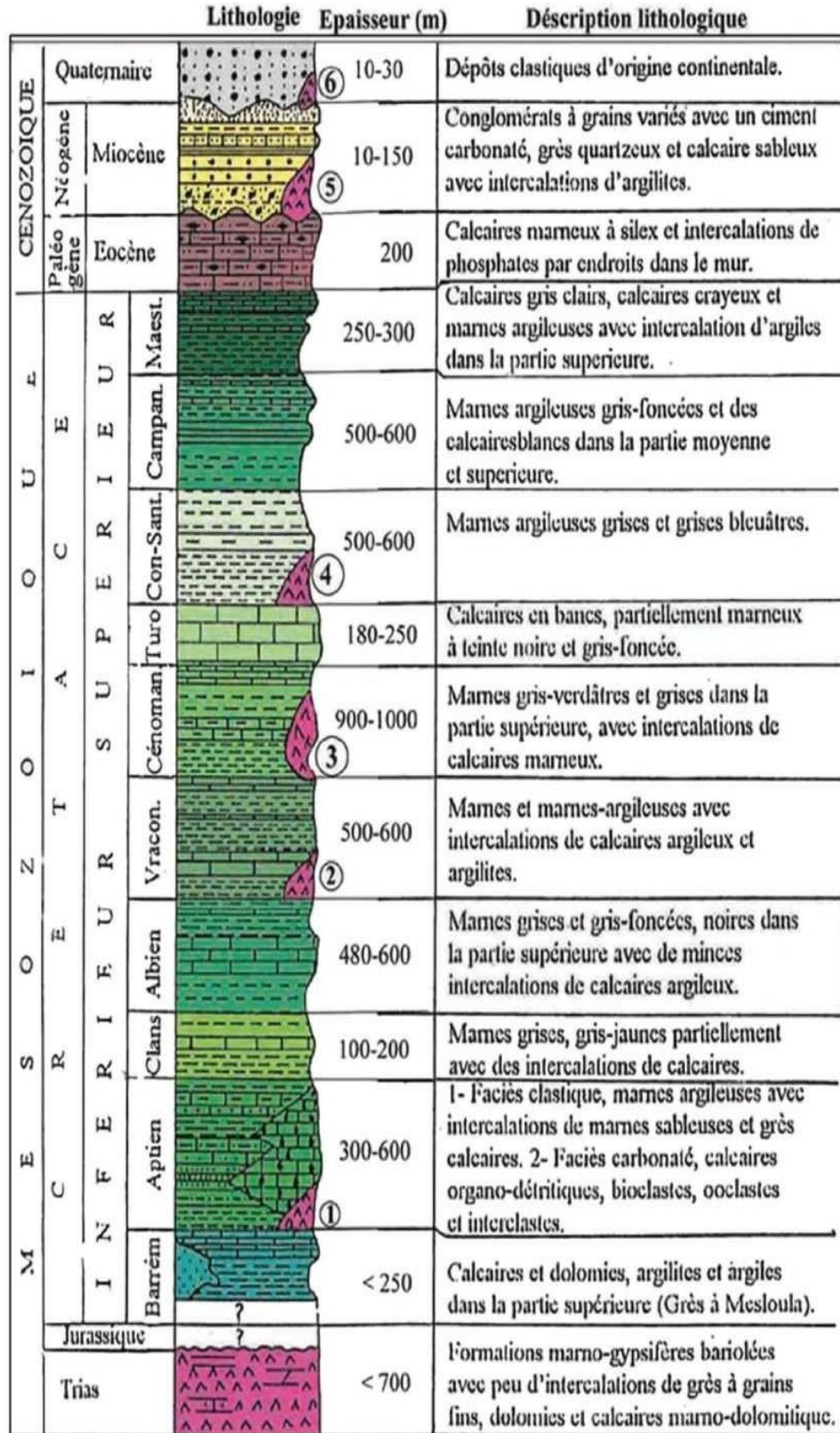


Figure.13 : Colonne stratigraphique synthétique de l'Atlas saharien orientale (Achi, 2021)

- **Synclinal de Tihéza Ferradj /Djehfa** : Il se trouve au centre du bassin et parallèle à l'anticlinal de Khenchela. Il prolonge la partie Sud du synclinal de Rhassira. Il est formé par le Turonien supérieur (calcaires à rudistes). Plus au Nord, c'est le Sénonien avec des marnes noires et des marnes crayeuses (**Gaagai, 2017**).

#### IV. La perméabilité

D'après la carte litho géologique de bassin versant de Taghrist, le sous bassin est formé essentiellement par des formations perméables à semi perméable qui occupent presque la totalité d'une superficie du bassin, ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface. Toutefois, les formations perméables sont des alluvions quaternaires surtout les marnes et grés miocènes qui affleurent au niveau de la plaine de Yabous (**DHW. Khenchela, 2016**).

**Tableau.15** : Caractéristiques de matériaux de bassin versant de point de vue perméabilité et résistance

Formation Géologique	Formation Lithologique	La résistance à L'érosion	La perméabilité
<b>Campanien</b>	Marnes noires	Non résistant	Perméabilité faible
<b>Maestrichtien</b>	Marnes crayeuses		
<b>Oligocène</b>	Marne rouge a gypse		
<b>Coniacien</b>	Marne et calcaire	Moyennement résistante	Semi-perméable
<b>Quaternaire</b>	Alluvion ancienne et récente		Perméable
<b>Cénomaniien</b>	Marno-calcaire		Semi-perméable
<b>Turonien</b>	Calcaires et marnes	Résistant	Imperméable
<b>Miocène</b>	Calcaire, grés	Très résistant	
<b>Albien</b>	Calcaire massif		
<b>Aptien</b>	Dolomie		
<b>Barrémien</b>	Grés		

Source : DHW. Khenchela, 2016

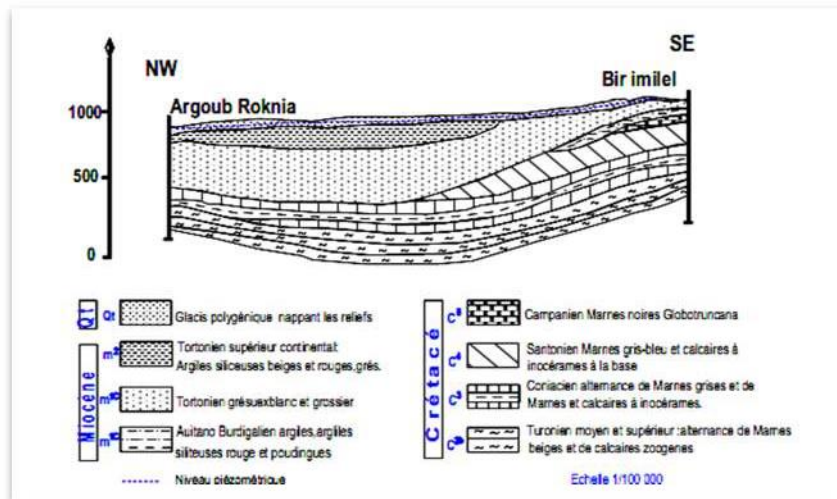
#### V. Hydrogéologie

L'hydrogéologie des zones arides et semi-aride de l'Algérie, est un thème complexe. La région de Khenchela, qui se trouve touchée par une sécheresse chronique et un bilan climatique toujours négatif ne permet pas de justifier ou de préciser l'existence d'une recharge des nappes aquifères. Or cette recharge, même si elle est limitée, existe souvent dans ces

régions arides où l'irrégularité du climat peut provoquer certaines années quelques événements pluvieux exceptionnels (Castany, 1982).

L'étude hydrogéologique repose sur l'identification du système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation. L'ensemble du système d'écoulement souterrain est défini par la piézométrie des différentes structures et unités géologiques représentées par quatre (04) types de nappes qui constituent le système aquifère de Khenchela :

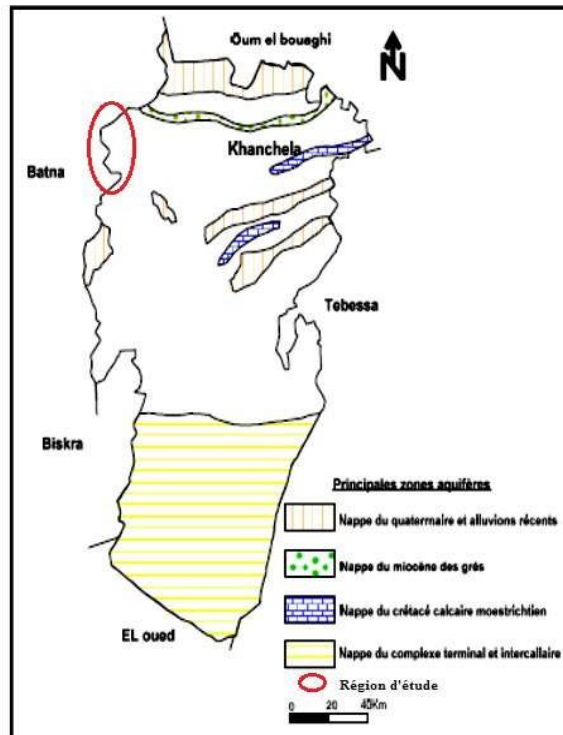
- **La nappe superficielle** : Il s'agit des nappes phréatiques dont la profondeur moyenne varie de 5 à 30 m et sont exploitées essentiellement par des puits.
- **La nappe des plaines d'effondrement** : Comblées par un remplissage d'alluvions importantes alimentées par les précipitations et les oueds qui les traversent. Leurs profondeurs variant de 100 à 200 m et son d'âge mi pliocène. Dans ces plaines d'effondrement on peut associer les nappes des calcaires fissurés du Turonien et du Miocène dont la profondeur dépasse les 300 m.
- **La nappe des calcaires fissurés** : L'épaisseur de certaines formations carbonatées dépassent les 250 m et constituent la nappe des calcaires maestrichtiens.
- **La nappe des formations continentales** : Localisées essentiellement dans la région Sud de la wilaya, leurs profondeurs varient de 200 à 600 m (Chaffai *et al*, 2013).



**Figure.14** : Coupe hydrogéologique schématique

Cette coupe de direction NW-SE est réalisée grâce à la carte géologique de Toufana (J.M Vila, au 1/50 000) et la carte piézométrique. La coupe hydrogéologique montre l'aquifère superficielle du Mio-Quaternaire qui est constitué par des Glacis polygénique du Quaternaire et des grés blanc grossiers du Tortonien Supérieur. Cela traduit, un aquifère a nappe libre dont le niveau piézométrique est subhorizontal et s'incline vers le Sud-Est (30 m

au NW et 5 m au SE), il s'approche de plus en plus de la surface en s'avancant vers le massif du Djebel Islafbor el Arouah.



**Figure.15** : Carte des nappes aquifères (DHW. Khenchela, 1992)

D'après les données de la DHW, l'analyse de la carte hydrogéologique de la région montre que la région de Yabous a un potentiel appréciable en ressources en eau souterraine au niveau de la commune, où on distingue deux nappes phréatiques :

- Nappe du quaternaire et alluvions récentes.
- Nappe de miocène des grès.

## **Chapitre 4**

### **Etude des paramètres physiques et analyse statistique des eaux de la zone de Yabous**

### Introduction

L'étude des paramètres physiques des eaux de la région de Yabous dépend essentiellement de l'utilisation d'un multiparamètres de terrain. Elle permet de:

- Connaître les critères physiques de la qualité des eaux de la zone d'étude.
- Etablir les relations entre les différents paramètres physiques.

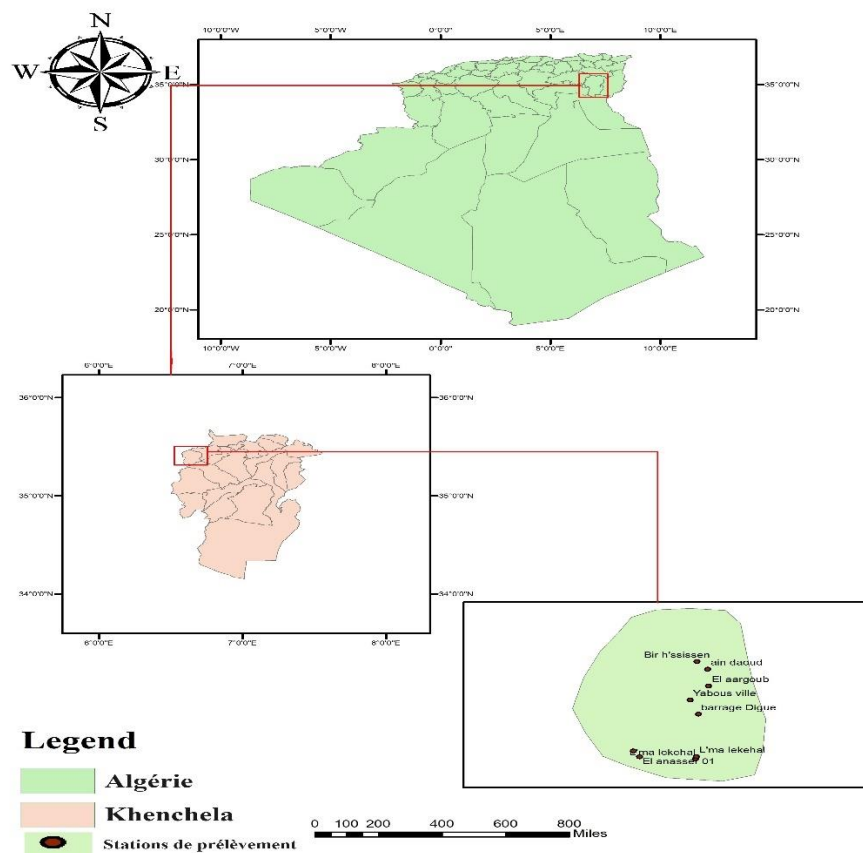
L'interprétation des analyses a pour but de déterminer les corrélations significatives entre les différents paramètres.

- Comprendre la comparaison spatio-temporelle et mettre en évidence les différents éléments pouvant jouer un rôle primordial dans leur répartition.

L'échantillonnage a été effectué sur 10 points d'eau dans la région d'étude. Ces derniers sont prélevés durant le mois d'Avril de l'année 2024 et les paramètres physiques étudiés sont :

La température, le pH, la salinité, TDS, la conductivité électrique et l'oxygène dissous.

Les points d'échantillonnages, sont déterminés après repérage à l'aide d'une carte topographique et carte Google Earth de la zone d'étude. Cependant, leurs positions géographiques ont été déterminées par un GPS sur terrain (Figure.16).



**Figure.16** : Carte d'inventaire des points de prélèvements de la zone d'étude

#### IV.1. Echantillonnage et mesure des paramètres physiques *in situ*

Cette rubrique s'appesantit sur le prélèvement des échantillons d'eau, la représentativité de l'échantillon et les méthodes analytiques utilisées.

L'échantillonnage a été réalisé au niveau des sources d'eau, eaux souterraines et eaux de surface. Les activités industrielles ne sont pas concentrées dans cette partie.

##### IV.1.2. Les campagnes de prélèvement d'eau

10 points de prélèvement d'eau comprenant les sources de l'eau potable, et des eaux souterraines, des eaux de surfaces ont été ainsi échantillonnés pendant la période d'étude.

Au total, et pour avoir des résultats fiables, une campagne d'échantillonnage a été effectuées sur l'ensemble des échantillons.

Cette campagne a permis d'appréhender la chimie des eaux au niveau de la zone d'étude, et d'affiner les techniques d'analyses et de prélèvement afin d'obtenir des résultats fiables et représentatifs.

La représentativité de l'eau échantillonnée est un problème majeur en hydrogéologie. En effet, il peut intervenir lors du prélèvement des échantillons ou des mesures *in situ*, des processus de dégazage ou d'absorption de CO<sub>2</sub>, entraînant ainsi des modifications conséquentes des équilibres physico-chimiques. On peut aussi envisager la contamination des échantillons par la poussière atmosphérique, les branchages ou autres éléments susceptibles de les altérer. (Favreau, 2000).

Les propriétés physico-chimiques (température, conductivité électrique, pH, salinité, oxygène dissous) ont été suivies.



**Figure.17** : Echantillonnage et mesure des paramètres physiques *in situ* (Avril 2024)

#### IV. 3. Résultats et discussion

##### IV.3. 1. Les paramètres physiques des eaux de la région d'étude

Six paramètres physico-chimiques (T, pH, conductivité, TDS, salinité et oxygène dissous) sont mesurés in situ après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multi paramètres de terrain.

**Tableau.16** : Statistiques élémentaires des différents paramètres physiques des eaux  
(Avril, 2024)

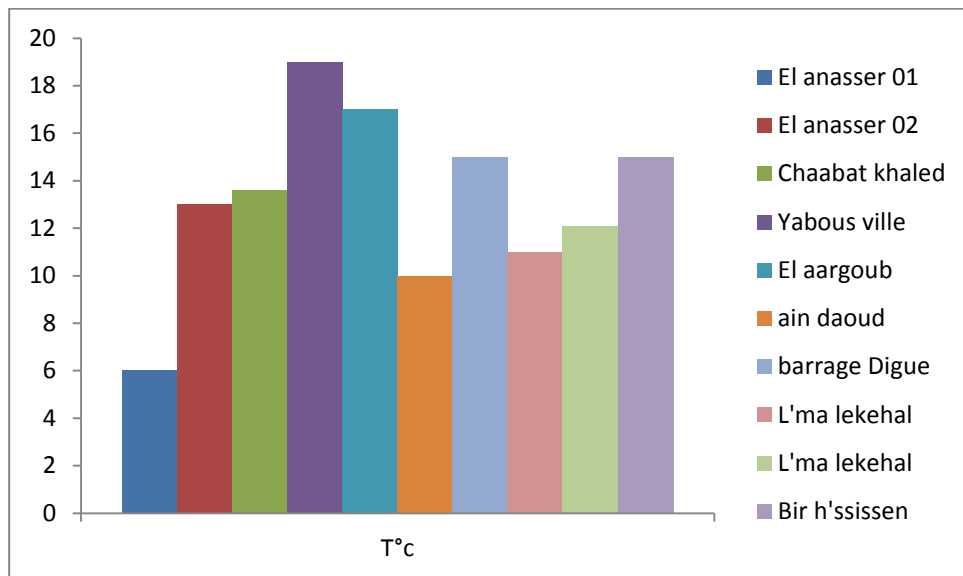
Paramètres	Min	Max	Moy	Ecart type
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	277	1710	813.4	433.18
Température ( $^{\circ}\text{C}$ )	6	19	13.17	3.70
PH	6,93	7,65	7,19	0,29
TDS	198	855	442,5	210.24
Salinité	0.11	0.76	0.337	0.21
O <sub>2</sub> dissout	5.91	8.01	7.05	0.76

Le tableau (16), montre la variabilité et l'ordre de grandeur des différents paramètres physiques des eaux.

##### A. La température de l'eau

C'est un paramètre important pour l'étude des eaux souterraines, car elle permet de distinguer les eaux qui circulent près de la surface et les eaux profondes. Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne, et de l'évaporation des eaux. Notons qu'elle est influencée par la période de prélèvement (matin et soir) et la profondeur de l'aquifère, ainsi que par les variations climatiques saisonnières (**Franck, 2002 ; Tarda, 1984 ; Gaagai, 2017**).

Le diagramme suivant montre la variation de la température des points d'eau.

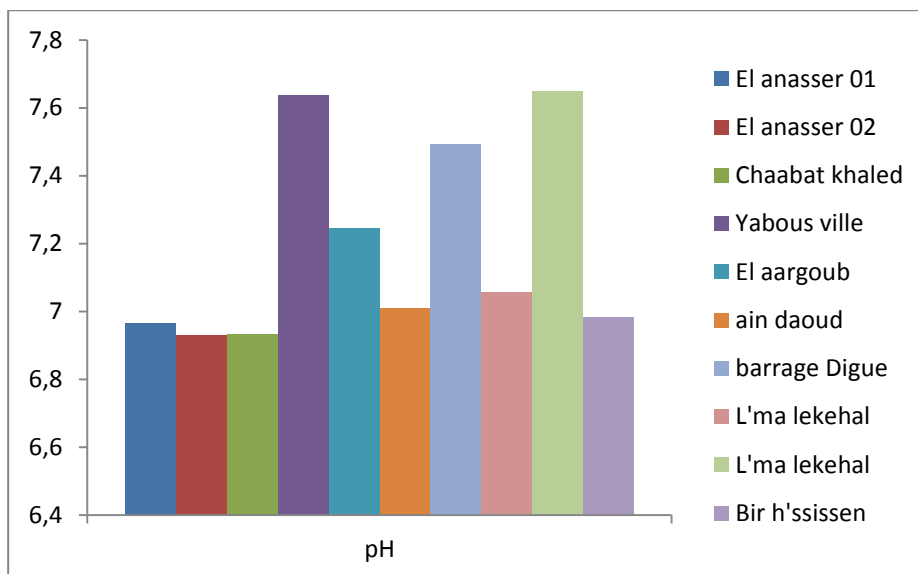


**Figure.18** : représentation graphique des températures des eaux de Yabous

D'après cette représentation graphique, les valeurs varient de 6 °C à 19 °C, elles sont dans la norme de l'OMS (25 °C) pour l'irrigation (Boulahia, 2016). La grande valeur mesurée est au niveau du fourrage au niveau de Yabous ville.

### B. Variation du potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH définit le caractère de l'eau s'il est acide ou base à l'aide de la concentration des ions d'hydrogène  $H^+$ , il conditionne plusieurs phénomènes ou processus chimique tel que la dissociation ammoniacale de l'azote et plusieurs phénomènes biologiques plus particulièrement la photosynthèse. La mesure doit être effectuée in situ pour éviter tout changement de la composition ionique due au transport ou stockage (Bouslah, 2018).



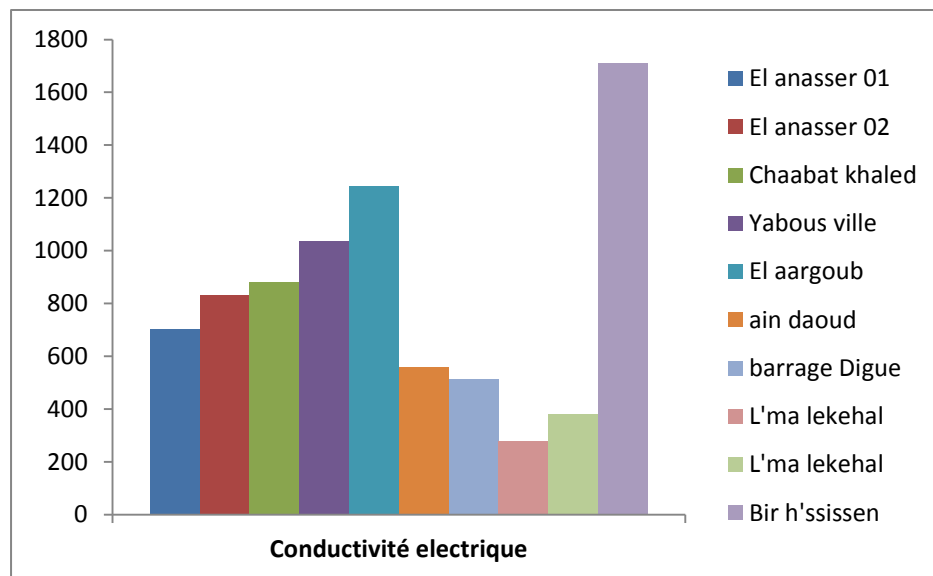
**Figure.19** : représentation graphique de variation du pH des eaux de Yabous

La représentation graphique de variation du pH des eaux de Yabous montre que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de concentration guide fixée par l'OMS de même que pour les normes algériennes (Boulahia, 2016).

Le pH varie entre 6,93 et 7,65, la grande valeur est mesurée au niveau de la source de El Ma Lekehal.

### C. Variation de la conductivité électrique (CE)

Elle traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique ; c'est une mesure rapide de la teneur globale en électrolytes d'une solution ; c'est un outil nécessaire à l'estimation de la minéralisation (Bouaicha, 2009). Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La conductivité électrique est proportionnelle à la quantité des sels ionisables dissous.



**Figure.20** : Représentation graphique de variation de la Conductivité électrique des eaux de Yabous

La représentation graphique de variation de la Conductivité électrique des eaux de la région de Yabous montre que tous les points d'eau se trouvent dans la norme fixé par l'OMS 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour l'irrigation des terres agricoles (Boulahia, 2018).

La Conductivité électrique varie entre 277  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 1710  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la grande valeur est mesurée au niveau de Bir Hssissen.

**Tableau.17** : Rapport entre la conductivité et la minéralisation

Conductivité électrique	Minéralisation	Points d'eau
0-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible	0

100-200 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation faible	0
200-333 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne accentuée	1
333-666 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation accentuée	3
666-1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation importante	3
> 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation élevée	3

Source : Diallo, 1996.

#### D. TDS (Total Dissolved Solids)

Signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composée des sels inorganiques et de quelques matières organiques ; Déterminées surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent (Rodier, 2009).

Les valeurs de TDS des eaux de la région d'étude (Fig.21) varient entre **192 mg/l** et **855 mg/l** et la grande valeur est mesurée au niveau de Bir Hssissen. Les eaux sont caractérisées par des teneurs généralement faibles par rapport aux normes (Seghir et Khérici, 2008).

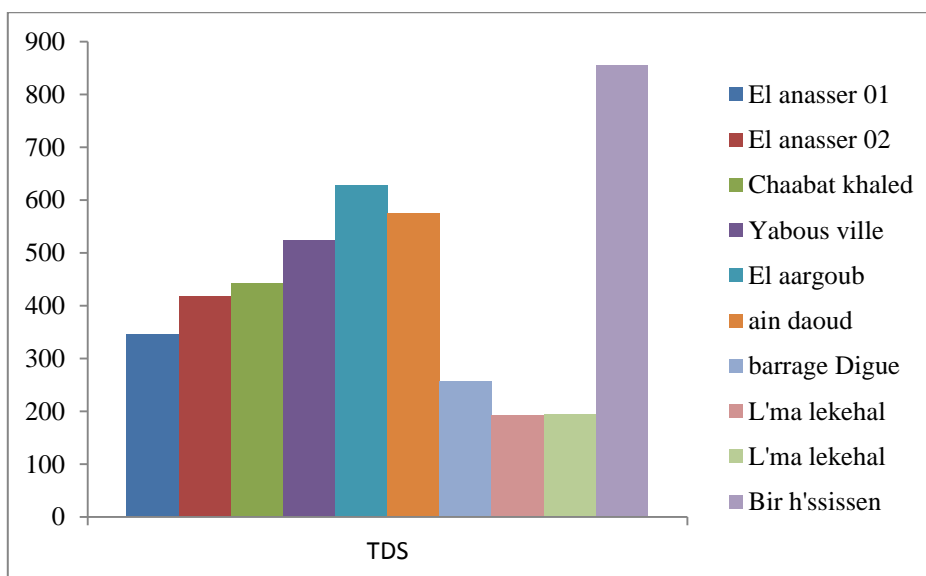


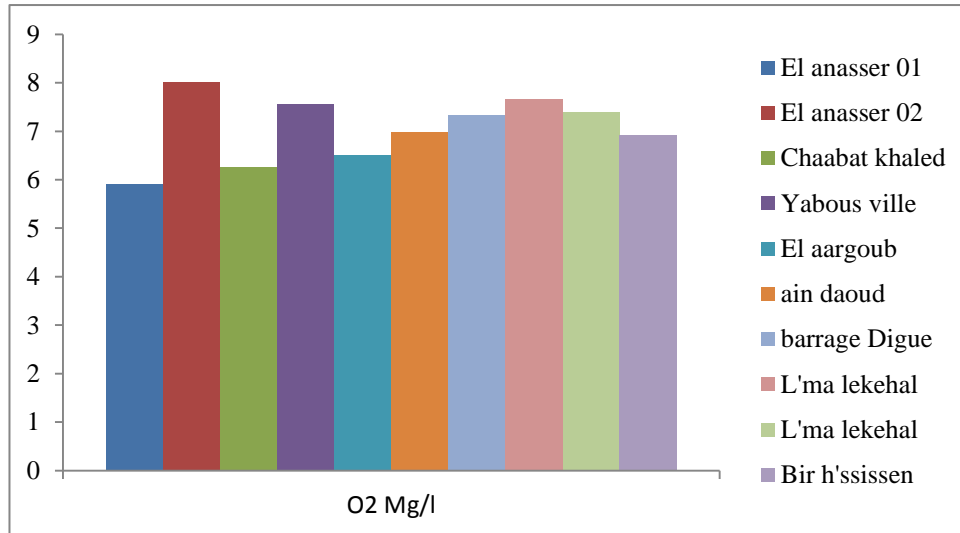
Figure.21 : représentation graphique de variation du TDS des eaux de Yabous

#### E. L'oxygène dissous

Quantité d'oxygène libre contenue dans l'eau sous forme dissoute. Bien que faiblement soluble dans l'eau (environ 10 mg/L ou 0,3 mM à 10°C), l'oxygène est l'un des paramètres les plus importants pour évaluer la qualité de l'eau. La diversité et l'activité des organismes aquatiques dépendent en effet fortement de la concentration en oxygène dissous (OD). (Rodier 1984 ; Seghir et Khérici, 2008).

Les valeurs de l'oxygène mesurées sont entre **5.91** et **8.01 Mg/l** et la valeur la plus grande

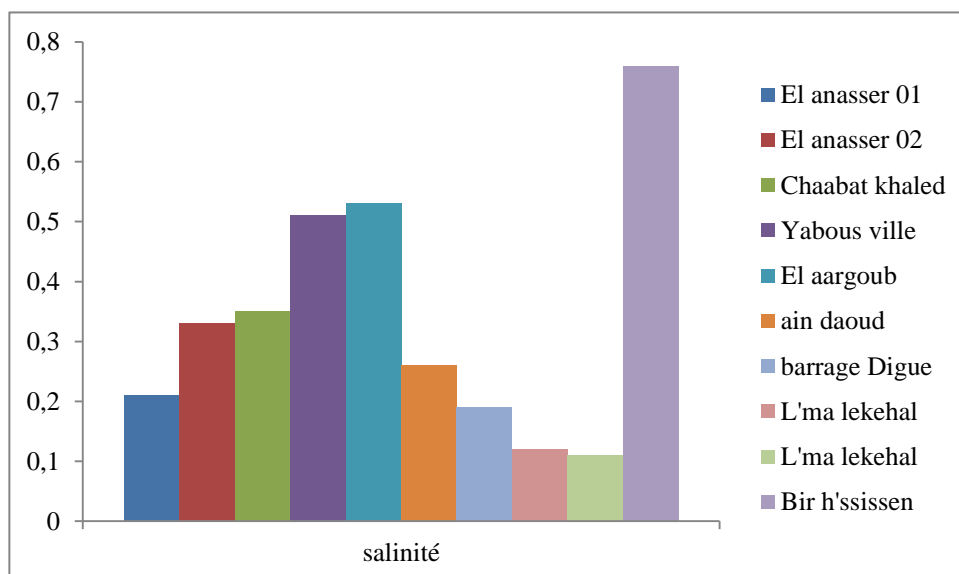
est mesurée au niveau de El Anasser 2. Tous les points d'eau sont aérés.

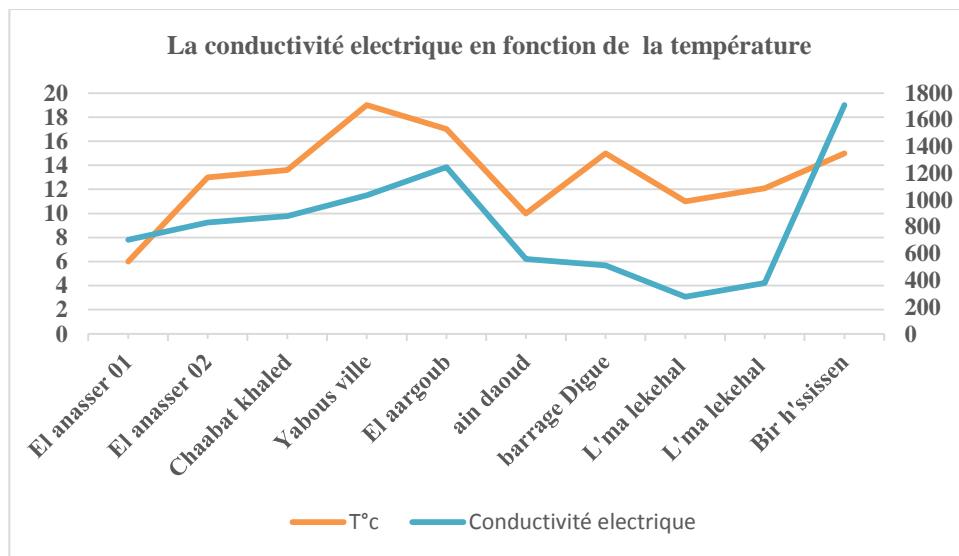
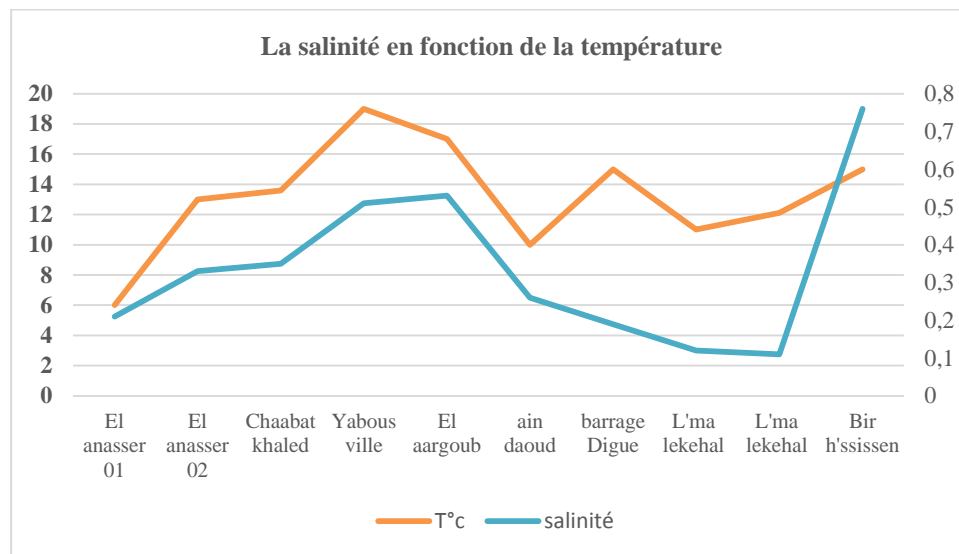


**Figure 22.** Représentation graphique de l'oxygène dissous des eaux de la région de Yabous

### F. La salinité

La salinité de l'eau correspond à sa teneur en sel dissous dans un volume donné. C'est en mesurant cette concentration que l'on peut classer les eaux entre : douce, saumâtre et salée. Une eau est dite "douce" lorsque sa salinité est inférieure à 1 gramme/Litre. C'est la qualité qui est susceptible d'être potable. Elle correspond à 2,5 % de l'eau retrouvée sur terre. Elle est qualifiée de saumâtre lorsque sa salinité est comprise entre 1 et 10 grammes de sel par litre. On trouve ces eaux au niveau des transitions entre l'eau douce et l'eau salée (aux embouchures des fleuves, dans les deltas...). Quant à l'eau dite salée, elle a une salinité qui dépasse les 10 grammes/Litres. C'est l'eau des mers et des océans (Khérici, 2008 ; Seghir, 2008 ; Staifi, 2017). Les valeurs mesurées de la salinité s'oscillent entre **0.11 et 0.76 mg/l**, où la valeur la plus grande est mesurée au niveau de Bir H'ssissen.



**Figure 23.** Représentation graphique de la variation de la salinité des eaux de Yabous**Figure 24.** représentation graphique de la variation de la conductivité électrique en fonction de la température**Figure 25.** Représentation graphique de la variation de la salinité en fonction de la température

On remarque que la conductivité électrique des eaux se change en fonction de la température. L'augmentation de la température implique une augmentation de la dissolution des sels minéraux, ce qui augmente la conductivité électrique des eaux. Toutes les eaux sont faiblement minéralisées.

La figure 25, montre que la salinité augmente en fonction de la température.

#### I.V.4. L'analyse en composante principale ACP

Les statistiques impliquent la collecte, l'analyse et l'interprétation de données. Souvent, elle implique également l'étude des caractéristiques d'une population par déduction à partir des échantillonnages. L'étude statistique a mis en évidence des liens significatifs entre les paramètres étudiés (**Lakhdari, 2021**).

Afin d'observer les individus, on élabore les plans à partir des composantes principales, les plus importantes est le plan crée par les axes 1 et 2, c'est le plan sur lequel on peut observer le maximum d'information. Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients sont celles qui participent le plus à la formation de cet axe. Le choix du nombre de composantes est exprimé en fonction des valeurs propres ou les pourcentages de variation expliqués par chaque composante principale (**Trabelsi et al., 2005 ; Laalami et al., 2014 ; Zerhouni et al., 2018**).

Dans cette partie, nous avons effectué une analyse statistique en composantes principales (ACP) sur des variables centrées réduites à l'aide du logiciel SPSS. 27, sur l'ensemble des individus. 6 variables : La température, CE, pH, TDS, La salinité et l'oxygène dissous ont été prises en compte.

Le rapport de l'ACP a donné une valeur supérieure au seuil de signification statistique, ce qui suggère une distribution statistique satisfaisante pour cette matrice de corrélation. Elle met en évidence la position des variables dans un sens extrêmement important.

À ce stade, l'analyse en composantes principales est mise en œuvre sur les variables sélectionnées dans le tableau 18 afin de déterminer les principaux facteurs qui influencent le meilleur rendement pour tous les individus.

Les pourcentages de variance expliquée et de variance cumulée pour chaque axe factoriel responsable de cette distribution statistique sont présentés dans le tableau 18.

Les axes choisis doivent avoir un pourcentage de variance supérieur ou égal à la valeur du rapport entre le total de la variance cumulée et le nombre d'axes obtenus, selon la règle générale. (% variance  $\geq 100/10$ , % variance  $\geq 10$ ).

Ce tableau est constitué, en lignes par des individus sur Lesquels sont mesurées des variables quantitatives (La température, pH, TDS, La salinité et l'oxygène dissous), disposées en colonnes.

**Tableau 18 : Matrice de corrélation des variables adoptés de l'ACP.**

Corrélations	T°c	pH	Salinité	C E	TDS	O2 Mg/l	O2 %	O2 Mbar
T°c	1							
pH	0,499	1						
salinité	0,597	-0,142	1					
C E	0,507	-0,202	0,981**	1				
TDS	0,384	-0,306	0,927**	0,906**	1			

<b>O2 Mg/l</b>	0,331	0,347	-0,157	-0,269	-0,264	1		
<b>O2 %</b>	0,243	0,126	0,098	0,044	-0,059	0,816**	1	
<b>O2 Mbar</b>	0,283	0,158	0,104	0,043	-0,056	0,841**	0,998**	1

\*\*La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

#### IV.4.1. Interprétation des Corrélations

##### A. La température T°C

- PH : Corrélation modérée (0.499), indiquant que la température a une certaine influence sur le pH de l'eau.
- La salinité : Corrélation modérée (0.597), suggérant que la température peut influencer la salinité.
- La Conductivité Électrique : CE Corrélation modérée (0.507), indiquant une relation entre température et conductivité électrique.
- TDS : Corrélation faible (0.384), montrant une légère relation entre la température et les solides dissous.
- O2 Mg/l: Corrélation faible (0.331), suggérant que la température affecte légèrement la concentration d'oxygène.
- O2 %: Corrélation très faible (0.243), montrant peu d'influence de la température sur le pourcentage d'oxygène.
- O2 Mbar: Corrélation très faible (0.283), indiquant une faible relation entre température et pression partielle d'oxygène.

##### B. pH

- Salinité: Corrélation très faible et négative (-0.142), suggérant une relation inverse très faible entre pH et salinité.
- CE: Corrélation faible et négative (-0.202), indiquant une relation inverse faible entre pH et conductivité électrique.
- TDS: Corrélation faible et négative (-0.306), montrant une relation inverse faible entre pH et solides dissous.
- O2 Mg/l: Corrélation modérée (0.347), indiquant que le pH a une influence modérée sur

la concentration d'oxygène.

- O2 %: Corrélation très faible (0.126), montrant une faible relation entre pH et pourcentage d'oxygène.
- O2 Mbar: Corrélation très faible (0.158), indiquant une faible relation entre pH et pression partielle d'oxygène.

### C. La salinité

- CE: Corrélation très forte (0.981\*\*), signifiant que la salinité est fortement liée à la conductivité électrique. (Significatif au niveau 0.01).
- TDS: Corrélation très forte (0.927\*\*), indiquant une forte relation entre salinité et solides dissous. (Significatif au niveau 0.01).
- O2 Mg/l: Corrélation faible et négative (-0.157), montrant une légère relation inverse entre salinité et concentration d'oxygène.
- O2 %: Corrélation très faible (0.098), indiquant peu de relation entre salinité et pourcentage d'oxygène.
- O2 Mbar: Corrélation très faible (0.104), montrant une faible relation entre salinité et pression partielle d'oxygène.

### D. La conductivité Électrique CE

- TDS: Corrélation très forte (0.906\*\*), indiquant que la conductivité électrique est fortement liée aux solides dissous. (Significatif au niveau 0.01).
- O2 Mg/l: Corrélation faible et négative (-0.269), montrant une légère relation inverse entre conductivité électrique et concentration d'oxygène.
- O2 %: Corrélation très faible (0.044), indiquant peu de relation entre conductivité électrique et pourcentage d'oxygène.
- O2 Mbar: Corrélation très faible (0.043), montrant une faible relation entre conductivité électrique et pression partielle d'oxygène.

### E. TDS (Total des Solides Dissous)

- O2 Mg/l: Corrélation faible et négative (-0.264), montrant une légère relation inverse entre solides dissous et concentration d'oxygène.
- O2 %: Corrélation très faible (-0.059), indiquant peu de relation entre solides dissous et pourcentage d'oxygène.
- O2 Mbar: Corrélation très faible (-0.056), montrant une faible relation entre solides dissous et pression partielle d'oxygène.
- O2 Mg/l (Concentration d'Oxygène)
- O2 %: Corrélation très forte (0.816\*\*), indiquant que la concentration d'oxygène est fortement liée au pourcentage d'oxygène. (Significatif au niveau 0.01).
- O2 Mbar: Corrélation très forte (0.841\*\*), montrant une forte relation entre concentration d'oxygène et pression partielle d'oxygène. (Significatif au niveau 0.01).

**F. O2 % (Pourcentage d'Oxygène)**

- O2 Mbar: Corrélation très forte (0.998\*\*), indiquant que le pourcentage d'oxygène est presque parfaitement corrélé avec la pression partielle d'oxygène. (Significatif au niveau 0.01).

Tableau 19. Statistiques descriptives des variables étudiées

Paramètre	Moyenne	Ecart type	Analyse N
T°c	13,170	3,6951	10
pH	7,19000	,294944	10
La salinité	,3370	,20780	10
C E	813,40	433,181	10
TDS	442,50	210,239	10
O2 Mg/l	7,0510	,66724	10
O2 %	66,460	8,0664	10
O2 Mbar	124,910	15,2766	10

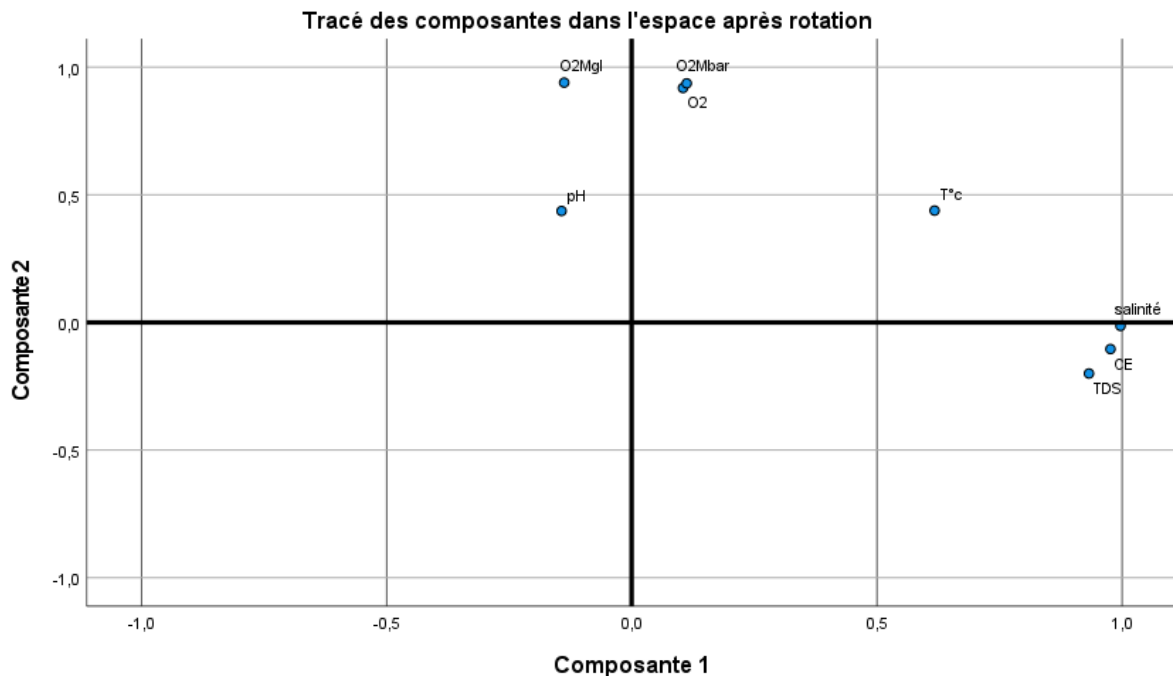


Figure 26. Projection des variables des eaux étudiées.

#### a. Composante 1 et Composante 2

Les axes du graphique représentent les deux premières composantes principales, qui expliquent la plus grande part de la variance totale des données.

- **\*\*Composante 1\*\*** : Ce premier axe semble être dominé par les variables liées à la salinité, à la conductivité électrique (C E) et aux solides dissous (TDS), comme l'indique leur proximité et leur forte corrélation.

- **\*\*Composante 2\*\*** : Ce deuxième axe est influencé par les variables liées à l'oxygène (O2 Mg/l, O2 %, O2 Mbar).

### II.3. Groupement des variables

- **Salinité, C E, TDS** : Ces trois variables sont regroupées près de l'axe positif de la Composante 1, indiquant une forte corrélation positive entre elles. Cela est cohérent avec les corrélations élevées observées dans le tableau précédent.
- **O2 Mg/l, O2 %, O2 Mbar** : Ces variables sont regroupées près de l'axe positif de la Composante 2, suggérant qu'elles sont fortement corrélées entre elles. Cela correspond également aux fortes corrélations notées dans le tableau de corrélation.
- **pH** : Cette variable est située de manière isolée mais plus proche de l'axe positif de la Composante 2, suggérant une corrélation modérée avec les variables liées à l'oxygène.
- **Température (T°C)** : La température est située près de l'axe positif de la Composante 1 mais plus éloignée des autres variables, indiquant une corrélation modérée avec les variables de salinité, de conductivité électrique et de TDS, mais moins avec les variables d'oxygène.

### IV.5. Interprétation des composantes principales

- **Composante 1** semble capturer principalement la variation due aux propriétés chimiques de l'eau (salinité, conductivité électrique, TDS), qui sont fortement interconnectées.
- **Composante 2** semble capturer la variation due aux propriétés de l'oxygène dissous (O2 Mg/l, O2 %, O2 Mbar), qui sont également fortement interconnectées.

En résumé, l'ACP montre que les paramètres de l'eau peuvent être principalement décrits par deux dimensions principales : une dimension chimique (salinité, conductivité électrique, TDS) et une dimension de l'oxygène dissous (O2 Mg/l, O2 %, O2 Mbar). Cela simplifie la compréhension des interactions entre les paramètres de l'eau étudiés.

### Discussion générale

Dans cette étude, nous avons analysé divers paramètres physiques de l'eau dans une zone montagneuse semi-aride du nord-est algérien, en mettant l'accent sur les variations saisonnières et les conditions environnementales spécifiques.

Selon nos observations dans la zone de Yabous pendant la période printanière (mois d'avril 2024), les températures de la zone d'étude varient entre 6°C et 19°C. Des études similaires réalisées dans la même région ont trouvé des valeurs légèrement plus élevées par rapport à nos résultats. Hamadou et Litim (2022) ont trouvé des températures variant entre 16°C et 28°C, tandis que l'étude de Belkoum et *al.* (2023) a relevé des températures variant entre 18°C et 24°C. Cette différence s'explique par la période de l'échantillonnage, leurs prélèvements ayant été réalisés durant la période estivale. Nos observations concernant le potentiel hydrogène (pH) indiquent des valeurs comprises entre 6,93 et 7,65. En revanche, l'étude de Hamadou et Litim (2022) a trouvé des valeurs comprises entre 6 et 7,92, et celle de Belkoum et *al.* (2023) a relevé des valeurs entre 6,6 et 8,55. Ces valeurs de pH sont globalement similaires, ce qui indique une légère alcalinité liée à la nature géologique de la région d'étude. Dans notre analyse de la conductivité, nous avons enregistré une moyenne de 813  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durant la période d'observation. En comparant ces résultats avec des études antérieures, Hamadou et Litim (2022) ont rapporté une moyenne de 291  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans leur étude sur la région de Khenchela. L'étude de Belkoum et *al.* (2023) a montré une conductivité élevée de l'ordre de 2619  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans leur analyse de la région. Cela indique une minéralisation importante dans la région d'étude, malgré le fait que notre campagne d'échantillonnage ait été effectuée juste après une précipitation importante, ne laissant pas suffisamment de temps pour la minéralisation complète. Cela suggère que les valeurs futures de la conductivité dans la zone d'étude pourraient être plus élevées. Pour la salinité, les résultats montrent que la salinité de l'eau mesurée est comprise entre 0,11 et 0,76 PSU (practical salinity unit). En comparaison, Hamadou et Litim (2022) ont trouvé des valeurs comprises entre 0,1 et 1,7 PSU. Cette différence est attribuée à la dilution des sels dans l'eau de la région, en raison des précipitations importantes survenues peu avant notre campagne d'échantillonnage, comme mentionné précédemment. Dans notre évaluation de TDS, nous avons trouvé que la valeur du total des sels dissous (TDS) est comprise entre 345 et 855 mg/L, tandis que l'étude de Hamadou et Litim (2022) rapporte des valeurs comprises entre 101,5 et 431 mg/L. Cette variabilité des résultats est due à la dilution provoquée par les précipitations survenues pendant notre période d'étude, qui ont contribué à l'apport et à la dissolution des sels. En ce qui concerne le paramètre de l'oxygène dissous, nos résultats varient entre 5,91 mg/L et 8,01 mg/L, avec une moyenne de 7,051 mg/L durant la période d'étude. Ces données indiquent une amélioration des concentrations d'oxygène dissous dans la région étudiée par rapport à l'étude antérieure de Hamadou et Litim (2022), qui ont enregistré une moyenne de 6,57 mg/L. Les

valeurs trouvées dans notre étude ainsi que dans l'étude précédente indiquent que ces écosystèmes aquatiques sont en bonne santé biologique. Les résultats de la saturation en oxygène et de la pression confirment le bon état de santé de nos milieux étudiés, sachant que nos eaux sont des eaux souterraines, sans contact direct avec l'atmosphère. Les variations de la conductivité électrique en fonction de la température à travers dix stations de prélèvement. La température semble avoir une influence significative sur la conductivité électrique. En général, les stations avec des températures plus élevées montrent également des conductivités électriques plus élevées, suggérant une corrélation positive entre ces deux paramètres, Loukman et *al.*, 2017 dans son étude sur les eaux souterraines de département de Fitri en Tchad a arriver à la même conclusion concernant la corrélation positive entre les deux paramètre. Les variations observées peuvent être influencées par divers facteurs environnementaux tels que la géologie locale, la présence de sources d'eau souterraine, les activités humaines et la dilution des sels due aux précipitations printanières. Les variations dans la conductivité électrique peuvent également être attribuées à l'effet des précipitations récentes, qui peuvent diluer ou concentrer les sels dans l'eau des différentes stations. Les variations de la salinité en fonction de la température à travers dix stations de prélèvement dans la zone d'étude montre une corrélation apparente entre la température et la salinité dans certaines stations, mais cette relation n'est pas uniforme dans toutes les stations, Par exemple, les stations avec des températures plus élevées (Yabous ville et Bir L'sissen) montrent des salinités plus élevées. Cependant, cette relation n'est pas linéaire dans toutes les stations. L'impact de la température sur la salinité des eaux souterraines est une question complexe, certaines études suggérant une relation significative, d'autres ne constatant aucun effet significatif sur la salinité des eaux souterraines selon faysal et moujabber (2003) et Soletchnik et *al.*,(2016), ce qui nous renseigne que les facteurs écologiques de milieux contribuent dans les variations de la salinité des eaux souterraine, les fortes précipitations ont un impact direct sur les valeurs de la salinités par le fait de dilution, Piscart (2004) et al a suggéré que la relation entre la température et la salinité des eaux souterraines peut être influencée par d'autres facteurs écologiques .

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

### **Conclusion générale**

Cette étude est une contribution à la compréhension des mécanismes et de l'influence des paramètres physiques sur l'eau.

Nous avons étudié par ce travail dix points d'eau situés dans la région de de Yabous. Comportent des eaux de surfaces, des eaux de sources et des eaux souterraines.

Dans notre zone d'étude le climat est caractérisé par une très grande variabilité climatique, la région d'étude appartient au climat semi-aride. Le bilan hydrique de cette région est toujours déficitaire.

L'aperçu hydrogéologique de la région montre que les formations du crétacé inférieur, moyen et supérieur peuvent offrir des possibilités aquifères très intéressantes.

L'étude des paramètres physiques a montré que les températures des eaux sont influencées par celles de l'air, les valeurs de la conductivité électriques sont influencées par la température et par la minéralisation, et les eaux sont faiblement minéralisées. Toutes les valeurs mesurées du pH, Salinité, TDS, et oxygène dissous sont incluses dans la norme algérienne et même européenne de l'OMS.

L'analyse en composantes principale a montré une corrélation très significative entre la conductivité électrique, la salinité et TDS.

Une telle conclusion peut être discutée. Nous pensons alors qu'il est indispensable d'opter pour d'autres méthodes pour arriver à des résultats plus convaincants. Nous espérons par ce travail avoir contribué d'une façon admissible dans le domaine de l'étude des paramètres physiques de l'eau en Algérie.

# Références bibliographiques

### Références bibliographiques

- **A.N.B.T. (2006)** : Rapport de géologie du barrage et de la cuvette. Etude d'avant - projet détaillé du barrage de Tagharist (wilaya de Khenchela). Dar Al-Handasah, 54p.
- **Achi, Y. (2021)** : Etude géophysique par sismique réfraction du barrage de Tagharist, Wilaya de Khenchela, mémoire de master, université Tébassa, 71p.
- **Aribi, K. et Lahmar, I. (2019)** : Inventaire de la flore de la région nord de Bordj Bou Arreridj (Djebel Oum El Raissan), mémoire de master, université Bordj Bou Arreridj, 34p.
- **Ariech, S. (2022)** : Caractérisation des indices Bioclimatique de la région de Biskra et leurs effets sur la croissance de la culture de palmier pattier Phoenix dactylifera L.) Dans la Région de Biskra (Ain Debba), mémoire de master, université Biskra, 81p.
- **Babana, C. et Sebaa, H. (2018)** : Evaluation de la qualité des eaux (salinité éléments nutritifs et métaux lourds). Cas de la plaine de Mellagou. (Bouhmama-Khenchela- NE, mémoire de master, université Khenchela, 84p.
- **Badis, F. (2011)** : Etude d'impact sur l'environnement d'une décharge contrôlée dans la commune de Yabous, rapport de la direction de l'environnement, 43p.
- **Bchitou, R. (2001)** : Le suivi des métaux lourds dans les eaux et les sédiments du moyen Sebou : Elaboration d'un plan d'expérience afin d'éliminer le chrome, thèse de doctorat d'Etat, Faculté des Sciences Université Mohammed V-Agdal Rabat.
- **Beldjilali, F. et Arab, A. (2018)** : Etude comparative des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de barrage Kramis et des eaux de source naturel Ain sidi abdelkader, mémoire de master, université Mostaganem, 59p.
- **Belkoum, n., Zeghdani, z., & Bouali, h. (2024)**. Contribution To The Hydrochemical Study Of Groundwater In The Plain Of Mellagou - Bouhmama (Northeast Algeria). Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 19(1), 115–123.
- **Bensalah, Y. et Benzitoune, R. (2021)** : Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine, mémoire de master, université Constantine, 83p.
- **Bouaicha, F. (2009)** : Etude géophysique et hydrogéologique dans la région de Khenchela, cas de Kheirane et Taouzient, impact socio-économique, mémoire de magister en hydrogéologie, université Constantine, 216p.
- **Boulahia, A. (2016)** : L'eau d'irrigation en Algérie, mémoire de master, université

Constantine, 55p.

- **Bounab, S. (2017)** : Ressources en eau et développement durable cas de la région Annaba-El Tarf (Nord-Est Algérien), thèse de doctorat en sciences, université Annaba, 205p.
- **Bourbia, H. (2018)** : Les périmètres de protection des captages d'eau souterraine dans un milieu vulnérable : la nappe des graviers de la région de Boumaiza (Skikda, Nord-Est Algérie), thèse de doctorat en sciences, université Annaba, 193p.
- **Bousid, A. et Annab, S. (2021)** : Evaluation temporelle de la qualité physico-chimique et biologique des zones humides d'Oum El Bouaghi, mémoire master, université Oum El Bouaghi, 71p.
- **Bouslah, S. (2018)** : Etude de la qualité des eaux stockées à l'amont et les eaux d'infiltration à l'aval des barrages en remblai en Algérie, thèse de doctorat en sciences, université Annaba, 188p.
- **Boutebba, C. Ferdi, I. et Meghazi, C. (2022)** : Qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau d'Oued SEYBOUSE, mémoire de master, université Guelma, 79p.
- **Chaffai et al. (2013)** : Hydrogéologie d'un système aquifère en zone semi-aride. Cas de la région de Khenchela (Algérie), article universitaire Biskra, 45p.
- **Piscart, C. (2004)**. Rôle de la salinité dans la dynamique et la régulation de la biodiversité des communautés de macroinvertébrés dulçaquicoles.
- **D.A.B. (2022)** : Délégation Agricole de la commune de Bouhmama.
- **D.A.Y. (2022)** : Délégation Agricole de la commune de Yabous.
- **Faysal, S., & Moujabber, M.E. (2003)**. Impact de la salinisation de l'eau souterraine par l'intrusion de l'eau de mer dans la zone côtière du mont liban sud sur la salinité du sol des cultures sous serre.
- **F.t.y. (2022)** : fiche technique de la commune de yabous.
- **Gaagai, A. (2017)** : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement, thèse de doctorat en sciences, université Batna, 207p.
- **Hamadou, L. R., & Litim, L. I. (2022)**. Étude de la qualité physico-chimique et biologique (Amphipode) de quelques oueds de la région Nord-est de l'Algérie (Khenchela et Batna). Mémoire de Master.
- **Khelifa, K. (2021)** : Etat de la qualité des eaux dans la région de Berrahal. Apports des nouvelles analyses physico-chimiques et métaux lourds (N-E Algérie), thèse doctorat LMD en Hydrogéologie, université Annaba, 166p.

## Références bibliographiques

---

- **Lemouchi, O. et Kolli, F. (2020)** : Contribution à l'Etude climatique et bioclimatique de barrage chaffia dans la wilaya El Tarf, mémoire de master, université Annaba, 45p.
- **Loukman, B., Nakolendousse, S., Mahamat Nour, A., & Memti Nguinambaye, M. (2017)**. Caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs : relations entre eaux de surface (lac-Fitri) et eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(3), 1336. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.33>
- **Makhoukh, M. (2011)** : Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc 2011.
- **Oueldjaoui, M. (2022)** : Caractérisation et fonctionnement géochimique des eaux de sebkha ElMahmel. Thèse de doctorat LMD en Ecologie et Environnement, université de Khenchela. 155p.
- **Rouabhia, K. et Djabri, L. (2010)** : Geochemical characterization of ground water from shallow aquifer surround dinfezara lake.NE Algeria, *Arab.j geosciences*, doi :10.1007/s12517-010-0202-6.
- **Roudier, J. (2005)** : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaire, Eau de mer 8<sup>ème</sup> édition : Dunod, Paris.
- **Rouibi, I. et Bouazizi, H. (2015)** : Étude de la qualité des eaux du bassin versant Tagharist (Yabous, wilaya de Khenchela), mémoire de master, université Khenchela, 56p.
- **Salhi, M. et Ounassi, M. (2022)** : La géologie général de la wilaya de Khenchela (ville de kais), *journal of cognitive issues*, 395p.
- **Saoudi, A. (2017)** : Spécificités géologiques et hydrogéologiques de la région des lacs et de la plaine de Remila et son impact sur le tracé routier Oum el Bouaghi – Khenchela, mémoire de master, université Oum El Bouaghi, 87p.
- **Soletchnik, P., Moine, O.L., & Polsenaere, P. (2016)**. Apports terrigènes et salinité côtière : cas du Bassin de Marennes-Oléron.
- **Tardat et al. (1984)** : Chimie des eaux, Ed. Le griffon d'argile, INC, Québec.
- **Todd, K. (1980)**: *Groun water hydrology*. Seconde edition. New York, J. Wiley & Sons, 510p.
- **Ziani, D. (2017)** : Quantification de la pollution anthropique des eaux souterraines de l'aquifère de AIN DJASSER. Est Algérien, thèse de doctorat en sciences, université Batna, 151p

## Références bibliographiques

عنوان المذكرة : المساهمة في دراسة المعايير الفيزيائية لبعض مصادر المياه في منطقة يابوس  
الإسم و اللقب : حفصاوي نسرين مدور عبد الحق رغيث فيروز  
المؤطر : شريفة بركاني

#### ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحديث المعايير الفيزيائية والتحليل الإحصائي للمياه في منطقة يابوس بولاية خنشلة. تتميز هذه المنطقة بمناخ شبه جاف. تتراوح قيم درجات الحرارة المقاسة من 6 درجات مئوية إلى 30 درجة مئوية، وتتأثر بدرجة حرارة الهواء. وتبلغ قيم الأس الهيدروجيني 6.93 و 7.65. لم تتجاوز قيم التوصيل الكهربائي 1710 ميكرو ثانية/سم. كانت المياه ضعيفة التمعدن والأكسجين. أظهر تحليل المكونات الرئيسية وجود ارتباط كبير للغاية بين التوصيلية الكهربائية، والملوحة والمواد الصلبة الصلبة الذاتية.

*الكلمات المفتاحية* : PCA، المعلمات الفيزيائية للمياه، يابوس، خنشلة.

**Title of the dissertation: Contribution to the study of the physical parameters of some water sources in the Yabous region (Wilaya of Khenchela).**

**Full name: HAFSAOUI Nesrine, MEDDOUR Abdelhak et REGHIS Fairouz**

**Directed by: Dr. BERKANI Cherifa**

**Abstract**

This work aims to modernize the physical parameters and statistical analysis of water in the Yabous region of Khenchela State. This region is characterized by a semi-arid climate. The measured temperature values range from 6°C to 30°C and are influenced by air temperature. The pH values are 6.93 and 7.65. Electrical conductivity values did not exceed 1710  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The water was poorly mineralized and oxygenated. Principal component analysis showed a highly significant correlation between electrical conductivity, salinity and TDS.

**Keywords:** PCA, physical parameters of water, Yabous, Khenchela.