



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abbés Laghrour - Khenchela -

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département : Ecologie & Environnement

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

THÈME

Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de sources de la commune de Ain Mimmoun - Khenchela

Présentée par :

- Mecheri Amira
- Hasnaoui Abderrahim

Encadré par :

Dr. Berkani . C

Jury de soutenance :

- | | | |
|-----------------------------------|-----|--------------------------------|
| -Présidente : Dr. Lakhdari S | MAA | Univ. Abbass Laghror Khenchela |
| -Examinatrice : Dr. Takouachete R | MCB | Univ. Abbass Laghror Khenchela |
| -Encadreur : Dr. Berkani . C | MCB | Univ. Abbass Laghror Khenchela |

Promotion : 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

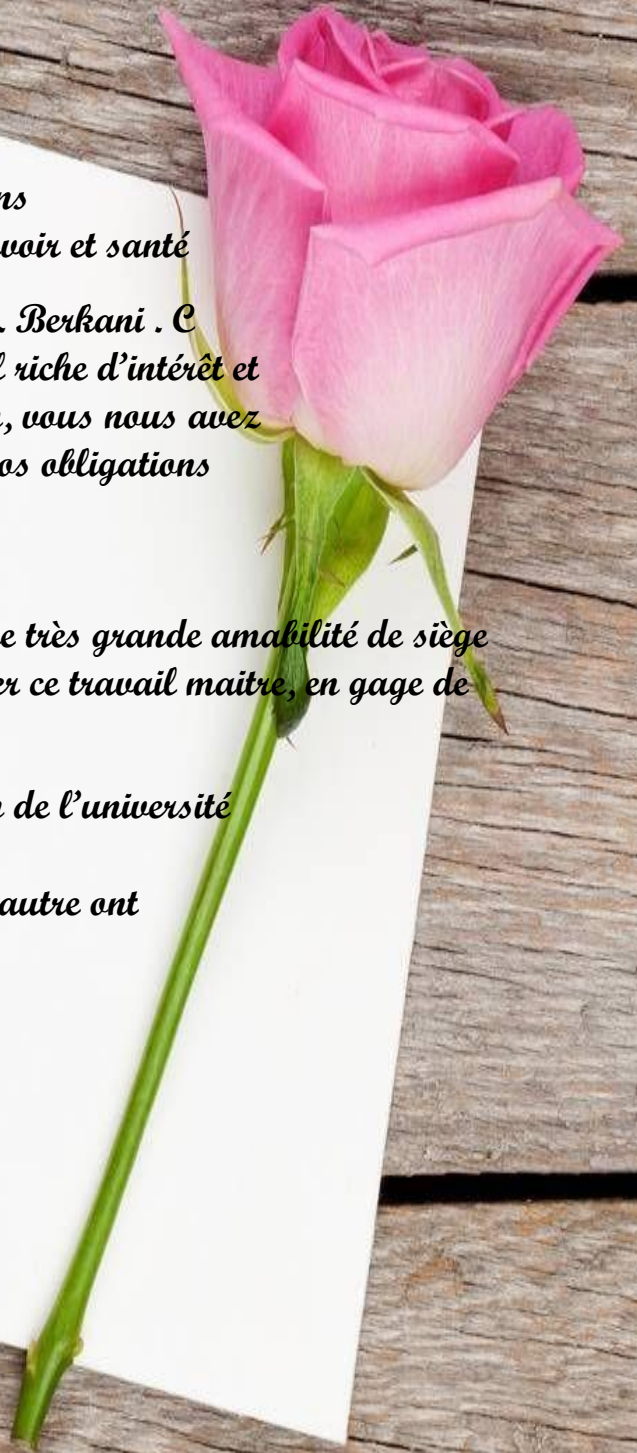
*Tout d'abord et avant tout nous remercions
le dieu pour ce qui nous a donné comme savoir et santé*

*A notre maitre et rapporteur de mémoire Dr. Berkani . C
Vous avez bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et
nous guider à chaque étape de sa réalisation, vous nous avez
toujours réservé le meilleur accueil malgré vos obligations
professionnelles.*

*A notre maitre et juge de mémoire
Vous nous faites l'honneur d'accepter avec une très grande amabilité de siège
parmi notre jury de mémoire. Veuillez accepter ce travail maitre, en gage de
notre grand respect profonde reconnaissance.*

*Enfin nous tenons à remercier l'administration de l'université
d'Abbes Laghrour*

*Toutes personnes qui d'une manière ou d'une autre ont
permis la réalisation de cette recherche*



Dédicaces

Au nom d'Allah le miséricordieux, ce qui m'a permis de terminer mon mémoire....

Je dédie mon modeste travail :

A la lumière de ma vie, mon bonheur et mon soutien ; ma chère maman, que Dieu la protège

A ma force dans cette vie, ma patrie et mon soutien ; mon cher père, que Dieu le protège

Merci pour tout votre soutien

Et votre combat pour moi tout au long de mes études

A mes sœurs et frères...à mes amis...à toute ma famille ...à tous mes chers professeurs ...à tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de mes études...

A celui qui compte tout pour moi ...à la personne le plus précieux...

A ma copine la plus proche...

A tous les étudiants d'Ecologie promotion 2021

Amira

Dédicaces

*Nous prions Dieu de les garder à
jamais dans nos mémoires.
A mes très chers parents
A mes frères et mes sœurs
Aux mes chères amis
Tous les étudiants de promotion
Merci pour tous...*

Abderrahim

Etude comparative de la qualité physico-chimique des trois sources d'eaux d' Ain Mimoun

Résumé

La Wilaya de Khenchela est l'une des Wilayat qui souffrent d'une forte demande des ressources en eau dans les différentes localités, vue l'importance de cette matière vivante. Le choix du présent sujet consiste à déterminer les caractéristiques physico-chimiques des trois sources fortement fréquentées par la population de la wilaya localisées à la commune de Tamza , région de Ain Mimoun.

Après la visite de la zone d'étude, nous avons effectué des prélèvements d'échantillons pour les analyser. Une collecte des données climatiques (températures, ph...) est réalisée pour déterminer le bilan hydrique. Une recherche spécifique est réalisée pour déterminer les différentes formations géologiques de la zone comportant les trois sources.

L'hydrochimie qui permet Une classification des eaux est faite en utilisant des diagrammes pour la classification des eaux (Piper, Schoeller-Berkaloff). L'interprétation des différents résultats et diagrammes utilisés s'est faite en comparant ces résultats avec les normes OMS.

La configuration climatique et les formations géologiques influent sur la qualité des trois sources qui présentent une qualité bonne pour la consommation l'utilisation humaine (potabilité).

Mots clé

Eaux naturelles, Hydrochimie, Géologie, Climatologie, Potabilité

مقارنة هيدروكيميائية بين ثلاث منابع بعين ميمون ولاية خنشلة

ملخص

ولاية خنشلة من الولايات التي تعاني من الطلب المتزايد على مصادر المياه في مختلف مناطقها نظرا لأهمية هذه المادة. إن سبب اختيار موضوع البحث كان من أجل توضيح الخصائص الفيزيائية والكيميائية لثلاث منابع أساسية المتواجدة في بلدية طامزة بمنطقة عين ميمون نظرا للاقبال الكبير عليها.

بعد الزيارة الميدانية واخذ العينات لتحليلها وكذا جمع المعلومات المناخية و حساب الحصيلة المائية و بعد البحث حول مختلف التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة وبعد الدراسة الهيدروكيميائية التي تسمح لنا بتصنيف مياه هذه المنابع عن طريق مختلف المخططات البيانية. وكذا مقارنة النتائج مع معايير المنظمة العالمية للصحة وجدنا ان المنابع الثلاث تتمتع بنوعية جيدة صالحة للاستهلاك والشرب..

كلمات مفتاحية

هيدروكيميائية, مصادر المياه, الصلاحية للشرب , المناخية, الجيولوجية

Comparative study of three natural sources of waters in Ain Mimoun:

Abstract

The Wilaya of Khenchela, East Algeria, is one of Wilayate that suffers from a high demand on the water resources in its various localities, due to the importance of this substances. The choice of this subject consists in determining the physicochemical characteristics of the three main sources attended by the population of the wilaya, located in the commune of Tamza in Ain Mimoun.

After some visits of the study area, we carried out samplings to analyze. A climatic data gathering (temperatures, ph ,...) are carried out to determine the hydrous balance. A specific research is carried out to determine the various geological formations of the zone comprising the three sources. The hydrochimy allowed a classification of water by using diagrams for the classification of waters (Diagramms of Piper, Schoeller-Berkaloff). The interpretation of the various results and diagrams used was done by comparing these results with WHO standards. Climatic configuration and geological formations affect on the quality of the three sources which have a good quality for the consommation and the human use (potability).

Keywords

Hydrochemisty, geology, climate, water sources.

Liste des figures

N°	Liste des figures	Page
01	Localisation géographique de la Wilaya de Khenchela	4
02	Localisation géographique du gisement d'Ain-Mimoun	5
03	Carte de situation de massif d'Ouled Yagoub	6
04	localisation géographique de notre travail	7
05	Représentation graphique des grands ensembles de relief de la wilaya	9
06	Carte de relief de la wilaya de Khenchela	10
07	Vue général du taillis dans le massif Ouled Yagoub	12
08	la végétation entoures de l'oued Ain Mimoun	12
09	Certains espèces sauvages dispersés dans la foret de Ain Mimoun	13
10	Certains espèces d'oiseaux dispersés dans la foret de Ain Mimoun	13
11	Carte des bassins versants de la wilaya de khenchela	14
12	Carte du réseau hydrographique de la wilaya	15
13	Carte géologique de la Wilaya de Khenchela	17
14	La lithostratigraphie de la zone d'étude	18
15	Schéma structural de la carte géologique de Khenchela	20
16	Coup interprétative de Ras Serdoun et de Djebel Aurès	23
17	Coupe géologique 1 sur la carte géologique de Khenchela	25
18	Coupe géologique 2 sur la carte géologique de Khenchela	25
19	Courbe de variation des températures moyennes mensuelles	26
20	Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles	27
21	Carte des précipitations annuelles moyennes	28
22	Diagramme Ombrothèrmique de la zone d'étude	29
23	Variation de l'humidité moyenne mensuelle	30
24	La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents	31
25	Projection de la zone dans le climagramme d'Emberger	32
26	exemple d'étiquette	62
27	Exemple de porte-bouteille	64
28	Photo réelle de pH-mètre	66
29	photo réelle d'un conductimètre	67
30	Photo réelle d'un pH- mètre	68
31	Dosage de calcium	69
32	dosage de sulfate par un spectrophotomètre	72
33	comparaison de pH des trois sources	74
34	comparaison de la CE entre les trois sources ($\mu\text{s/cm}$)	74
35	Comparaison de la Minéralisation globale entre les trois sources	75
36	Comparaison de la Température entre les trois sources ($^{\circ}\text{C}$)	75

37	Comparaison des concentrations de Calcium entre les trois sources (méq/l)	76
38	Comparaison des concentrations de Potassium entre les trois sources (méq/l)	76
39	Comparaison des concentrations de Sodium entre les trois sources (méq/l)	77
40	Comparaison des concentrations de Magnésium entre les trois sources (méq/l)	77
41	Comparaison des concentrations de Bicarbonate entre les trois sources (méq/l)	78
42	Comparaison des concentrations de Chlorure entre les trois sources (méq/l)	78
43	Comparaison des concentrations de Sulfate entre les trois sources (méq/l)	79
44	La représentation des trois sources sur le diagramme de Piper	80
45	La représentation des sources sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	81

Liste des tableaux

N°	Liste des tableaux	Page
01	Coordonnées géographiques de localisation des sources d'eaux	7
02	Les principaux monts dominant dans la zone d'étude	8
03	Occupation du sol dans la cédraie des Ouled Yagoub	10
04	La situation des barrages dans la wilaya de Khenchela	14
05	Type de climat selon l'indice de Demartone	33
06	Les régimes des mois (rapport de P/T°) pendant les années 2004-2018 - khenchela	33
07	principaux types de l'odeurs	44
08	Principaux types de goûts	45
09	Rapport entre la conductivité électrique et la minéralisation	46
10	représente la classification des eaux d'après leu pH	48
11	valeurs du facteur permettant d'évaluer la minéralisation globale d'une eau à partir de la conductivité	49
12	Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température	50
13	La potabilité en fonction des résidus secs	51
14	Les éléments traces métalliques	59
15	Les paramètres physicochimiques de l'eau potable	60
16	Les résultats des analyses physico-chimiques que nous avons effectuées sur les trois sources d'eau	73
17	Comparaison entre les trois sources d'eau et les normes modérées	73
18	Faciès chimiques des trois sources	82

Liste des abréviations

% : Pourcentage

A.D.E : Algérienne des eaux

AgNO₃- : Nitrate d'argent

B.N.E.F : Bureau Nationales études forestières

C.E : Conductivité électrique

C.E. : Conservation de la Foret

C° : Degree Celsius

Ca⁺⁺ : Calcium

Cl⁻ : Chlorures

D.D.R.E : Direction Des Ressources En Eau

D.E : La direction de l'environnement

D.P.A.T : Direction de Planification et d'Aménagement des Territoires

D.S.A : Direction de service agricole

D.S.P : Direction de la santé et de la population

E : Est

E.D.T.A : sel sodique à double substitution de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique

E.I.E : Etude d'impact environnementale

F° ou Fh° : Degrés français

H₂SO₄ : Acide sulfurique

H₃PO₄ : Acide Phosphorique

Ha : Hectare

Hcl : Acide chlorhydrique

HCO₃- : Bicarbonate

J.O.R.A : Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire

K⁺ : Potassium

K₂Cr₄ : Chromate de potassium

Km : Kilomètre

m : Meter

M.E.S : Matières en suspension

Mg/l : Milligramme par litre

Mg⁺⁺ : Magnésium

N : Nord

N.T.U : Nephelometric Turbidity Unit

Na OH : Hydroxyde de sodium

Na⁺⁺ : Sodium

Na₂SO₄ : Sulfate de sodium

O.M.S : Organisation Mondiale de Santé

pH : Potentiel d'Hydrogène

S : Sud

SO₄⁻² : Sulfate

T° : Température

W : Ouest

μS/cm : Microsimens par centimètre

Sommaire

Sommaire

Résumé en français	i
Résumé en arabe	i
Résumé en anglais	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des abréviations	v
Sommaire.....	vii
Introduction générale	1

1- Partie théorique

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction

1- Cadre administratif et géographique	5
2- Cadre socio-économique	8
3- Relief	8
3-1- Les montagnes	9
3-2- Les plateaux	9
3-3- Les plaines	9
3-4- Les parcours steppiques et les dépressions	9
4- la végétation	10
5- L'agriculture	11
6- La faune	13
7- Le réseau hydrographique	14
7-1- Le régime des eaux	15

Chapitre II : La géologie de la zone d'étude

Introduction

1- Lithostratigraphie	18
1-1- Le Quaternaire	19
1-1-1- Les éboulis	19

1-1-2- Les alluvions récente ou actuelle	19
1-1-3- Les glacis polygéniques nappant les reliefs	19
1-1-4- Villafranchien	19
1-2- Le Miocène	20
1-2-1- Le Tortonien supérieur	20
1-2-2- Le Tortonien gréseux blanc	20
1-2-3- Le Langhien-serravalien	21
1-2-4- L'Aquitano-Burdigalien	21
1-3- Le Crétacé	21
1-3-1- Le Crétacé supérieur	21
a. Le Maestrichtien	21
a.1. Le Maestrichtien supérieur	21
a.2. Le Maestrichtien inferieur	22
b. Le Campanien	22
c. Le Santonien	22
d. Le Coniacien	22
e. Le Turonien	22
e.1. Le Turonien moyen et supérieur	22
e.2. Le Turonien basal	22
f. Le Cénomaniien	23
f.1. Le Cénomaniien supérieur	23
f.2. Le Cénomaniien moyen	24
f.3. Le Cénomaniien inferieur	24
1-3-2- Le Crétacé inferieur	24
a. L'Albien	24
b. L'Aptien	24
1-4- Le Trias	25

Chapitre III : L'étude climatique de la zone d'étude

Introduction

1- La température	26
-------------------------	----

2- La pluviométrie	27
3- La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothèrmique)	29
4- L'Humidité	30
5- Les Vents	30
6- Quotient pluviométrique d'Emberger	31
7- Indice de Demartone	32
8- Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte	33
Conclusion	

2- Partie pratique

Chapitre I : Généralité sur les eaux de surface

Introduction

1- Les eaux de surface	35
1-1-Définition	35
1-2- L'origine	35
1-3- les caractéristiques générales des eaux de surface	35
1-4- les ressources en eaux superficielles	36
1-5- la potabilité des eaux de surface	37
1-5-1- Généralité	37
1-5-2- Définition de l'eau potable	37
1-5-3- Aspect réglementaire	38
1-5-3-1- Normes microbiologiques	38
1-5-3-2- Normes physico-chimiques	38
1-6- la pollution des eaux	39
1-6-1- Généralité	39
1-6-2- les types de la pollution	39
1-6-2-1- Agents physiques	39
1-6-2-2- Agents chimiques organiques	40
1-6-2-3- Agents chimiques inorganiques	40
1-6-2-4- Agents biologiques	40

1-6-3- l'origine de la pollution	40
1-6-3-1- La pollution domestique	41
1-6-3-2- La pollution industrielle	41
1-6-3-3- La pollution agricole	41
1-6-4- Les conséquences de la pollution de l'eau	41
2- les principaux paramètres physiques et chimiques	42
2-1- les paramètres organoleptiques	42
2-1-1- La turbidité	42
2-1-2- la couleur	43
2-1-3- l'odeur	44
2-1-4- Le gout	45
2-2- les paramètres physiques	45
2-2-1- La conductivité électrique	45
2-2-2- La température	47
2-2-3- le pH	47
2-2-4- la dureté	48
2-2-5- la minéralisation globale	49
2-2-6- L'Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène	49
2-2-7- Le Résidu sec	51
2-2-8- Le potentiel redox (Eh)	51
2-2-9- La résistivité électrique	51
2-2-10- Les Matières en suspensions (MES)	52
2-2-11- Le taux alcalimétrique	52
2-3- Les paramètres chimiques	53
2-3-1- Les cations	53
2-3-1-1- Magnésium (Mg)	53
2-3-1-2- Calcium (Ca)	53
2-3-1-3- Sodium (Na ⁺⁺)	53
2-3-1-4- Potassium (K ⁺)	54
2-3-2- les anions	54
2-3-2-1- Chlorures (Cl ⁻)	54

2-3-2-2- Sulfate (SO ₄)	54
2-3-2-3- Nitrite (NO ₂ .)	55
2-3-2-4- Nitrate (NO ₂ .)	55
2-3-2-5- Phosphate (PO ₄)	56
2-3-2-6- Bicarbonate (HCO ₃ .)	56
2-4- Paramètres indésirables (traces métalliques)	56
2-4-1- Le Fer	56
2-4-2- Le Manganèse	57
2-4-3- Les Métaux lourds	57
2-4-3-1- Cadmium (Cd)	57
2-4-3-2- Manganèse (Mn)	58
2-4-3-3- Plomb (Pb)	58
2-4-3-4- Zinc (Zn)	58
2-4-3-5- Le sélénium (Se)	58
2-5- la matière organique dans les eaux de surfaces (classification de Rodier)	59

Chapitre II : Analyses et interprétations

Objectif	61
I. Analyses	61
1- Echantillonnage	61
1-1- Préparation des échantillons	61
1-2- Etiquetage	62
2- Prélèvement	62
2-1- Matériels	62
2-1-1- Matériels de prélèvement	62
2-1-2- Matériels de laboratoire	63
2-2- Méthode et technique	63
2-2-1- De prélèvement	63
2-2-2- D'analyse (le dosage)	64
2-3- Transport et conservation des échantillons	65
3- Analyses physique au terrain	65

3-1- Le potentiel hydrogène (pH)	65
3-1-1- Principe	65
3-1-2- Mode opératoire	66
3-2- La conductivité électrique (CE)	66
3-2-1- Principe	66
3-2-2- Mode opératoire	66
3-3- Minéralisation globale	67
3-4- La température	67
3-4-1- Principe	67
3-4-2- Mode opératoire	67
4- Analyses chimiques	68
4-1- Cations	68
4-1-1- Calcium (Ca²⁺) et Magnésium (Mg²⁺)	68
4-1-1-1- Principe	68
4-1-1-2- Réactifs	68
4-1-1-3- Mode opératoire	69
4-1-1-4- Expression des résultats	69
4-1-2- Sodium (Na⁺) et Potassium (K⁺)	70
4-1-2-1- Méthode du Photomètre à Flamme	70
4-1-2-2- Mode opératoire	70
4-1-2-3- Méthodes de mesure	70
4-2- Anions	70
4-2-1- Bicarbonates (HCO₃⁻)	70
4-2-2- Chlorure (Cl)	71
4-2-2-1- Principe	71
4-2-2-2- Réactifs	71
4-2-2-3- Mode opératoire	71
4-2-2-4- Expression des résultats	71
4-2-3- Sulfate (SO₄⁻)	71
4-2-3-1- Principe	71
4-2-3-2- Réactifs	72

4-2-3-3- Mode opératoire	72
4-2-3-4- Expression des résultats	72
II. Résultats et interprétations	72
1- Résultats	73
2- Etude comparative des sources d'eau	73
3- Interprétation	74
3-1- Les paramètres physiques	74
3-1-1- Le pH	74
3-1-2- La conductivité électrique	74
3-1-3- La minéralisation globale	75
3-1-4- La température	75
3-2- Les paramètres chimiques	75
3-2-1- Les cations	75
3-2-1-1- Ca^{2+}	75
3-2-1-2- K^{+}	76
3-2-1-3- Na^{2+}	77
3-2-1-4- Mg^{2+}	77
3-2-2- Les anions	78
3-2-2-1- HCO_3^-	78
3-2-2-2- Cl^-	78
3-2-2-3- SO_4^-	79
4- Les diagrammes et les faciès chimiques	79
4-1- Le diagramme de Piper	79
4-2- Le diagramme de Schoeller-Berkaloff	80
4-3- Détermination des principaux faciès chimiques	81
Conclusions générale	83
Références bibliographiques	84

Introduction
générale

Introduction

L'eau est l'un des éléments essentiels du développement durable à cause de son importance dans la vie et sans cet élément la vie serait impossible car est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique, depuis l'aube de l'humanité.

La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est-à-dire de ressources et de pollution. La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Les eaux de surface occupent la plus grande partie du globe terrestre. Environ 98% de ces eaux sont des eaux marines. Les 2% restant constituent les eaux continentales représentées par les rivières, les lacs, les étangs à cause de leurs utilisations multiples, ces eaux continentales sont d'une très grande importance pour les activités humaines : pour les activités domestiques comme la consommation et les loisirs, pour les activités agricoles et halieutiques et pour les activités industrielles (**Gleick, 1993 et Costanza et al. 1997**).

La pollution de cette ressource représente un problème majeur. En effet les ressources en eau contiennent souvent des excès de nitrates, de phosphore, de matières organiques, d'hydrocarbures, de produits phytosanitaires et de métaux lourds qui doivent être mieux contrôlés car ils peuvent avoir des conséquences néfastes sur la qualité de vie des milieux aquatiques. Elles contiennent aussi des charges microbiennes élevées qui peuvent être pathogènes engendrant des problèmes graves pour l'environnement et par la santé publique (**Gérard, 1999**).

L'homme a besoin de 25 à 50g d'eau par kilogramme de son poids pour vivre dans les conditions normales, c'est à dire pour un adulte de 2 à 3 litres par jour.

L'eau entre pour 60 à 90% en poids dans la constitution des animaux et végétaux. Généralement on ne peut survivre pendant plus de 2 jours sans eau ; on peut perdre 40% de son poids corporel, tout le glycogène, toute la graisse, la moitié de ses protéines et survivre encore. Mais la perte de 10% d'eau corporelle entraîne de graves conséquences surtout chez les nourrissons et les enfants. La perte de 20% entraîne la mort.

Intoduction Générale

Selon l’OMS, 30.000 personnes par jour environ, approximativement 10 millions par an, meurent en raison de l’insuffisance ou de la mauvaise qualité de l’approvisionnement en eau et de conditions d’hygiène déplorables [O.M.S Surveillance de la qualité de l’eau de boisson, Genève 1977].

Cependant avec l’accroissement démographique et le développement socioéconomique, il est certain que les besoins en eau et les exigences de qualité ne cesseront de croître. Aujourd’hui, le contrôle et l’amélioration de la qualité de l’eau sont une préoccupation permanente pour la protection de l’environnement et la santé des consommateurs.

De ce fait l’eau potable doit être nécessairement analysée, surveillée et l’évaluation de sa qualité repose sur les paramètres physico-chimiques.

Cette étude permettra d’évaluer les variations saisonnières de certains paramètres physico-chimiques pouvant influencer la qualité de l’eau de sources. Pour cela nous effectuerons de façon permanente certaines analyses pour s’assurer que l’eau distribuée répond aux normes OMS.

L’étude de paramètres physico-chimiques est plus importante pour la dynamique des milieux aquatiques, les facteurs physico-chimiques d’eau et les agents atmosphériques et la possibilité d’eau pour la solubilité des quantités d O₂et CO₂ donne des conditions très favorables pour la croissance des êtres vivants dans le milieu aquatique telle que le phytoplancton. (Salhi, 2006)

Le programme d’action pour la réalisation de ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quel est l’état actuel de la qualité chimique des eaux de surface ?
- Est-ce que la qualité physico-chimique des trois sources est identique avec les normes modérées par l’OMS ou non ?
- Quel est le faciès chimique des trois sources d’eau ?

Pour réaliser cette étude, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- ✓ Un aperçu géographique et administratif sur la région d’Ain Mimoun
- ✓ Une étude du cadre géologique consistera à définir les formations géologiques de la zone d’étude
- ✓ L’étude climatologique de la commune de Ain Mimoun
- ✓ Généralité sur les eaux de surface
- ✓ Généralité sur la pollution des eaux

Intoduction Générale

- ✓ L'étude hydro chimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des sources d'eaux.

Notre travail est structuré en deux parties sous forme de cinq chapitres :

Introduction générale

La première partie : Représentation générale sur la zone d'étude ; contienne trois chapitres :

Le Chapitre 01 : Situation géographique et administrative de la zone d'étude

Le chapitre 02 : Etude géologique sur la région de Ain Mimoun

Le chapitre 03 : Etude climatologique sur la zone d'étude

La deuxième partie : Etude comparative des trois sources ; contienne deux chapitres :

Le chapitre 01 : Généralité sur les eaux de surfaces

Le chapitre 02 : Analyses et interprétation

La Conclusion générale : une synthèse récapitulative de l'essentiel des résultats capitalisés à l'issue de cette étude ainsi quelques perspectives et suggestions.

Les références bibliographiques

*Partie
théorique*

Chapitre I:

*Présentation de
la zone d'étude*

Introduction

De par sa position géographique, la wilaya de Khenchela fait partie du grand ensemble régional des hauts plateaux Est et se positionne aux portes des grandes villes sud du pays et non loin des villes métropolitaines de l'Algérie. On enregistre une complexité topographique et une diversité biologique très importante.

Grâce aux diversités appréhendées, la wilaya jouit d'une vocation agro-sylvo-pastorale et saharienne édictant quatre zones agricoles : les montagnes, les plateaux, les plaines et les parcours steppiques.

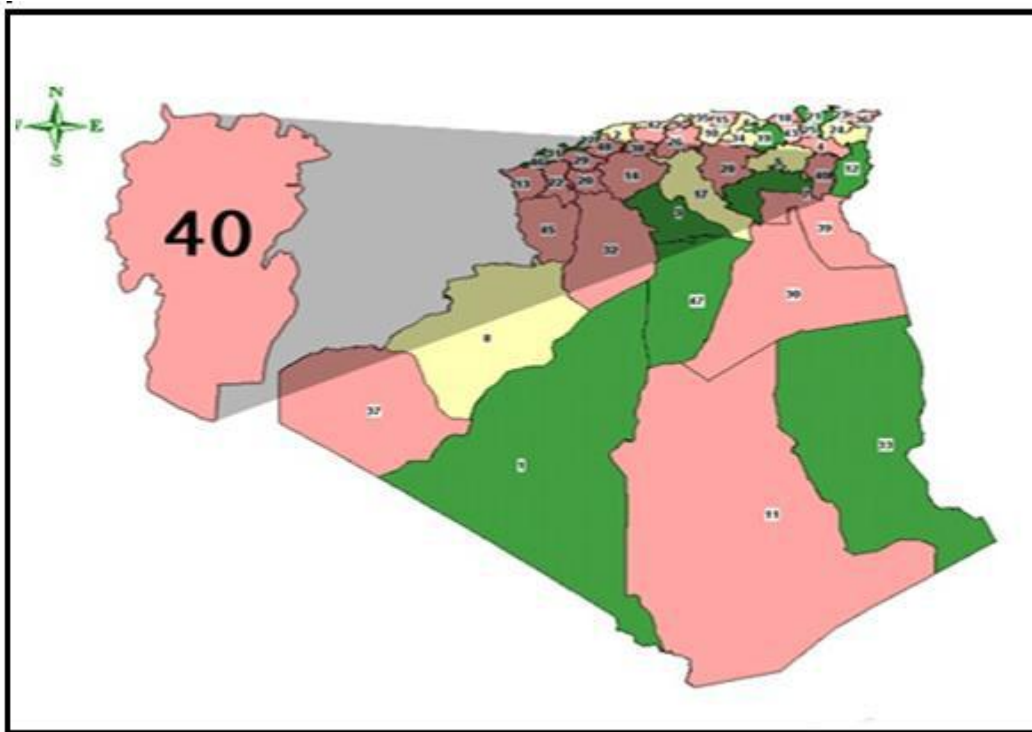


Figure N° 01: Localisation géographique de la Wilaya de Khenchela (D.S.P , 2015).

La région du gisement se trouve dans la partie orientale du massif montagneux des Aurès qui s'étend à la direction Nord-Est les flancs Septentrionaux de l'anticlinal de Khenchela qui se caractérise par un relief montagneux typique, dont le massif est divisé par les vallées profondes transversales, les versants des vallées sont raides, les dénivellations relatives atteignent souvent 500 - 700 m, le gisement est représenté par un faisceau des filons affleurant à la surface avec un fort pendage (30° - 90°) et avec une puissance de 0,5 - 3 m.

1- Cadre administratif et géographique

Le massif des Ouled Yagoub, d'une superficie de 22000 ha, constitue une réserve forestière importante dans le massif des Aurès. L'unité d'exploitation des gisements de baryte est située au sein de la région dénommée Ain Mimoun, qui se trouve dans la commune de Tamza, wilaya de Khenchela (C E, 2016). Située à 25 km au Sud Ouest du chef lieu de la wilaya en empruntant la route nationale n°88 reliant Khenchela à Batna. (Figure N° 02) Elle est localisée entre les coordonnées suivantes :

- Latitude : 39° 23' 55'' à 39° 30' 45'' Nord
- Longitude : 5° 11' 85'' à 5° 20' 25'' Est

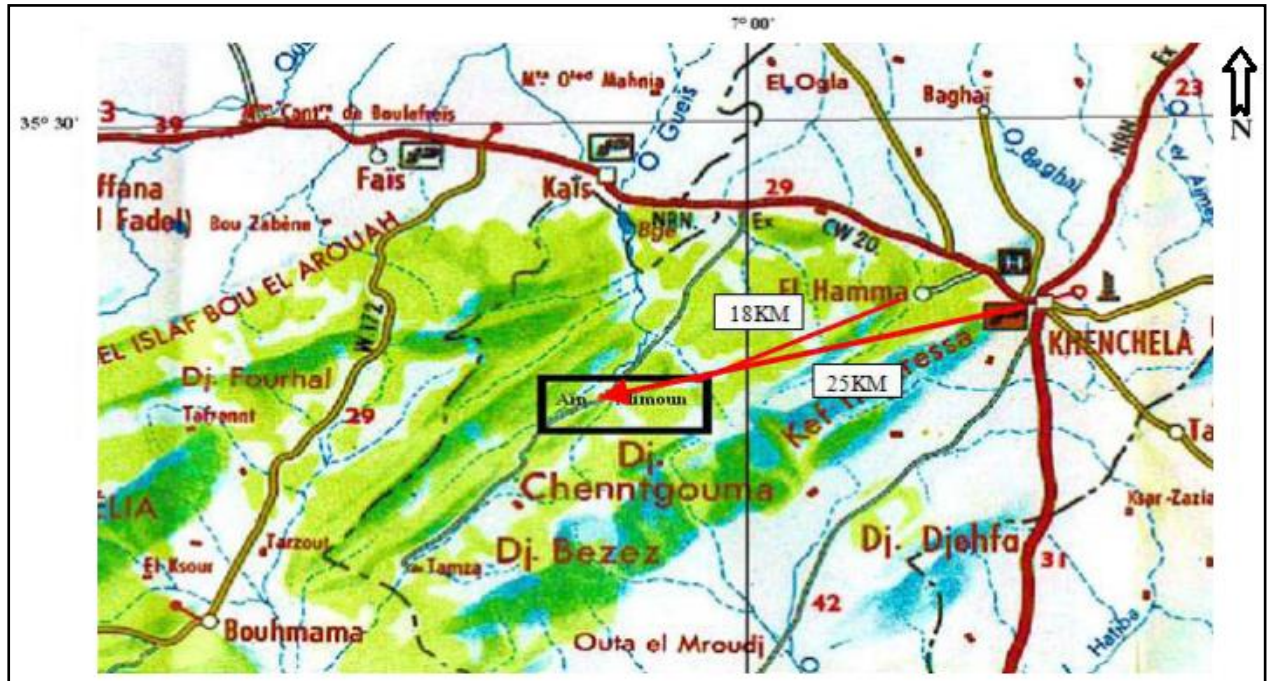


Figure N° 02 : Localisation géographique du gisement d'Ain-Mimoun (SOMIBAR, 2015)

Le massif d'Ouled-Yagoub est subdivisée en 15 séries. Notre étude s'est déroulée dans la série qui se trouve dans le territoire de :

- La Commune de Ain Mimoun
- Daira d'El Hamma
- Wilaya de Khenchela

Elle dépend de :

- La Conservation des forêts de Khenchela
- La circonscription d'El Hamma
- District Ain Mimoun

Quatre communes se partagent la forêt domaniale. (**Figure N° 03**) Khenchela. El Hamma. Tamza et Ensigna

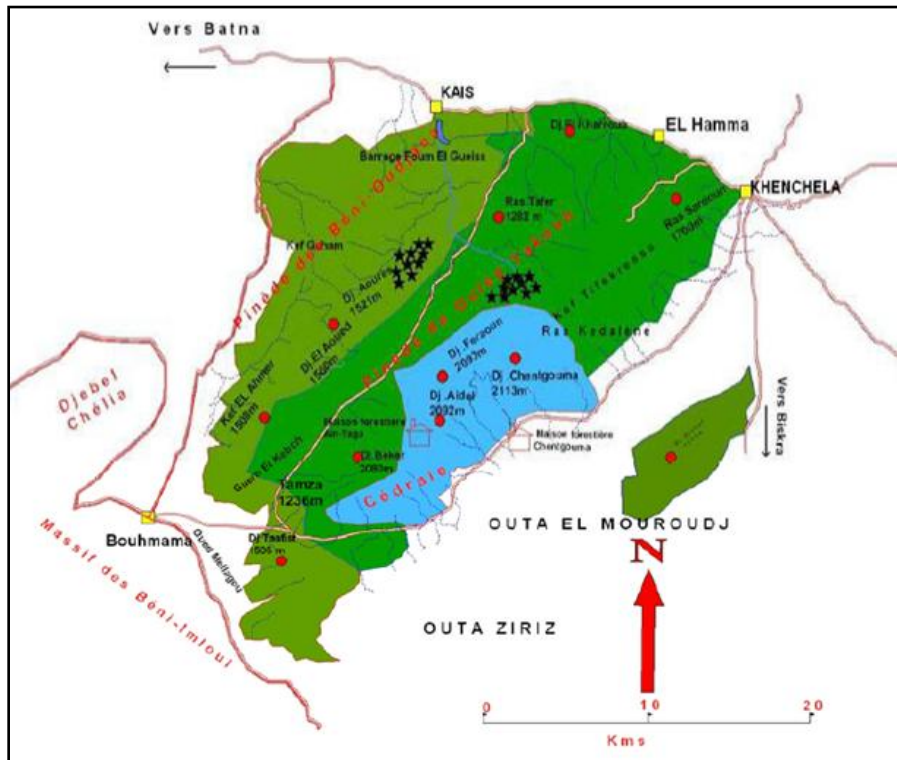


Figure N° 03 : Carte de situation de massif d'Ouled Yagoub (C.E 2015)

Géographiquement elle est limitée :

- A l'est, par le cedre de l'atlas qui occupe le premier pli et dont les sommets les plus importants s'élèvent à plus de 2000 m d'altitudes et aussi par les monts Chentgouma (2113 m), Aidel (2192 m) et Feraoun (2093 m) .
- Au nord, par la route nationale Batna – Khenchela.
- A l'ouest, la pinède s'étend vers la vallée de Oued Mellagou et la route reliant Kais – Bouhmama.
- Au sud, la zone est délimitée par la plaine de Mellagou qui prolonge la pinède de Beni Imloul.

L'échantillonnage a été réalisé dans un cours d'eau appelé Oued HANOU, le oued est alimenté par une source d'eau potable, situé dans la région de Ain Mimoun à 28 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Khenchela, nous avons choisi 03 points de prélèvement à différentes distances. (**Figure N° 04**)

Tableau N° 01 : Coordonnées géographiques de localisation des sources d'eaux de la region de Ain Mimoun (google maps 2021)

Source d'eau	Coordonnées Géographiques		
	Lat	Long	Altitude (m)
Source 1	35° 27' 12''	06° 54' 39''	1399
Source 2	35° 29' 43''	07° 02' 10''	1190
Source 3	35° 22' 08''	06° 52' 54''	1180

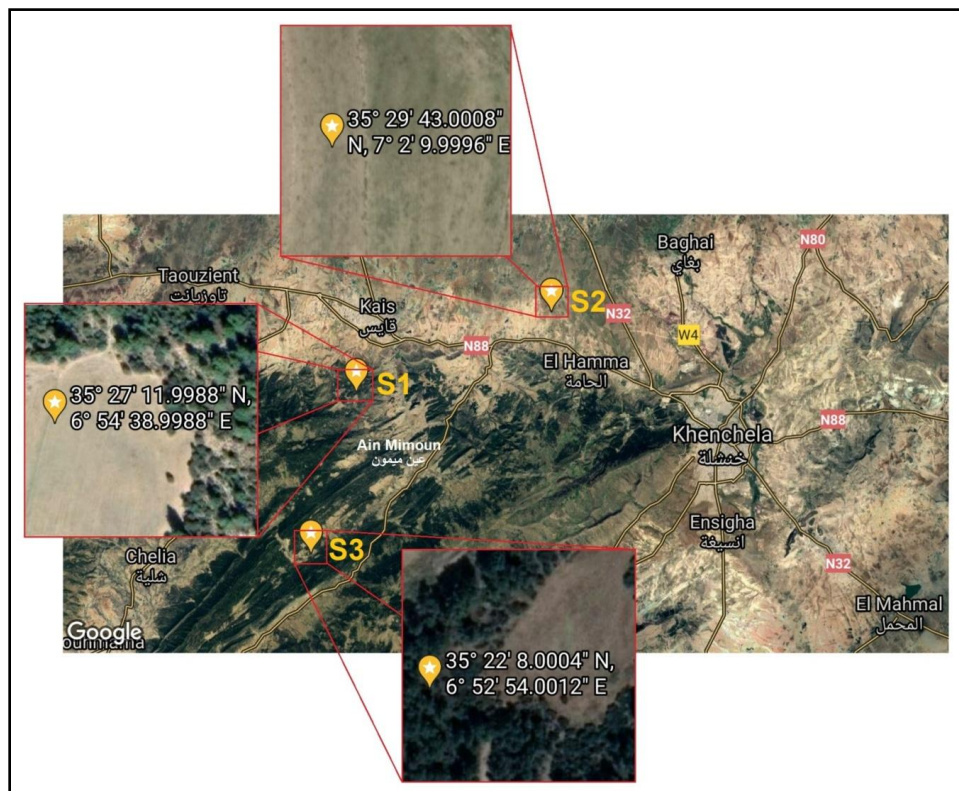


Figure N° 04 : localisation géographique de notre travail (Google Maps, 2021)

2- Cadre socio-économique

La forêt domaniale des Ouled-Yagoub selon le B.N.E.F (1984) est très morcelée par de multitudes enclaves agricoles dans lesquelles vit une population en habitats dispersés. La grande enclave qui s'étire le long de l'Oued Tamza, au pied du djebel Aidel et du djebel Bezéz au sud-est, à la périphérie sur le piémont du djebel Chentgouma.

La pression de la population riveraine sur la forêt est très forte en ce qui concerne les besoins en bois de chauffage, bois de construction et en aliments du cheptel. La population totale qui s'élève à 12161 riverains vit essentiellement de l'élevage caprin, d'une céréaliculture vivrière, de la culture de fruits et légumes qui proviennent des petits jardins potagers, et des coupes illicites de bois.

3- Relief

Selon le B.N.E.F (1984) le relief de Ain Memoun est constitué par une chaîne montagneuse massive et homogène qui s'élève au-dessus de la plaine de Remila. Cette chaîne est formée de plis parallèles orientés Sud-Ouest, Nord-Est avec deux expositions dominantes, un versant Sud-Est et un versant Nord-Ouest. Les principaux monts sont : Dj. Bezez avec une altitude de 2141 m , Dj. Beker 2080 m . Dj. Feraoun 2093 m. Dj. Aidel 2090 m. Ras-Serdoum 1700 m.

Le relief est généralement constitué par des vallées très encaissées et très accidentées , avec de fortes pentes et des bandes rocheuses qui forment parfois de véritables falaises (**B.N.E.F , 1984**)

Tableau N° 02 : Les principaux monts dominant dans la zone d'étude (**B.N.E.F , 1984**)

Dj. Bezez	2141 m
Dj. Aidel	2092 m
Dj. Feraoun	2093 m
Dj. Chentgouma	2112 m
Dj. Serdoum	1700 m
Dj. Taafsit	1505 m
Dj. Tisi Ala	1282 m
Dj. El Aoud	1500 m
Dj. Aoures	1521 m
Kef Tifekressa	1950 m

Le relief de la wilaya de Khenchela, est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques. (Figure N° 05)

3-1- Les montagnes

On les rencontre essentiellement dans la zone Ouest de la wilaya(les Aurès); dans la zone centrale (les monts des Nememchas) et au Nord - Est (Ain Touilla).

3-2- Les plateaux

Ils sont situés au Nord-Est (plateau d'OuledRechache) et s'étendent sur les communes de Mahmal et d'Ouled Rechache.

3-3- Les plaines

Situées au Nord et Nord -Ouest de la wilaya, elles comprennent Remila,Bouhmama et M'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

3-4- Les parcours steppiques et les dépressions

Ils sont situés dans la partie méridionale de la wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence des chotts. Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des oueds drainant le Sud de la wilaya.

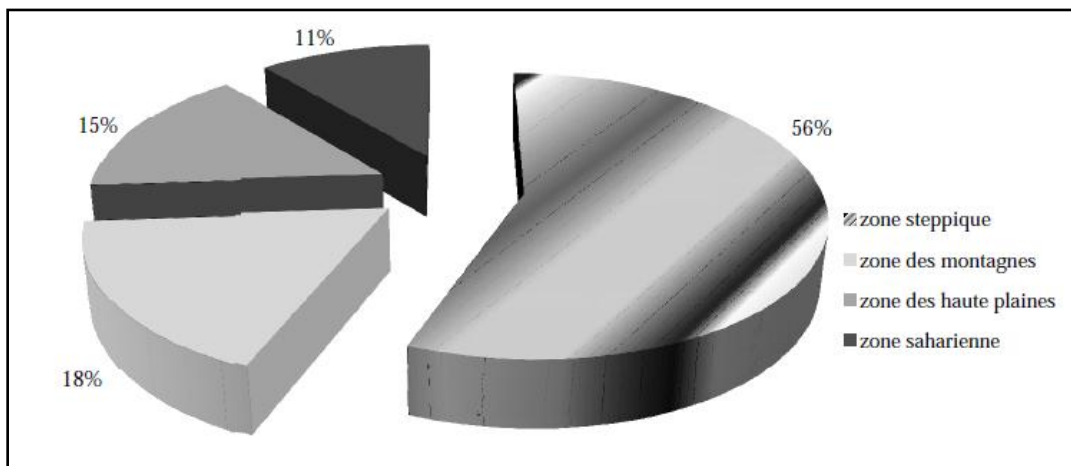


Figure N° 05 : Représentation graphique des grands ensembles de relief de la wilaya (DPAT, 2012)

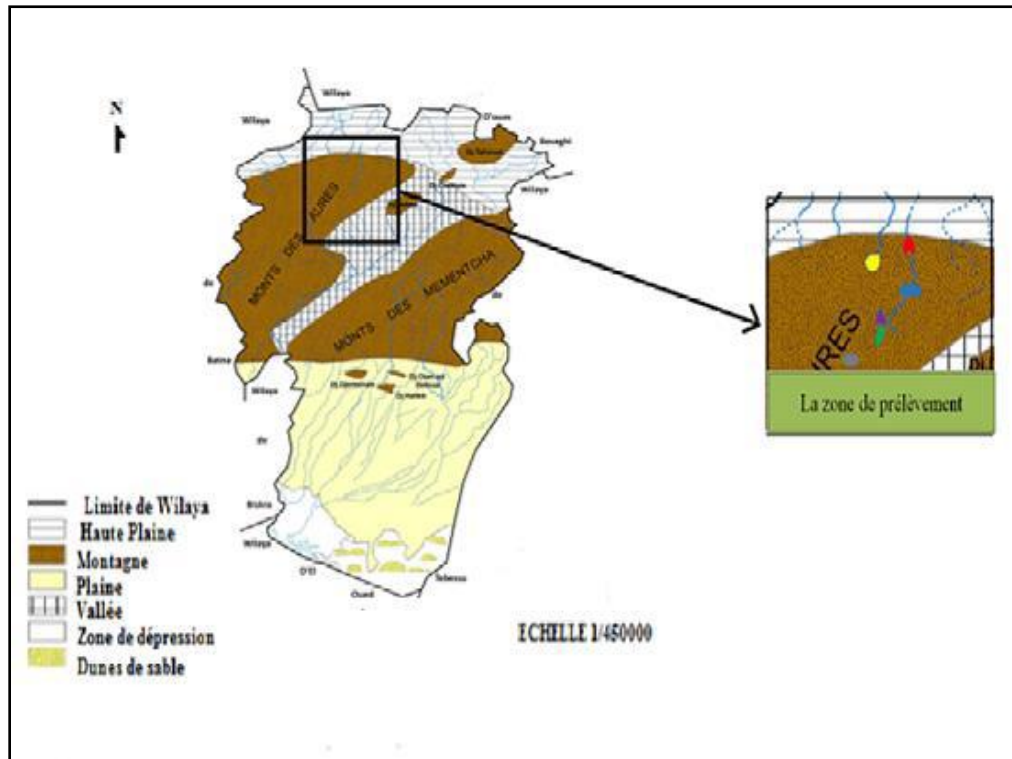


Figure N° 06 : Carte de relief de la wilaya de Khenchela (D.E, 2015).

4- la végétation

La Wilaya de Khenchela dispose d'un important couvert végétal, regroupant plusieurs associations végétales naturelles et représentant l'une des plus belles forêts d'Algérie. Elles sont classées en forêts de production et de protection, réparties sur trois principaux massifs à savoir : Les Beni-Imloul, les Beni-Oudjana et les Ouled- Yagoub. Associé aux reboisements du Barrage Vert, le couvert forestier de la Wilaya occupe une superficie de 128.898 ha, ce qui se traduit par un taux de recouvrement de 30% légèrement supérieur à la moyenne nationale qui est de 10%.

Tableau N° 03 : Occupation du sol dans la cédraie des Ouled Yagoub (B.N.E.F, 1983)

Vocation	Surface en hectares				
	Cédrails	Pinède	Chêne vert	Parcours	Totaux
Production	2045.7	1009.43	1959.58	1276.9	6291.65
Protection	1060.08	-	516.1	276.9	1853.08
Improductive	134.3	-	492.66	520.23	1147.19
Total	3240.12	1009.4	2968.34	2074.03	9291.92

La zone d'étude renferme par ordre d'importance des différents types d'espèce tableau 7 :

Dans le massif de Ouled Yagoub on trouve cinq (5) types de peuplements principaux (**B.N.E.F , 1984**) l'altitude de la manière suivante :

- Les pelouses de haute montagne (1800 à 2000 m).
- La cédraie pure de haute montagne (1800 à 2000 m).
- La cédraie à chene vert (1600 à 1800 m).
- Le chaine vert (1500 à 1600 m).
- La pinède à chene vert (1200 à 1500 m). Avec un cortège floristique qui suit le cèdre et le chêne vert.
- Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*)
- Le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*)
- Le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*)
- Le frêne (*Fraxinus xanthoxyloides*)
- L'if (*Taxus baccata*)
- Le diss (*Ampélodesma mauritanica*)
- L'érable de Montpellier (*Acer monspessulanu*)

Les essences principales qui y dominant sont : le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica M*), le chêne vert (*Quercus ilex*); le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicia*) (**B.N.E.F., 2004**). Il y a aussi des essences secondaires qu'on rencontre en mélange avec le cèdre ou le chêne vert telles que : L'if (*Taxus baccatt*) ; le sorbier (*Sorbus aria*) ; L'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*) ; le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*) ; le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) (**B.N.E.F, 1984-2004**).

5- L'agriculture

L'agriculture constitue l'activité économique dominante de la wilaya de Khenchela. Sa vocation, principalement agro-sylvo-pastorale, résulte de la spécificité de son milieu physique, formé d'ensembles naturels d'une grande diversité. Le potentiel de développement dans ce secteur se situe dans :

- * L'élevage ovin et bovin
- * Les petits élevages
- * L'aliment de bétail

* L'arboriculture

* Les pépinières agricoles.

L'arboriculture est implantée surtout dans des vallées de la région d'étude. A une distance de plus de 08 Km de l'unité de baryte, des surfaces sont occupées par des céréales et des cultures maraichères.



Figure N° 07 : Vue général du taillis dans le massif Ouled Yagoub (google images)



Figure N° 08 : la végétation entoures de l'oued Ain Mimoun (google images)

6- La faune

La zone d'étude est beaucoup plus caractérisée par des espèces qui sont: le sanglier , l'hyène rayée , le chacal , le chat sauvage, le porc epic. Les oiseaux forestier on y trouve : le pinson des arbres, la tourterelle des bois , le faucon crécerelle , la rubiette de moussier , les engoulevent à collier roux , la chainette hulotte , chardonneret élégant , mésange bleue , Œdicnème grand , pie grièche grise (C.F 2021) . Mais Il n'existe pas d'abondance relative aux poissons dans des Oueds qui reçoivent périodiquement leurs eaux en provenance de la fonte des neiges des versants où se trouve le site d'exploitation minière (EIE 2013).



Figure N° 09 : Certains espèces sauvages dispersés dans la foret de Ain Mimoun (D.F 2021)



Figure N° 10 : Certains espèces d'oiseaux dispersés dans la foret de Ain Mimoun (D.F 2021)

7-1- Le régime des eaux

A l'intérieur de la zone d'étude les points d'eau permanents sont rares, ce qui s'explique par la nature de terrains très perméables formés par les calcaires et les marnes-calcaires. Les seules sources qui coulent en période estivale sont situées au fond des Oueds Tamza, Issouel, Khefadj, Mellagou, Azreg, où la présence de terrain argileux permet la formation de nappes phréatiques.

La wilaya est drainée par deux principaux drainages :

L'un se dirigeant vers le nord pour se déverser généralement dans la dépression du Garraet El Tarf ; ce réseaux n'est pas important et influe faiblement dans la vie économique de la région. et l'autre qui est le plus important se dirigeant vers le sud pour se déverser dans le Chott Melghir est composé par trois bassins essentiels :

- Bassin d'Oued El-Ma.
- Bassin d'Oued El-Arab.
- Bassin d'Oued Beni Barbé (**Bouballi, 2009**) (**Figure N° 10**).

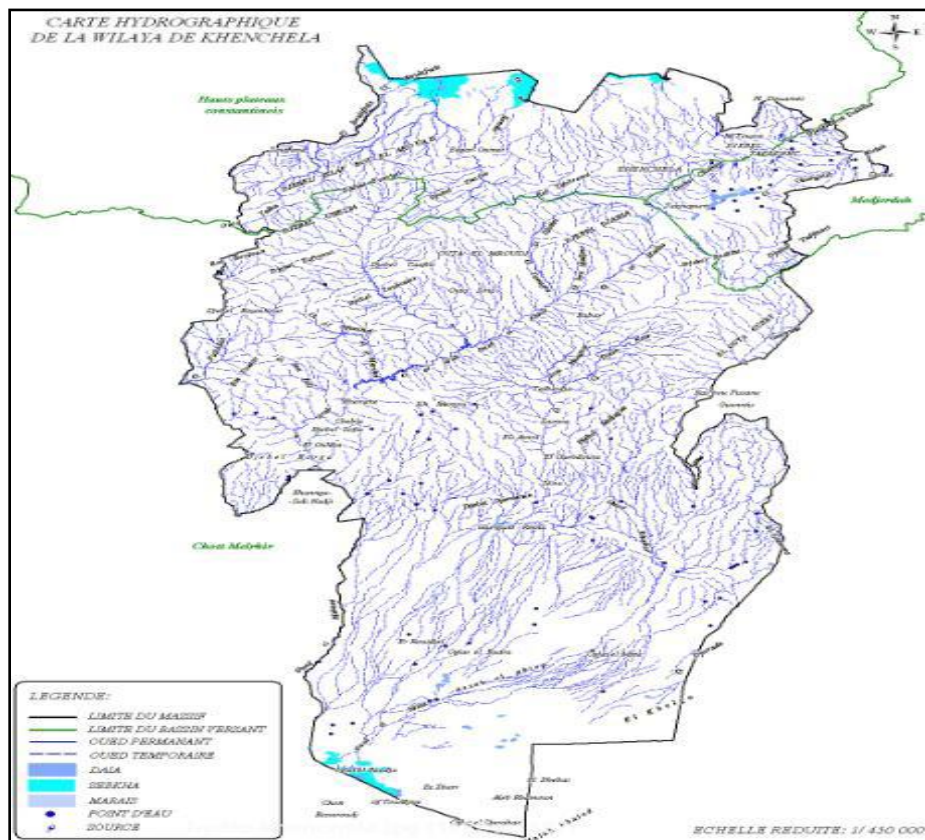


Figure N° 12 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya (**DHW, 2012**) (modifiée)

A partir de la carte hydrographique, le réseau hydrographique est arèique ou endoréique pour l'ensemble du massif dont les principales sources d'eau sont :

Oued el ansel.

Oued Zarif

Oued Tamza

Point d'eau: Ain Frengal

Point d'eau: Ain Guiguel

Malheureusement ces points d'eau n'ont que peu d'importance à cause du manque de bonnes retenues d'eau

Dans la zone de ouled yagoub il existe plusieurs sources d'eau comme : ain Djemri, Ain Ansel, Ain Taga, Ain Mizab, Ain Bahir, Ain Chentgouma, Ain Guiguel. Il est noter la presence de quelques bassins.

Les points d'eau permanents sont rares ce qui explique par la nature de terrains très perméables, les seul sources qui coulent en période estival sont situées au fond des Oued Tamza, Issouel, Khedadj, Mellagou, Azreg, ou la presence de terrain argileux permet la formation de nappe phréatique.

Al 'entrée du massif au nord entre le Dj. Tirkabine et le Kef Chachoua à 1 km de la ville de kais, se dresse lz barrage de retenue de Foum El Guess dont les eaux servent à irriguer les terres agricoles de la plaine de Kais.

Ce type d'ouvrage, mais en plus modeste comme les lacs collinaires est à entreprendre dans la region ou de nombreux sites s'y pretent. Une source thermale chaude, constituant les bains romains, existe à l'entrée de Khenchela au pird de Ras Serdoun.

Chapitre III:

*La géologie de
la zone d'étude*

Introduction

La géologie est une discipline de base servant à définir des formations susceptibles d'être aquifère. La base principale de toute étude hydrogéologique est La géologie, elle détermine les formations susceptibles ou non de former des aquifères à partir de leur lithologie; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

Les informations géologiques sur la région d'étude sont inspirées des travaux et études régionaux et des synthèses 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, sédimentaire et structurales (**Guiraud, 1973**).

Par manque de documents sur la partie sud de Djebel Djahfa, on s'est basé uniquement sur la partie nord de la plaine de Kenchela.

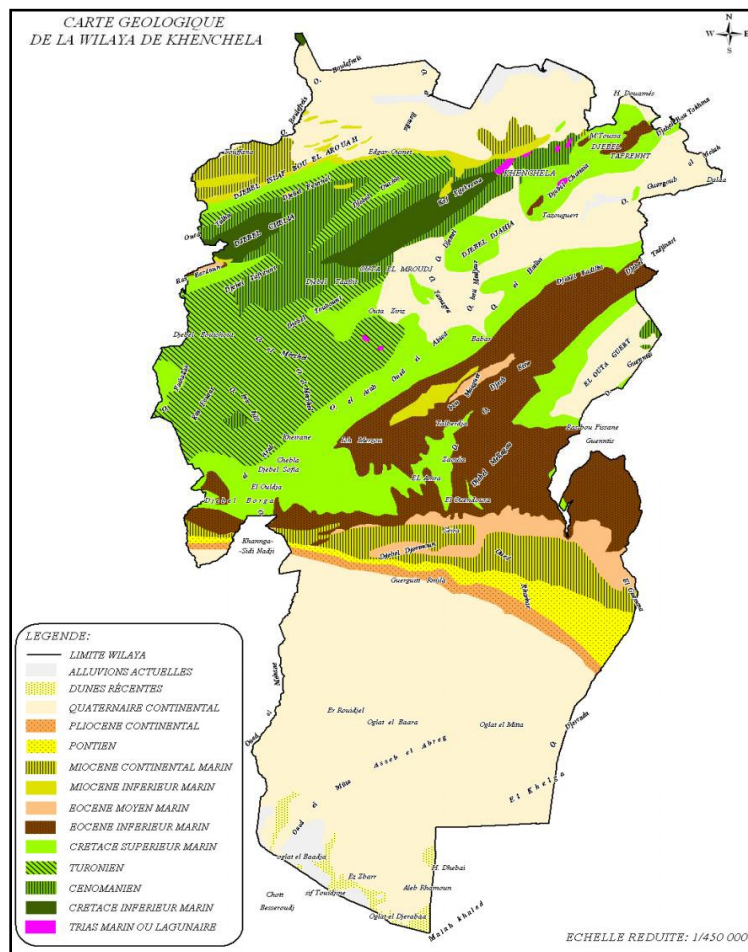


Figure N° 13 : Carte géologique de la Wilaya de Khenchela (Conservation Forêts, 2012)

1- Lithostratigraphie

L'étude lithostratigraphique des différentes formations affleurant dans la région étudiée ont des âges allant du quaternaire au Trias, et l'interprétation des logs stratigraphique des forages ont montré les différentes formations qui pourraient être favorables au développement des sources naturelles.

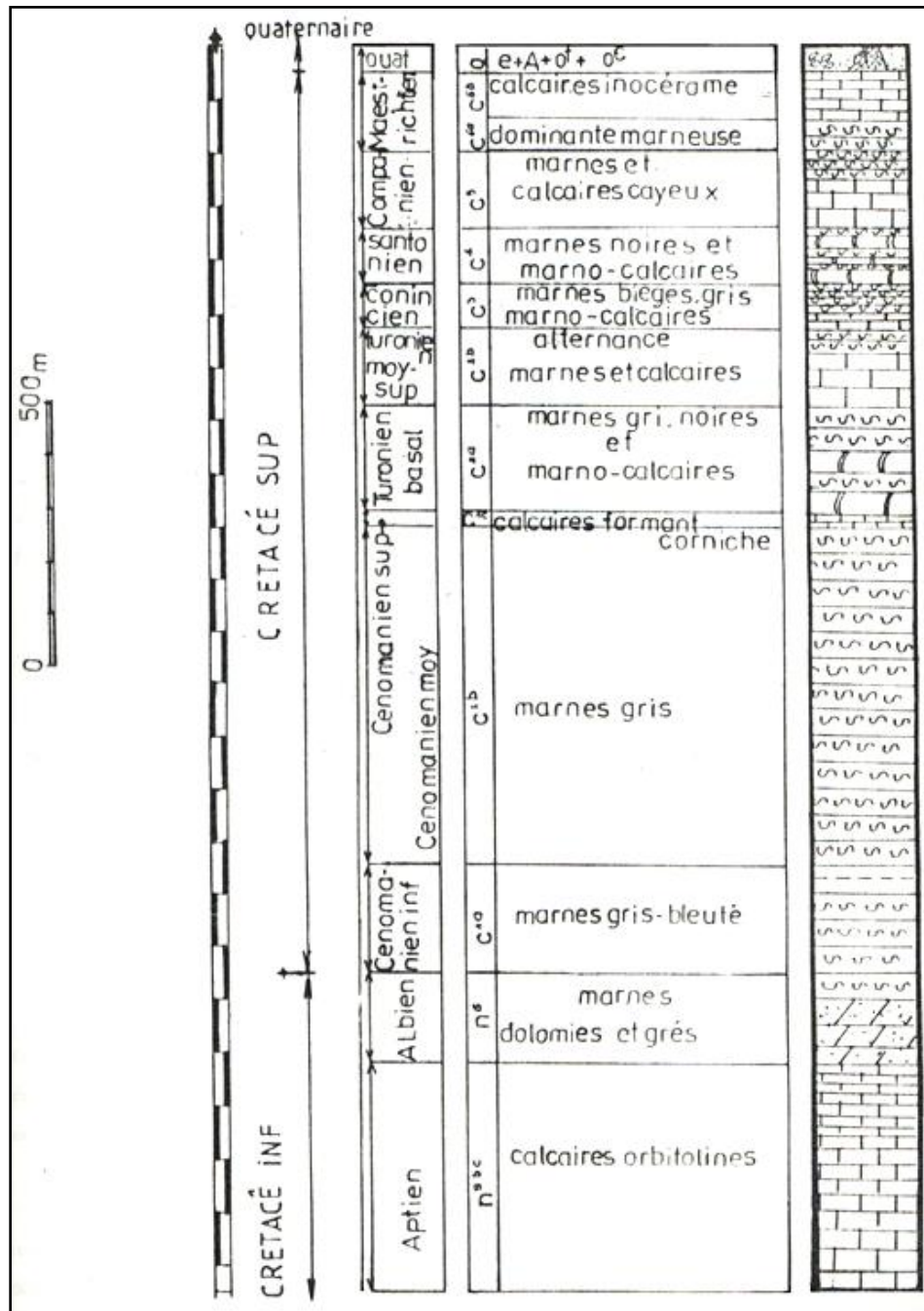


Figure N° 14 : La lithostratigraphie de la zone d'étude (Djelloul et al., 1995).

1-1- Le Quaternaire

Les formations récentes sont aussi largement répandues à la périphérie des Aurès et rares dans le centre du massif ; elles 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 la majeure partie des plaines, ce sont des éboulis à blocs, alluvions récentes ou actuelles, terres arables, alluvions anciennes, glacis polygéniques nappant les reliefs et des croûtes calcaires. Les dépôts du quaternaire sont tous d'origine continentale et occupent d'importantes surfaces dans notre région, principalement dans les plaines et aux pieds des montagnes, il s'agit des :

1-1-1- Les éboulis

Les éboulis s'installent aux pieds des corniches calcaires gréseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis pour la plupart peu actifs, sauf à leur partie supérieure (**Notice Explicative, 1977**).

1-1-2- Les alluvions récente ou actuelle

Ce sont des sables, des graviers et des limons gris avec de gros galets émoussés, calcaires ou gréseux (**Notice Explicative, 1977**).

1-1-3- Les glacis polygéniques nappant les reliefs

Ces glacis recouvrent de très vastes surfaces, et leur organisation est de pente douce et tout à fait caractéristique. Ils ravinement le cycle antérieur du glacis. Facile à reconnaître. Il est également caractérisé par des croutes massives. C'est un nappage complexe à débris bien calibrés, par fois en croûtes (**Notice Explicative, 1977**).

1-1-4- Villafranchien

C'est une formation perchée par rapport aux surfaces précédentes, elle est très facile à repérer. L'aspect le plus fréquemment reconnaissable est celui de la croûte massive qui est développée au dessus d'horizons tuffacés surmontant eux même niveaux à poupees calcaires (**Notice Explicative, 1977**).

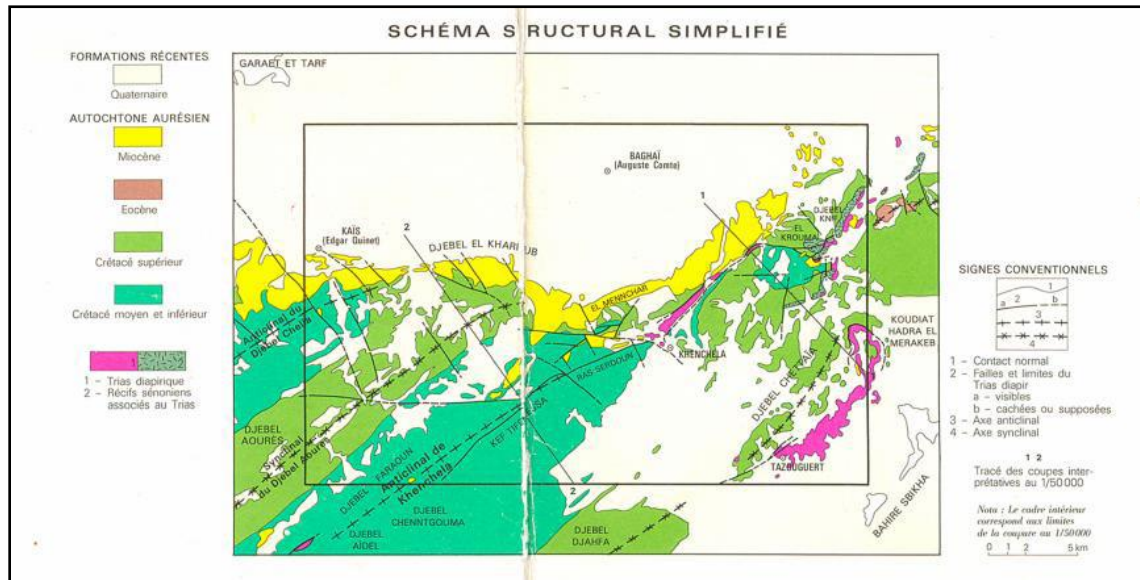


Figure N° 15 : schéma structural de la carte géologique de Khenchela (DHK, 2012 Modifiée)

1-2- Le Miocène

Cette formation est complètement recouverte par des quaternaires, elle est discordante sur le Cénoomanien. Il s'agit des argiles rouges et de poudingues à gros éléments arrondies et de marne noire ; marne bleue, l'épaisseur a été obtenue à partir des données géophysique et du forage, son épaisseur est d'environ 150 m (Djelloul et al., 1995).

1-2-1- Le Tortonien supérieur

Cette série argilo-silteuse repose probablement en concordance sur le Tortonien gréseux. 150 m au maximum sont ici visibles. Ces terrains contiennent des niveaux gréseux friables, ferrugineux, à bios flottés et rares dragées de quartz (diamètre de 0,5 cm environ) et sont corrélés avec le Tortonien supérieur continental plus occidental (Notice Explicative, 1977).

1-2-2- Le Tortonien gréseux blanc

Cette formation est discordante et peut reposer directement sur des termes allant du Sénonien à l'Albien (secteur du Djebel El Krouma). Elle est composée de grès blancs grossiers en bancs plurimétrique, à abondantes dragées de Quartz (diamètre allant jusqu'à 2 cm). La disposition en henaux hectométriques est fréquente. De rares intercalations argileuses existent (Notice Explicative, 1977).

1-2-3- Le Langhien-serravalien

Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud du Djebel Knif et à l'Est du Djebel Chettaia ou il repose directement en transgressio sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifekressa et du Ras Serdoun. Cet ensemble est caractérisé essentiellement par les marnes, biomicrites, biomicrosparites et grès blanc (**Notice Explicative, 1977**).

1-2-4- L'Aquitano-Burdigalien

Il s'agit d'argiles rouges, d'argiles silteuses rouges et de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires, de quartziteux à ciment ferrugineux (conglomérats rouges) (**Notice Explicative, 1977**).

1-3- Le Crétacé

Le Crétacé a été subdivisé par Laffite (1939) en Crétacé inférieur ou série gréseuse (du Berriasien à l'Albien) et en Crétacé supérieur ou série marno-calcaires (du Cénomaniens au Maestrichtien).

Les formations crétacées présentent une masse énorme de, de marno-calcaire et de marne qui s'allonge depuis les plis de Khenchela, suivant la direction NE-SW.

1-3-1- Le Crétacé supérieur

Il occupe une grande superficie à l'affleurement dans les Aurès et forme l'essentiel des affleurements Mésozoïques dans les confins des Aurès.

a. Le Maestrichtien

Le Maestrichtien est assez différent ; il est subdivisé en:

a.1. Le Maestrichtien supérieur

C'est une assise constante et homogène de calcaires massifs blanchâtre grumeleux en banc décimétriques ou métrique à large stratification oblique. Les couches de base en banc décimétriques contiennent des nodules de silex, l'épaisseur de ces formations ne dépasse pas 95 m (**Notice Explicative, 1977**).

a.2. Le Maestrichtien inferieur

Il est constitué par une quarantaine de mètres, avec alternance de marnes gris beige à débris de mollusques et calcaires au dessus du développement de 150 m de marne noires à micro forme (**Notice Explicative, 1977**).

b. Le Campanien

Le Campanien comporte à sa base une barre de calcaires crayeux de 65 m en bancs décimétriques ou métriques à fine épaisseur de grès noir, bien visible dans cette région (**Notice Explicative, 1977**).

c. Le Santonien

Le Santonien ne montre plus que 100 m de marne noires, avec à la base un banc marno-calcaire crayeux d'épaisseur 0,5 m (**Notice Explicative, 1977**).

d. Le Coniacien

Cette série présente des alternances de marne beiges ou gris et de calcaires gris, bio détritiques et grumeleux (**Notice Explicative, 1977**).

e. Le Turonien**e.1. Le Turonien moyen et supérieur**

Ce sont des alternances de marnes gris beiges et calcaires zoogènes noduleux en barres décimétriques ou métriques, leur épaisseur est d'environ 150 m (**Notice Explicative, 1977**).

e.2. Le Turonien basal

La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaires blanchâtre en plaquettes fines à cassures noirâtre bitumineuses. Au dessus de 200 m de marnes gris ou noires montrant des intercalations de marno-calcaires zoogène ou des marno-calcaires blanchâtres à cassures noirâtres en bancs décimétriques (**Notice Explicative, 1977**).

f. Le Cénomanién

Le Cénomanién composé par une série de marnes grises dans lesquelles s'intercalent des calcaires fins argileux, une partie médiane formée de marnes grises, vertes ou ocre, contenant parfois du gypse diffus ainsi que des passées argileuses. Une série terminale constituée de marnes et de calcaires formant une corniche dont la proportion augmente vers le sommet. Le Cénomanién est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès (figure 4). Il est essentiellement marno-calcaires. 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 mètres au coeur de l'Aurès (Vila, 1980).

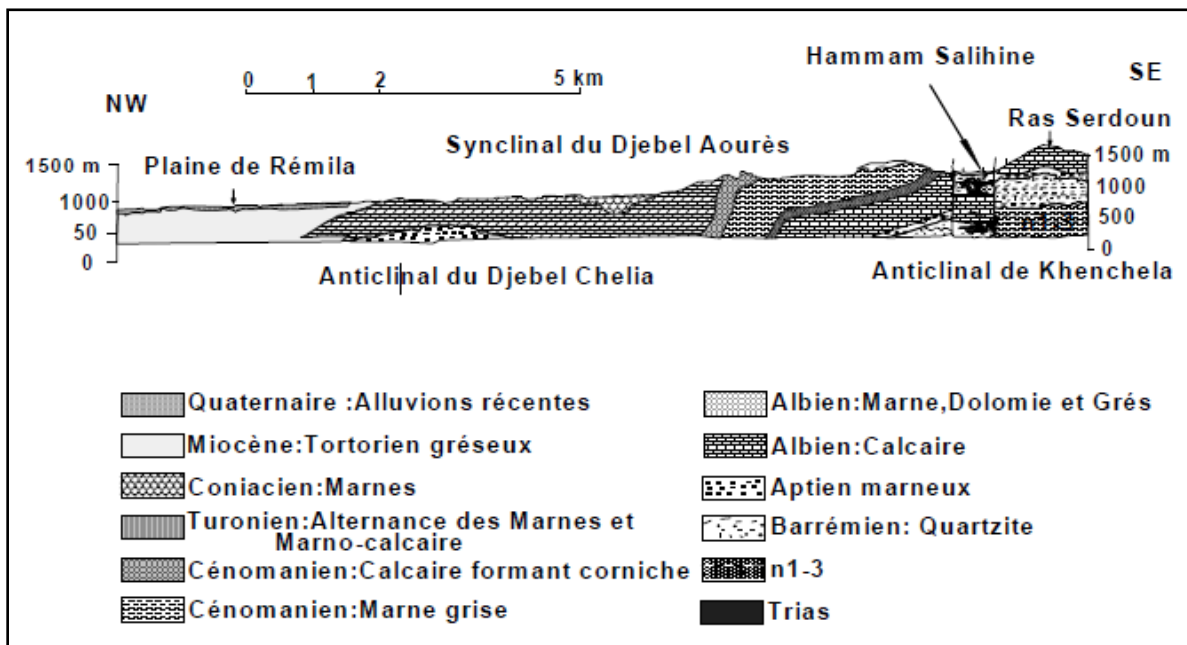


Figure N° 16 : coup interprétative de Ras Serdoun et de Djebel Aurès (Vila, 1980)

f.1. Le Cénomanién supérieur

Il s'agit d'une barre d'épais bancs calcaires à pâte fine et à cassure écailleuse, à aspect bitumineux et à films centimétriques de marnes gris bleue. Au sommet, un niveau de nodules pyriteux y constitue un repère constant dans la région, cette barre atteint 30 m d'épaisseur (Notice Explicative, 1977).

f.2. Le Cénomaniens moyen

C'est une puissante formation qui débute par 650 m de marnes grises accompagnée sporadiquement de micrites gris blanchâtres. à fins tests de Lamellibranches et de Gastéropodes, Au dessus 120 m de marnes gris bleuté contiennent des biomicrites argileuses gris blanchâtre en bancs décimétriques (**Notice Explicative, 1977**).

f.3. Le Cénomaniens inférieur

Sur le flanc Nord-est de l'anticlinal de Khenchela, au dessus des derniers grès quartziteux du toit de l'Albien, on observe une centaine de mètres de marnes gris-bleuté accompagnées argileuses grises décimétrique parfois noduleuses (**Notice Explicative, 1977**).

1-3-2- Le Crétacé inférieur

Il couvre une grande partie des Anticlinaux du Djebel Chelia, Anticlinal de Khenchela, il affleure aussi au Kef Tifekressa, Ras Serdoun, Djebel Chenntgouma, Djebel Faraoun et Djebel Aidel.

a. L'Albien

Dans l'albien de bas en haut se succèdent :

- 70 m d'alternance de grès blancs fins, à ciment carbonaté réduit, parfois à tendance quartizique, en faisceaux décimétriques, et de biointramicrites gris-noir en bancs métriques à toit noduleux. Ces derrières contiennent des Orbitolines roulées interminables, des ostracodes, des fragments de mollusques.
- 60 m d'alternance de marnes gris beige, à biomicrites lumachelliques contenant des Orbitolines, de grès blancs fins.
- 30 m d'argiles gris-verdâtre devenant vite silteuses, accompagnées vers le haut de grès blancs décimétriques parfois quartziteux (**Notice Explicative, 1977**).

b. L'Aptien

Au-dessus des marnes de l'Aptien intérieur se succèdent de en haut :

- 120 m d'oomicrites et d'oosparites gris-noir, en bancs plurimétriques, à intercalation de cacaires marneux gris-blanchâtre.

- 10 m d'alternance de grès blancs friables et d'oosparites grises en bancs décimétriques.
- 50 m d'alternance de biomicrites. Parfois d'oosparites et marnes grisbleuté.
- 5 m de biosparites gréseuses en bancs décimétriques à débris de mollusques.
- 120 m d'alternance de marnes grises et de biomicrudites associées parfois à des oomicrites bioclastiques gris-noir, en bancs décimétriques
- 25 m de biomicrites grises (**Notice Explicative, 1977**).

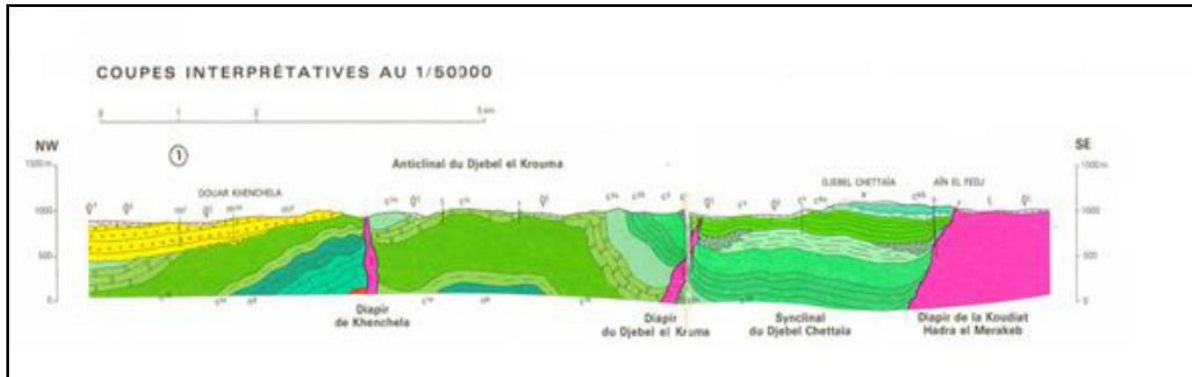


Figure N° 17 : coupe géologique 1 sur la carte géologique de Khenchela (DHK, 2012 Modifiée)

1-4- Le Trias

Le Trias affleure en masse chaotique sans aucune stratification. Dans ces masse, divers éléments ont reconnaissables constitué (cargneules jaunâtre, à dolomies noires et à gypse, gypse fibreux) (**Notice Explicative, 1977**).

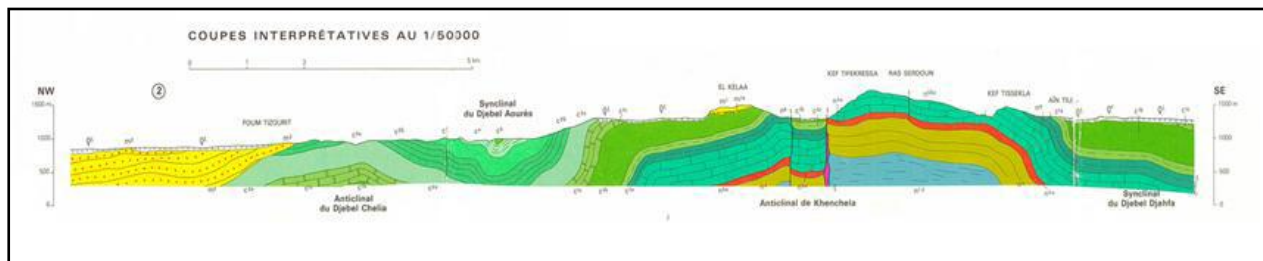


Figure N° 18 : coupe géologique 2 sur la carte géologique de Khenchela (DHK, 2012 Modifiée)

Chapitre III:

L'étude

climatique de la

zone d'étude

Introduction

Le climat est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. L'étude du climat est la climatologie. Elle se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles. La caractérisation du climat est effectuée à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales telles que la température, les précipitations, l'humidité, la vitesse du vent, l'ensoleillement et la pression atmosphérique. Sont également pris en compte leur récurrence ainsi que les phénomènes exceptionnels.

1- La température

Représente un facteur limitant de toute première importance car elle conditionne la répartition de la totalité des espèces (**Ramade, 2003**). Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures maximales de la saison chaude et aux températures minimales de la saison froide (**M'herit, 1982**). Si les températures trop hautes peuvent avoir une influence sur la vie du cèdre et peuvent compromettre sa régénération, les températures trop basse peuvent tues des peuplements entiers (**Abdessemed, 1980**).

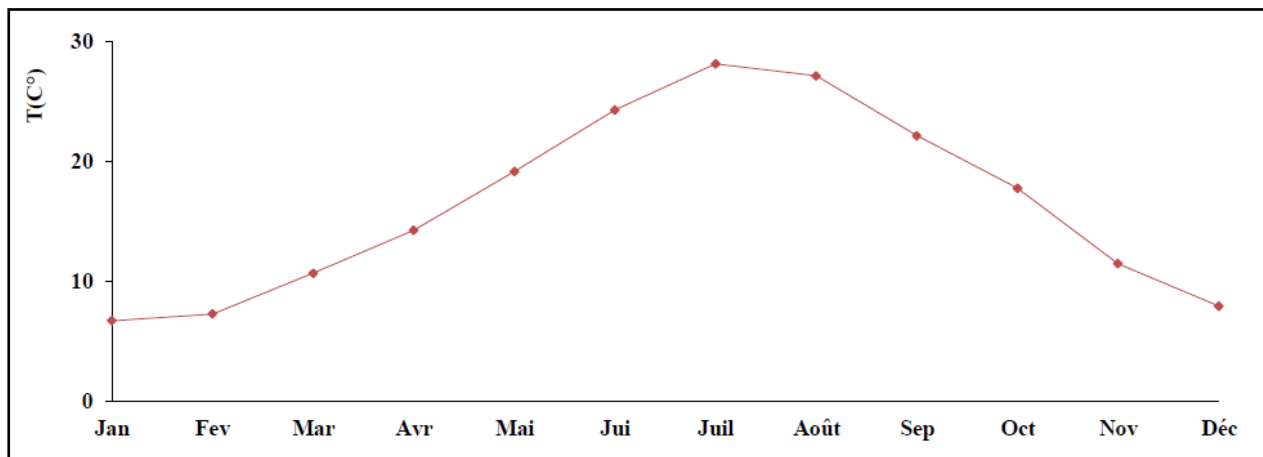


Figure N° 19 : Courbe de variation des températures moyennes mensuelles (1995-2018)
(Station météorologique d'El Hamma, 2019)

D'après les données de température, L'analyse au préalable des données thermiques de la station Khenchela, montre l'existence d'un hiver froid très vigoureux comportant une moyenne de 6,66°C en Janvier Ces valeurs indiquent l'existence des gelées dans la zone d'étude, enregistré

pour une période de trois mois (Déc, Jan et Fév.) et un été chaud durant la saison estivale une moyenne de 26,98°C en Juillet (**Figure N° 17**).

2- La pluviométrie

L'origine des pluies, en Algérie, est plutôt orographique En effet les paramètres varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition ; de ce fait, les versants Nord et Nord-Ouest reçoivent plus de précipitations que les autres expositions (**Seltzer, 1946 ; Halimi, 1980**).

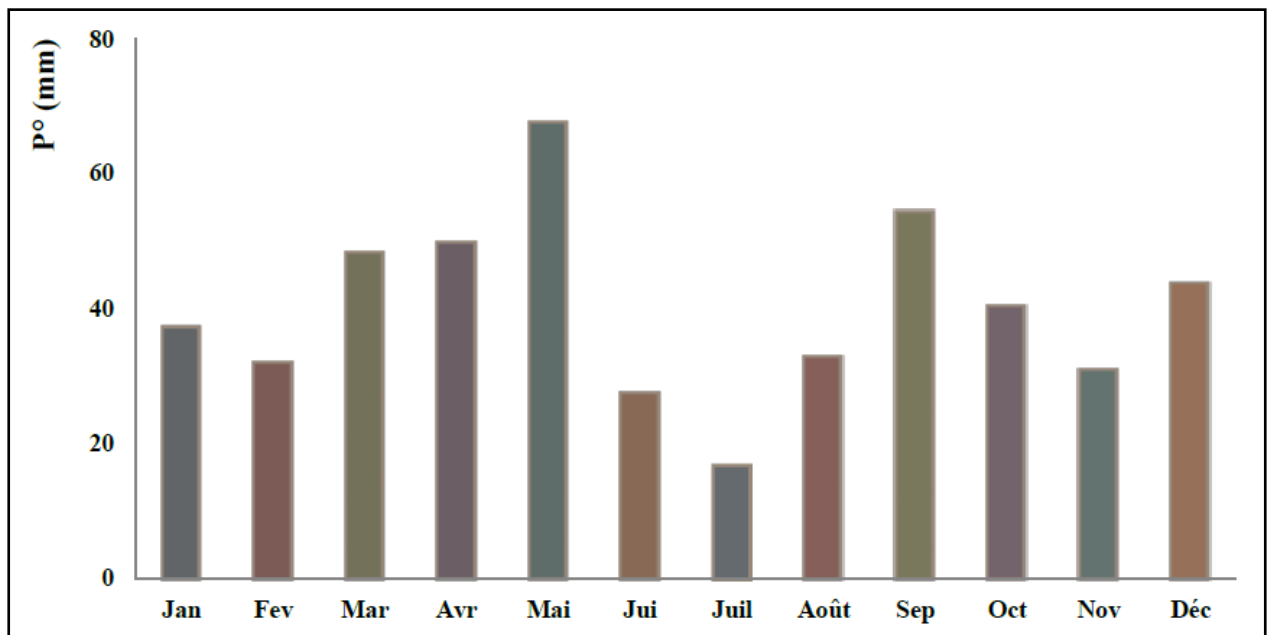


Figure N° 20 : Histogramme de variation des précipitations moyennes mensuelles (2004-2018)
(Station de météorologique d'El Hamma, 2019)

Les données pluviométriques montrent que le mois le plus pluvieux est ce de Mai et le plus arrosé avec une moyenne de 67,43 mm. Juillet étant le mois le plus sec avec une moyenne de 16,76 mm (**Figure N° 18**). Toth, (1987) a mis en considération l'importance de la pluviométrie durant la phase de croissance (Mai et Juin), sur l'installation de la régénération naturelle et le développement des semis du cèdre de l'Atlas.

La pluviométrie croit au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude (Figure 33), il ressort que la quantité de pluie que reçoit le massif d'Ouled Yagoub ou de Chélia soit plus importante que celle enregistrée dans la station de référence d'El-Hamma.

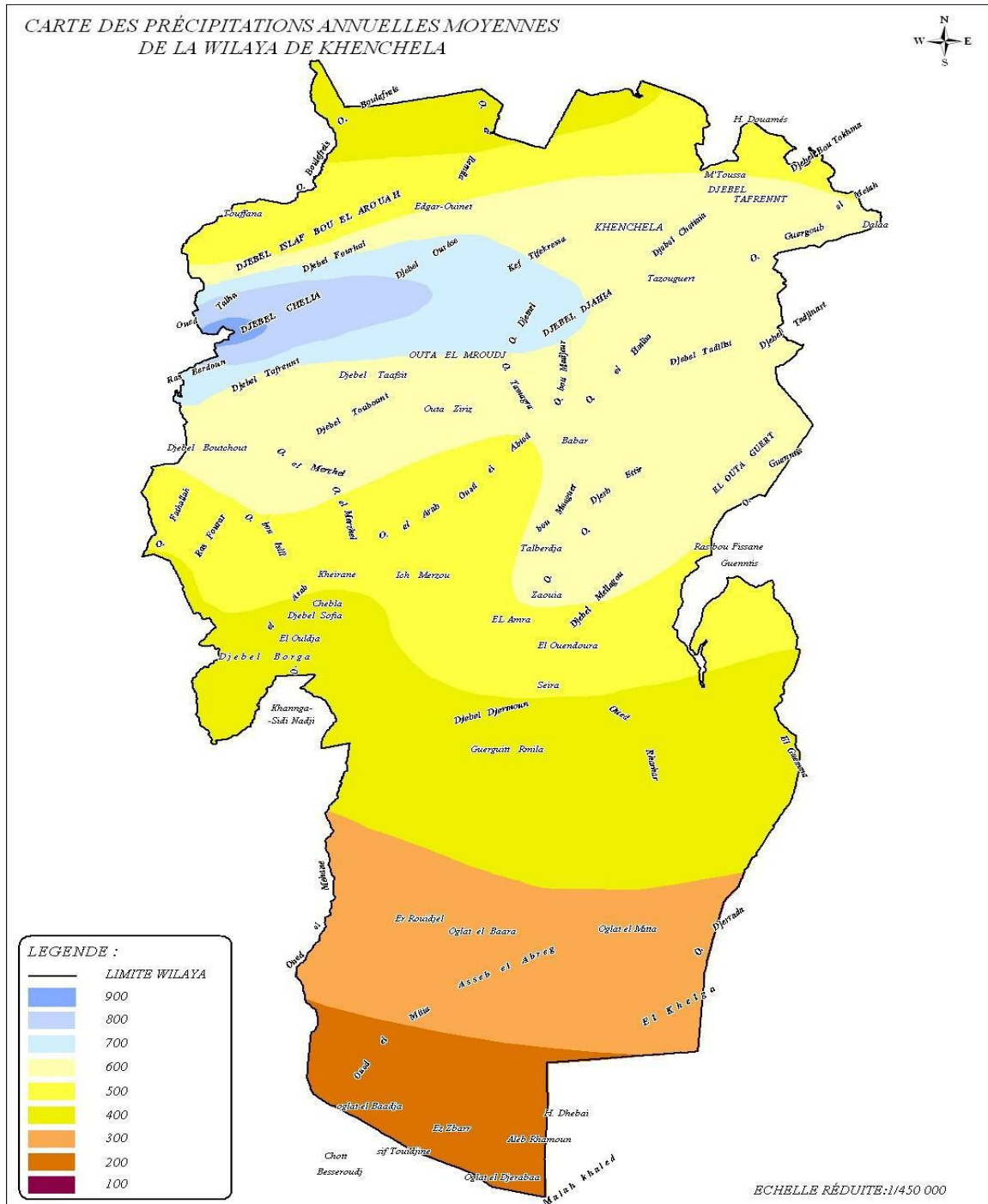
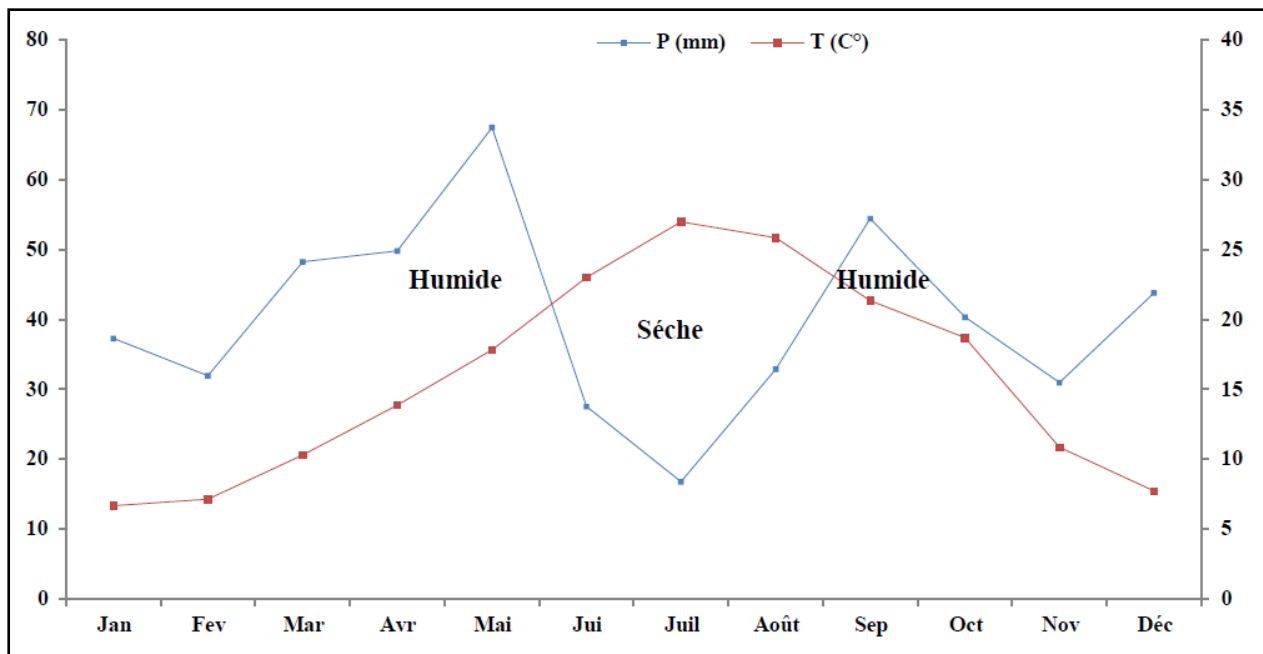


Figure N° 21 : Carte des précipitations annuelles moyennes (Conservation des Forêts de la Wilaya de Khenchela, 2019)

3- La relation températures précipitations (Diagramme Ombrothèrmique)

L'établissement du diagramme Ombrothèrmique de Bagnoul et Gaussen, nous a permis de déterminer graphiquement une classification climatique en tenant compte des paramètres hydriques (pluviométrie) et thermiques (température). Ce diagramme permet également de définir les gradients d'humidité en identifiant les périodes sèches et les périodes humides de l'année qui ont des répercussions directes sur l'état et le devenir du couvert végétal. Ainsi les différents cas peuvent être considérés :

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



**Figure N° 22 : Diagramme Ombrothèrmique de la zone d'étude
(Station météorologique d'El Hamma, 2019).**

L'examen de ce diagramme Ombrothèrmique indique que le climat de la région d'étude se caractérise par une période sèche qui dure 4 mois (Juin à Septembre) pendant la période de (2004-2018).

4- L'Humidité

La figure ci-dessus représente l'évolution mensuelle de l'humidité calculée dans la station d'El Hamma sur une période allant de 2004 jusqu'à 2018. Les données hydro climatiques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de Décembre avec 71,58 %, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juillet avec 39,59 %.

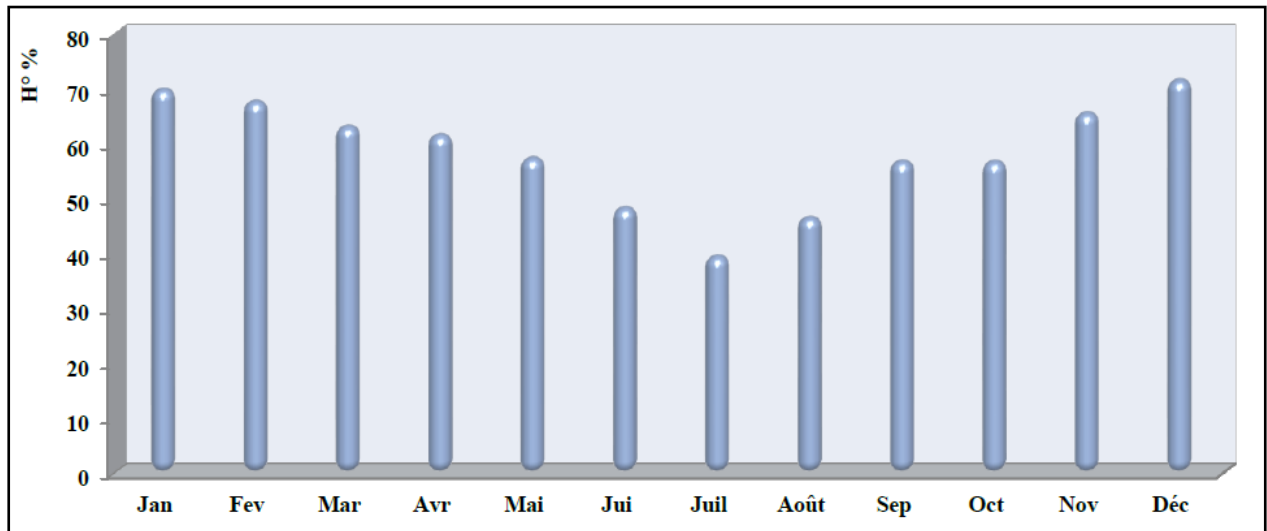


Figure N° 23 : Variation de l'humidité moyenne mensuelle (2004-2018)
(Station météorologique d'El Hamma, 2019)

5- Les Vents

Les vents sont en liaison étroite avec la pression atmosphérique, influent sur la Température, l'Humidité et l'activité d'évapotranspiration. Le vent possède un rôle important dans le développement de la végétation, mais il provoque le dessèchement de la végétation et accentuer le degré d'érosion éolienne. La figure 36 représente l'évolution mensuelle des vents de 2004 à 2018, celle-ci nous indique un maximum de 4.21m/s au mois de Mars, alors que le minimum est enregistré pour le mois d'Octobre.

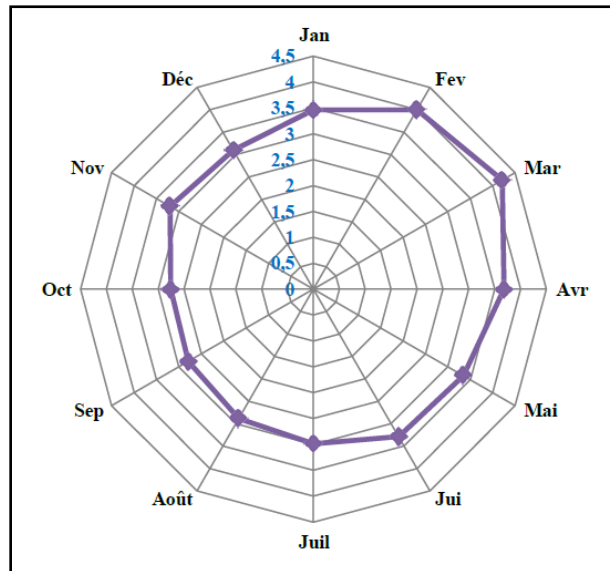


Figure N° 24 : La vitesse Moyenne Mensuelle des Vents (2004-2018)
(Station météorologique d'El Hamma, 2019)

6- Quotient pluviométrique d'Emberger

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

$$Q_2 = 1000P / ((M+m)/2 \times (M-m)) \text{ soit } 2000P/M_2 - m_2$$

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

$$Q_2 = 3,43.P/M-m$$

Dont :

P : précipitations annuelles (mm)

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

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

M et m sont exprimés dans l'expression de Stewart en degré Celsius.

La lecture des résultats du quotient pluviométrique **Q₂** d'Emberger (**Figure N° 23**), montre que la cédraie de Chélia évolue dans l'étage bioclimatique semi-aride tempéré.

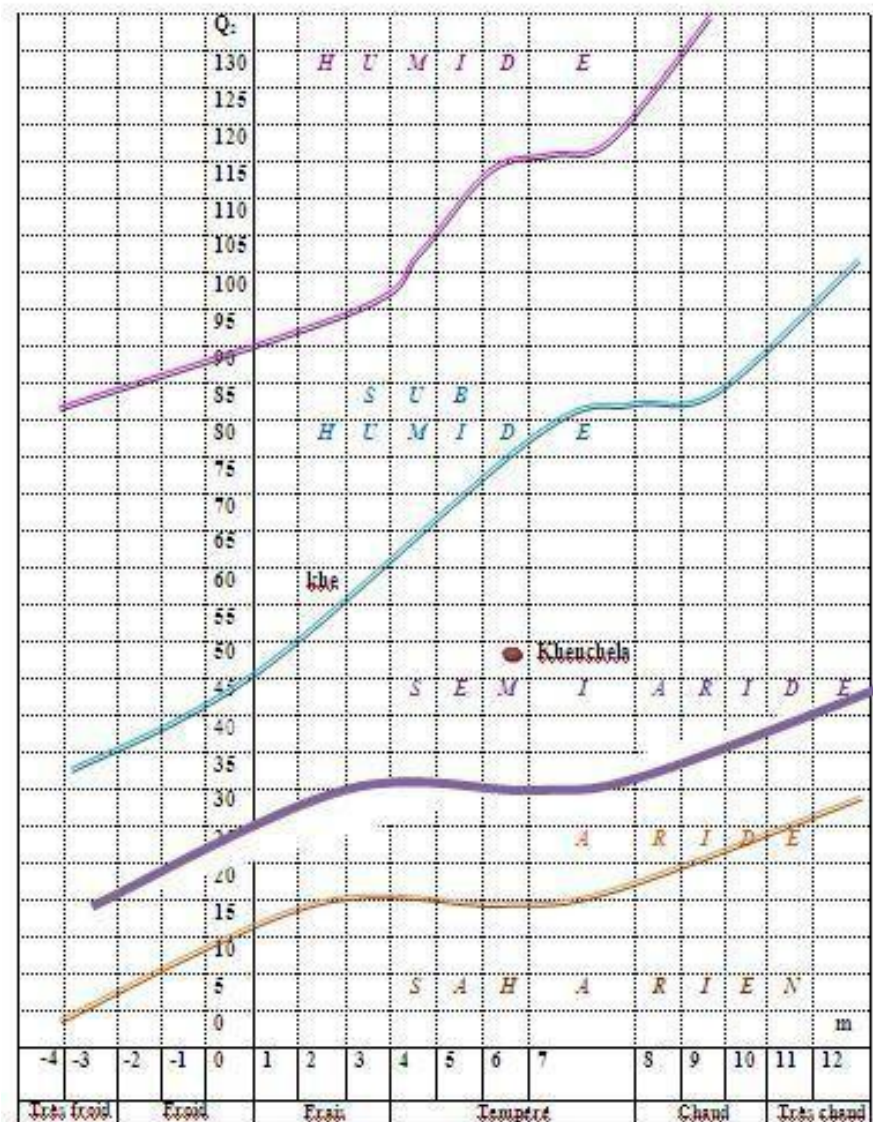


Figure N° 25 : Projection de la zone dans le climagramme d’Emberger

7- Indice de Demartone

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

$$I = P / T + 10$$

P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C).

Pour la station d’El Hamma : **P = 481,46 mm** et **T+10 = 30,44 °C** ; **I = 15,82**

Tableau N° 05 : Type de climat selon l'indice de Demartone

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

→ Le Climat de la région de Khenchela est du type **semi-aride**.

8- Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte

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

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

Tableau N° 06 : Les régimes des mois (rapport de P/T°) pendant les années 2004-2018 - khenchela

Mois	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jui	aout	sep	oct	nov	déc
P (mm)	37.29	31.91	48.22	49.76	67.63	27.51	16.76	32.82	54.44	40.32	30.96	43.78
T° C	6.66	7.14	10.3	13.85	17.81	22.99	26.98	25.83	21.32	18.68	10.82	7.71
P/T	5.6	4.47	4.68	3.59	3.8	1.97	0.62	1.27	2.55	2.16	2.86	5.68

Le régime des mois est le suivant :

Juillet } Très sec

Juin }
Aout } Sec

Septembre }
Octobre } **Sub-humide**
Novembre }

Décembre }
Janvier } **Humide**
Février }
Mars }
Avril }

Conclusion

A partir des données météorologiques exposées précédemment, il en sorte que la température, la précipitation et l'évaporation sont des facteurs climatiques qu'on peut étudier par l'étude climatologique. Les résultats obtenus sur ces différents facteurs jouent un rôle prépondérant dans le développement, la production, la répartition, l'individualisation et l'état physiologique des espèces forestières. Il est donc nécessaire d'en connaître les principales variantes.

*Partie
pratique*

Chapitre I:
Généralité sur
les eaux de
surface

Introduction

Une eau de surface est un milieu très dilué et complexe, contenant des matières minérales et organiques diverses en suspension ou en solution. Les matières dissoutes et colloïdales constituent à elles seules 60 à 80 % de la charge organique d'une eau : à côté des argiles et des hydroxydes métalliques, on trouve des acides humiques, fulviques, lignosulfoniques, **(Hama et Handa, 1983)**. Cette composition de l'eau que nous venons de décrire brièvement n'est pas stable mais varie qualitativement et quantitativement dans l'espace et dans le temps.

1- Les eaux de surface**1-1-Définition**

L'eau de surface précise qu'une eau, telle que le ruissellement, qui reste à la surface du sol et qui peut être stockée en étangs ou autres ouvrages de retenue. Elle résume la collecte de l'eau souterraine ou d'eau atmosphérique. **(Guay et Rossel, 2003)**.

On appelle eaux de surfaces ou eaux superficielles, l'eau des rivières, des lacs, des étangs et des zones humides, qui sont des terrains couverts d'eau pendant au moins une partie de l'année. Le ruissellement des précipitations alimente les réserves en eaux superficielles et il est considéré comme une ressource renouvelable, bien que limitée. **(Environnement, 2008, Berg.Raven.Hassenzahl)**.

1-2- L'origine

Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit les eaux, caractérisées par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement et une et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisés par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profonde qui peut être importante et un temps de séjour appréciable **(Monod, 1989)**.

1-3- les caractéristiques générales des eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages..). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins

versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement.

- ✓ Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se charge en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique)
- ✓ Concentration importante en matière en suspension, tout au moins pour les eaux courantes.
- ✓ La présence de plancton : les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton.
- ✓ La variation journalières (différence de température, d'ensoleillement) aux saisonnières : variation climatique (température, fonte des neiges) de végétation (chute des feuilles). Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue (O₂, Fe, Mn, Oxydabilité et Plancton).
- ✓ La pollution organique conduisant souvent à l'eutrophisation des eaux. **(Monod,1994).**

1-4- les ressources en eaux superficielles

La présence de l'eau sur terre est la principale caractéristique de cette planète, qui la différencie des autres planètes et explique la notion de vie et de croissance. La quasi-totalité de l'eau de la planète est salée ou gelée en permanence. L'eau accessible et nécessaire à la vie des hommes, c'est-à-dire douce et liquide, ne représente que 0.0103% des réserves totales de la planète bleue. On devrait appeler la terre : l'Océan. L'eau des précipitations a des devenir variables : sur une année et sur l'ensemble du globe, 11% s'infiltrent, 24% ruissellent, 65% s'évaporent.

L'eau est présente dans quatre grands réservoirs : l'hydrosphère avec d'une part les mers et les océans, d'autre part les eaux continentales, soit superficielles soit souterraines, l'atmosphère, la biosphère. L'eau est donc répartie entre eau douce et eau salée avec 1400 km³. L'eau salée est de très loin majoritaire : elle représente 97% du volume des eaux sur la planète bleue soit 1365 km³. L'eau est définie comme douce si sa teneur en minéraux dissous est inférieure à 1000 mg par litre. Les glaciers et les eaux souterraines représentent 99.99% de l'eau douce. Elles sont difficilement estimables. L'agriculture consomme plus de 70% d'eau

sur la planète contre 20% pour l'industrie (production électrique) et 10% pour l'usage domestique. La ressource est abondante mais très inégalement répartie. Sa qualité aussi diffère, limitant ainsi son usage ou exigeant des traitements onéreux pour la rendre potable ou à la limite utilisable dans certains secteurs économiques.

Outre leur faible quantité, les ressources hydriques superficielles sont soumises à des contraintes liées à la nature des terrains et à la fréquence de précipitations. Durant les périodes de pluies, les oueds qui drainent généralement des régions de collines et de quantités de boues. Il en résulte avec le ruissellement d'eau de pluie qui génère une érosion sévère des sols, un envasement rapide des barrages (**Monod, 1994**)

1-5- la potabilité des eaux de surface

1-5-1- Généralité

Les eaux douces superficielles, utilisées ou destinées à être utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine, sont celles des cours d'eau, des canaux, des lacs et des étangs appartenant ou non au domaine public. (**surveillance sanitaire et microbiologique des eaux , LAVOISIER 2003,Camille Delarras, Bernard Trébaol**).

Une eau de source est « une eau destinée à la consommation humaine dans son état naturel et mise en bouteille à la source », qui doit satisfaire aux conditions d'exploitation, aux exigences microbiologiques et aux dispositions de la directive 80/778/CCE du Conseil du 15 juillet 1980. (**surveillance sanitaire et microbiologique des eaux , LAVOISIER 2003,Camille Delarras, Bernard Trébaol**).

1-5-2- Définition de l'eau potable

La définition d'une eau potable repose sur des normes établies par une réglementation. Cette dernière varie d'une communauté économique ou d'un pays à l'autre et est évolutive (**Olivaux, 2007**). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau propre à l'alimentation, donc dépourvue de tout élément nocif. Elle doit être limpide, incolore, inodore et fraîche (7-12C°). Ces qualités sont facilement décelées par nos sens, nous rejetons d'instinct une eau trouble (matières ou microbes en suspension), colorée, mal odorante (fermentation).

L'eau potable n'est pas stérile. On y tolère de 100 à 1000 bactéries non pathogènes par cm³. Par contre elle ne doit contenir ni germes parasitaires (kystes d'amibes, œufs d'ascaris, d'oxyures), ni microbes pathogènes (bacilles typhiques, vibron cholérique, bacille dysentérique, virus de la poliomyélite...) (**Menant *et al.*, 1984**).

1-5-3- Aspect réglementaire

Selon la définition qui est donnée par les directives de l'OMS, une eau de boisson saine c'est-à-dire potable ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait sur toute la durée de sa vie. Elle doit présenter des qualités microbiologiques et physico-chimiques conformes aux exigences de normes en vigueur afin de ne pas porter atteinte à la santé du consommateur (**Goita, 2014**).

1-5-3-1- Normes microbiologiques

Une eau potable ne doit pas contenir d'organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus, les protozoaires, ou les champignons. La détection de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination d'origine fécale. La présence de ces germes pathogènes dans une source d'approvisionnement en eau peut engendrer des épidémies de maladies d'origine hydrique (**Ouandaogo, 2008**).

1-5-3-2- Normes physico-chimiques

La régularité des maladies d'origine hydrique dues aux pathogènes microbiologiques peut avoir des manifestations rapide et/ou à court terme suivant le type de microbe. De même les contaminants chimiques de l'eau peuvent engendrer aussi d'épidémies qui ne sont à majorité détectable à long terme après la contamination du point d'eau comme dans le cas de l'arsenic. Le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau destinée à la consommation est nécessaire pour s'assurer que leur teneur demeure en deçà des valeurs pouvant engendrer une toxicité chez l'homme comme stipulé par les normes de qualité des eaux potables de l'OMS. Les paramètres régulièrement suivis lors des contrôles de qualité physico-chimiques comprennent : le pH, les teneurs en pesticides (nitrite, nitrate, potassium....) (**Madi, 2010**).

1-6- la pollution des eaux**1-6-1- Généralité**

Malgré toute l'importance que nous reconnaissons à l'eau pour notre santé et pour celle de l'environnement, de la faune et de la flore, nous contribuons, par toutes les activités de notre société industrielle, à la polluer et à en dégrader la qualité. Aucun aspect de notre vie moderne n'y échappe : la fabrication des produits de consommation, l'agriculture, l'enfouissement des déchets et même les sports de loisir tel que le nautisme (et particulièrement les motos marines) ont des impacts négatifs importants sur l'eau, l'environnement et notre santé.

La pollution est toute modification anthropogénique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du flux d'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle.

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique) de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et la faune aquatique ; elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu naturel.

1-6-2- les types de la pollution

On peut classer les polluants en quatre catégories : agents physiques , agents chimiques organiques et inorganiques et agents biologiques.

1-6-2-1- Agents physiques

Comprend les matières inertes insolubles de toutes dimensions pouvant rester en suspension dans l'eau. Elles sont sans activité chimique ou biologique . Que ce soit du sable, du limon ou de l'argile, ces matières sont en grande partie le fait de l'érosion. La pluie, la neige, la glace amène une désagrégation des roches compactes, des dépôts meubles ou des sols. L'eau devient alors un véhicule privilégié pour ces substances. De toute évidence, le déboisement accélère ce processus et contribue à réduire la limpidité de l'eau. De plus, une partie de cette matière se dépose sur le fond des cours d'eau et forme une couche inerte qui nuit à l'activité biologique naturelle.

1-6-2-2- Agents chimiques organiques

Le ruissellement dans les zones végétales entraîne toutes sortes de matières organiques dans les cours d'eau et dans les lacs. Par exemple, les substances humiques peuvent se retrouver en grande partie dans certaines eaux. Provenant de la dégradation des matières végétales, elles confèrent une coloration plus ou moins forte à l'eau et la rendent esthétiquement rebutante au consommateur. C'est souvent le cas des cours d'eau cheminant au travers des boisés, où tombent des parcelles de bois, d'écorce, ou des feuilles. Cette pollution organique colorante engendre souvent l'apparition de macromolécules acides comme l'acide humique ou fulvique, ce qui fait diminuer dangereusement le pH. C'est alors un cas bien réel de modification chimique due à des agents organiques d'origine naturelle.

1-6-2-3- Agents chimiques inorganiques

Les polluants chimiques inorganiques apparaissent dans les eaux lorsque le sol et les formations géologiques sont lessivés par les précipitations. Ce lessivage provoque une solubilisation des sels constituants de la lithosphère et la présence d'ions plus ou moins toxiques dans les eaux de drainage. La nature géologique du terrain conditionne les types d'ions qui s'y trouvent. La quantité et la qualité de la précipitation déterminent l'intensité du phénomène. Le facteur humain agira ici comme catalyseur important.

1-6-2-4- Agents biologiques

La pollution biologique est définie comme la présence des microorganismes (bactéries, virus, protozoaires, champignons ...) et des macroorganismes. Le risque le plus important pour l'eau récupérée à partir des toitures ou d'écoulement au sol est la contamination microbienne, en particulier par les pathogènes intestinaux. La grande majorité des problèmes de santé liés à l'eau et, surtout les plus graves résultent d'une contamination microbiologique. Le risque microbiologique. Le risque microbiologique est majoritairement associé à l'ingestion d'eau contaminée avec les matières fécales humaines ou animales ou par des insectes et d'autres animaux morts (**Bengaibona, 2010**).

1-6-3- l'origine de la pollution

Il existe trois sources de pollution de l'eau : domestique, agricole et industrielle.

1-6-3-1- La pollution domestique

Ce sont les eaux usées domestiques qui regroupent les eaux « ménagères » (eau de cuisine et salle de bains) et les eaux « vannes » (WC). Les eaux « ménagères », qui représentent les deux tiers du total des eaux usées domestiques, contiennent, notamment, des graisses, des savons et détergents, des matières en suspension et des matières dissoutes organiques ou minérales. A cela il faut ajouter les eaux de pluies et les eaux « collectives » de lavage des rues, des marchés, des commerces, des bâtiments scolaires, des hôpitaux....

1-6-3-2- La pollution industrielle

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel. Parmi les industries considérées traditionnellement comme rejetant des matières particulièrement polluantes pour l'eau, on citera, notamment, les industries agro-alimentaires, papetières, la chimie, les traitements des surface, l'industrie du cuir, etc. Ces polluants peuvent avoir un effet toxique sur les organismes vivants et nuire au pouvoir d'autoépuration de l'eau, ou causer l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (métaux, pesticides, radioactivité...).

1-6-3-3- La pollution agricole

Lorsque l'on considère les pollutions d'origine agricole, il faut englober à la fois celles qui ont trait aux cultures et à l'élevage. Les activités agricoles sont, en particulier, largement impliquées dans les apports d'azote et, surtout, de ses dérivés, nitrates et nitrites, que l'on trouve en forte concentration dans les engrais. Les pesticides utilisés pour le traitement des cultures sont également une source connue de dégradation des ressources en eau. La concentration des élevages entraîne un excédent de déjections animales par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles. Ces déjections, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent une source de pollution bactériologique.

1-6-4- Les conséquences de la pollution de l'eau

- Les matières organiques solubles abaissent la teneur en Oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à la réduction et à la mort de la faune aquatique.

- Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité.
- Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux.
- Les huiles et les graisses flottants conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable.
- Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique.
- Le phosphore et l'azote conduisent à l'eutrophisation des cours d'eau.
- Le phosphore est un élément limitant la croissance des plantes et du phytoplancton.
- Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau (Zouag et Belhadj, 2017).

2- les principaux paramètres physiques et chimiques

Introduction

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

La qualité de l'eau est définie par un grand nombre de paramètres. L'indicateur décrit plusieurs paramètres clé décrivant l'état d'oxygénation du cours d'eau, sa pollution organique et sa charge en nutriments (polluants responsables des phénomènes d'eutrophisation). L'amélioration de ces paramètres est fortement liée aux progrès réalisés en matière d'épuration des eaux résiduaires.

2-1- les paramètres organoleptiques

il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et la turbidité (inverse de la transparence). Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution.

2-1-1- La turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle varie en fonction des composées colloïdaux (argiles, limons, débris de roche, micro-organismes,) ou aux acides

humiques (dégradation des végétaux) , avec appareil turbidimètre on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur .

On mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie (turbidimètre) , c'est-à-dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau : Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de la lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau ;

- ✓ NTU <5 = Eau claire
- ✓ NTU >30 = Eau légèrement trouble
- ✓ NTU >50 = Eau trouble

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse) .

La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspensions qui l'occasionne.

La turbidité dans les plans d'eau de surface est généralement attribuable à des matières organiques et inorganiques. Elle est causée par :

- ✓ Des pluies abondantes, des inondations et l'écoulement printanier,
- ✓ Des glissements de terrain et l'érosion des berges,
- ✓ Les fleurs d'eau,
- ✓ L'activité humaine et animale, ou la présence de bateaux dérangeant le lit d'eau,
- ✓ L'activité humaine perturbe la terre (par exemple la construction),
- ✓ La pollution par les eaux d'orage provenant de régions urbaines.

2-1-2- la couleur

La coloration d'une eau est dite variée ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à 0.45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (**Rodier et al., 2009**).

Une eau pure observée avec une faible épaisseur semble transparente à l'œil. Par contre observée avec une profondeur de plusieurs mètres, elle a une couleur bleu clair. Ceci s'explique par une absorbance de certaines longueurs d'ondes de la lumière.

2-1-3- l'odeur

En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matière organique en décomposition. L'odeur de l'eau peuvent être modifié soit par la présence de matière organique en décomposition, soit, par la présence de matières sécrétées par les organismes vivants dans l'eau, en particulier, les algues et les champignons (**Rodier et al ., 2009**).

Propriété organoleptique par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

Peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

Certains produits chimiques même à des doses infinitésimales développent de mauvaises odeurs. C'est le cas des phénols qui forment avec le chlore utilisé pour la désinfection de l'eau, des malodorants. (**Guide Mustapha B , 2000**) .

Tableau N° 7 : principaux types de l'odeurs

Caractéristiques	Exemples
Aromatique	Epice , camphre , girofle , citron
Chlore	Chlore libre
Hydrocarbures	Pétrole et dérivés
Médicale ou pharmaceutique	Iodoforme , phénol
Sulfureuse	H ₂ S
Terreuse	Terre ou argile humide
Fecaloïde	Fosse d'aisance , égout
Moisi	Cave humide , tiroir humide, rarement ouvert
Vase	Herbe ou feuille en décomposition (odeur de Rivière)
Amère	Sulfates et chlorures
Salée et amère	Sels de magnésium

2-1-4- Le gout

Définie comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche (Rodier, 2009).

Est extrêmement subjective et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

Tableau N° 8 : Principaux types de gouts

Caractéristiques	
Aromatique	Camphre , lavande , citron
Chimique	/
Chlore	Chlore libre
Hydrocarbures	Pétrole
Pharmaceutiques	Nombre de produits organiques
Chlorophénol	chlorophénol
Sulfureuse	H ₂ S
Très désagréable	Egout , poissons
Terreuse	Terre , argile
Métallique	Fe ²⁺ , Mn ²⁺
Moisi	Levure , champignons inférieurs , moisissures , cave humide
Vase	Herbe ou feuille en décomposition
Bicarbonate alcalin	Eau de type de vichy
Mandarine	Très souvent apporté par l'oxydation de traces d'hydrocarbures au cours du traitement d'élaboration de l'eau
Marée	Poissons , métabolites de certains organismes du plancton , certains composés organiques et industriels
Noix moisie	Campagne sucrière
Bouchon moisie	Herbicides et pesticides

2-2- les paramètres physiques

2-2-1- La conductivité électrique

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Dans une solution, ce sont les anions et les cations qui

transportent le courant alors que dans un métal ce sont les électrons. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (mS /m) à 20°C , elle s'effectue à l'aide d'un conductimètre avec compensateur automatique de température. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes métalliques plongées dans l'eau.

Si l'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, il n'en est plus de même lorsqu'elle est chargée en sels minéraux d'origine naturelle (calcium, magnésium , sodium ,potassium).

Chaque substance possède un certain degré de conductivité. Pour les solutions aqueuses, le niveau de la force ionique s'étendue des très faibles conductivités pour les eaux ultra pures jusqu'à très fortes conductivités pour des échantillons chimiques concentrés.

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent généralement pas des variations importantes en sels dissous qui peuvent être observées par exemple en cas de déversements d'eaux usées.

La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau.

Tableau N° 9 : Rapport entre la conductivité électrique et la minéralisation (Rodier, 2009)

Conductivité	Minéralisation
0 – 100 mS/cm	Minéralisation très faible
100 – 200 mS/cm	Minéralisation faible
200 – 333 mS/cm	Minéralisation moyenne accentuée
333 – 666 mS/cm	Minéralisation accentuée
666 – 1 000 mS/cm	Minéralisation importante
> 1 000 mS/cm	Minéralisation élevée

2-2-2- La température

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique : plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité d'oxygène dissous diminue.

Une température trop élevée des eaux d'une rivière peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissoute pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'autoépuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds (odeur), la croissance accélérée des végétaux (dont les algues).

La pollution thermique peut avoir pour origine des rejets d'eaux chaudes urbains ou industriels dans le cours d'eau. La pollution thermique des petits cours d'eau peut avoir aussi pour l'origine les déversoirs d'étangs installés sur leur rive et qui par leur grande surface jouent un rôle de « pompe à chaleur ».

Il est très important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, car elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz. La dissociation des sels dissous influe sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et leur origine (**Leclerc, 1996**).

La mesure de la température est effectuée sur terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètres. La lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (**Rodier, 1996**).

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

2-2-3- le pH

Ce paramètre, qui se mesure avec des bandelettes test ou un appareil (pH-mètre) (L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C) ou colorimètre, donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau.

Le ph (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions H⁺ : $pH = -\log[H^+]$; l'eau des cours avoisine en général la neutralité représentée par un PH de 7. Le ph doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique.

Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de ph propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant :

Tableau N° 10 : représente la classification des eaux d'après leur pH (l'équipe technique de RéFFA)

ph<5	Acidité forte =présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux naturelles
Ph=7	Ph neutre
7<ph<8	Neutralité approchée = majorité des eaux de surface
5.5<ph<8	Majorité des eaux du surface
Ph=8	Alcalinité forte, évaporation intense

Le pH d'une eau permet de mettre en évidence les espèces chimiques présentes dans un échantillon. On parle alors de pH acide, de pH neutre ou de pH basique.

La mesure du pH est réalisée par une méthode potentiométrique en mesurant la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence.

Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles(eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique, Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (IBGE, 2005).On admet généralement qu'un pH naturel situé entre 6,5et 8,5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale.

2-2-4- la dureté

Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium. La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique qui s'exprime en degrés français (symbole °f ou °fH) sur une échelle de 0 à 40. (1°f=4 mg/l de calcium ou 2.4 mg/l de magnésium).

- ✓ Une eau sera dite dure si son TH est > à 15 °f. Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartrer les canalisations et un usage plus important de détergents pour le lavage.
- ✓ Une eau sera dite douce si son TH est < à 15°f. Une eau trop douce sera dite « agressive » corrosive pour les conduites.

La dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{++} et Mg^{++} . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. La dureté se mesure en mg de CaCO_3 par litre. (les données de l'IBGE 2005).

2-2-5- la minéralisation globale

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, calcium, sodium, potassium, magnésium. Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs (Bonnin, 1982).

Tableau N° 11: valeurs du facteur permettant d'évaluer la minéralisation globale d'une eau à partir de la conductivité (Rodier, 2009).

Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation Mg/l
$c < 50$	$1,365079.c$
$50 < c < 166$	$0,947658.c$
$166 < c < 333$	$0,769574.c$
$333 < c < 833$	$0,715920.c$
$833 < c < 10\ 000$	$0,758544.c$
$c > 10\ 000$	$0,850432$

2-2-6- L'Oxygène dissous (OD) et % de saturation en oxygène

La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments.

Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. (Squi lbin et Yourassowsky, 2005).

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Globalement, plus la concentration en oxygène dissous (OD) est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande :

- Une valeur inférieure à 1 mg d'O₂ par litre indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments.
- Une valeur de 1 à 2 mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible
- Une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité
- Des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense

Les espèces de poissons sensibles peuvent être perturbées par une teneur en oxygène inférieure à 4 mg/l. La concentration en oxygène dissous peut être exprimée en mg d'O₂ par litre ou en % de saturation en oxygène. Comme l'illustre le tableau ci-dessous, la relation entre ces 2 valeurs est fonction de la température.

Tableau N° 12 : Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température

Température	Solubilité (mg O₂ /l)
0	14.16
5	12.37
10	10.92
15	9.76
20	8.84
25	8.11

A une température de l'ordre de 15°C, l'objectif de qualité de 50% de saturation en oxygène correspond à une concentration de 5 mg O₂/litre. **(les données de l'IBGE . 2005)**

2-2-7- Le Résidu sec

Cette mesure permet d'évaluer la teneur des matières dissoutes et en suspension déterminée par pesée. Une certaine quantité d'eau est évaporée soit à 110 ou 180 °C dans une coupelle tarée. Le résidu desséché est ensuite évalué par pesée. **(lozere.fr)**.

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l. **(Berne et Jean, 1991)**.

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

Tableau N° 13 : La potabilité en fonction des résidus secs **(Rodier, 2005)**.

Résidu sec (mg/l)	Potabilité
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
3000 < RS < 4000	Mauvaise

2-2-8- Le potentiel redox (Eh)

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox (ou disponibilité en électrons) affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand les concentrations d'oxygène diminuent, le milieu devient plus réducteur ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox. Dans les eaux naturelles, des comparaisons relatives de l'évolution du potentiel redox peuvent être utiles pour suivre les degrés de changement du système aquatique. Le potentiel redox se mesure en mV **(IBGE, 2005)**.

2-2-9- La résistivité électrique

La résistivité est l'inverse de la conductivité et permet de mesurer la minéralisation globale de l'eau **(Coinl, 1981)**.

2-2-10- Les Matières en suspensions (MES)

On appelle matière en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) est s'oppose à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique.

En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux. La quantité de matières en suspension totale (MES t) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesage des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/l. (On estime qu'un habitant rejette environ 90 grammes par jour de MES).

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l. (**Squibin et Yourassowsky, 2005**).

- Matières en suspension (MES) : unité : mg/l MES : Méthode par filtration

La détermination des matières en suspension (MES) est un indicateur de pollution concernant la charge en matières solides. L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par une pesée différentielle après un séchage à 105 °C.

- Matières en suspension (MES) : unité : mg/l MES : Méthode par centrifugation

L'eau est centrifugée, le culot est recueilli, séché à 105°C et pesé. Cette méthode est surtout réservée aux eaux contenant trop de matières colloïdales pour être filtrées dans de bonnes conditions. C'est le cas des boues de stations d'épuration.

2-2-11- Le taux alcalimétrique

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes (**Rodier et al., 2009**).

Le taux alcalimétrique complet traduit l'alcalinité d'une eau. Il permet de connaître la quantité d'hydroxydes, de carbonates ou, d'hydrogénocarbonates. La connaissance de la valeur de ce paramètre est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau. Le TAC d'une eau potable ne doit pas être inférieur à 2,5° F (**Rodier, 2009**).

2-3- Les paramètres chimiques

2-3-1- Les cations

2-3-1-1- Magnésium (Mg^{++})

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et il est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel et aussi il est indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones (**Savary, 2010**).

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre (**Rodier, 1976**).

On trouve l'état naturel de grandes quantités de carbonate de magnésium qui constitue la minérale magnésite ($MgCO_3$), ainsi que la minérale dolomite ($MgCO_3.Ca CO_3$) (**Glinka, 1977**). Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates (**Rodier, 1976**). Pour les eaux de surface : La norme de magnésium est (50mg/l) selon (**l'OMS, 2003**).

2-3-1-2- Calcium (Ca^{++})

Le corps humain comprend une moyenne 1,2 kilogramme de calcium essentiellement dans le squelette. Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (**Sari, 2014**).

2-3-1-3- Sodium (Na^{++})

C'est un métal alcalin. Son origine peut être : Naturelle (mer, terrain salé...) ; Humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ; Industrielle (potasse, industrie pétrolière). Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (**Rodier, 2005**).

Le cation sodium (Na^{++}) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^{2+} , par le processus d'échange de bases (**Rodier, 1976**). Pour les eaux de surface : La norme de sodium est (150 à 200 mg/l) selon (**I'OMS, 2003**).

2-3-1-4- Potassium (K^+)

Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium (**Pesson, 1979**). Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (**Rodier, 1976**). Pour les eaux de surface : La norme de potassium est (12mg/l) selon (**I'OMS, 2003**).

2-3-2- les anions

2-3-2-1- Chlorures (Cl^-)

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau. A partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium Na Cl (**Sari, 2014**).

2-3-2-2- Sulfate (SO_4^{-2})

Les ions sulfates sont utilisés principalement dans l'industrie chimique. Ils sont rejetés dans l'eau à travers les déchets industriels. Cependant, les niveaux les plus élevés se produisent habituellement dans les eaux souterraines et proviennent de sources naturelles. Toutefois, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable contenant des niveaux élevés de sulfate, l'eau potable peut constituer la principale source de consommation (**OMS, 2003**).

Mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures, et l'utilisation d'engrais chimique et lessive.

D'une façon générale, la présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite. Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfure, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux : gypse, baryte (**Peck, 1970**).

2-3-2-3- Nitrite (NO₂⁻)

L'azote, élément essentiel de la vie, est présent en abondance dans la nature sous formes gazeuse, organique ou minérale. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant (**Savary, 2010**).

Dans l'eau les nitrites sont toxiques pour les poissons surtout lorsque le ph de l'eau est inférieur à 7. L'effet de la toxicité des nitrites est plus rapide que par celle de l'ammoniaque, car elle entraîne la dégradation de l'hémoglobine des globules rouges et l'asphyxie des poissons. Meme en petite quantité les nitrites causent des stress chez les poissons, provoquant des problèmes respiratoires, affaiblissement, maladies, vulnérabilité Les nitrites sont également toxiques pour les humains ,....

On comprend pourquoi la concentration en nitrites ne devrais pas dépasser 1 mg NO₂/l dans les rejets de stations d'épuration.(0.5mg/l dans l'eau du robinet).

2-3-2-4- Nitrate (NO₃⁻)

Les nitrates existent naturellement dans le sol et peuvent aussi provenir des déchets industriels et des engrais, ils participent au cycle de l'azote. Les nitrates en excès à la surface du sol vont être entraîné par infiltration dans les nappes phréatiques et provoquer leur pollutions et parfois celles des eaux de surface. Leurs présences dans les eaux de surface, combinées avec les phosphates, entraînent la multiplication des algues qui produisent des toxines à l'origine de l'eutrophisation des eaux, des troubles au niveau du système digestifs (cancer de foie) et du système nerveux (troubles sensitif et paralysies) (**Lawson, 2011**).

Les nitrates des cours d'eau proviennent principalement d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés et en second lieu des rejets des stations d'épuration (transformation de la matière organique en nitrates). Certaines installations sont complétées par des

traitements de dénitrification avant rejet. Les nitrates posent des problèmes en raison de leur trop grande introduction dans les eaux par l'agriculture industrielle.

2-3-2-5- Phosphate (PO_4^{3-})

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (**Rodier, 2005**).

Le phosphore, élément indispensable au développement de tous les organismes vivants, n'est naturellement présent qu'en très faible quantité dans le sol et dans les eaux.

Les ortho phosphates (ions PO_4) sont la forme la plus simple et la plus répandue des phosphores dans l'eau.

2-3-2-6- Bicarbonate (HCO_3^-)

Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées (**Bouballi, 2009**), tel que les calcaires et les dolomies. (**Belaa et Abboud, 2015**), ainsi leur concentration dans l'eau est fonction de la nature des terrains traversés, la température de l'eau, et la pression du CO_2 dissout (**Bouballi, 2009**).

2-4- Paramètres indésirables (traces métalliques)

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer (**Lounnas, 2009**).

2-4-1- Le Fer

Dans l'eau, il peut provenir, des terrains où se trouve l'eau, de rejets industriels, de la corrosion des conduites non protégées, des réactifs utilisés pour la production d'eau potable (**Rejsek, 2002**).

C'est une impureté minérale sans effets appréciables sur la santé. Ces métaux peuvent provoquer une coloration et est à l'origine de dépôts dans les réseaux. Des corrosions peuvent en résulter. Par ailleurs il affecte les paramètres organoleptiques comme d'autres métaux cuivre, aluminium, zinc.

Dans les eaux de surface, le fer se trouve en général à l'état oxydé et précipité ; il est donc éliminé par les traitements classiques de clarification.

2-4-2- Le Manganèse

Le Manganèse est un élément existant dans la nature notamment dans les sols. La métallurgie, l'industrie électrique, l'industrie du verre et de la céramique, l'industrie chimique et pétrolière en sont les principaux utilisateurs. Dans l'eau, le manganèse se retrouve à l'état dissous, en suspension, ou sous forme de complexes, mais jamais à l'état libre. Son élimination dans l'eau est délicate. Elle fait appel à des traitements d'oxydation, suivis d'une filtration sur sable (Rejsek, 2002).

2-4-3- Les Métaux lourds

Le suivi des concentrations en métaux lourds (densité $> 5 \text{ g/cm}^3$) est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement.

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb, zinc, cadmium, arsenic, cyanure, mercure, antimoine et sélénium, sont régulièrement mesurées. (Squilbin et Yourassowsky, 2005).

2-4-3-1- Cadmium (Cd)

Le cadmium est un élément relativement rare et n'existe pas naturellement à l'état natif. Dans les milieux aquatiques, la mobilité et la biodisponibilité du cadmium s'accroissent lorsque le pH, la dureté et la salinité sont faibles et lorsque le potentiel d'oxydoréduction est élevé (Ben aakame, 2015).

2-4-3-2- Manganèse (Mn)

Le manganèse est un métal qui peut provoquer une coloration et il est à l'origine de dépôts dans les réseaux. Par ailleurs il affecte les paramètres organoleptiques de l'eau comme d'autres métaux (cuivre, aluminium, zinc). Dans les eaux de surface, le manganèse se trouve en général à l'état oxydé et précipité ; il est donc éliminé par traitements classiques de clarification (**Degremont, 2005**).

2-4-3-3- Plomb (Pb)

La présence du plomb dans l'eau de consommation est habituellement attribuable au phénomène de corrosion qui survient dans les composantes structurales des réseaux de distribution et dans la tuyauterie domestique qui contiennent du plomb. La corrosion du plomb survient en milieu acide lorsque le plomb métallique de la tuyauterie ou des soudures entre en contact avec un agent oxydant (ex. : oxygène dissous ou chlore). Le plomb métallique est alors converti en une forme oxydée (habituellement Pb^{2+}) qui se dissout dans l'eau (**Chausse et al., 2003**).

Le plomb est une substance « présentant des dangers d'effet cumulatif et présentant des risques possibles d'altération de la fertilité ».

2-4-3-4- Zinc (Zn)

Le zinc est un oligo-élément essentiel qui se trouve dans presque tous les aliments et dans l'eau potable sous forme de sels ou de complexes organiques. Le régime alimentaire est normalement la principale source de zinc. Bien que les niveaux de zinc dans les eaux de surface et les eaux souterraines ne dépassent pas 0,01 et 0,05 mg/l, respectivement, les concentrations dans l'eau du robinet peut être beaucoup plus élevée à cause de la dissolution de zinc à partir de tuyaux (**OMS, 2003**).

2-4-3-5- Le sélénium (Se)

Le sélénium est considéré comme un métal très rare, il est très peu abondant dans la croûte terrestre. Dans les terrains sédimentaires, il est présent dans certaines formations riches en matière organique. Sa libération dans les eaux est déterminée par les variations de potentiel redox et s'observe le plus souvent dans les nappes captives. car il est soluble en conditions oxydantes dans les régions sélénifères (**Benaakame, 2015**).

Tableau N° 14 : Les éléments traces métalliques (OMS 2000 , JORA 2011)

Paramètres	Selon l'OMS (2000)	Selon le JORA (2011)	Unité
Argent	0.05	0.05	mg/l
Arsenic	0.05	0.05	mg/l
Cadmium	0.05	0.01	mg/l
Chrome	0.05	0.05	mg/l
Cuivre	1	1.5	mg/l
Fluor	1.5	1.5	mg/l
Manganèse	0.5	0.5	mg/l
Mercure	0.001	0.001	mg/l
Plomb	0.05	0.055	mg/l
Sélénium	0.01	0.01	mg/l
Zinc	5	5	mg/l

2-5- la matière organique dans les eaux de surfaces (classification de Rodier)

Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont constituées par des produits de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des microorganismes. L'inconvénient des matières organiques est de favoriser l'apparition de mauvais goût qui pourra être augmentés par la chloration.

Une eau riche en matière organique doit toujours être suspectée de contamination bactériologique ou chimique. Leur teneur est appréciée, le plus souvent, par des tests tels que la réduction du permanganate de potassium (KMnO₄) en milieu acide et en milieu alcalin. Les eaux très pures ont généralement une consommation en oxygène inférieur à 1 mg/l (Berne et Jean, 1991).

Selon la classification de « **Rodier, 2009** »:

- Une eau est très pure pour des valeurs inférieures à 1 mg/l.
- Une eau est dite potable pour des valeurs comprises entre 1 et 2 mg/l.
- Une eau est suspecte pour des valeurs comprises entre 2 et 4 mg/l.
- Une eau est mauvaise pour des valeurs supérieures à 4 mg/l.

La matière organiques (MO) contenue dans les eaux est la partie non encore décomposées de la pollution organique (matières vivantes mortes ou déjections d'organismes vivants). Elles sont donc naturellement présentes dans l'eau, mais à faible concentration.

Tableau N°15 : Les paramètres physicochimiques de l'eau potable (OMS 2000, JORA 2011)

Paramètres	Selon l'OMS (2000)	Selon le JORA (2011)	Unité
Température	25	25	°C
pH	6.5 -8.5	6,5 - 8.5	/
Conductivité	1000	2800	µs /cm
Dureté totale	50	100-150	°F
Oxygène dissout	5	5	mg/l
Calcium	100	75-200	mg/l
Magnésium	50	150	mg/l
Sodium	150	200	mg/l
Potassium	12	20	mg/l
Sulfates	250	200-400	mg/l
Chlorures	600	200-500	mg/l
Nitrates	50	50	mg/l
Nitrites	0.1	0.1	mg/l
Ammonium	0.5	0.5	mg/l
Phosphates	5	5	mg/l

Chapitre III:

*Analyses et
interprétations*

Objectif

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de sources d'Ain Mimoun et,

- Définir la qualité des eaux de sources en ayant recours aux analyses,
- Etudier et comprendre les mécanismes responsables de cette qualité,
- Déterminer les faciès chimiques des trois sources et leur relation avec l'environnement géologique
- Et enfin comparer ces faciès.

Pour cela, un certain nombre de tableaux et de diagrammes a été réalisé pour permettre l'interprétation générale des résultats d'analyses physico-chimiques.

I. Analyses**1- Echantillonnage****1-1- Préparation des échantillons**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.) (**Rodier et al., 2009**).

Les prélèvements d'eau ont été réalisés durant le mois de Mai 2021 qui sillonnent la wilaya de Khenchela. Les échantillons d'eau utilisés pour l'analyse physico-chimique ont été prélevés dans des flacons en plastique, selon la méthode décrite par (**Rodier et al., 2009**), les prélèvements ont été réalisés dans les meilleures conditions d'asepsie, en suivant les étapes suivantes :

- Préparation des flacons propres en plastique d'un litre pour l'échantillonnage.
- Ouvrir la vanne d'échantillonnage et permettre à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant la collection.
- Remplir chaque flacon lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air.
- Fermer le flacon dans l'eau et s'assurer qu'il n'y a pas de vide au-dessus de l'échantillon.

1-2- Etiquetage

La désignation des échantillons est une opération délicate, qui doit être réalisée avec le plus grand soin. Elle se traduit dans la pratique par l'étiquetage ou le marquage de chaque flacon d'échantillon d'eau. Il est indispensable de repérer l'ensemble des récipients contenant les échantillons de façon claire et durable afin de permettre leur identification sans ambiguïté au laboratoire.

Les échantillons prélevés doivent être clairement identifiés. Chaque flacon doit porter une étiquette indiquant :

- ✓ L'origine de l'eau.
- ✓ La date et l'heure du prélèvement.
- ✓ La température de l'air et de l'eau.
- ✓ Le nom du point d'eau et la localisation.

Deux types de désignation des échantillons sont possibles :

- soit les flacons sont désignés par une étiquette où sont indiquées l'origine de l'échantillon et les conditions dans lesquelles il a été prélevé,
- soit il est possible de simplifier cette opération en utilisant un système d'étiquettes numérotées ou codées.

Etiquetage complet :
Station :
Origine de l'eau :
Date : Heure :
Nom du préleveur :
Analyses à effectuer :

Figure N° 26 : exemple d'étiquette

2- Prélèvement

2-1- Matériels

2-1-1- Matériels de prélèvement

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

- ✓ Des bouteilles en plastique de 1.5 L
- ✓ Glacière
- ✓ Un dispositif de prélèvement manuel
- ✓ Multi paramètre C 535 T
- ✓ un appareil photo

2-1-2- Matériels de laboratoire

- ✓ Verrerie (Entonnoirs, Bêchers de différents volumes)
- ✓ pH-mètre de laboratoire.
- ✓ Spectrophotomètre UV-Visible utilisé pour mesurer les anions
- ✓ Le dispositif de titrimétrie (dosage)
- ✓ Flacon en polyéthylène de 500 ml.
- ✓ Fioles en verre et en plastique.
- ✓ Becher de 50 ml.
- ✓ Erlenmeyers.
- ✓ Burette
- ✓ Cuvette.
- ✓ Pipette de 2 ml.
- ✓ Eprouvette de 50 ml.
- ✓ Agitateur magnétique.

2-2- Méthode et technique**2-2-1- De prélèvement**

- Un prélèvement d'eau de type manuel est réalisé par l'utilisation d'un support permettant d'échantillonner à distance. On peut employer une perche (qui peut être télescopique), un porte-bouteille, un échantillonneur multiple.
- Le dispositif dit « porte -bouteille » doit être constitué de matériau ne présentant pas de risque de contamination de l'eau prélevée. La bouteille d'échantillonnage est placée dans le dispositif et maintenue par un collier.
- Un échantillonneur multiple permet le prélèvement simultané de plusieurs échantillons de volumes égaux ou différents. Chaque échantillon est alors prélevé dans sa propre bouteille.

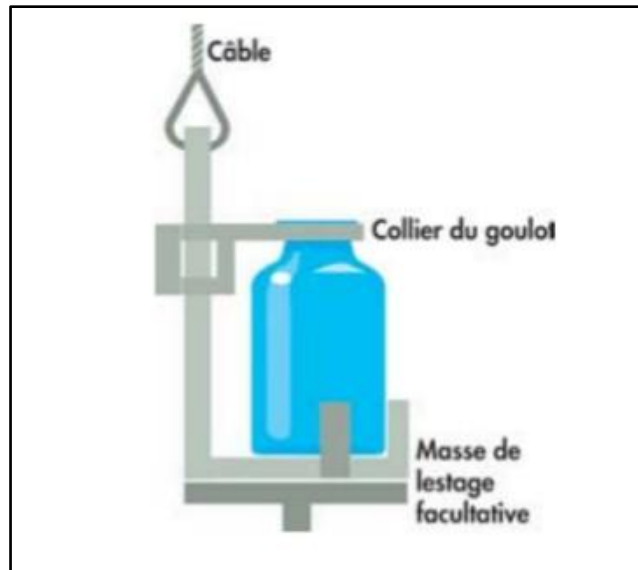


Figure N° 27 : Exemple de porte-bouteille.

➤ Technique de prélèvement

Cette technique s'applique aussi bien à une bouteille de prélèvement dont l'eau sera répartie dans les différents flacons destinés au laboratoire. Dans le cas où le prélèvement d'eau est réalisé directement dans les flacons destinés aux analyses physico-chimiques classiques sans conservateur afin d'éviter tous risques de contamination et d'interaction dues aux réactifs. La technique de prélèvement est la suivante :

- Avant de procéder au prélèvement des échantillons des eaux, les bouteilles les son bouchons seront rincées 3 fois avec de l'eau distillée.
- Puis elles sont rincées sur le terrain avec l'eau à analyser pour éviter toutes les contaminations avec les autres solutions.
- Après le prélèvement les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation (sous la source d'eau) (**Rodier et al., 2005**).
- Boucher la bouteille avec précaution, mais vivement de façon à ne pas emprisonner de bulles d'air. Les flacons sont donc remplis complètement.

2-2-2- D'analyse (le dosage)

➤ La titrimétrie

Un certain nombre de substances ne transforment que difficilement, voire pas du tout, en substances colorées quantifiables. Dans bien de cas, on a alors recours aux méthodes titrimétriques. Le principe de mesure, expliqué brièvement, est le suivant :

Lors de l'analyse volumétrique, on n'ajoute goutte à un volume d'échantillon précisément mesuré une solution (le titrant), dont la substance active réagit avec la substance recherchée dans l'échantillon. Après que cette substance soit complètement transformée par la réaction, un ajout supplémentaire du titrant conduirait à un excès de ce dernier. Le point de fin de réaction (point d'équivalence ou point de virage) est visible grâce au changement de la couleur d'un indicateur ajouté à l'échantillon.

2-3- Transport et conservation des échantillons

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique. Ces temps devront être réduits au minimum. Pendant cette période, des phénomènes chimiques et bactériologiques peuvent conduire à plusieurs types de changement. D'une façon générale, le transport à la température de 4° C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante (Rodier *et al*, 2009).

Il faut prendre toutes les précautions pour stabiliser qualitativement la flore présente au moment du prélèvement, pour cela toute l'analyse doit être effectuée le plus vite possible (transport rapide et stockage bref) et aussi il faut porter les échantillons dans les glacières dont la température est comprise entre 4 et 6 °C.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les premières 24 heures au laboratoire et cela pour ne pas altérer l'échantillon.

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire.

Cette étape est nécessaire puisque plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses fiables, il est recommandé de conserver les échantillons à l'obscurité et à une température de 4°C dans une glacière.

3- Analyses physique au terrain

3-1- Le potentiel hydrogène (pH)

3-1-1- Principe

La mesure de ce paramètre est réalisée par l'utilisation d'un pH mètre de type AD1000.

Cette méthode consiste à plonger l'électrode dans l'échantillon d'eau contenu dans un bêcher et lire directement la valeur après stabilisation de l'affichage sur l'écran du pH mètre (**Rodier et al., 2005**). La nature de la mesure effectuée au laboratoire est électrométrie (A l'aide d'un pH mètre) qui exige des électrodes de verre fragiles et des solutions tampons pour l'étalonnage.

3-1-2- Mode opératoire

- ✓ Appuyer sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension.
- ✓ Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre.
- ✓ Plonger l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres,
- ✓ Attendre que la valeur soit stable avant la lecture,
- ✓ Rincer à nouveau l'électrode avec de l'eau distillée et l'essuyer avec un mouchoir jetable propre pour réaliser la mesure suivante.



Figure N° 28 : Photo réelle de pH-mètre (2021).

3-2- La conductivité électrique (CE)

3-2-1- Principe

La conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre.

3-2-2- Mode opératoire

Après plusieurs rinçages de l'électrode avec de l'eau distillée, On la plonge dans un récipient contenant de l'eau à examiner. Enfin le résultat de la CE est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Rodier et al., 2005**).



Figure N° 29 : photo réelle d'un conductimètre 2021.

3-3- Minéralisation globale

La minéralisation globale correspond à la concentration en sels minéraux dissous (**Degremont, 1990**). Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (**Rodier *et al.*, 2009**).

3-4- La température

3-4-1- Principe

Elle a été déterminée sur les lieux de prélèvement à l'aide d'un thermomètre incorporé au pH-mètre. On lit directement la température exprimée en degré Celsius.

3-4-2- Mode opératoire

Rincer les flacons avec l'eau à échantillonner, en suite prélever l'eau dans des flacons en verre ou plastique. Insérer la cathode du multi-paramètre puis noter les mesures le plus vite possible, dès que les chiffres sont stables.



Figure N° 30 : Photo réelle d'un pH-mètre

4- Analyses chimiques

4-1- Cations

4-1-1- Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+})

4-1-1-1- Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'Acide Ethylène diamine tétra cétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de deux indicateurs sur un même échantillon s'effectue le dosage successif du Calcium et du Magnésium.

4-1-1-2- Réactifs

- ✓ Solution d'EDTA 0.02 N : Dissoudre 3.721 g d'EDTA di sodique (cristallisé 2 H₂O) dans 1000 ml d'Eau distillée.
- ✓ 1ml d'EDTA 0.02N correspond à 0.4008 mg de Calcium, 1 mg de Carbonate de Calcium et 0.243 mg de Magnésium.
- ✓ Solution tampon : Mettre dans 400 ml d'eau distillée 55 ml de HCl concentré. Ajouter 310 ml de 2-Aminoéthanol, 100 mg EDTA magnésien. Compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.
- ✓ Solution de Noir d'Eriochrome : 0.5 g de Noir d'Eriochrome, 25 ml d'éthanol:

- ✓ Solution de Bleu d'Eriochrome : 100 mg de Bleu d'Eriochrome, 100 ml d'eau distillée, 0.25 g de chlorhydrate d'hydroxy lamine.
- ✓ Solution de NaOH 1N : 4 g de NaOH, 100 ml d'eau distillée
- ✓ Solution d'HCl 1 N : 8.3 ml de HCl, 100 ml d'eau distillée

4-1-1-3- Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser. Ajouter 3 ml de NaOH puis 3 gouttes de Bleu d'Eriochrome.
- Verser la quantité nécessaire de solution d'EDTA pour obtenir le virage au violet. Noter V1. Ajouter à la même solution 3.2 ml d'HCl 1 N et agiter durant 1 mn jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien.
- Verser 5 ml de la solution tampon et 1 goutte de solution de Noir d'Eriochrome. Bien mélanger.
- Introduire la quantité de solution d'EDTA nécessaire au virage au bleu. Noter V2 (figure) (Rodier, 2005).

4-1-1-4- Expression des résultats

- ✓ Pour une prise d'essai de 50 ml
- ✓ La teneur en Calcium est égale à $\text{Ca}^+ \text{ (mg/l)} = (\text{V1} * 0.4008 * 1000) / 50$
- ✓ La teneur en Magnésium est égale à $\text{Mg}^+ \text{ (mg/l)} = (\text{V2} * 0.243 * 1000) / 50$



Figure N° 31 : Dosage de calcium (photos personnels 2021)

4-1-2- Sodium (Na^{2+}) et Potassium (K^+)**4-1-2-1- Méthode du Photomètre à Flamme**

Le modèle 410 de Sherwood Scientific est un photomètre à flamme basse température pour la détermination des teneurs en Na, K et Li. Le Modèle 410 a un affichage digital et précis, fiable, facile d'emploi et simple d'entretien. Il est muni d'un détrompeur qui coupe automatiquement l'arrivée du gaz si la flamme ne s'allume pas ou si elle s'éteint en cours d'utilisation. Il y a aussi un contacteur de pression pour assurer que la flamme ne s'allume pas ou s'éteint si la pression atmosphérique devient inférieure à une valeur spécifiée.

4-1-2-2- Mode opératoire

Selon la teneur de l'élément à doser dans l'eau, il sera nécessaire de procéder à une dilution. L'addition de « tampons de radiation » permet de tenir compte de la présence de substances étrangères susceptibles de provoquer des interférences. D'une façon générale il y a lieu.

4-1-2-3- Méthodes de mesure**- Méthode de l'étalon interne**

- Ajouter à chaque échantillon une quantité connue et constante d'un élément autre que celui à doser.
- Mesurer le rapport des intensités de la raie analysée et de la raie de l'étalon.
- Se reporter à la courbe d'étalonnage établie dans les mêmes conditions.

Cette méthode permet d'éliminer les erreurs dues à des interférents, aux modifications de viscosité de la solution et aux variations de température de la flamme. Mais elle nécessite l'emploi de solutions étalons très pures. De plus, l'élément ajouté ne doit pas être un des éléments à doser dans l'échantillon d'eau analysée.

4-2- Anions**4-2-1- Bicarbonates (HCO_3^-)**

Les dosages ont été effectués par potentiométrie et par volumétrie en utilisant un appareil de titrage automatique et les réactifs : H_2SO_4 à 0.02N solution.

4-2-2- Chlorure (Cl⁻)

4-2-2-1- Principe

L'objet de la présente prescrit une méthode titrimétrique pour le dosage des chlorures dissous dans l'eau méthode de Mohr selon l'ADE (2021). Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

4-2-2-2- Réactifs

- ✓ Solution de nitrate d'argent (AgNO₃);
- ✓ Solution d'indicateur de chromate de potassium (K₂CrO₄).

4-2-2-3- Mode opératoire

- ✓ Dans un erlenmeyer de 250ml, prélève 5ml d'eau à analyser et 45ml de l'eau distillée,
- ✓ Puis on ajoute 1ml de chromate de potassium (K₂CrO₄),
- ✓ Puis on titre avec le nitrate d'argent (AgNO₃) jusqu'au virage au rouge brique (voire la figure....).

4-2-2-4- Expression des résultats

$$[\text{Cl}^-] = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \cdot C_{\text{AgNO}_3} \cdot F \cdot M_{\text{Cl}}}{PE}$$

Où :

V_{AgNO₃} : est le volume d'AgNO₃ nécessaire pour une concentration donnée.

C_{AgNO₃} : est le facteur de concentration molaire d'AgNO₃.

F : est le facteur de correction du titre d'AgNO₃.

M_{Cl} : est la masse molaire du chlorure.

PE : est la prise d'essai (ISO, 2003).

4-2-3- Sulfate (SO₄²⁻)

4-2-3-1- Principe

Dans un volume d'acide chlorhydrique contenant de chlorure de baryum les ions sulfates se précipitent en cristaux des sulfates de baryum mesurables par transmission à la spectrophotométrie.

4-2-3-2- Réactifs

- ✓ Solution Stabilisante,
- ✓ Solution de Chlorure de Baryum,
- ✓ Solution mère de Sulfates à 1 g/l à partir de Na₂SO₄

4-2-3-3- Mode opératoire

- ✓ Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- ✓ Ajouter 5 ml de la Solution Stabilisante.
- ✓ Ajouter 2 ml de Chlorure de Baryum.
- ✓ Agiter énergiquement pendant 1 min.
- ✓ Lire au spectrophotomètre (figure...).

4-2-3-4- Expression des résultats

[SO₄ 2-] mg/l = la valeur lue au spectrophotomètre * la dilution.

- (Méthode Allemande selon l'ADE (2021)).



Figure N° 32 : dosage de sulfate par un spectrophotomètre (photo réelle 2021)

II. Résultats et interprétations

Introduction

L'hydrochimie est la science qui étudie la chimie des eaux. Son étude permet de connaître les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et déterminer leurs origines géologiques. Elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Ce qui permet de comparer les eaux entre elles et d'interpréter les données d'analyses par des diagrammes.

Pour cela, nous avons sélectionné trois points d'eau : la source 01,02 et 03 située à la région d'Ain Mimoun, la commune de Tamza.

1- Résultats

Tableau N° 16 : Les résultats des analyses physico-chimiques des trois sources d'eau

Source d'eau	Paramètres physiques				Cations (méq/l)				Anions (méq/l)		
	pH	T°C	Minéralisation	Conductivité électrique (µs/cm)	Ca ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃	Cl	SO ₄
Source 01	7.214	15	125	420	9.3	0.69	4.84	0.47	12.63	2	0.57
Source 02	7.381	16	144	271	4.25	3.55	4.96	0.6	10.28	1	1.5
Source 03	7	16	178	476	9.26	0.68	4.95	0.61	13	2.11	0.57

2- Etude comparative des sources d'eau

On compare nos résultats des trois sources d'eau avec les normes de l'organisation mondiale de la santé (L'OMS) en 2006 dans ce tableau :

Tableau N° 17 : Comparaison entre les trois sources d'eau et les normes modérées par l'OMS, 2006

Elément / Substance	S1	S2	S3	Lignes directrices fixes par L'OMS
pH	7.24	7.381	7	6.5- 9.5
T°	15	16	16	25 °C
C.E	420	271	467	200-1000 µS/cm
Minéralisation G	125	144	178	
Ca+	9.3	4.25	9.26	<100 mg/l
K+	0.69	3.55	0.68	< 12 mg /l
Na+	4.84	4.96	4.95	150 -200 mg/l
Mg+	0.47	0.6	0.61	<50mg/l
HCO ₃ -	12.63	10.28	13	
Cl-	2	1	2.11	250-600 mg/l
SO ₄ -	0.57	1.5	0.57	200-500 mg/l

(OMS, 2006)

3- Interprétation

3-1- Les paramètres physiques

3-1-1- Le pH

Le pH de la zone d'étude varie entre 7, 7.214 et 7.381. Généralement les eaux d'Ain Mimoun est en adéquation avec la norme OMS (6.5 et 8.5) pour une eau potable.

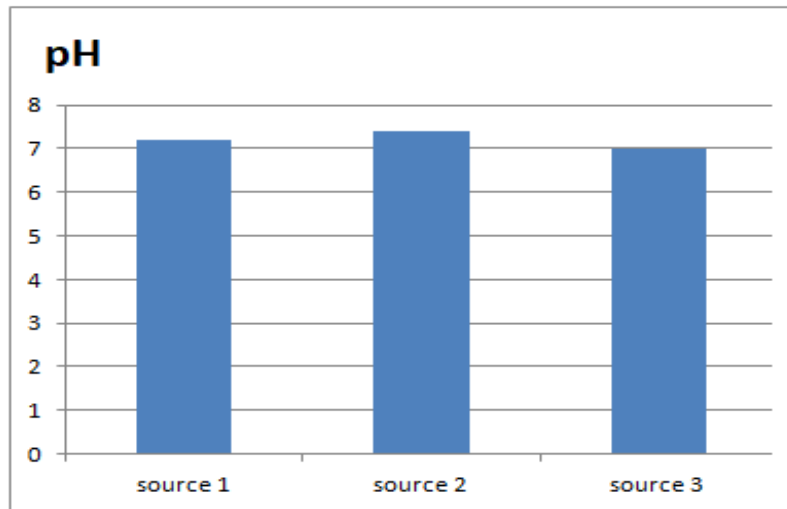


Figure N° 33 : comparaison de pH des trois sources

3-1-2- La conductivité électrique

L'OMS conseille, pour une eau destinée à la consommation humaine, une conductivité électrique pouvant atteindre la valeur de 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. On note que les valeurs de La conductivité électrique mesurée dans les trois sources sont situées au-dessous des valeurs maximal OMS comme explique la **figure N° 34**

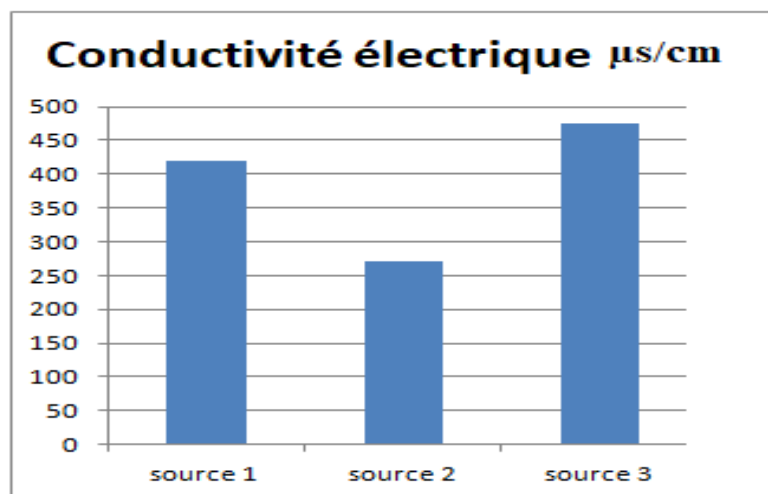


Figure N° 34 : comparaison de la CE entre les trois sources ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

3-1-3- La minéralisation globale

La totalité des valeurs de la minéralisation globale ne dépassent pas la norme de l'OMS, elles sont variées entre 125, 144 et 178 comme explique la **figure N°35**

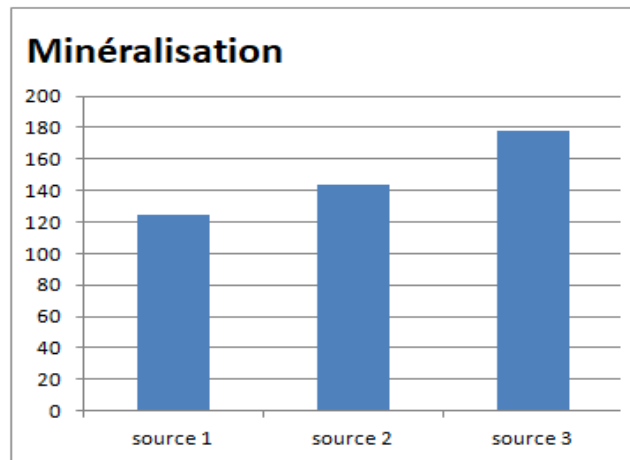


Figure N° 35 : Comparaison de la Minéralisation globale entre les trois sources

3-1-4- La température

Les valeurs de température observées dans la zone d'étude sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25 °c, elle varie entre 15°c et 16 °C.

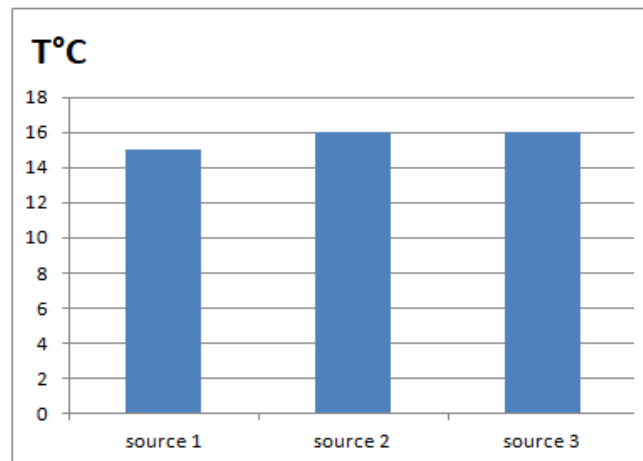


Figure N° 36 : Comparaison de la Température entre les trois sources (°C)

3-2- Les paramètres chimiques

3-2-1- Les cations

3-2-1-1- Ca⁺

La concentration de Calcium selon les normes de l'OMS pour accepter les eaux à la consommation humaine peut aller jusqu'à 100 mg/l.

Les résultats des teneurs en Calcium calculées dans les eaux des trois sources sont différents d'une source à l'autre tout en restant bien au-dessous des normes OMS :

La teneur en Calcium de source 1 (S1) se situe à environ 9.3 méq/l alors que celle de S2 est de 4.25 méq/l et la dernière est de 9.26 méq/l (**figure N° 37**).

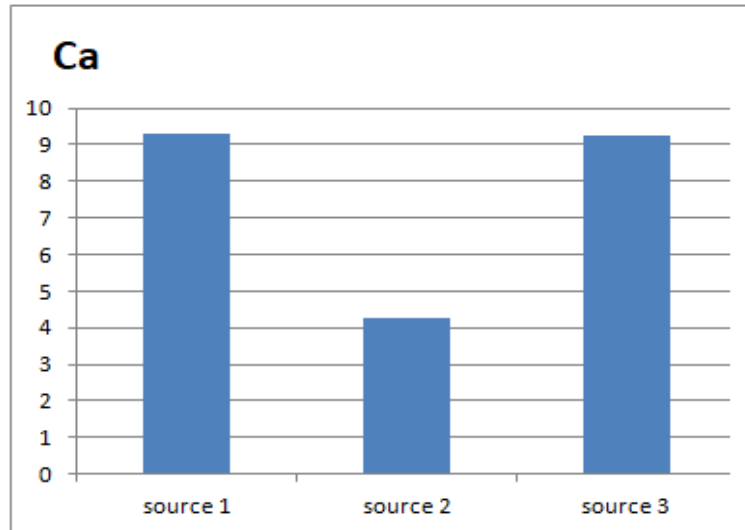


Figure N° 37 : Comparaison des concentrations de Calcium entre les trois sources (**még/l**)

3-2-1-2- K⁺

Les concentrations de Potassium mesurées sur les trois sources sont très faibles par rapport aux normes OMS, leurs valeurs vont de 0.69 méq/l, 3.55 méq/l et 0.68 méq/l d'après la **figure N° 38** ci-dessous :

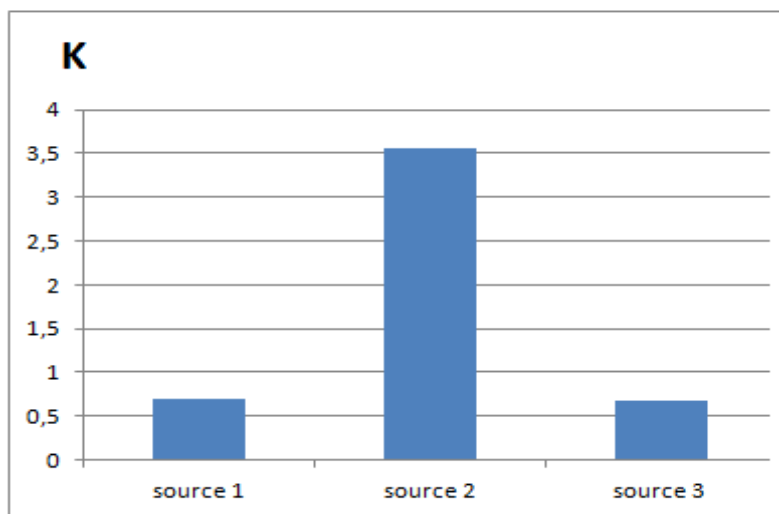


Figure N° 38 : Comparaison des concentrations de Potassium entre les trois sources (**még/l**)

3-2-1-3- Na²⁺

Dans les cas des trois sources concernées, les valeurs de Sodium sont bien plus faibles par rapport aux normes de l’OMS. Les valeurs mesurées dans les eaux des trois sources sont très faibles aussi bien pour la première source que pour la deuxième et la dernière, avec respectivement 4.84 méq/l et 4.96 méq/l et 4.95 méq/l, par rapport à la norme OMS de 150 à 200 mg/l (**figure N° 39**).

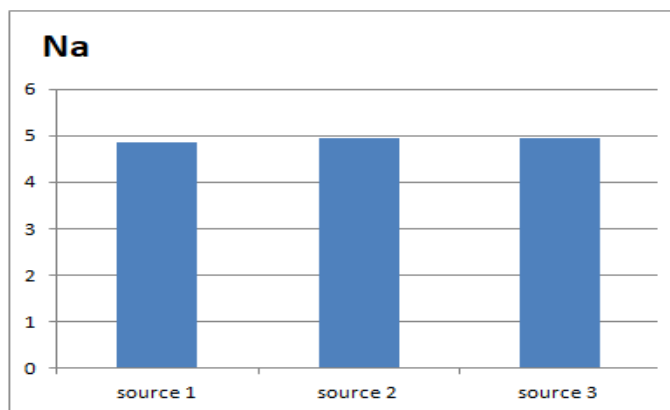


Figure N° 39 : Comparaison des concentrations de Sodium entre les trois sources (méq/l)

3-2-1-4- Mg²⁺

D’après le tableau de comparaison (**tableau N° 17**) et la figure ci-dessous, nous constatons que les concentrations de Magnésium pour les trois sources d’eau sont inférieures aux valeurs spécifiées par l’OMS (<50 mg/l), qui s’est concentrées sur ce qui suit 0.47 méq/l, 0.6 méq/l et 0.61 méq/l. Et donc elles y sont incluses et non dehors, ce qui rend les trois sources propres à la consommation.

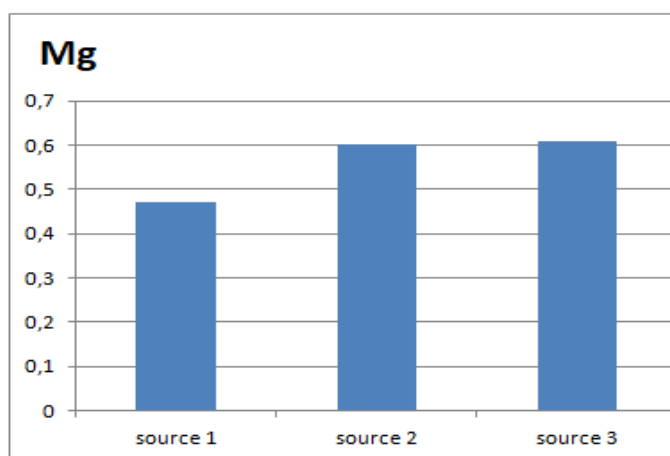


Figure N° 40 : Comparaison des concentrations de Magnésium entre les trois sources (méq/l)

3-2-2- Les anions

3-2-2-1- HCO_3^-

Les concentrations des bicarbonates dans les différents échantillons analysés de l'eau des sources, varient entre un minimum de 10.28 méq/l et un maximum de 13 méq/l et une valeur moyenne de 12.63 méq/l.

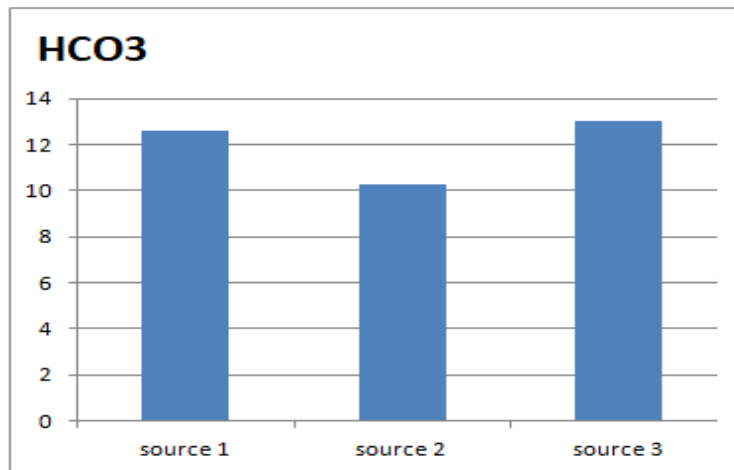


Figure N° 41 : Comparaison des concentrations de Bicarbonate entre les trois sources (méq/l)

3-2-2-2- Cl^-

On constate à travers le tableau comparatif (**tableau N° 17**) et la figure suivante (**figure N° 42**) que les concentrations de chlorure sont toutes dans les valeurs normales de l'OMS, qui s'enchaînent ; 2méq/l , 1 méq/l et 2.11 méq/l.

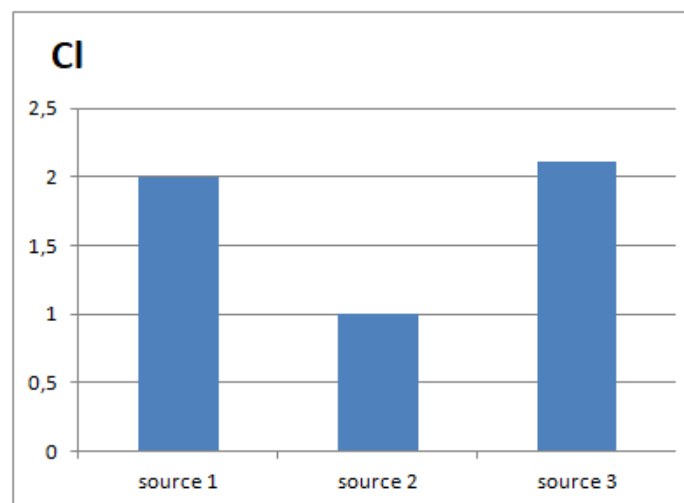


Figure N° 42 : Comparaison des concentrations de Chlorure entre les trois sources (méq/l)

3-2-2-3- SO_4^-

Selon le tableau de comparaison entre les concentrations de sulfate dans l'eau de source et les concentrations modérées spécifiées par l'OMS (**tableau N°17**) et la figure ci-dessous (**figure N°43**), les concentrations de sulfate sont raisonnables et dans les limites fixées par l'OMS.

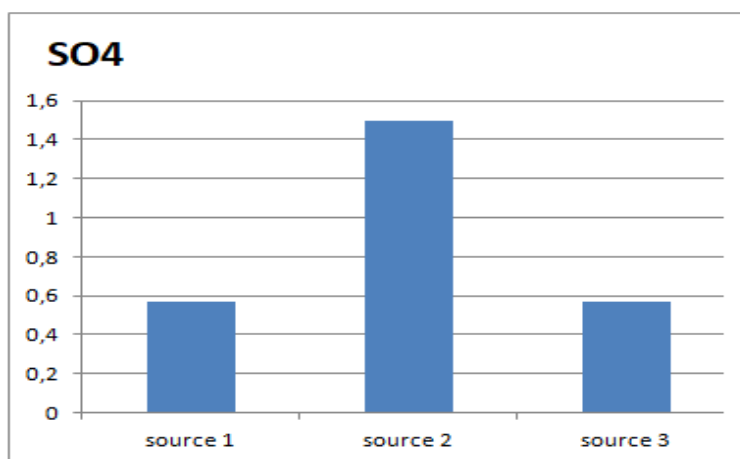


Figure N° 43 : Comparaison des concentrations de Sulfate entre les trois sources (**még/l**)

4- Les diagrammes et les faciès chimiques

4-1- Le diagramme de Piper

Ce diagramme est un autre mode de représentation graphique et de classification d'une eau analysée. De forme triangulaire, il est subdivisé en trois zones de faciès (**Figure N°44**). Les nuages de points concentrés dans une zone représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Cette méthode est fondée sur le dessin des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les sources entre elles. Ce diagramme comprend un losange et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont gradués en cent (100) unités égales correspondant aux quantités en réaction pour cent (calculé par rapport aux ions de même nature). Ainsi, dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les deux parallèles menées depuis ces points sur le losange s'entrecroisent en un seul point dans le losange, par simple lecture, le faciès chimique sera connu.

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des éléments majeurs.

Sur le diagramme de Piper nous allons interpréter les résultats d'analyses hydro chimiques, correspondant à la période d'observation, pour avoir une idée sur le faciès chimique des eaux de la région et sur son évolution temporaire, ainsi que sur le mode d'acquisition de ce faciès.

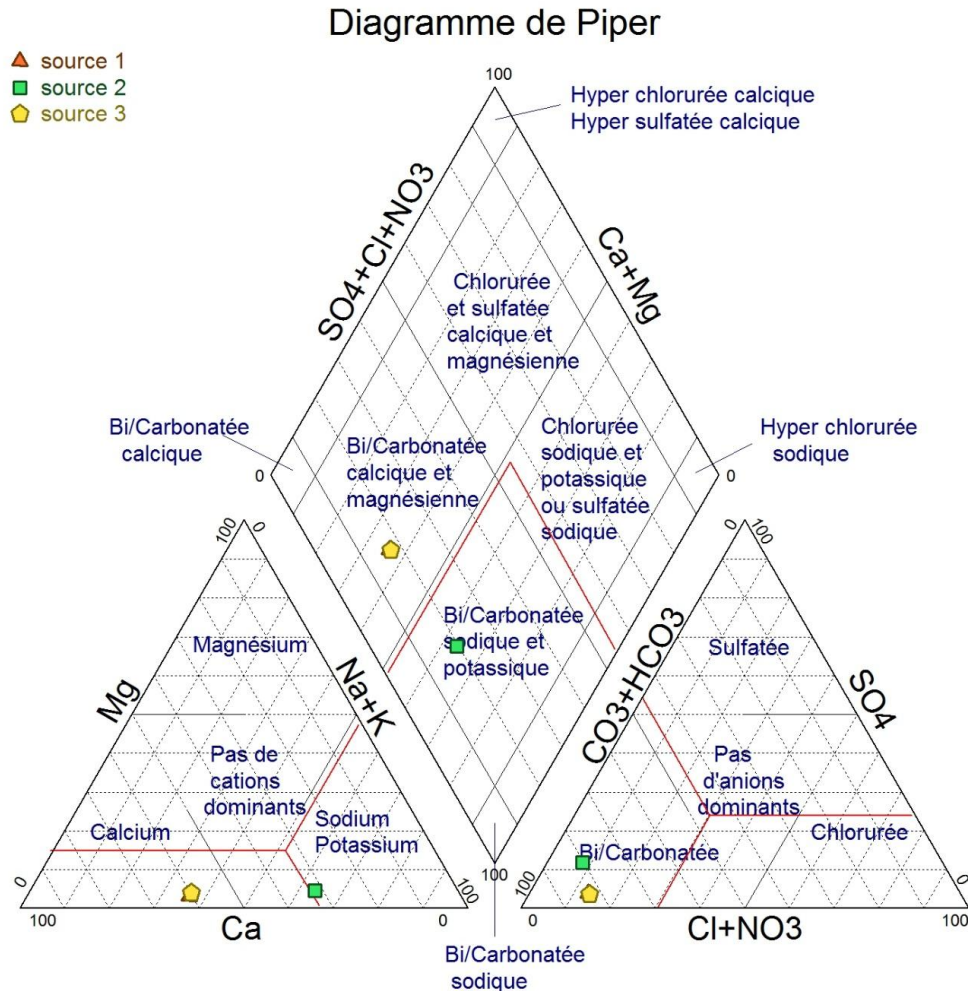


Figure N° 44 : La représentation des trois sources sur le diagramme de Piper.

4-2- Le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme a été établi par H.Schoeller en 1932 et révisé par Berkaloff en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Le diagramme de Schoeller et Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter chaque analyse par une ligne brisée. Le profil caractérise la concentration de chaque ion majeur en solution dans l'eau.

Les sept échelles logarithmiques à égale distance les unes des autres sont décalées de façon à aligner les valeurs unitaires des milliéquivalents des différents anions et cations.

Ces profils permettent de mettre en évidence la parenté des eaux entre elles ; c'est dans ce but que les diagrammes vont être utilisés par la suite ; ils peuvent aussi montrer le passage d'un faciès chimique à un autre (**figure N°45**).

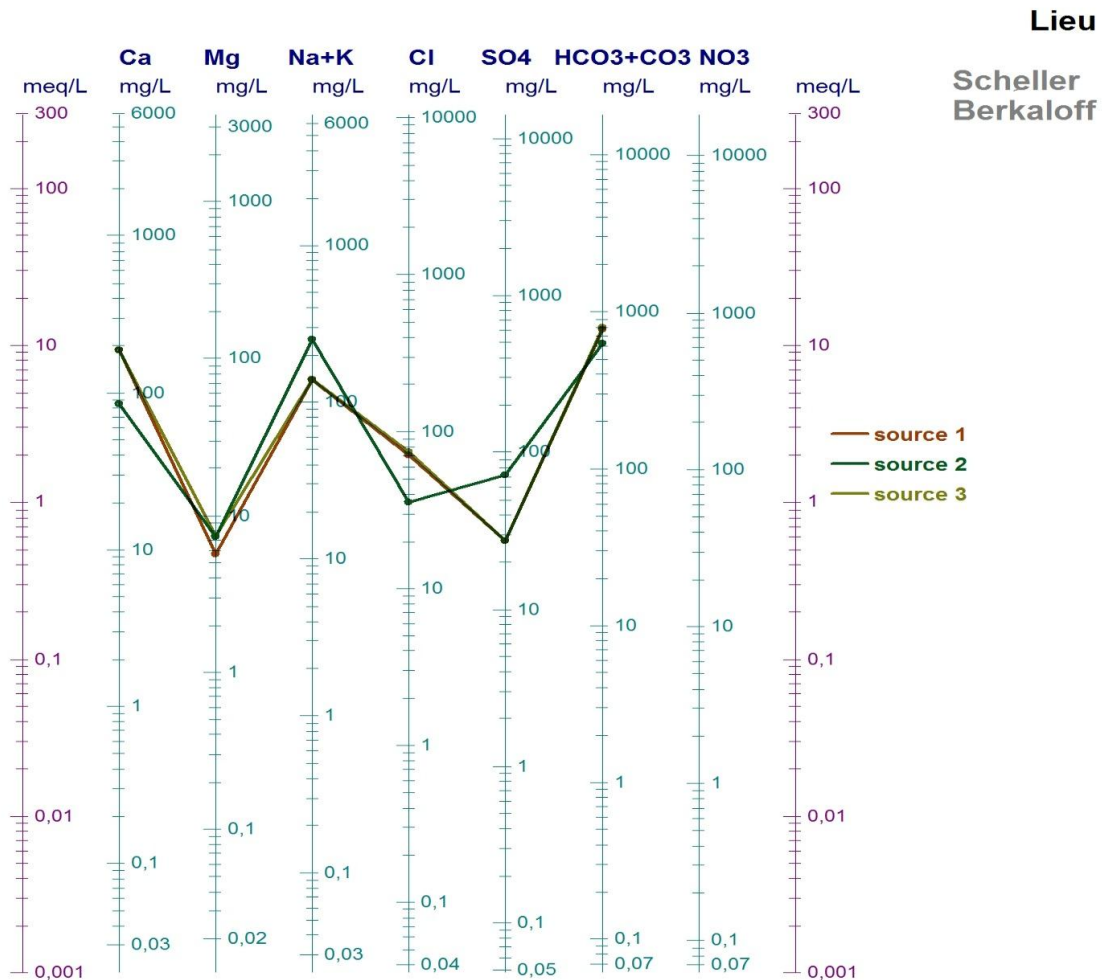


Figure N° 45 : La représentation des sources sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff

4-3- Détermination des principaux faciès chimiques

Le faciès chimique est déterminé par le calcul des quantités d'ions en réaction (conversion des concentrations en milliéquivalent / litre), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

Les principaux faciès chimiques déterminés pour les trois sources sont présentés dans le tableau suivant (**tableau N°18**), où on remarque que le faciès chimique de chacune des trois sources est différent de celui de l'autre.

- ✓ Dans notre cas, la combinaison des différents cations et anions sur le diagramme de PIPER a donné naissance à de faciès bicarbonaté calcique pour la source 01 et 03, et faciès bicarbonaté sodique pour la source 02 ce qui confirme l'impact des conditions climatiques, la lithologie et les activités anthropiques sur la formation de ces faciès.

- ✓ L'observation du diagramme de Schoeller-Berkaloff montre que les trois sources ont une origine similaire puisque les trois lignes de représentation des trois sources ont une même évolution (Figure). Aussi selon ce diagramme nous indique que les eaux de sources d'Ain Mimoun présentent 02 faciès : bicarbonaté calcique au niveau de (S1 et S3) avec des valeurs maximale aux niveaux des pôles ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), (Ca^{2+}), (HCO_3^-) et bicarbonaté sodique au niveau de (S2) avec des valeurs maximale aux niveaux des pôles ($\text{Na}^{++} \text{K}^+$), (Ca^{2+}), (HCO_3^-).

Tableau N° 18 : Faciès chimiques des trois sources

Les sources	Les faciès chimiques
S1	Bicarbonaté calcique
S2	Bicarbonaté sodique
S3	Bicarbonaté calcique

*Conclusion
générale*

Conclusion

Les différents chapitres de notre étude ont fait l'objet de conclusions partielles, aussi, résumons-nous brièvement les résultats obtenus :

Dans un premier temps, cette étude de caractérisation des eaux de trois sources, largement utilisées par la population au niveau de la wilaya de Khenchela, à l'Est de l'Algérie, a été menée dans le but de déterminer la qualité physico-chimique de ces sources.

L'étude géologique de la région des trois sources a montré que les formations géologiques parcourues par les eaux de ces sources influent sur la qualité chimique de leurs eaux parce que les principaux âges géologiques présents dans cette région sont à l'origine de cette composition.

Du point de vue physico-chimique et hydrochimique, les différentes teneurs mesurées et observées pour chaque paramètre étudié, au niveau des trois sources en comparaison avec les norme OMS, et avec l'interprétation des différents diagrammes (Piper, Schoeller-Berkaloff) ont donné les résultats suivants :

1. Les teneurs de chaque paramètre mesuré, qu'il soit physique ou chimique sont acceptables en comparaison avec les normes OMS.
2. D'après la représentation des résultats sur les diagrammes de Piper, Schoeller-Berkaloff les trois sources possèdent des faciès chimiques différents. Le faciès est bicarbonaté calcique pour la source 01 et 03, alors qu'il est bicarbonaté sodique pour la source 02.
3. D'après le diagramme du Schoeller-Berkaloff, on peut avancer que les trois sources possèdent une origine similaire puisque les trois lignes de représentation des trois sources ont une même évolution.

Enfin et d'après tous les résultats affichés, on peut que la qualité des eaux des sources de Ain Mimoun sont aptes à l'utilisation humaine.

Références

bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- **Abdessemed K., (1981).** Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma – Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Ing. Fac. St. Jérôme, Marseille. 199 p.
- **analyses physico-chimiques des eaux , lozere.fr).**
- aneutrophic lake; Part II: dissolved organic matter. Arch. Hydrobiology. 98, 443-462.

B

- **B.N.E.F, (Bureau National des Etudes Forestières). (1983-1984)** . plan d'aménagement des forêts d'Ouled Yagoub et Beni Oudjana.
- **B.N.E.F, (Bureau National des Etudes Forestières). (2004).** plan d'aménagement des forêts d'Ouled Yagoub et Beni Oudjana.
- **Belaa et Abboud, (2015) : Belaa .F. et Abboud .C, 2015** : Synthèse hydro-chimique des eaux souterraines de la commune d'EL Mahmel. Mémoire de Master. Université de Khenchela.57p
- **Ben aakame, (2015) : Benaakame R. (2015)** Caractérisation hydro-chimique, toxicologique et évaluation de risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc). Thèse de Doctorat, Université Mohammed V Rabat (Maroc). P.223.
- **Bengaibona, (2010) : Bengaibona B. (2010)** Analyse comparée des qualités microbiologique et Physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en ferro ciment : Cas des impluviums de DORI. Mémoire de Master, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (Burkina Faso). P.P.56.
- **Berne et Jean, (1991) : Berne. F, Jean. C. (1991),** Traitement des eaux, Édition TECHNIP, 1991, 306 p.
- **Bonnin, (1982). Bonnin. J. (1982),** Aide-Mémoire Hydraulique Urbaine, Éditions eyrolles, 1982, p 25.
- **Boubelli S., (2009).** Identification et mise en évidence les formations hydrogéologique de la wilaya de khenchela (nord-est algérien). Magister. Université Badji Mokhtar Annaba. p: 4 - 24.

Références Bibliographiques

C

- **C.E , (Conservation de la Foret) (2016)**. Présentation générale de la wilaya de Khenchela.
- **C.F (2021)**. Présentation general de la wilaya de khenchela. 2 p.
- **Camille Delarras, Bernard Trébaol (2003)** Serveillance sanitaire et microbiologique des eaux , LAVOISIER,.
- **Chausse et al., (2003) : Chausse K., Normandin L., Gauvin D., Levallois P. (2003)** Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Ed. Institut national de santé publique, Québec (Canada). P.14.

D

- **D. E (Direction de l'Environnement), (2016)**. directions de l'environnement de la wilaya de khenchela. Présentation de la zone d'accueil. P 15.
- **Degremont, (2005) : Degremont G. (2005)** Mémento technique de l'eau. Tome 1, 10ème Edition. Tec et doc, Paris (France). P.3- 38.
- **Direction Des Ressources en Eau De La Wilaya de Khenchela (2019)** . Service de la mobilisation des ressources en eau 2019
- **DPAT,(2012)** Situation administrative de la wilaya de Khenchela.10 p.

E

- **E.I.E, (Etude d'Impact Environnementale),, (2013)**. de la wilaya de khenchela, sur la région d'Ain Mimoun.

G

- **Glinka, (1977) : Glinka, N. (1977)**.Chimie Générale. Sous La Réduction De V.RABINOVITCH. Tome Ii. Ed. Mir Moscou. P576.
- **Goita, (2014) : Goita A. (2014)** Les bactéries pathogènes d'origine hydrique de l'épidémiologie à la prévention. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V–Souissi –Rabat (Maroc). P.P.134.

H

- **Halimi A., (1980)**. L'Atlas Blidéen – climat et étages végétaux. Office des publications universitaires, Alger. Edition n° 648. 532p.
- **Hama T et Handa N. (1983)**, the seasonal variation of organic constituents in

Références Bibliographiques

I

- **IBGE,(2005)./ IBGE,**Instituto Brasileiro de Geografia, Estatística. Coordenação de Trabalho, & Rendimento. 2005. Pesquisa nacional por amostra de domicílios: Síntese de Indicadores-2004.
- **Isabelle Guay-Thérèse Rossel. (2003),** Critères de qualité de l'eau de surface. 536p

K

- **Kadik B. (1987).** Influence du climat sur la repartition naturelle du pin d'alep en Algerie. Ann. Recherche forestière en Algerie. Vol. II n°2

L

- **Lawson, (2011) : Lawson L. (2011)** Amélioration de la désinfection solaire de l'eau de consommation par photo fenton. Mémoire de Master, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement((Burkina Faso). P.P.51
- **Les données de l'IBGE : l'eau à Bruxelles , Novembre (2005) :** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement.
- **Lounnas, (2009) : Lounnas A. (2009),** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda, Mémoire de Magister, Université du 20 Août 1955 de Skikda, Algérie

M

- **M'hirit O., (1982).** Etude écologique et forestière des cédraies du Rif marocain .Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Ann .Rech. Forest. Du Maroc, T (22), 502p.
Madi, (2010) : Madi-bamdou R. (2010) Potabilisation des eaux de consommation par photo Fenton. Mémoire d'Ingénieur, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (Burkina Faso). P.P.42.
- **Menant et al., (1984) : G. Menant – M.Oria – J. Raffin :** Anatomie, physiologie, hygiène, 3^{ème} élément de Médecine Tropicale, Janvier 1984

Références Bibliographiques

O

- **Olivaux, (2007) : Olivaux Y. (2007)** La nature de l'eau. Ed. Marco Pietteur (France). P.563.
- **Ouandaogo, (2008) : Ouandaogo S. (2008)** Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso, qualité et vulnérabilité. Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (Burkina Faso). P.P.245.

P

- **Peck, (1970) : Peck. H. D, (1970) :** Sulphur requirements and metabolism of microorganisms.
- **Pesson, (1979) : Person P, (1979) :** pollution des eaux continentales, incidences sur les biocénoses aquatiques (79- 101).

R

- **Ramade F., (2003).** Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale, Ed DUNOD, paris, P690.
- **Rejsek, (2002) : Rejsek F. (2002) :** Analyses des eaux, les aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén Crdp Aquitaine, Bordeaux (France). P. 109.
- **Rodier et al., (2009). RODIER, (2009) :** ANALYSE DE L'EAUX, EAOX NATURAL .EAUX RESIDUAURES. EAU DE MER .PARIS.DUNOD, 1579 .P
- **Rodier, (1996) : Rodier J. (1996),** L'analyse de l'eau, Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 8eme édition, Ed, Dunod, Paris, 1434 p.
- **RODIER, J.(2005):** L'ANALYSE DE L'EAU (EAUX NATURALLES RESIDUAIRES EAU DE MER), 8e EDITION.

S

- **Sari, (2014) : Sari H. (2014)** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen), Mémoire de Master, Université Abou –Bekr Belkaid Tlemcen. P.P.63.
- **Savary, (2010) : Savary P. (2010)** Guide des analyses de la qualité de l'eau, Ed. Territorial Voiron, (France). P.P.261.
- **Seltzer P., (1946).** Le climat de l'Algérie. Institut Météo et Physique du Globe. Uni. Alger. 129 p.

Références Bibliographiques

- **Squi lbin et Yourassowsky, (2005) : Squilbin Marianne, Yourassowsky Catherine 2005.** Qualité physicochimique et Chimique des eaux de surface. 16p.

W

- **WHO, (1994) ; Rodier, (2005). WHO., (1994).** Directive de qualité de l'eau de boisson. 2^{ème} édition. VOL 2. Critères d'hygiènes. Genève.

Z

- **Zouag et Belhadj, (2017) : Zouag B., Belhadj Y. (2017)** Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta « Tlemcen ». Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaïd (Tlemcen).P.P.121.