

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : SCIENCE DU SOL

N° :.....

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : DAHMANI Selssabil
SAHRAOUI Houda
TAIBA Halima

Intitulé

Adéquation des eaux souterraines destinées à
l'irrigation : Cas de la plaine alluviale de M'Sila
(Sud est algérien)

Soutenu devant le jury composé de :

TIR Chafia	MAA	Université de M'Sila	Président
AMROUNE Abdelouahab	MCA	Université de M'Sila	Rapporteur
GUENDOZEN Omar	MAA	Université de M'Sila	Examineur

Année universitaire : 2020 /2021

Remerciements

Avant tous nous remercierons **ALLAH**. Le tout puissant de nous avoir donné la santé la volonté et la patience afin d'accomplir ce mémoire.

En première lieu nous remercierons **Mr. AMROUNE Abdelouahab** d'avoir accepté de diriger ce mémoire par ses conseils sa compétence et sa gentillesse. On le remercie pour son encadrement professionnel.

Nous sommes l'honneur que le jury soit présidé par :
Melle. TIR Chafia et **Mr. GUENDOZEN Omar**
D'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous ne saurons oublier de remercier les enseignants qui ont étudié et l'administration d'agronomie nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidés et toute la promotion.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chères parentes.

A mes très chère frère et sœurs.

A tous mes amis.

Et à tous ce qui ont enseigné moi.

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime

A vous.

****TAIBA Halima****

****DAHMANI Selssabil****

****SARAOUI Houda****

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Première partie : Synthèse bibliographique

I.1. Introduction	4
I.2. Aperçu sur les ressources en eau à l'échelle nationale.....	4
I.3. L'eau et l'agriculture	5
I.4. Minéralisation des eaux souterraines	6
I.5. Les propriétés des eaux d'irrigation	7
I.5.1. Les paramètres physiques	7
I.5.1.1. La température (T)	7
I.5.1.2. Conductivité électrique (CE).....	7
I.5.1.3. Le Potentiel Hydrogène (pH)	8
I.5.1.4. Résidu sec	9
I.5.2. Paramètres chimiques	9
I.5.2.1. Les anions	9
I.5.2.1.1. Chlorures(Cl^-)	9
I.5.2.1.2. Bicarbonates (HCO_3^-).....	9
I.5.2.1.3. Sulfates (SO_4^{2-}).....	9
I.5.2.2. Les cations	10
I.5.2.2.1. Le sodium (Na^+)	10
I.5.2.2.2. Calcium (Ca^{2+})	10
I.5.2.2.3. Magnésium (Mg^{2+})	10
I.5.2.2.4. Potassium (K^+)	10
I.5.3. Dureté des eaux.....	11
I.5.4. Minéralisation	11
I.6. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	11
I.7. Classification des eaux d'irrigation	12
I.7.1. La classification de l'U.S.S.L	12
I.7.2. Classification de Christiansen (1977)	13

I.7.3. Classification par le diagramme de faciès chimique des eaux.....	13
I.7.3.1 .Diagramme de piper	13
I.7.3.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff.....	14

Deuxième partie : Matériel et méthodes

Chapitre 1 : Etude du milieu physique

II.1. Introduction	17
II.1.1. Situation géographique	17
II.1.2. Aperçu socio-économique.....	18
II.1.2.1. Agriculture.....	18
II.1.3. Habitat.....	18
II.1.4. Géomorphologie	18
II.1.4.1. Cadre Montagneux.....	18
II.1.4.2. Les piémonts	19
II.1.4.3. La plaine.....	19
II.1.4.4. Chott El- Hodna.....	19
II.1.5. Géologie	19
II.1.5.1. Stratigraphie	20
II.1.5.1.1. Primaire	20
II.1.5.1.2. Secondaire	20
II.1.5.1.2.1. Trias	20
II.1.5.1.2.2. Jurassique	20
II.1.5.1.2.3. Crétacé.....	21
II.1.5.1.4. Tertiaire	21
II.1.5.1.5. Quaternaire	21
II.1.6. Végétation	21
II.1.7. Sols	22
II.1.8. Climat	22
II.1.8.1. Précipitation.....	22
II.1.8.2. Température.....	23
II.1.8.3. Le vent.....	24
II.1.8.4. Humidité relative	25
II.1.8.5. Evapotranspiration ou déficit d'écoulement	27

II.1.8.6.Synthèse climatique	28
II.1.8.7.Le diagramme pluviométrique d'Emberger.....	28

Chapitre 2: Matériels et Méthodes

II.2.Introduction.....	32
II.2.1.Méthodes d'analyses sur terrain	32
II.2.1.1. Mesure de la température	32
II.2.1.1.1.Principe	32
II.2.1.1.2 Mode opératoire.....	32
II.2.1.2. Mesure de potentiel d'hydrogène (pH).....	33
II.2.1.2.1. Principe.....	33
II.2.1.2.2. Mode opératoire.....	33
II.2.1.3. Mesure de la conductivité électrique (CE)	33
II.2.1.3.1. Principe.....	33
II.2.2.Méthode D'analyse au laboratoire	34
II.2.2.1.Calcium (Ca)	34
II.2.2.1.1.Expression des résultats	34
II.2.2.2. Magnésium (Mg)	34
II.2.2.2.1.Expression des résultats	34
II.2.2.3. Sodium(Na)	35
II.2.2.3.1. Expression des résultats	35
II.2.2.4. Potassium(K).....	35
II.2.2.4.1. Expression des résultats	35
II.2.2.5. Les carbonates et les bicarbonates	35
II.2.2.6. Dosage des Chlorures par la méthode de 'MOHR'	35
II.2.2.6.1. Principe.....	35
II.2.2.6.2. Mode opératoire.....	36
II.2.2.6.3. Expression des résultats	36
II.2.2.7. Dosage des sulfates	36
II.2.2.7. 1. Mode opératoire.....	36
II.2.2.7. 2. Expression des résultats	36
II.2.2.8.Dosage des Nitrates	36
II.2.2.8.1. Principe.....	36
II.2.2.8.2.Mode opératoire.....	36

II.2.2.8.3. Expression des résultats	37
II.2.3. Conclusion.....	37

Troisième partie : Résultats et discussions

III.1. Introduction.....	39
III.1.1. Etude des paramètres physico-chimiques	39
III.1.1.1. Etude des paramètres physiques	39
III.1.1.2. Température	39
III.1.1.3. Potentiel hydrogène (pH)	40
III.1.1.4. Conductivité électrique.....	41
III.1.2. Etude des paramètres chimiques	42
III .1.2.1. Les anions	42
III.1.2.1.1. Les nitrates	42
III.1.2.1.2. Les Sulfates.....	43
III.1.2.1.3. Chlorures.....	44
III.1.2.1.4. Les bicarbonates.....	45
III.1.2.2. Les cations	46
III.1.2.2.1. Le calcium.....	46
III.1.2.2.2. Magnésium.....	47
III.1.2.2.3. Le Sodium.....	48
III.1.2.2.4. Le potassium	49
III.1.3. Faciès chimiques	50
III.1.3.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	50
III.1.3.2. Caractère de l'eau.....	53
III.1.3.3. Concentration en CO ₂	54
III.1.4. La dureté totale de l'eau	54
III.1.5. Étude de qualité des eaux souterraines en vue d'un usage agricole	55
III.1.5.1. Méthode du SAR	56
III.1.5.2. Méthode du pourcentage de sodium (Na%).....	58
III.1.5.3. Méthode de l'indice de perméabilité (IP).....	59
III.1.5.4. Méthode du risque de Magnésium (RM)	62

Conclusion générale

Référence bibliographique

Annexe

Liste des figures

Figure .I.1 : Diagramme de piper	13
Figure .I.2 : Diagramme de schoeller	14
Figure .II.1 : Situation géographique de la wilaya de M'Sila	17
Figure.II.2 : Carte géologique de la région de M'Sila et ses environs.....	20
Figure .II.3 : précipitation moyenne mensuelle de m'sila.....	23
Figure .II.4 : Température moyennes mensuelles de la région de M'sila durant la période (2000-2020)	24
Figure .II.5 : Variation des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de M'sila durant la période (2000-2019).....	25
Figure .II.6 : Humidité moyennes mensuelles en (%) de la région de M'sila durant la période (2000-2019).....	26
Figure .II.7 : Evapotranspiration de la station de M'sila durant la période (2000-2019)	27
Figure .II.8 : Diagramme ombrothermique de la station de M'sila.....	28
Figure .II.9 : Position de la station M'sila sur le climagramme d'Emberger.	30
Figure .III.1 . Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de M'sila	40
Figure .III.2 . Variabilité du pH des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	40
Figure .III.3 . Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la plaine de M'sila	41
Figure .III.4 . Variation des nitrates des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	43
Figure .III.5 . Variation des sulfates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila.....	44
Figure .III.6 . Variation des chlorures des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	45
Figure .III.7 : variation des bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	46
Figure .III.8 : Variation du calcium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila	47
Figure III.9 : Variation du magnésium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila	48
Figure III.10 : Variation du sodium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila	49
Figure III.11 : variation du potassium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	50

Figure III.12 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de M'sila	51
Figure III.13 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de M'sila	52
Figure III.14 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de M'sila	53
Figure III.15 : Diagramme du SAR	57
Figure III.16 : Classification de l'eau d'irrigation des puits selon le diagramme de Wilcox	59
Figure III.17 : Diagramme de l'indice de perméabilité	61

Liste des tableaux

Tableau I.1. Classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation.....	8
Tableau I.2. Classes de pH mesurés	8
Tableau I.3. Dureté des eaux en °F	11
Tableau I.4. Barème de qualité pour l'eau d'irrigation	12
Tableau II.1. Répartition de la Surface agricole utilisable (SAU) par spéculation	18
Tableau II.2. Culture des céréales pour la wilaya de M'Sila	18
Tableau II.3. Caractéristiques de la station météorologique de M'Sila.....	22
Tableau II.4. Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la région du M'Sila durant la période (2000-2020)	22
Tableau II.5. Températures moyennes mensuelles de la région du M'sila durant la période (2000-2020)	23
Tableau II.6. Vitesses moyennes mensuelles en (mm) de la région de M'sila durant la période (2000-2019)	25
Tableau II.7. Humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de M'sila durant la période (2000-2019)	26
Tableau II.8 : Evapotranspiration en (mm) de la région de M'sila durant la période (2000-2019)	27
Tableau II.9 : Valeur de $Q_3, P, M, m,$ et $M - m$ enregistrée dans la wilaya de m'sila.....	29
Tableau II.10 : Les conditions de conservation et prélèvement d'eau à analyser	32
Tableau III.1. Température des eaux souterraine dans la nappe de M'Sila.....	39
Tableau III.2. pH des eaux souterraine dans la nappe de M'sila	40
Tableau III.3. Conductivité électrique des eaux souterraines de la nappe de M'Sila	41
Tableau III.4. Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité	42

Tableau III.5. Teneurs en nitrates des eaux dans la plaine de M'sila	42
Tableau III.6. Teneurs en sulfates des eaux souterraine dans la plaine de M'sila	43
Tableau III.7. Teneurs en chlorures des eaux souterraine dans la plaine de M'sila	44
Tableau III.8 : Teneurs en bicarbonates des eaux souterraine dans la plaine de M'sila	45
Tableau III.9 : Teneurs en calcium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	46
Tableau III.10 : Teneurs en magnésium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila	47
Tableau III.11 : Teneurs en sodium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.....	48
Tableau III.12 : Teneurs en potassium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila	49
Tableau III.13. Faciès chimiques des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF	50
Tableau III.14 : Le caractère de l'eau.....	54
Tableau III.15 : Les résultats des quantités en CO ₂ libre	54
Tableau III.16 : Classification des eaux selon la dureté en °F.....	54
Tableau III.17 : Dureté des eaux souterraines de la plaine de M'Sila.....	55
Tableau III.18 : Les valeurs calculées du SAR	56
Tableau III.19 : L'indice de perméabilité (IP)	60
Tableau III.20 : Valeurs du risque de magnésium (RM)	62

Liste d'abréviation

A.N.R.H	: Agence Nationale de Ressources Hydraulique.
CE	: Conductivité électrique.
F.A.O	: Food Agriculture Organisation.
T	: Température (°C).
P	: Précipitation (mm).
D.S.A	: Direction des Services Agricoles.
SAR	: Sodium Absorption Ratio.
PH	: Potentiel Hydrogène.
Cl^-	: Chlorure.
HCO_3^-	: Bicarbonate.
SO_4^{-2}	: Sulfate.
NO_3^-	: Nitrate.
Na^+	: Sodium.
Ca^{++}	: Calcium.
Mg^{++}	: Magnésium.
K^+	: Potassium.
P	: Puits.
me/L	: Mili-équivalent par litre.
T moy	: Température moyenne.
ETP	: Evapotranspiration.
S. A U	: Surface Agricole Utile.
DT	: Dureté Totale des eaux.
IP	: Indice de Perméabilité.
RM	: Risque du Magnésium

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément de base pour la vie sur la planète terre, c'est la raison pour laquelle l'homme a tenté de maîtriser cette ressource indispensable. Malheureusement, depuis quelques décennies l'action anthropique dégrade de plus en plus l'environnement. L'eau peut être rare en certains endroits, comme les zones arides, ou tout simplement en qualité médiocre en d'autres endroits (**GOUAIDIA, 2008**).

Les ressources en eau représentent un élément fondamental dans le développement économique d'un pays. Les interférences du secteur de l'hydraulique avec les autres secteurs économiques ont fait de ces ressources un élément préalable pour la concrétisation des objectifs prioritaires pour le développement de l'agriculture (**Aouta,2014**).

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Pour pallier à cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation (**Jora ,1983**)

L'irrigation consiste à apporter l'eau nécessaire au bon développement des cultures afin de grandir un rendement élevé de biomasse. Le recours à l'irrigation à lieu pour compenser le déficit pluviométrique par rapport aux besoins en eau des cultures au niveau de la parcelle. Ce bilan hydrique est fortement influencé par le climat de la région, particulièrement par le microclimat de la culture et par le stockage de l'eau dans le sol (**ZELLA,2015**).

Par sa qualité chimique l'eau souterraine doit être destinée prioritairement à l'alimentation en eau potable (AEP). Malheureusement au niveau de plaine alluviale de M'Sila les aquifères sont exploités anarchiquement pour l'irrigation. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaine culture pratiquée dans la région, nous allons essayer d'étudier l'adéquation de ces eaux en irrigation. Notre participation ici est d'éclairer la qualité des eaux souterraines par l'analyse des principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques sur la base des données des analyses récentes qui ont été effectuées par les services de l'Algérienne Des Eaux de M'Sila (ADE) (**ZID elkheir et Baouche, 2016**).

Afin d'atteindre cet objectif notre travail dans un cadre méthodologique bien déterminée qui renferme les pratiques suivantes :

- ✓ Première partie sera consacrée à la synthèse bibliographique.
- ✓ Deuxième partie : contient deux chapitres ; le premier sur l'étude du milieu physique de notre zone d'étude et le deuxième consacré aux matériel et méthodes suivis.

- ✓ Troisième partie : Présentation des résultats obtenues et leurs interprétations
- ✓ Et enfin une conclusion générale.

Première partie

Synthèse bibliographique

I.1.Introduction

L'eau étant nécessaire au développement de toutes les formes de vie, animales ou végétales pour cette raison qu'il faut veiller à la préservation de cette ressource vitale des points de vue qualitatifs et quantitatifs (**SEDRATI,2011**).

Les pays du pourtour méditerranéen considéré comme semi-aride et arides sont de plus en plus confrontés à des pénuries d'eau. Dans ces zones le déficit hydrique climatique est très marqué et le recours à l'irrigation devient une nécessité vitale pour accroître et régulariser la production agricole (**SEDRATI,2011**).

Selon (**SAIYOURI,2012**), il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau.

Pour cela aux de cette étude et dans notre chapitre nous allons présenter les caractéristiques et les différentes des propriétés des eaux d'irrigation ; ainsi que, leurs critères généraux, les normes de qualités distinguées à l'irrigation et les méthodes d'évaluation de sa qualité.

I.2. Aperçu sur les ressources en eau à l'échelle nationale

Le pays est subdivisé en cinq bassins hydrographiques d'une superficie totale de 2.243.230 Km² regroupant 19 bassins versants (**ANRH, 2016**).

Les ressources en eau de surface renouvelables totales sont estimées à 13,2 Km³/an dans l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par sa superficie, ne renferme que 0,6 Km³ (**ANRH, 2016**). On estime que, pour apport pluviométrique annuel total de 65.10⁹ m³ le cycle de l'eau de l'ensemble des régions telliennes (zone comprise entre le versant Nord de l'Atlas saharien et l'Atlas tellien) se décompose ainsi : un ruissellement de 15.10⁹ m³ (23,1%), une infiltration de 3.10⁹ m³ (4,6%) et une évaporation de 17.10⁹ m³ (72,3%) (**Amroune, 2018**).

L'ensemble des cours d'eau représente 92% du total des écoulements en Algérie, bien qu'ils ne drainent que 7% de la surface du territoire (sans compter le Sahara et les hauts plateaux). Il se trouve que plus de 60% de la population vit dans cette partie septentrionale de l'Algérie, qui supporte la quasi-totalité de l'activité industrielle et agricole.

Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du Nord du pays sont estimées à près de 1,7 Km³/an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans l'espace et dans le temps (**Amroune, 2018**).

Institutions (ANRH, Ministère des ressources hydraulique) et chercheurs s'accordent autour d'un bilan de réserves exploitables de l'ordre de $1256.10^9 \text{ m}^3/\text{an}$ (**Benabdelli et al. 1995, Djelfi, 1996 et Hassani, 1993**). En 1995, un volume de $0,849.10^9 \text{ m}^3$ a été soutiré. Il est prévu de porter ce volume à 1180.10^9 m^3 en 2010 soit un accroissement de 38% (**Charef et Kouti, 1995**).

Le Sud du pays est caractérisé par l'existence de la nappe du Continental Intercalaire (eau souterraine fossile très peu alimentée vu les conditions climatiques actuelles) dont l'alimentation est estimée à $9,4 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2000, contre des sorties de l'ordre de $34,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (**UNESCO, 2003**) et celle du Complexe Terminal (CT) qui couvre elle même trois aquifères à importance variable. L'alimentation du CT est évaluée à $18,2 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2000, par contre ses sorties est de l'ordre de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (**UNESCO, 2003**).

Les ressources en eau (souterraine et de surface) prélevées en 2000 sont estimées à 6074 millions m^3 dont 3938 millions de m^3 sont destinées pour l'irrigation (65 %), 1335 millions de m^3 pour les usages domestiques (22 %) avec un volume rejeté de 600 millions de m^3 (eau usée domestique) et 801 millions de m^3 pour l'industrie (13 %) avec un volume rejeté de 20 millions de m^3 (eau usée industrielle) (**Amroune, 2018**).

Dans de pays, notamment dans les régions arides, l'eau souterraine joue un rôle crucial dans les moyens d'existence et la santé de la majorité des habitants, étant donné qu'elle fournit la quasi-totalité des ressources en eau à usage domestique, agricoles et industriel.

Les processus éco-systémique contribuant au maintien de l'approvisionnement des eaux souterraines doivent être protégés et restaurés s'ils sont dégradés. Les eaux souterraines entretiennent aussi de nombreux écosystèmes qui fournissent toute une gamme d'avantages /services aux populations humaines (**Ramsar,2010**).

I.3. L'eau et l'agriculture

La production agricole dépend très fortement de l'eau et se trouve de plus en plus souvent exposée à des risques liés à l'eau. C'est aussi le secteur le plus gros consommateur d'eau et l'un des plus gros pollueurs de cette ressource. Améliorer la gestion de l'eau dans l'agriculture est donc essentiel pour la durabilité d'un secteur agroalimentaire productif.

Ces dernières années, des régions agricoles partout dans le monde et en particulier en Algérie ont été soumises à des contraintes hydriques de plus en plus importantes. De graves sécheresses ont affecté la production agricole et fait baisser les réserves d'eaux superficielles et souterraines. En outre, ces contraintes ont changé également la qualité chimiques de ces eaux. Ces phénomènes et d'autres événements météorologiques extrêmes comme les inondations devraient aussi devenir

plus fréquents. D'après les prévisions, le changement climatique va accentuer la variabilité des précipitations et des approvisionnements en eaux de surface, ce qui réduira la couverture neigeuse et la superficie des glaciers et aura une incidence sur les besoins en eau des cultures (Ayers R.S. et Westcol D.W.;1984).

I.4. Minéralisation des eaux souterraines

L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO₂ dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction :

- De la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration ;
- Du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol ;
- Du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau.

Dans l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches : l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydro chimique. Première partie :

- Dans les terrains cristallins (granitiques), sableux et gréseux -c'est à dire riche en minéraux siliceux et silicatés
- les eaux sont douces : elles sont peu minéralisées mais acides et agressives pour les conduites
- Dans les réservoirs calcaires, les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium ; elles entartrent les conduites. Dans les réseaux karstiques, l'eau peut se charger de particules argileuses en suspension au cours des fortes pluies.
- Au contact du gypse, fréquent dans les terrains tertiaires, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure (séléniteuse) et impropre à la consommation.
- En bordure de mer, les aquifères peuvent être en contact avec l'eau de mer : échange à la nappe devient plus ou moins saumâtre. L'invasion de la nappe d'eau douce par l'eau salée est accélérée par les pompages et le rabattement de la nappe.
- L'eau des nappes alluviales a une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne et de celle de la rivière (Ziani, 2017).

I.5. Les propriétés des eaux d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les paramètres les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

I.5.1. Les paramètres physiques

I.5.1.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. La température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (**Becissa, 2011**).

I.5.1.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est la salinité ou la concentration totale de l'eau est à l'origine des risques salins liées à une présence excessive de sels quelque soit leur nature. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (**Rodier et al., 2009**).

Le tableau ci-dessous présente des classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation, modifié d'après (**US SALINITY LABORATORY, 1955**.) Le degré de salinité y est indiqué en termes de conductivité électrique qui est une mesure facile à obtenir à l'aide d'appareils peu dispendieux (plus y a de sels dans l'eau plus la conductivité est grande).

Tableau I.1. Classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation

Classe	Indice de salinité	Conductivité $\mu S/cm$ à $25^{\circ}C$	Remarques
C1	Basse salinité	$1 < C < 250$	<ul style="list-style-type: none"> - Faible minéralisation de l'eau. - Utilisation sur la plupart des cultures est des sols.
C2	Salinité modéré	$250 < C < 750$	<ul style="list-style-type: none"> - Minéralisation moyenne. - Utilisation sur sol modérément lessivé est plantes moyennement tolérantes au sel.
C3	Haute salinité	$750 < C < 2250$	<ul style="list-style-type: none"> - Eau salée. - Utilisation sur sol bien drainé et plantes tolérantes au sel. - Contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire.
C4	Très haute salinité	$2250 < C < 5000$	<ul style="list-style-type: none"> - Minéralisation forte. - Utilisation non souhaitable en agriculture.

Source : OMS, 1994

I.5.1.3. Le pH

Le pH (Potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 ; 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau (**L'équipes techniques RéFEA**)

Tableau I.2. Classes de pH mesuré

pH < 5	<ul style="list-style-type: none"> - Acidité forte. - Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
5.5 < pH < 8	<ul style="list-style-type: none"> - Eaux souterraines.
pH = 7	<ul style="list-style-type: none"> - pH neutre.
7 < pH < 8	<ul style="list-style-type: none"> - Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
pH = 8	<ul style="list-style-type: none"> - Alcalinité, évaporation intense.

Source : OMS, 1994

I.5.1.4. Résidu sec

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. Elle consiste à prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et la déverser dans la capsule. Cette est dernière placée à l'étuve à 105°C pendant 1/4 d'heure au dessiccateur et peser immédiatement. Les résultats sont donnés en mg/l suivant l'expression suivante : **(Rodier et al, 2005)**.

$$RS = (pp-pv) 10 \times 100$$

Pp : poids plein de la capsule

pv : poids à vide de la capsule

I.5.2. Paramètres chimiques

I.5.2.1. Les anions

I.5.2.1.1. Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère **(Santé Canada., 2008)**, ils sont présents à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, ainsi que de la dissolution des dépôts de sel. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. **(Nechad et al., 2014)**.

I.5.2.1.2. Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) de la minéralisation de la matière organique **(Mebarkia, 2011)**. La réaction de dissolution est donnée par l'équation suivante :



I.5.2.1.3. Sulfates (SO_4^{2-})

Le soufre se combine à l'oxygène pour donner l'ion sulfate, celui ci existe à l'état naturel dans certains minéraux tel le gypse et la baryte. Sa présence dans des eaux phréatiques provoque une dissolution du gypse **(Meybeck et al., 1996)**.

La nature géologique des formations des réservoirs, caractérisés d'une importance relative des formations gypsifères semble être à l'origine de ces variations locales et saisonnières des teneurs en sulfates des eaux ce qui se traduit par de très faibles concentrations en ions SO_4^{2-} **(Nechad et al., 2014)**.

I.5.2.2. Les cations

I.5.2.2.1. Le sodium (Na^+)

Parmi les sels dissous dans l'eau, le sodium requiert plus d'attention. De hautes concentrations en sodium peuvent être dommageables pour le gazon en modifiant les conditions physiques du sol (**Couture, 2004**).

L'analyse de la concentration du sodium dans l'eau d'irrigation ne peut être faite seule. En effet, l'influence du sodium dépend des concentrations en calcium et en magnésium. Aussi, plutôt que de parler de concentration en sodium, nous parlons plutôt d'une valeur qui tient compte des effets mutuels du sodium, du calcium et du magnésium (**Couture, 2004**).

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation (**Couture, 2004**).

Voici la façon dont on calcule le SAR (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en méq/l :

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

I.5.2.2.2. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium (**Nechad et al., 2014**).

I.5.2.2.3. Magnésium (Mg^{2+})

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

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates (**Rodier et al; 2009**).

I.5.2.2.4. Potassium (K^+)

Minéral blanc argenté, alcalin, radioactif, très réactif à l'eau, se trouve dans la nature sous la forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite (très minéralisée en contact avec certaines évaporites) et se trouve également dans les centres des végétaux sous

forme de carbonate; Le potassium provient de l'altération des roches silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, a base d'Azote, Potasse et Phosphore) retrouvés dans les eaux usées agricoles (Mebarkia,2011).

I.5.3. Dureté des eaux

La dureté d'une eau est due essentiellement à la présence des sels de calcium et de magnésium (Tardt-Henry & Beaudry, 1984).L'origine du Ca^{2+} et Mg^{2+} est attribuée à la dissolution des roches calcaire ires et dolomitiques en présence de CO_2 provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol Le calcium et le magnésium sont des éléments très solubles à l'état naturel et ils possèdent une grande mobilité aquatique. Il existe plusieurs manières d'exprimer la dureté, dans nos calculs on a utilisé le degré hydrotimétrique ou le degré français, avec $1^\circ F = 10 \text{ mg/l de } CaCO_3$. Elle est calculée par la formule suivante :

$$DT = (Ca + Mg) * 5 \quad \text{Où } Ca^{2+} \text{ et } Mg^{2+} \text{ sont exprimés en } meq/l.$$

Tableau I.3. Dureté des eaux en °F

D.H.T(en °F)	0 – 7	7 – 22	22 - 32	32 - 54	>54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Source : (W.Theobald et A.Gama, 1969).

I.5.4. Minéralisation

La minéralisation d'une eau est la concentration en sels solubles, elle est exprimée en mg /l et peut être estimée à partir de la conductivité selon les valeurs de cette dernière.

I.6. Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies.

Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. Les normes varient selon les pays, l'exemple du tableau 3 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth, 1997). Les normes ont pour objectifs de :

- Protéger le public et les ouvriers agricoles.
- Protéger les consommateurs des produits agricoles.
- Protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols.
- Protéger le matériel d'irrigation.
- Maintenir des rendements acceptables.

Tableau I.4. Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucun	Légère	Elevée
Conductivité(ms/cm)	< 0.75	0.75-3.0	> 3
Matières dissoutes totales	< 700	700-2000	>2000
SAR(Sodium Absorption Ratio)	< 3	3-9	>9
Alcalinité ou dureté	80-120	120-200	8>200
pH(risque de colmatage)	< 7	7-8	>8
Fe mg/l(risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	>1.5
Mn mg/l(risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	>1.5

Source : Maynard et Hochmuth,1997

I.7. Classification des eaux d'irrigation

I.7.1. La classification de l'U.S.S.L

C'est la classification la plus utilisée en ce qui concerne l'irrigation proposé par le laboratoire de Riverside (**RICHARD 1954**). Elle est basée sur la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux destiné a l'irrigation.

C'est-à-dire :- le SAR (% de Na échangeable)

- La conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm).

I.7.2. Classification de Christiansen (1977)

C'est une classification fondée sur sept critères : la conductivité électrique, le pourcentage en Na, le SAR, la teneur en Na_2CO_3 , la teneur en Cl, la salinité effective (ES), la teneur en Bore.

I.7.3. Classification par le diagramme de faciès chimique des eaux

I.7.3.1 . Diagramme de piper

Le diagramme de piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

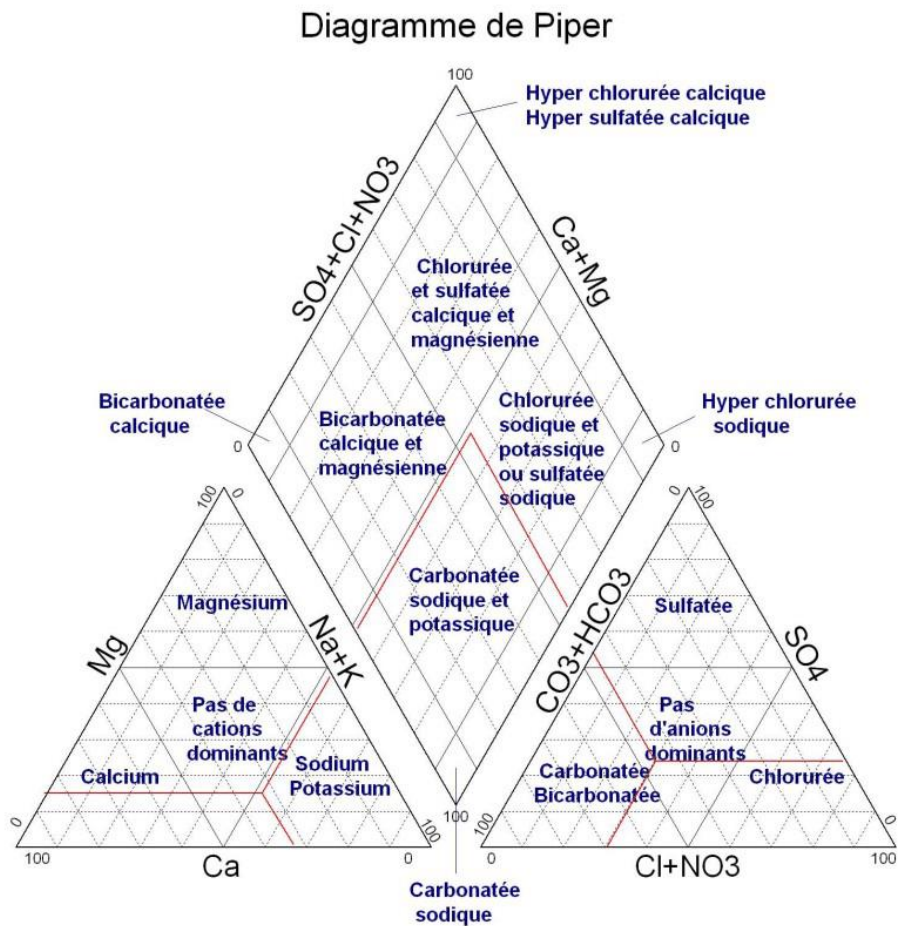


Figure 1: Diagramme de Piper

I.7.3.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme de Schoeller Berkalov (Figure 2) permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

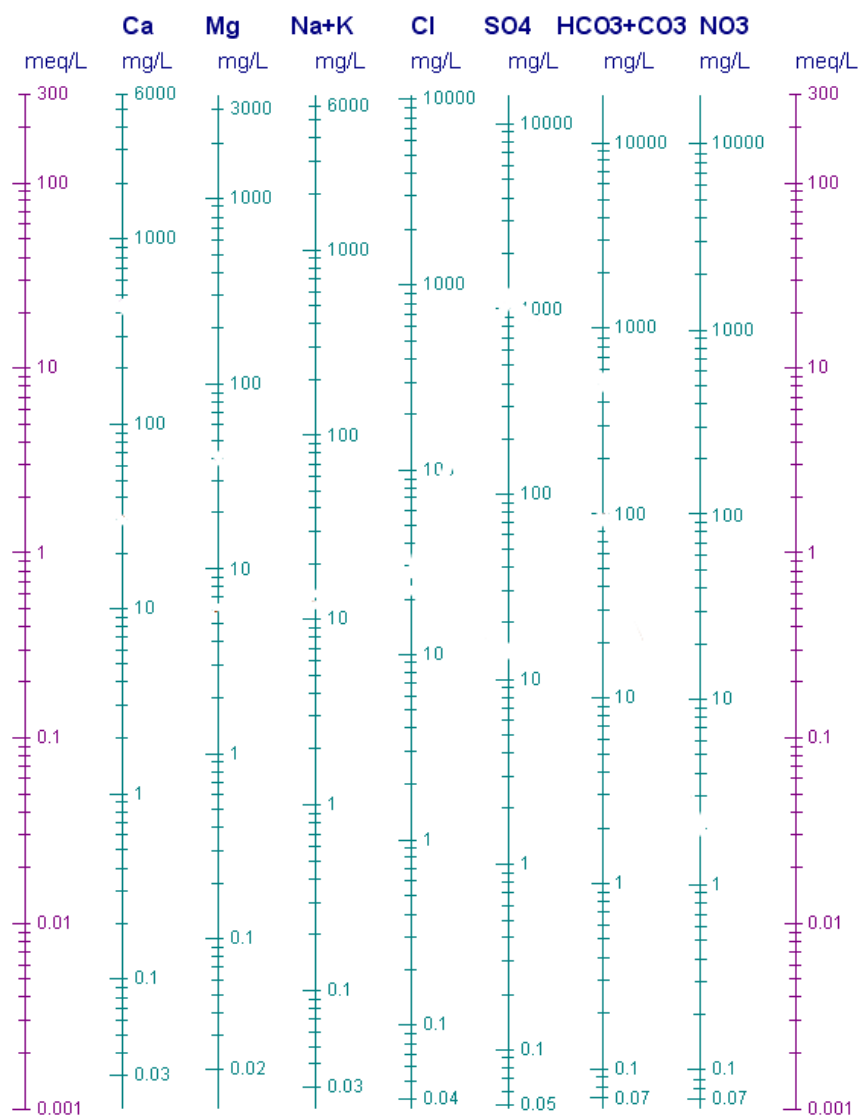


Figure 2: Diagramme de schoeller

Deuxième partie

Matériels et Méthodes d'étude

Chapitre 1

Etude du milieu physique

Deuxième partie : Matériel et méthodes

Chapitre 1 : Etude du milieu physique

II.1.Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons présenter situation géographique de la région d'étude, les facteurs édaphiques et climatiques qui caractérisent la région de M'Sila.

II.1.1. Situation géographique

La plaine alluviale de M'Sila est située au sud est de l'Algérie, dans la région des hauts plateaux La wilaya de M'Sila se trouve à 250 Km au sud est d'Alger. Elle est localisée dans le point où ses coordonnées géographiques sont :

- Une latitude de $35^{\circ}42'20''$ N et une longitude de $04^{\circ}32'30''$. Elle occupe une superficie de 18175 Km^2 .

La wilaya de M'Sila est limitée au nord par les wilayas de Bouira et de Bordj Bou Arreridj, à l'est par la wilaya de Batna au sud est par la wilaya de Biskra et au sud ouest par la wilaya de Djelfa (**Fig.II.1**).



Figure .II.1 : Situation géographique de la wilaya de M'Sila (Source : Google Earth ,2019)

II.1.2. Aperçu socio-économique

II.1.2.1. Agriculture

L'agriculture occupe une place importante au sein des activités de la population rurale. La principale activité dans la région d'étude est la culture des céréales (Orge et blé) et à moindre degrés l'arboriculture et les fourrages (Tab.II.1).

Tableau.II.1.Répartition de la Surface agricole utilisable (SAU) par spéculation

Spéculation	Céréales(ha)	Fourrage(ha)	Arboriculture(ha)	Maraichage(ha)	S.A. U
TOTAL	62000	3660	8640	1140	277592

Source :D. S.A. M'Sila (2014).

L'importance de céréaliculture est nettement observée dans la région comme le montre le tableauII.2. C'est une spéculation dominante. Les superficies utilisées pour les fonctions de la pluviosité.

Tableau.II.2. Culture des céréales pour la wilaya de M'Sila.

Céréales	Superficie emblavée (ha)
Blé dur	8450
Blé tendre	2550
Orge	5000
Avoine	1000
Total	62000

Source :D. S.A. M'Sila (2014)

II.1.3. Habitat

La population de wilaya de M'Sila est de 1073000 habitants, dont une forte proportion soit 15,31% ;se situe en niveau des chefs-lieux de communes, suivie des zones éparses avec une proportion de 12,86%. La densité de population est de 58 habitants/ km^2 (DPAT,2010). La population nomade est restée toujours localisée dans le sud et le sud-est de la wilaya. Deux communes sont constituées pratiquement d'une population nomade, il s'agit de Zarzour et Ouled Slimane(D.S.A,2014).

II.1.4. Géomorphologie

Les éléments géomorphologiques généraux de la région de M'Sila sont en nombre de quatre. On distingue les ensembles géomorphologiques suivants :

II.1.4.1. Cadre Montagneux

Limite le bassin du Hodna de la côte nord, dont l'altitude varie de 1400 à 2000m (Mimoune ,1995)

II.1.4.2. Les piémonts

C'est la zone de transition entre la montagne et la plaine, qui s'allongera d'ouest en est aux pieds des montagnes du versant nord entre les cotes 500 à 700 m.

C'est un ensemble correspondant de collines ; qui sont découpé et ravinées par les oueds qui descendent des montagnes (Oued M'Sila et Oued Selmane) et par des réseaux temporaires qui coulent après les pluies (**Mimoune ,1995**).

Les collines sont représentées par des plans inclinés et constituées par des dépôts Hio-pliocène,elles plongent vers le centre de la cuvette sous les alluvions récentes.

Le site d'étude fait partie de la zone de piemont, il est représenté par les glacié et cône d'accumulation.

II.1.4.3. La plaine

La plaine de M'Sila couvre une superficie d'environ 500 km^2 .elle est limitée au nord et à l'est par les glacis. Au sud, la courbe de niveau 400 m qui marque grossièrement le passage de la plaine au chott d'où une pente 0 à 5% (**Mimoune ,1995**).

II.1.4.4. Chott El-Hodna

Le Chott El-Hodna est une dépression qui s'est développés là où convergent les eaux issues de l'atlas saharien au sud et l'atlas tellien au nord.

Le chott à une forme elliptique il s'étend sur 77 km de longueur et 19 km de largeur.

Son altitude moyenne est de 392 m.

II.1.5. Géologie

Les études géologiques et géophysiques que la wilaya de m'sila est caractérisée par la présence d'un remplissage détritique très hétérogène, daté du Mio-plio-quaternaire, constitué de sables, graviers et galets dans une matrice argilo-limoneuse (**ANDI,2015**).

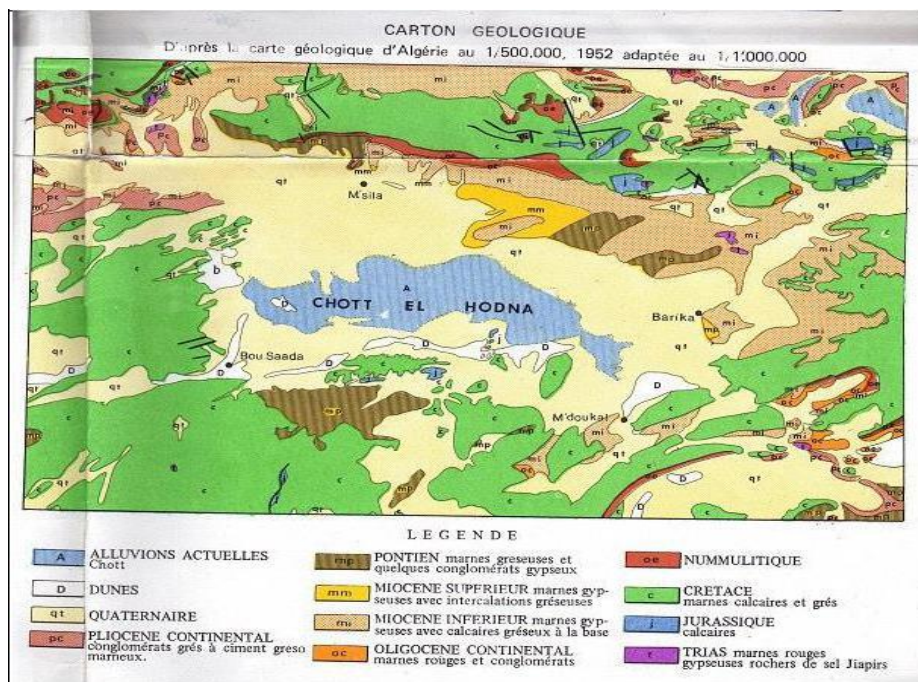


Figure .II.2. Carte géologique de la région de M'Sila et ses environs (Source : F.A.O ,1975).

II.1.5.1. Stratigraphie

Pour décrire les différentes formations géologiques affleurant sur le flanc sud des monts du Hodna, on s'est surtout inspiré des travaux de (Guiraud ,1973).

II.1.5.1.1. Primaire

La région du Hodna est dépourvue de formations géologiques paléozoïques(Guiraud ,1973). Toute fois au nord de celle -ci ont été observés au niveau de formations allochtones qui comportent des coupes provenant du socle primaire (roches sédimentaires, éruptives et métamorphiques).

II.1.5.1.2. Secondaire

II.1.5.1.2.1. Trias

Les Trias absents dans cette zone d'étude, les affleurements triasiques sont pseudodiapiriques (Boussaâda), soit jalonnant les contacts anormaux (Ouled Tebbane, Bou Taleb...).la série triasique telle qu'elle a été reconstituée par (Guiraud ,1973). Comporte une formation évaporitique inférieure traduisant la reprise d'influences marines.

II.1.5.1.2.2. Jurassique

Le Jurassique n'affleure à la faveur d'accidents majeurs que dans la partie centrale et orientale des monts du Hodna(Guiraud ,1973).

II.1.5.1.2.3. Crétacé

L'aptien inférieur est représenté par une barre calcaro dolomitique. Elle est surmontée par une alternance de calcaire à rudistes, de grés blancs, des calcaires huitres et des marnes rouges (**Guiraud ,1973**).

L'albien est représenté dans la zone d'étude par un faciès argilo-gréseuses et dolomitique, il atteint une épaisseur de 370 m.

Au niveau d'oued k'sob, on note un faciès calcaro-marneux surmonté par des marnes lumachelliques à nombreuses inter stratifications de calcaires argileux. Quant au maestrichtien, transgressif, il début par des calcaires et se poursuit par une alternance de calcaires et marnes (200 mètres) au sud de Maadid, le Danien est représenté par des marnes noires, schisteuse et pyriteuses recouvrant normalement les formations maestrichtiennes (**Guiraud ,1973**).

II.1.5.1.4. Tertiaire

- Eocène : les formations paléogènes affleurent en bandes plus ou moins parallèle sur le plan méridional des mots du Hodna, il est présente par des grés rouges, des arilles variées, des calcaires conglomérats.
- Oligocène continentale : il est forme par des conglomérats, des grés fins friables et des marnes rougeâtres.
- Miocène : il est constitué d'une alternance de marnes gypseuses avec des grés et calcaires.

II.1.5.1.5. Quaternaire

Le quaternaire est d'origine continentale, les formations quaternaires sont discordantes sur un substrum néogène et parfois paléogène et sont souvent protégées par des croutes calcarone gypseuses(**Guiraud ,1973**).

II.1.6. Végétation

La couverture végétale au niveau de notre secteur d'étude est pauvre , elle est constitué également par des taches forestière sur le monts de l'ouest et du sud ainsi qui une végétation steppique au voisinage du Chott El Hodna, constitué en majorité par des espèces qu'on rencontre le plus souvent dans les steppes algérienne tels que les teracissima (halfa),Artemisiahelba-alba (armoise).a triplexhalimus (atripex),les espèces arbustives sont également rencontrées dont les plus importantes sont :

Tamarix GALLICA (tamaris) et ziziphus (juzubier) et on rencontre des palmiers (**Ramsar,2001 ; Athmani et Baza,2017**)

II.1.7. Sols

Les sols de la région de m'sila appartiennent, pour une grande partie à la classe des sols calcimagnésique et a encroutement calcaire. Il y a des sols qui appartiennent à la classe des sols halomorphes (D.S.A.2014).

II.1.8. Climat

Le climat en région méditerranéenne est un facteur déterminant en raison de son importance. Dans l'établissement, l'organisation et le maintien de l'écosystème. Il joue un rôle fondamental dans la distribution et la vie des êtres vivant .la température et les précipitations représentent les facteurs les plus importantes du climat (Blissag et charabi,2011).

Les données climatiques proviennent de la station météorologique de M'Sila et couvrent une période de (2000-2020).

Les données recueillies concernent la température T(°C), et le précipitations P(mm) car c'est la proche aux régions de M'sila.

Tableau.II.3. Caractéristiques de la station météorologique de M'Sila.

Station	Cordonnées		Altitude	Données disponibles	Période
	L'atitude	Longitude			
M'Sila	35°40' N	4°30' N	441m	Pet T	2000-2020

Source : Station météorologique de M'Sila, 2020

Les paramètres climatiques retenus sont précipitation les températures, l'évapotranspiration, le vent et l'humidité relative.

II.1.8.1. Précipitation

La précipitation constituée un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes limniques. Selon ce même auteur, les précipitations jouent un rôle important dans l'apparition du tapis végétal (Blissage et Charabi,2011).

Tableau.II.4. Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la région du M'Sila durant la période (2000-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O	TOTAL
P(mm)	25,8	22,9	24,7	16,1	17,3	15	20,5	23,3	24,9	10,1	6,1	5,6	212,3

Source : Station météorologique de M'sila, 2020

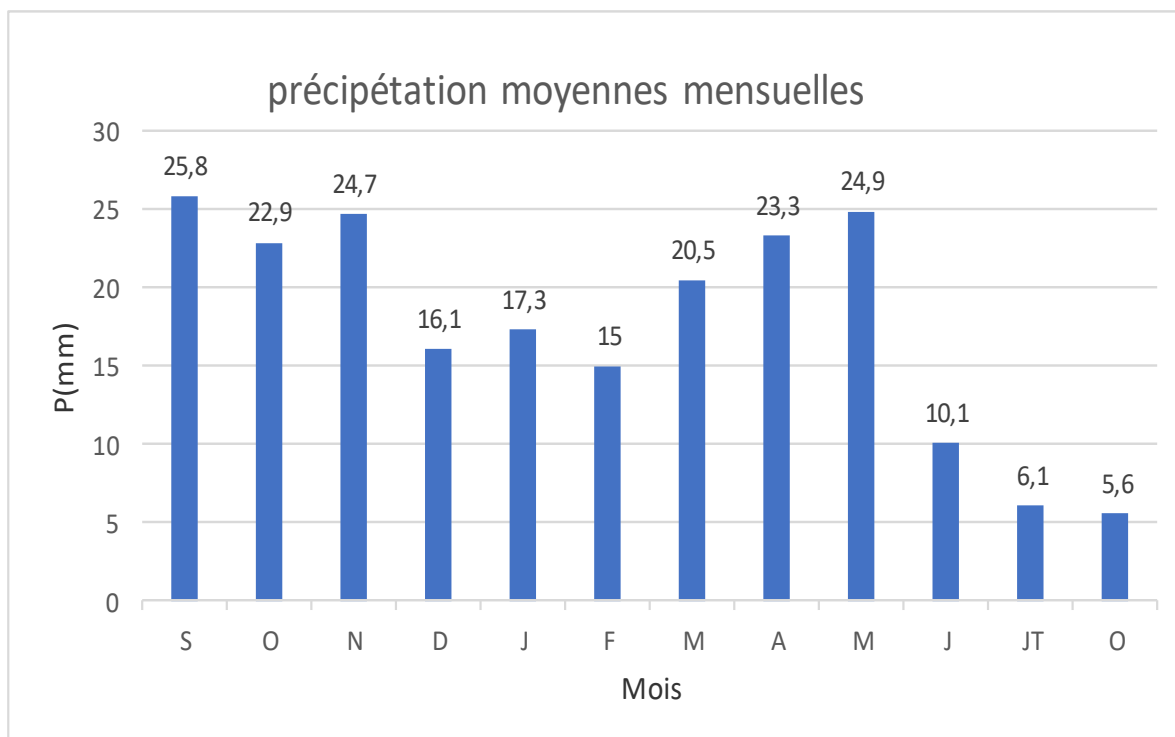


Figure .II.3 : précipitation moyenne mensuelle de m'sila

D'après le tableau le plus pluvieux dans la station de M'sila est le mois de Septembre 25,8mm, alors que le mois le plus sec est aout 5,6 mm .la moyenne des précipitations annuelles en registrées est 212,3mm.

II.1.8.2. Température

La température est un facteur climatique très important et comparativement aux autres facteurs qui sont secondaires, c'est lui qu'il faut examiner en premier lieu pour son influence écologique sur les êtres vivant (**RAMADE,2003**).

Tableau .II.5. Températures moyennes mensuelles de la région du M'sila durant la période (2000-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O
T(°C)	22,8	19,1	13,4	9,9	8,9	9,8	13	16	20,1	24,4	28,3	27,1

Source : station météorologique de M'Sila, 2020

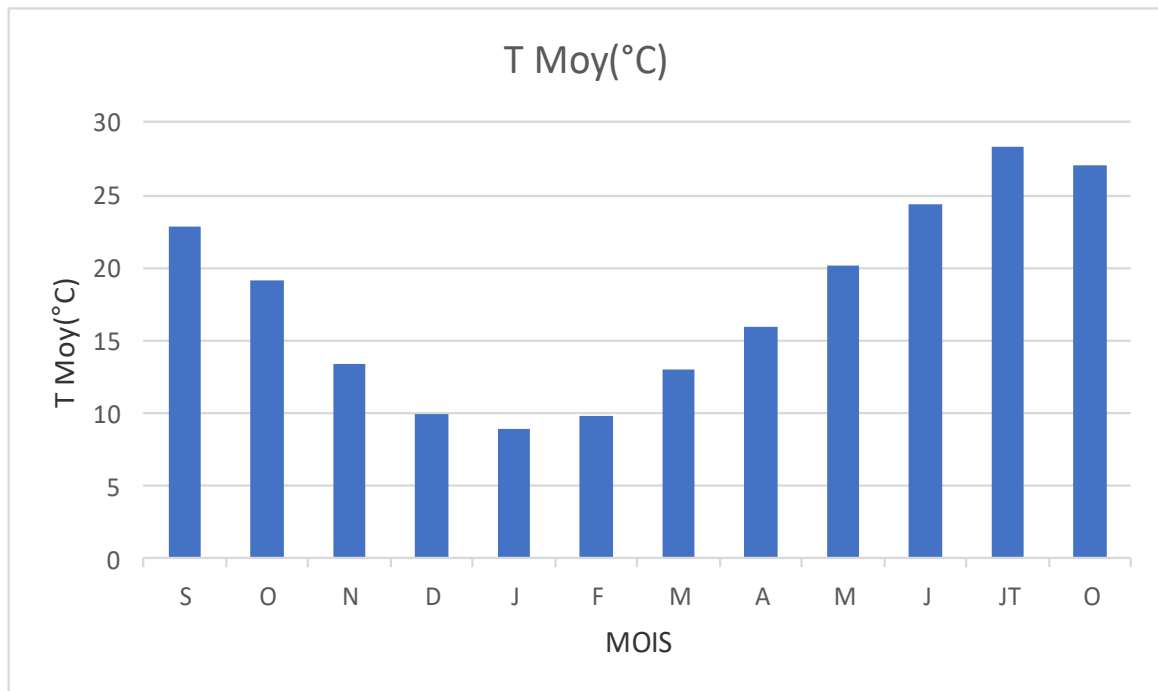


Figure .II.4.Température moyennes mensuelles de la région de M'sila durant la période (2000-2020).

Dans la figure montre que la température maximale est enregistrée au mois de juillet avec 28,3 °C alors que la température minimale est enregistrée au mois de janvier avec 8,9 °C.

II.1.8.3. Le vent

Le vent est déplacement de l'air au sein de l'atmosphère.il est nait sous l'effet des différences de températures et de pression. Ainsi, lorsqu'il existe une différence de pression entre deux points, l'air circule de l'endroit où la pression est la plus élevée (ou l'air est froid) vers l'endroit où elle est la moins élevée (ou l'air est chaud), en d'autres termes, l'air se déplace de la haute pression vers la basse pression. Le grand responsable de ce phénomène est le soleil (**Lazaar,2009**).

Tableau. II.6. Vitesses moyennes mensuelles en (mm) de la région de M'sila durant la période (2000-2019)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O
Vitesse de vent (m/s)	1,59	1,19	2,3	2,14	2,5	3,24	3,41	3,2	2,94	2,24	1,91	2

Source : station météorologique de M'sila

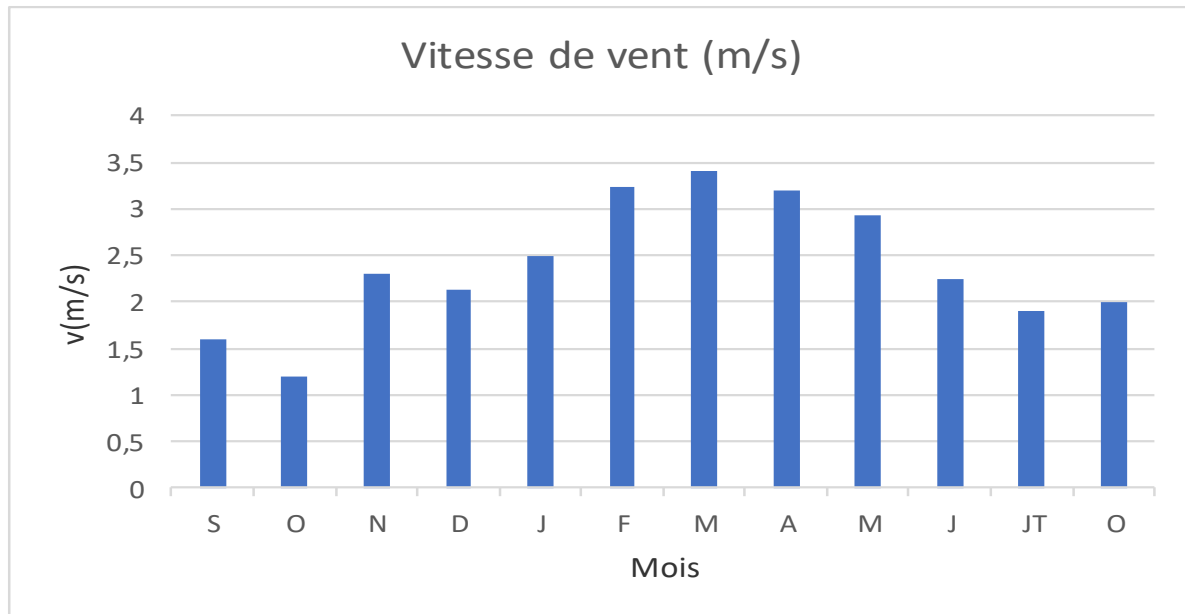


Figure .II.5 : Variation des vitesses moyennes mensuelles en (m/s) de la région de M'sila durant la période (2000-2019).

L'écologiste chinois (**Liushu 1984**) considère qu'il y a risque sérieux de désertification lorsque la vitesse moyenne mensuelle est de 2 m/s à 3,8 au -dessus du sol.Ce chiffre est en accord avec celui retenu par la FAO (**Boyadgiev,1984**), ce qui nous permet de dire selon le concept de ces scientifiques que notre région d'étude a une vitesse moyenne annuelle de 2,14 m/s est menacée de désertification par érosion éolienne.

II.1.8.4. Humidité relative

L'humidité relative indique que l'état de l'atmosphère est plus ou moins proche de la condensation c'est -à-dire la valeur de l'humidité relative à laquelle correspondant les sensations d'humilité ou sécheresse de l'air (**Seltzer,1964**).

Tableau .II.7. Humidité moyenne mensuelle en (%) de la région de M'sila durant la période (2000-2019).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT	O
Humidité (%)	46,8	57,1	65	71,7	69,5	62,3	52,5	48,7	43,8	33,3	30,9	34,2

Source : station météorologique de M'sila, 2020

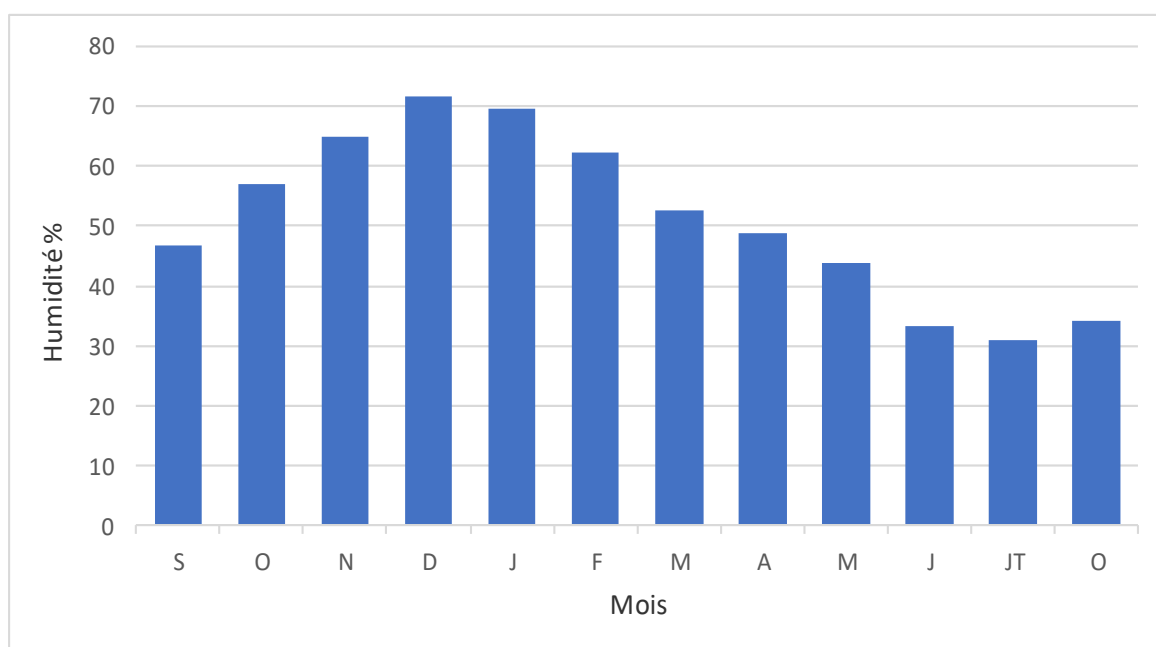


Figure .II.6 : Humidité moyennes mensuelles en (%) de la région de m'sila durant La période (2000-2019).

D'après les valeurs représentées dans la figure ci-dessus on remarque l'humidité de l'air enregistré pour la zone est moyenne avec un cumul annuel de 51,31%.

Elle effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 30,9% au mois de juillet, sous l'action d'une forte évapotranspiration et des vents chauds ; alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une valeur maximale de 71,7% au mois de décembre.

II.1.8.5. Evapotranspiration ou déficit d'écoulement

La connaissance du bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

L'évapotranspiration est définie comme étant une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère. Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol que celle transpirée par les plantes.

Tableau .II.8 : Evapotranspiration en (mm) de la région de M'sila durant la période (2000-2019).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JT
Evapotranspiration en (mm)	158,2	116,7	70,8	51,5	60	70,8	100,3	131	184,8	234	267,9

Source: station météorologique de M'sila

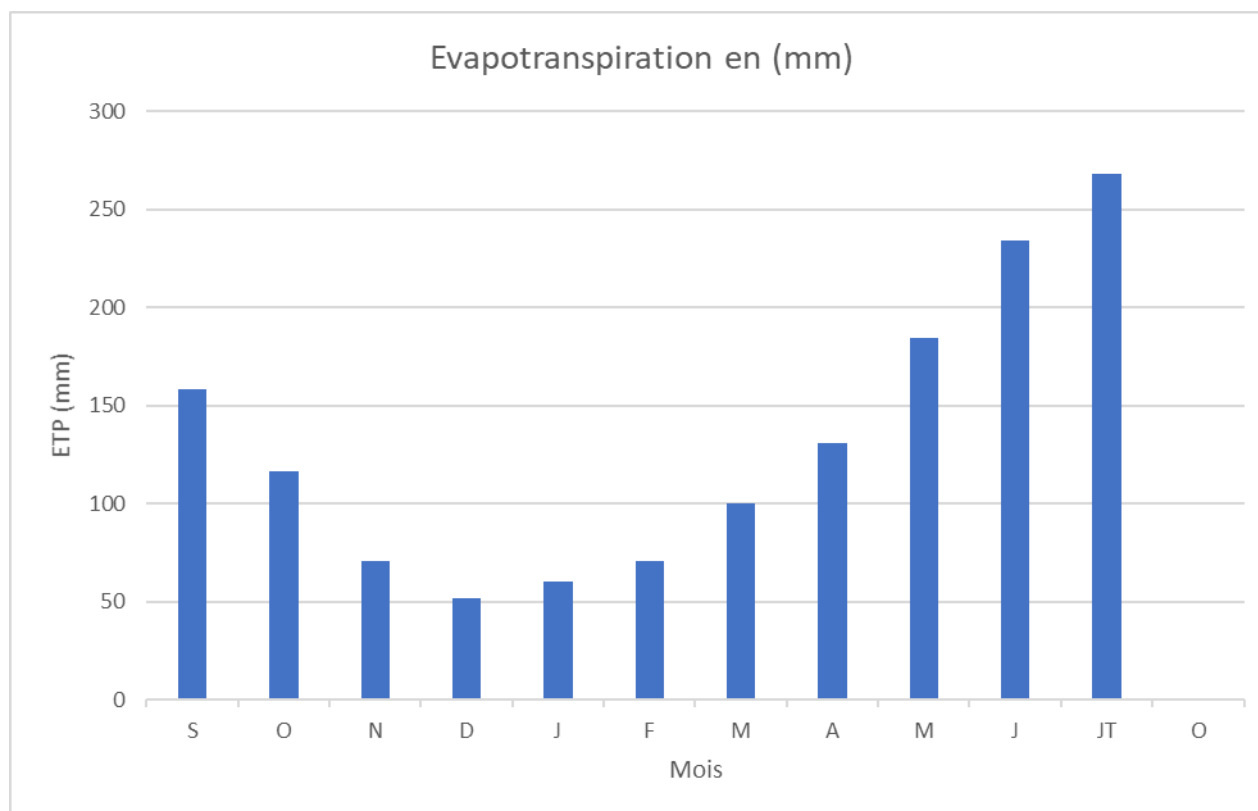


Figure.II.7 : Evapotranspiration de la station de M'sila durant la période (2000-2019).

Les valeurs notées dans la figure montrent que la zone d'étude est caractérisée par une forte évapotranspiration avec une écarte très important de 216,46 mm entre la valeur maximale de mois de juillet (267,96 mm) et la valeur minimale de mois de décembre (51,5 mm).

L'évapotranspiration est plus élevée en été par rapport aux autres saisons sous l'action de la température élevée et les faibles précipitations.

II.1.8.6.Synthèse climatique

1-diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitation (P en mm) et de la température (T en °C)et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et intensité. Celle -ci est appréciée à travers un indice de sécheresse (S= indice ombrothermique) calculé en faisant la différence entre les courbes P et T pour le et les mois le plus sec ($P=2T$).

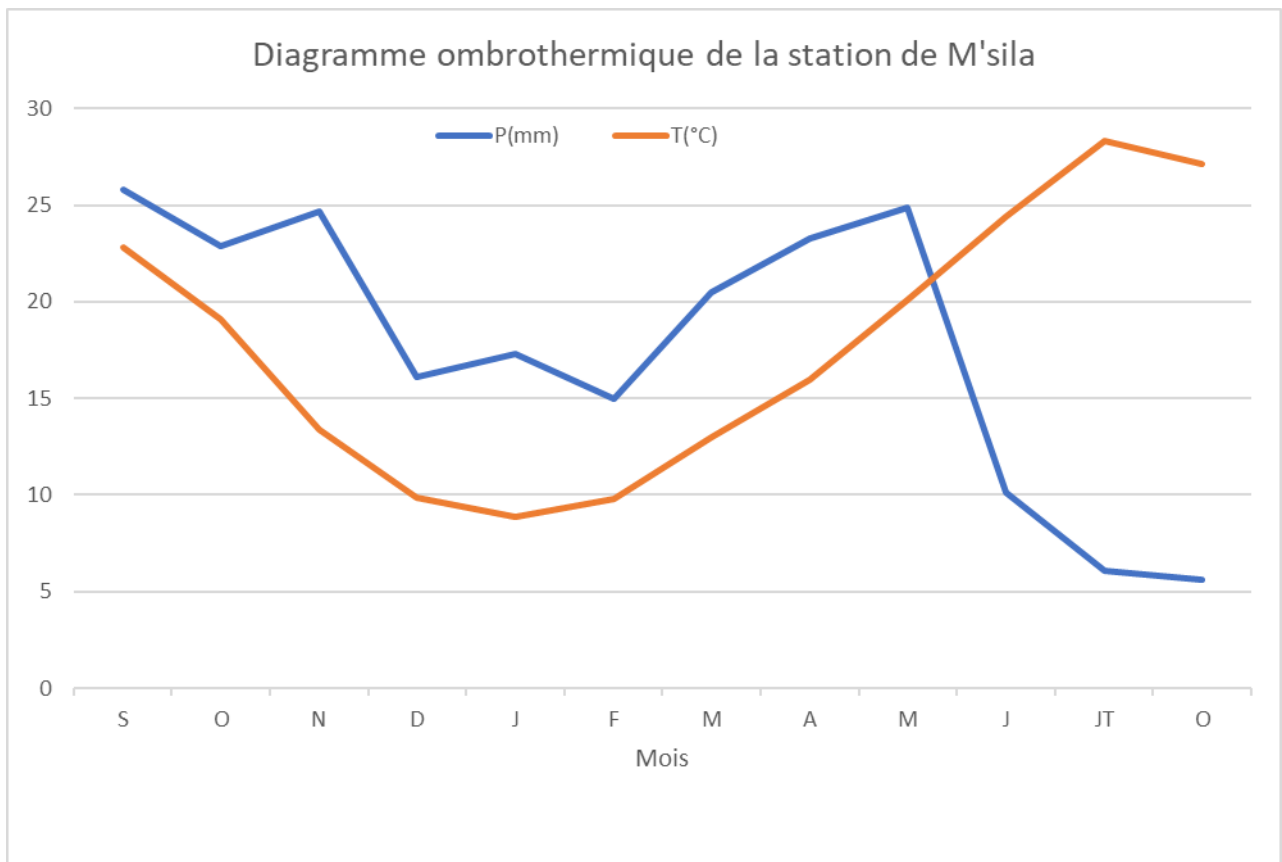


Figure.II.8. :Diagramme ombrothermique de la station de M'sila

II.1.8.7.Le diagramme pluviométrique d'emberger

Le diagramme d'emberger permet le classement de différents types de climats (**Dajoz,1971**).

La classification la plus utilisée a été élaborée par **Emberger** utilisant un diagramme bidimensionnel dans lequel la valeur d'un quotient pluviométrique(Q_2) d'une localité déterminée est rapportée en ordonnée et la moyenne du mois le plus froid de l'année en abscisse. (Q_2) est calculé par la formule suivant :

$$Q_2 = \frac{(1000 \times P)}{(M - m) \left(\frac{M + m}{2} \right)} = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

Stewart (1968 ;1975) transforme cette équation, en l'adaptant avec le climat de l'Algérie.

Comme suit :

$$Q_3 = \frac{3,43 \times P}{M - m}$$

Q_2 : quotient pluviothermique d'emberger.

Q_3 : quotient pluviothermique modifié par Stewart (1968 ;1975).

P : pluviométrie annuelle (mm).

M : moyenne maximale du mois le plus chaud.

m : moyenne minimale du mois le plus froid.

Le tableau montre le résultat de l'application de la formule de Stewart, les valeurs indiquées dans le tableau nous permettent de situer la région de M'sila dans le climagramme d'emberger.

Tableau.II.9 : valeur de $Q_3, P, M, m,$ et $M - m$ enregistrée dans la wilaya de m'sila.

Paramètres	P(mm)	M(°C)	m(°C)	$M - m$	Q_3
Valeurs	212,3	43,5	-1,6	45,1	16,14

La valeur du quotient d'Emberger Q_3 est 16,4 et température annuelle minimale est de -1,6 °C ces deux valeurs positionnent la région de M'sila dans l'étage bioclimatique aride a hiver très froid comme le figure n

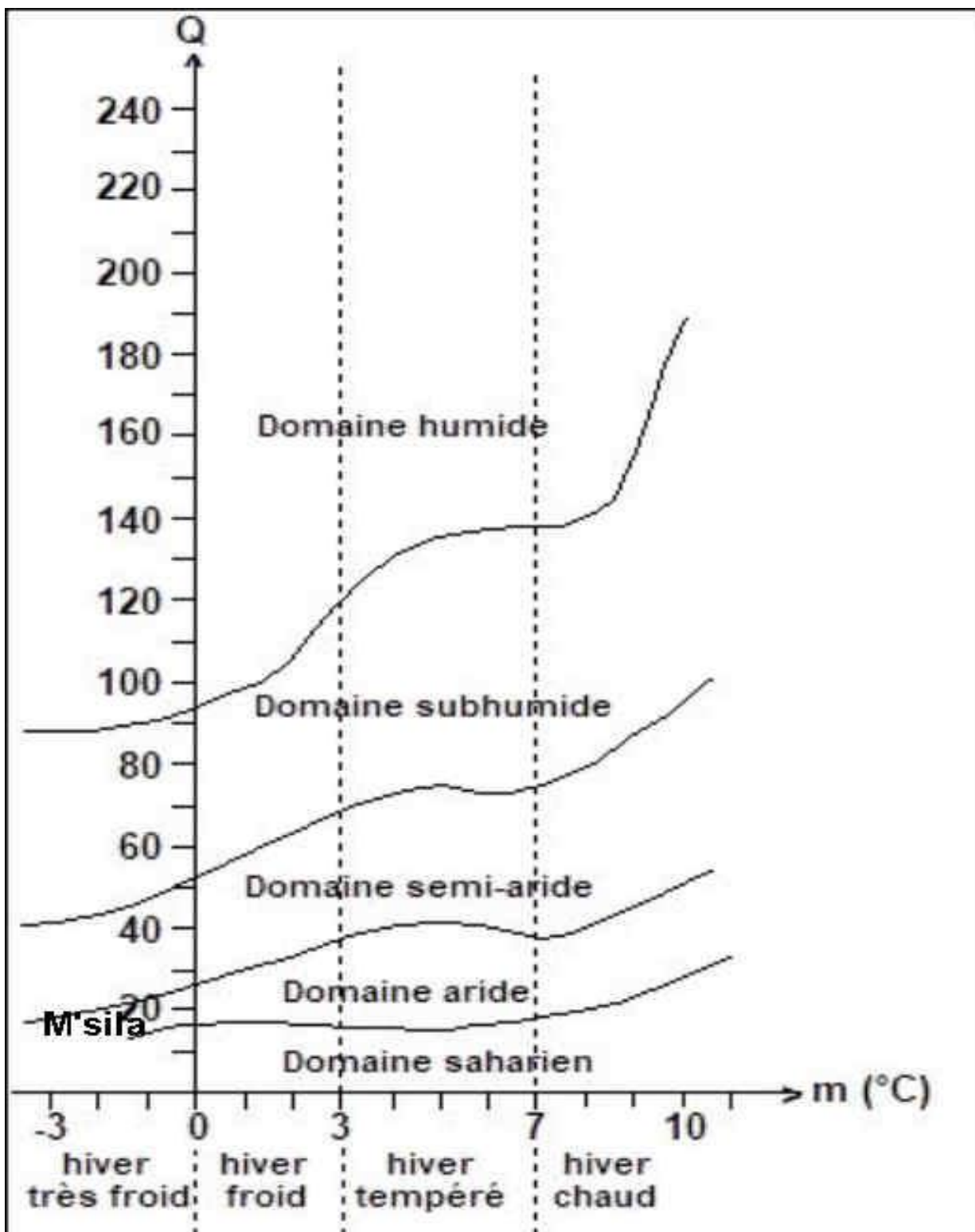


Figure .II.9 : Position de la station M'sila sur le climagramme d'Emberger.

Le report de ces valeurs sur le diagramme de L.Emberger, permet de constater que la station de M'sila est aride à hiver très froide (**Fig.II.9**).

Chapitre 2

Matériels et Méthodes

Chapitre 2: Matérielle et Méthodes

II.2.Introduction

La fiabilité et la bonne pratique de l'échantillonnage est une étape primordiale dans l'interprétation des résultats obtenus.

Afin de garantir cette opération, il est nécessaire de prendre toutes les dispositions depuis le prélèvement du milieu souterrain (échantillons représentatifs, opérations d'échantillonnage, Conservation et transport, délais et analyse). (Amroune ,2018).

Avant de procéder aux travaux analytiques, on regarde les conditions:

Tableau .II.10 :Les conditions de conservation et prélèvement d'eau à analyser

Caractéristique à analysé	Volume minimum du prélèvement (ml)	Température de conservation à (°C)	Effectuer la mesure avant
pH	100	4	/
CE	100	4	24H
Ca	100 – 500	4	Plusieurs mois
Mg	100 – 500	4	Plusieurs mois
Na	100 – 500	4	Plusieurs mois
K	100 – 500	4	Plusieurs mois
Carbonates et bicarbonates	500	4	24H
Chlorure	100 – 500	4	1mois
Sulfates	200	4	1mois
Nitrates	250	4	24H

Source : (Rodier et al ;2009) avec modification

II.2.1.Méthodes d'analyses sur terrain

Les paramètres étudiés sont les suivantes :

II.2.1.1. Mesure de la température

II.2.1.1.1.Principe : La connaissance de la température dans les analyses de l'eau avec une bonne précision est indispensable. En effet, celle-ci joue un rôle très important dans la solubilité des sels, des gaz, sur la minéralisation, dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc. (Rodier, 2009).

II.2.1.1.2. Mode opératoire

D'une façon générale, la mesure de la température est à effectuer sur le terrain, il y a lieu de déterminer la température de l'air au même endroit et au même moment.

Immerger d'une façon immédiate le thermomètre dans le flacon d'eau à analyser pendant cinq minutes, (La lecture doit se faire à travers les parois du flacon).

II.2.1.2. Mesure de potentiel d'hydrogène (pH)

II.2.1.2.1. Principe

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

II.2.1.2.2. Mode opératoire

- Branchement du pH-mètre, après sa stabilité pendant quelques minutes, l'installation des électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil.
- Etalonnage de l'appareil à l'aide d'une solution tampon. En suite rinçage de l'électrode avec de l'eau distillée et avec l'échantillon à analyser.
- Conduire l'échantillon d'eau à analyser à la température désirée.
- Immerger l'électrode dans l'échantillon à analyser et lire la valeur de pH directement.
- Après chaque détermination de pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience on la laisse tremper dans l'eau distillée, ou dans la solution tampon ou dans une solution de KCl saturée (Rodier, 1984).

II.2.1.3. Mesure de la conductivité électrique (CE)

II.2.1.3.1. Principe

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

Où :

γ : conductivité (en $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ou $S.m^{-1}$).

ρ : résistivité (en $\Omega. m$).

R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m^2).

La conductivité mesurée également sur le terrain à l'aide d'un conductimètre.

II.2.1.3.2. Mode opératoire

- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau permutée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à analyser
- Refaire la mesure dans un deuxième récipient à condition que les électrodes de platine soient complètement immergées.
- Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant, pour assurer que les bulles d'air sont éliminées sur les électrodes.
- Introduire le thermomètre de la cellule.
- Exécuter à la température de référence de 25 °C. La température du liquide devra être constante pendant la mesure. L'utilisation du bain thermostaté facilite l'équilibre thermique et améliore les résultats de la mesure (**Rodier, 2009**).

II.2.2.Methode D'analyse au laboratoire

II.2.2.1.Calcium (Ca)

Le calcium est un métal alcalin terreux dextrement réparti dans la nature et en particulier dans les roches calcaire sous forme de carbonates.

Composant majeur de la dureté de l'eau, Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potable (**Rodier, 1996**).

II.2.2.1.1.Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml la teneur en calcium est égale à :

$$\text{Ca (mg/l)} = V1 \times 0.4008 \times 1000 / 50$$

II.2.2.2. Magnésium (Mg)

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

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau.

Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates (**Rodier, 1996**).

II.2.2.2.1.Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml la teneur en magnésium est égale à :

$$\text{Mg (mg/l)} = V2 \times 0.243 \times 1000 / 50.$$

La dureté totale exprimée en CaCO_3 (mg/l), est égale à :

$$(V1+V2) \times 1000 / 50.$$

V1: volume du dosage du calcium.

V2: volume du dosage du magnésium.

II.2.2.3. Sodium(Na)

De point de vue agricole, le sodium est un élément des bases alcalines et alcalinoterreuses.

Jouent un rôle dans la maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

II.2.2.3.1. Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes de sodium par litre d'eau.

II.2.2.4. Potassium(K)

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la plaine.

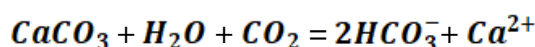
II.2.2.4.1. Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en milligrammes de sodium par litre d'eau.

II.2.2.5. Les carbonates et les bicarbonates

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations

Carbonatées qui bordent la nappe, selon la réaction suivante :



II.2.2.6. Dosage des Chlorures par la méthode de 'MOHR'

Cette méthode de dosage est celle homologuée en France « NF-T90-014 février 1952 » pour analyser la teneur en Cl dans l'eau. Il y a des règles à respecter :

- La teneur en chlorures doit être comprise entre 5 et 150 mg/l (au dessous ou au dessus, la méthode donne des résultats erronés).
- Le pH doit être compris entre 5 et 9 (pour éviter les transformations des ions Ag^+ et CrO_4^{-2} , ce qui rendrait le dosage impossible)
- La présence des ions I et Brest interdite : AgI et AgBr précipiteraient avant AgBr avant AgCl (Amroune, 2018).

II.2.2.6.1. Principe

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.

Cette analyse est basée essentiellement par l'utilisation des réactifs suivant : Acide nitrique pur, Carbonate de calcium pur, solution de chromate de potassium à 10 %, solution de nitrate d'argent 0,1 N (Amroune, 2018).

II.2.2.6.2. Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire). Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %. Et puis, Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés (**Amroune, 2018**).

II.2.2.6.3. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml : $V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau. Et $V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de Na Cl par litre d'eau (**Rodier, 2009**).

II.2.2.7. Dosage des sulfates

On utilise la réaction de précipitation des ions sulfates avec les ions baryum. Le dosage est suivi par conductimètre (**Amroune, 2018**).

II.2.2.7. 1. Mode opératoire

- Prélever 50 ml d'eau à doser et les verser dans un bécher.

- Doser par solution déci molaire d'éthanoate de baryum ($\text{Ba}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{CO}_2^-$) et noter les valeurs de la conductivité $\sigma_{\text{mesuré}}$ (**Amroune, 2018**).

II.2.2.7. 2. Expression des résultats

- La valeur corrigée $\sigma_{\text{corrigé}} = \sigma_{\text{mesuré}} * [(50+ V)/50]$ où V représente le volume (exprimé en ml) d'éthanoate de baryum ajouté.

- En Trace la courbe $\sigma_{\text{corrigé}} = f(V)$.

- Enfin, en déduire la concentration en ions sulfate, en mol. L^{-1} puis en mg. L^{-1} (**Rodier, 2009**).

II.2.2.8. Dosage des Nitrates

Le dosage des nitrates fait appel à des méthodes relativement complexes avec une grande probabilité de présence de constituants interférents (sauf pour la méthode par chromatographie ionique). De ce fait, la détermination des nitrates est délicate. Pour chaque type d'échantillon, le choix de la méthode est déterminé par la concentration à doser et les interférences probables (**Amroune, 2018**).

II.2.2.8.1. Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du par anitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (**Amroune, 2018**).

II.2.2.8.2. Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieures

à 10 mg/L, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau permutée.

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage (**Amroune, 2018**).

II.2.2.8.3. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO_3), multiplier ce résultat par 4,43 (**Rodier, 2009**).

II.2.3. Conclusion

Dans cette partie, est montrée comment s'est fait l'analyse des échantillons d'eau et les méthodes analytiques utilisées. En effet, l'objectif de l'échantillonnage est de caractériser l'hydrogéochimie de l'eau souterraine par des outils d'interprétations, tout en caractérisant la composition minéralogique des eaux de la région en particulier celles de l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire, dans des différents contextes géologiques et hydrogéologiques. (**Amroune, 2018**).

Troisième partie

Résultats et Discussions

Troisième partie : Résultats et discussions

III.1.Introduction

Cette partie sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau que nous avons eu au niveau de la direction des ressources en eau (DRE) qui ont été prélevés au niveau de la plaine de M'Sila. Nous avons sélectionné 15 points d'eau bien répartis sur l'ensemble du secteur d'étude. Ce choix a été justifié, d'une part par leur répartition spatiale et d'autre part, par l'importance de la formation hydrogéologique captée.

L'étude hydro chimique a porté sur l'analyse et l'interprétation d'une campagne hydro chimique (Juin 2020). Les éléments dosés ont été portés essentiellement sur les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- et NO_3^-).

Le but de cette partie est de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace. Il sera également question de la qualité des eaux souterraines vis-à-vis de l'irrigation et son impact sur les sols et les cultures pratiquées. Pour cela, un certain nombre de diagrammes ont été élaborés et serviront de base à l'interprétation générale des résultats d'analyses chimiques.

III.1.1. Etude des paramètres physico-chimiques

III.1.1.1. Etude des paramètres physiques

Ces paramètres sont très importants car ils jouent un rôle majeur dans la solubilité des sels dans l'eau, donc sur la conductibilité. En outre, ils nous aident à la détermination de son origine ,pour cela les paramètres principaux ont été étudiés sont :

- La température (T).
- Le potentiel hydrogène (PH).
- La conductivité électrique (CE).

III.1.1.2. Température

Tableau III.1. Température des eaux souterraine dans la nappe de M'Sila

P	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	Moyenne
T(°C)	22	22	22	22	22	21	21	22	22	22	22	21	21	22	21	21,7°C

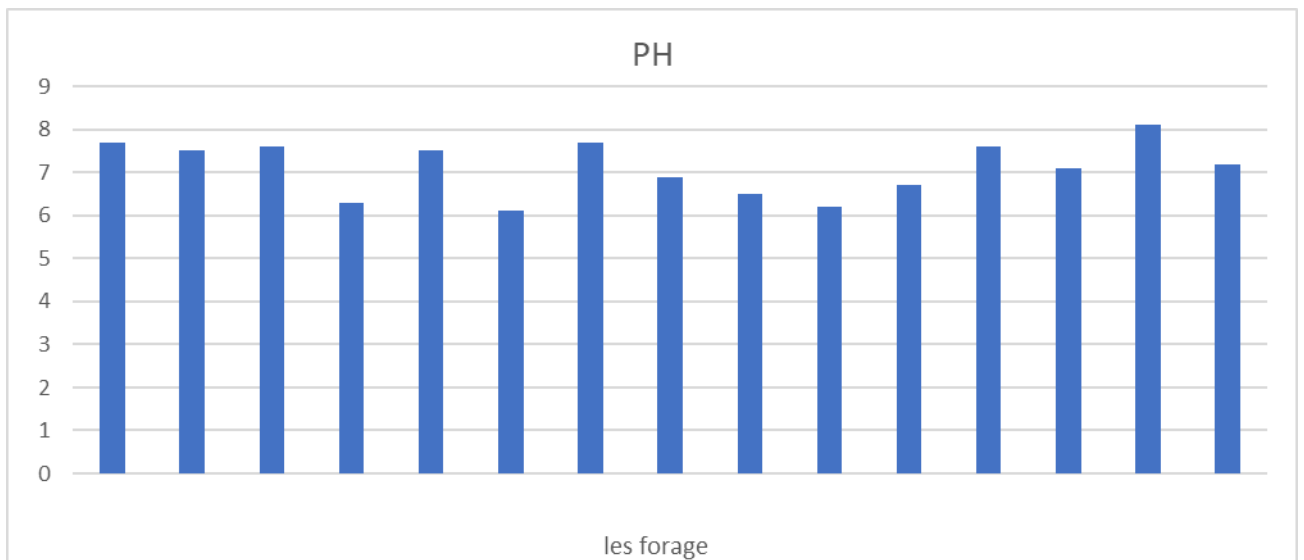


Figure .III.1. Variabilité de la température des eaux souterraines de la plaine de M'sila

La figure III.1 montre que la température moyenne mesurée des différents points d'eau de secteur d'étude est de l'ordre 21,7°C. Elle variée entre 21°C au forage P₆ , P₇ , P₁₂ , P₁₃ , P₁₅ et 22°C au forages P₁ , P₂ , P₃ , P₄ , P₅ , P₈ , P₉ , P₁₀ , P₁₁ , P₁₄. Ceci explique par la liaison des eaux par les entrées à travers les failles qui sont encore actives et la présence du trias gypseux(Athmani S et Baza K ,2017).

III.1.1.3. Potentiel hydrogène (pH)

Tableau III.2. pH des eaux souterraine dans la nappe de M'sila

Forage	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	Moyenne
PH	7,7	7,5	7,6	6,3	7,5	6,1	7,7	6,9	6,5	6,2	6,7	7,6	7,1	8,1	7,2	7,11

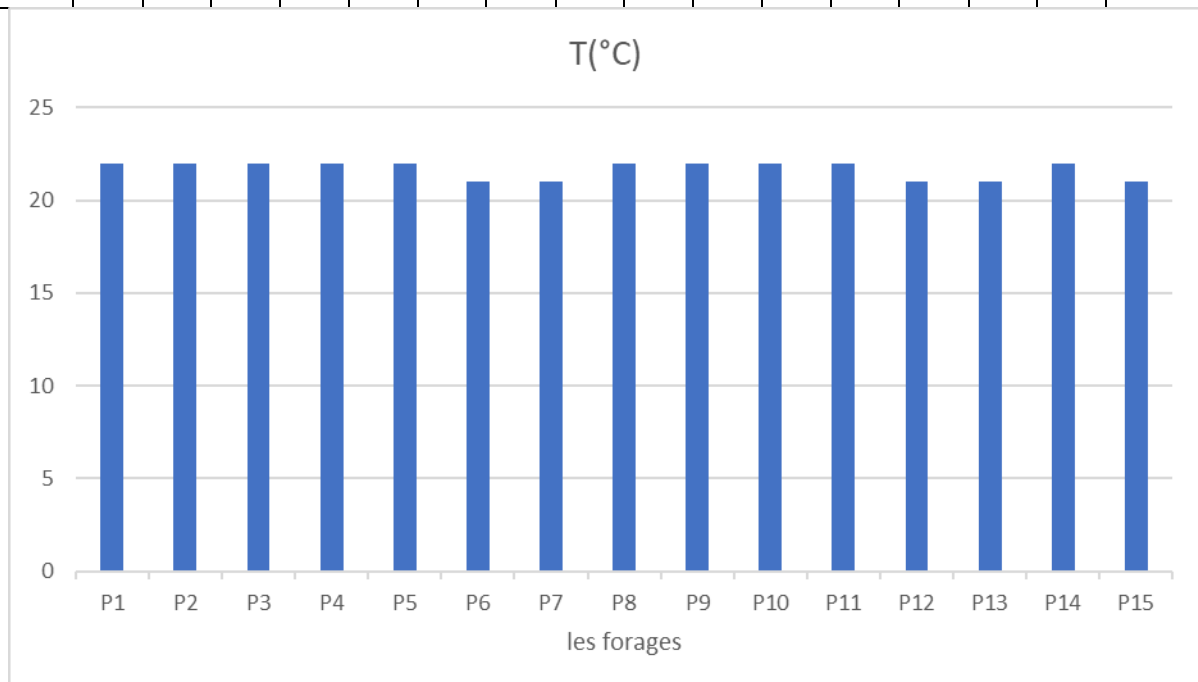


Figure .III.2. Variabilité du pH des eaux souterraines dans la plaine de M'sila

La valeur moyenne calculée du pH mesurée sur le terrain au niveau des 15 échantillons est 7,11 avec un minimum de 6,1 au forage F₆ et un maximum de 8,1 ou forage F₁₄ ce que reflète un caractère basique des eaux de la région de M'sila. Elle est due aux teneurs élevées en anhydride carbonique.

III.1.1.4. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique CE des eaux de la nappe de M'sila sont regroupés dans le tableau III.3.

Tableau III.3. Conductivité électrique des eaux souterraines de la nappe de M'Sila.

Forage	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅	Moyenne
CE ($\mu\text{s} / \text{cm}$)	3041	1085	1670	2510	1345	1340	1315	3120	2910	1870	1730	1650	1335	1100	935	1797,06

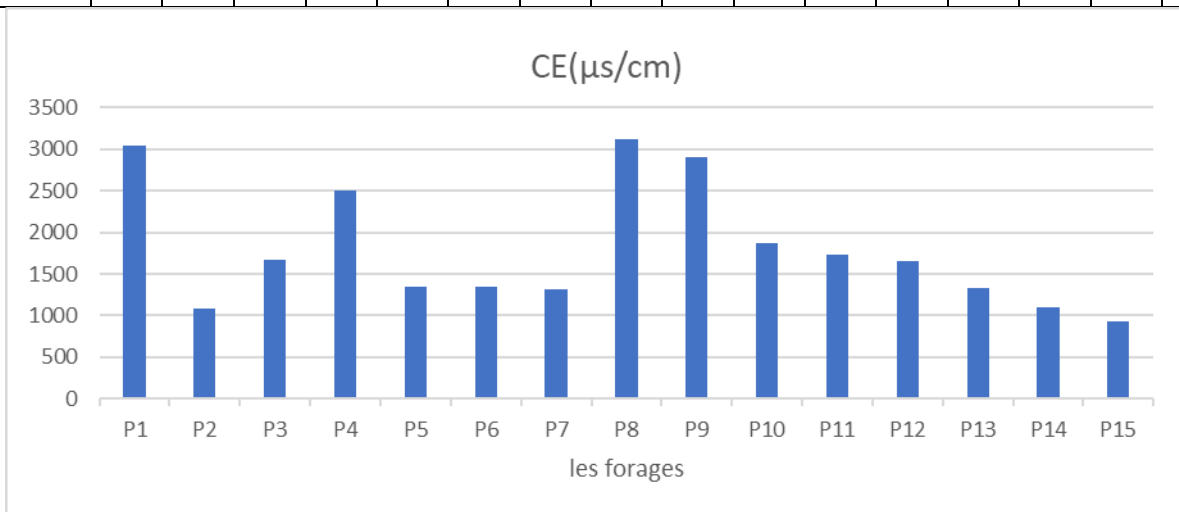


Figure III.3. Variation de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la plaine de M'sila

Le tableau III.3 et la figure III.3 montrent que la majorité des eaux de la plaine de M'sila, ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation moyennement élevé à très élevée (Tab.III.4). Il passe d'une valeur minimale de 935 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à une valeur maximale 3120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et avec moyenne de 1797,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tableau .III.4.Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25 °C	Degré de minéralisation	Pourcentage des points d'eau
< 450	Très faible	0%
450 - 750	Faible	0%
750 - 1500	Moyen	31,37%
1500 - 2300	Moyennement élevé	25,67%
2300 - 3000	Elevé	20,11%
> 3000	Très élevé	22,86%

Source : Rodier, 2009

III.2. Etude des paramètres chimiques

III.2.1. Les anions

III.2.1.1. Les nitrates

Les concentrations en nitrates des eaux de la plaine de M'sila sont regroupées dans le tableau III.5.

Tableau .III.5. Teneurs en nitrates des eaux dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
No₃⁻ (mg/l)	45	6	23	29	16	4	20	36	56	22	19	26	12	4	20
No₃⁻ (meq/l)	0,72	0,09	0,24	0,47	0,26	0,06	0,32	0,58	0,90	0,35	0,31	0,42	0,19	0,06	0,32

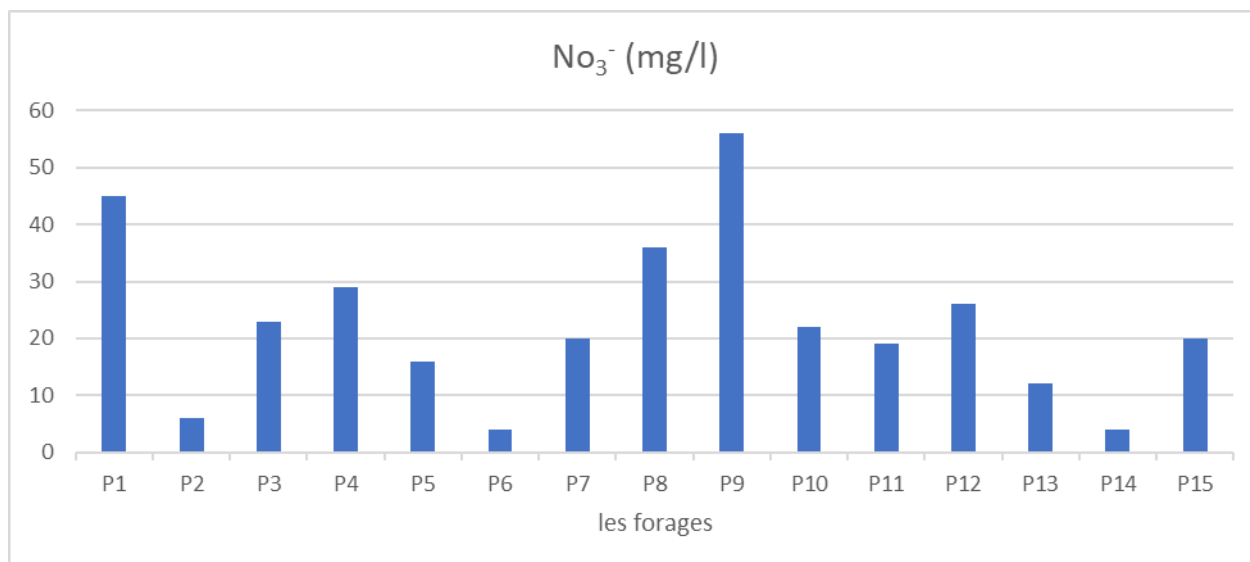


Figure III.4. Variation des nitrates des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

Les concentrations des nitrates des eaux de la région d'étude variant entre 4 mg/l ou forages P₆ et P₁₄ et 56 mg/l au forage P₉. Cette augmentation est due à l'activité agricole qui caractérise la région et l'utilisation des engrais organiques et inorganiques.

III.1.2.1.2. Les Sulfates

Les concentrations en sulfates des eaux souterraines à travers la plaine de M'Sila sont regroupées dans le tableau III.6.

Tableau III.6. Teneurs en sulfates des eaux souterraine dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
So ⁻² ₄ (mg/l)	900	510	520	900	492	450	450	480	950	720	700	510	600	400	547
So ⁻² ₄ (meq/l)	18,75	10,62	10,8	18,75	10,25	9,38	9,38	10	19,8	15	14,58	10,62	12,5	8,33	11,39

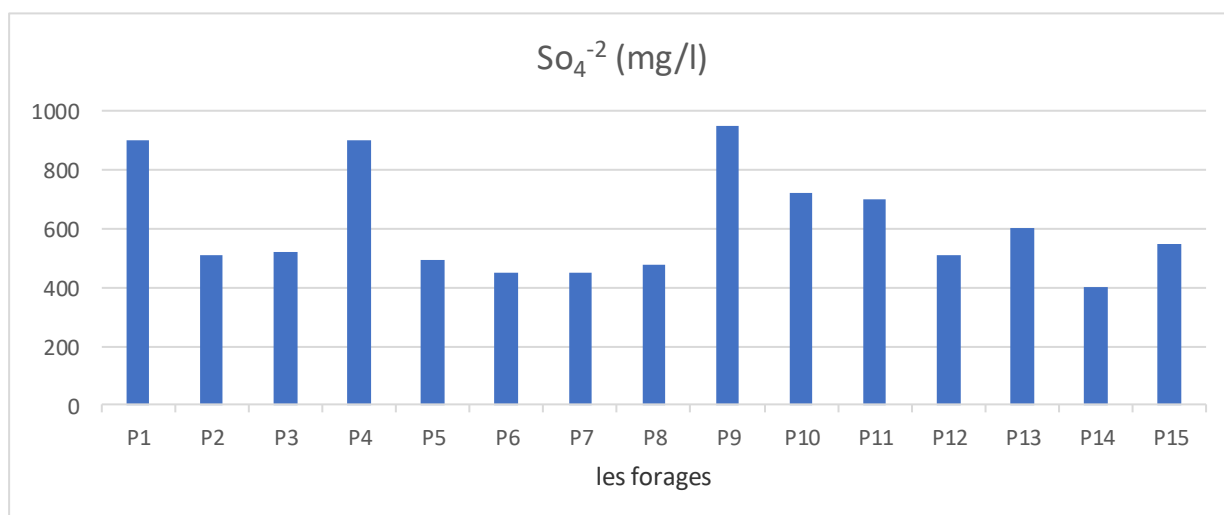


Figure. III.5. Variation des sulfates des eaux souterraines dans la plaine de M'Sila.

Les résultats des analyses chimiques donnent des valeurs en SO₄ qui varient entre 400 mg/l au P₁₄ et 950 mg/l dans P₉. Cette élévation est due à la présence des évaporites et les argiles gypseuses. Toute valeur dépasse 300 mg/l peut provoquer un risque potentiel aux cultures irriguées avec cette eau.

III.1.2.1.3. Chlorures

Les concentrations en Chlorures des eaux de la plaine de M'sila sont regroupées dans le tableau III.7.

Tableau III.7. Teneurs en chlorures des eaux souterraine dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
Cl ⁻ (mg/l)	118	106	177	171	177	218	312	177	176	118	118	165	88	59	377
Cl ⁻ (meq/l)	3,73	3,03	5,06	4,89	5,06	6,23	8,91	5,06	5,03	3,37	3,37	4,71	2,51	1,69	10,77

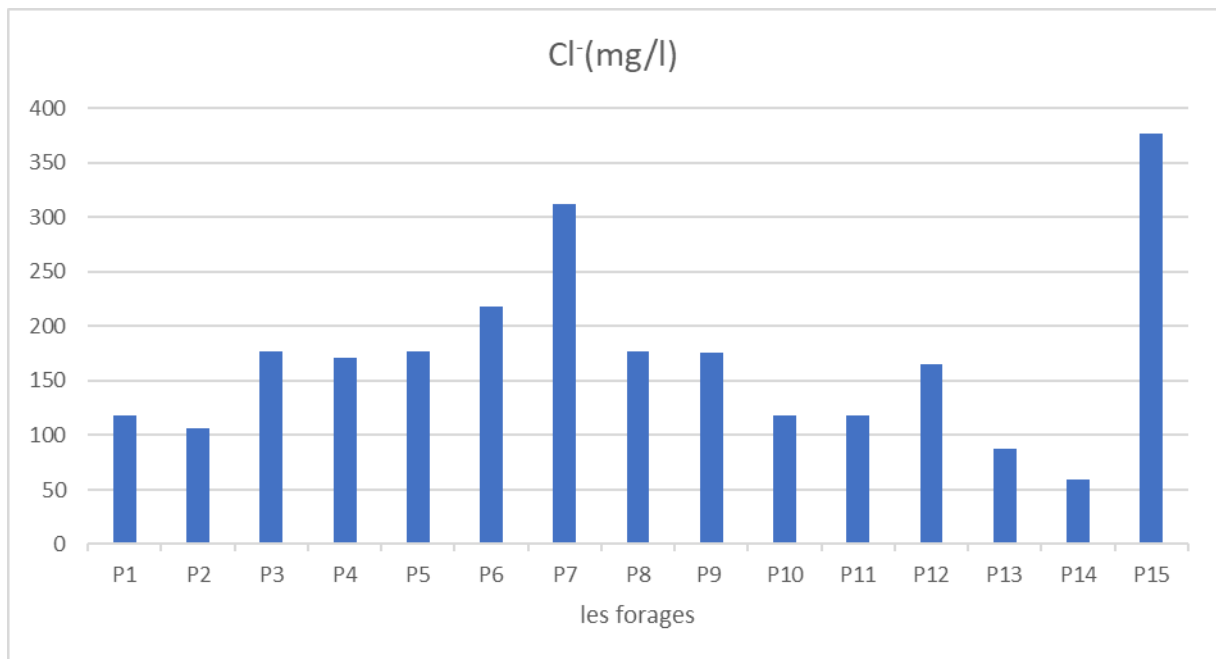


Figure .III.6. Variation des chlorures des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

Les valeurs de chlorures des eaux souterraines varient entre 59 mg/l dans P₁₄ et 377 mg/l dans F₁₅. Cet élément présente un risque potentiel léger à modéré pour l'irrigation des cultures dans le cas où l'arrosage se fait par gravité.

Dans le cas d'irrigation par aspersion, le problème devient sérieux pour les forages d'eau qui ont des concentrations supérieures à 100 mg/l.

III.1.2.1.4. Les bicarbonates

Les concentrations des bicarbonates des eaux souterraines de la plaine de M'sila sont regroupées dans le tableau III.8.

Tableau III.8 : Teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	427	305	488	144	244	450	244	488	305	341	305	366	414	268	547
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	7	5	8	2,36	4	7,38	4	8	5	5,6	5	6	6,79	4,39	8,96

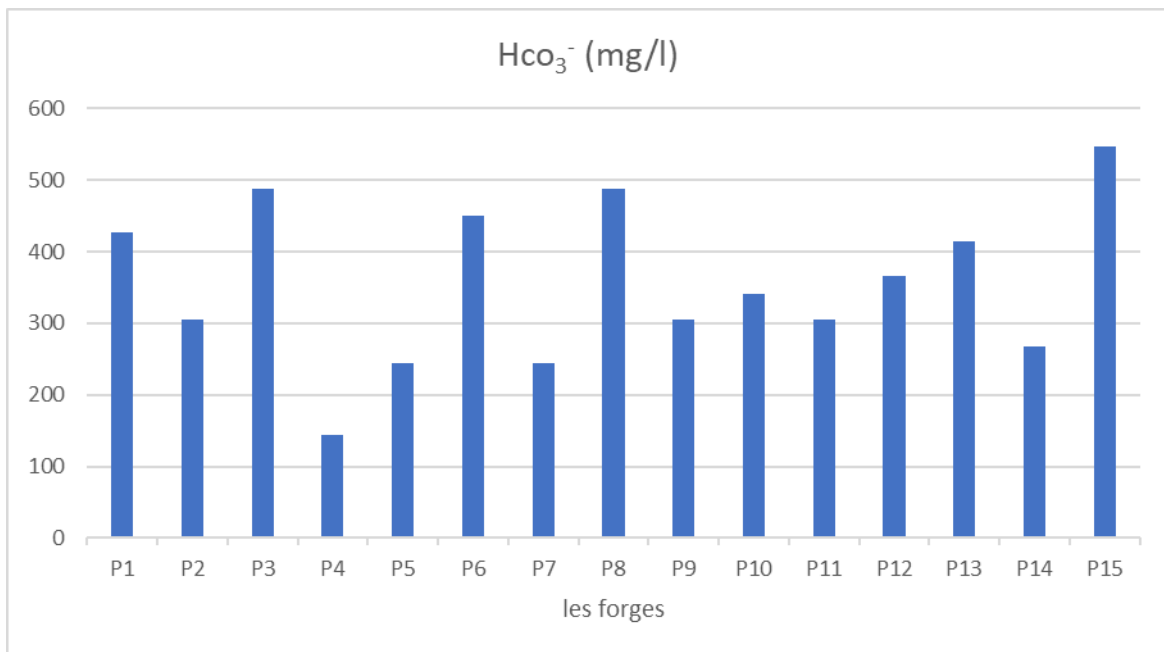


Figure III.7 : variation des bicarbonates des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

Les résultats des analyses chimiques donnent des valeurs en HCO₃ qui varient entre 144 mg/l dans P₄ et 547 mg/l dans P₁₅. Les bicarbonates dans les eaux d'irrigation représentent un risque léger à modéré pour les cultures si les agricultures utilisent la technique d'irrigation par aspersion et c'est le cas pour l'ensemble des points d'eau à travers la plaine de M'Sila.

III.1.2.2. Les cations

III.1.2.2.1. Le calcium

Les concentrations en calcium des eaux de la plaine de M'sila sont regroupées dans le tableau III.9.

Tableau III.9 : Teneurs en calcium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
Ca ⁺² (mg/l)	256	120	139	420	152	122	152	312	248	176	176	153	128	112	96
Ca ⁺² (meq/l)	12,8	6	6,95	21	7,6	6,1	7,6	15,6	12,4	8,8	8,8	7,65	6,4	5,6	4,8

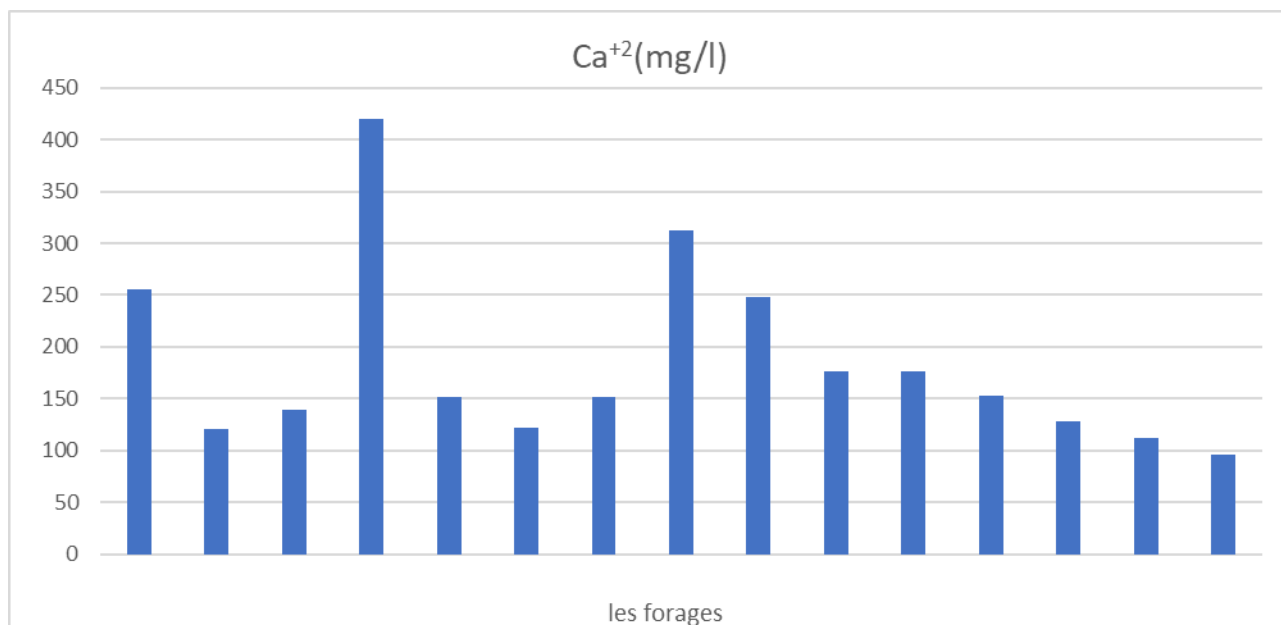


Figure III.8. Variation du calcium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

Les résultats des analyses chimiques en Ca donnent des valeurs qui varient entre 96 mg/l au forage P₁₅ et 420 mg/l au forage P₄. Le Ca est issu des massifs carbonatés (calcaires) au Nord et du gypse. Les forages qui ont des valeurs inférieures à 300 mg/l sont adaptés à l'irrigation et ne provoquent aucun risque potentiel aux cultures.

III.1.2.2.2. Magnésium

Les concentrations du magnésium des eaux souterraines de la nappe de M'sila sont regroupées dans le tableau III.10.

Tableau III.10 : Teneurs en magnésium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
Mg ²⁺ (mg/l)	156	77	100	155	93	77	102	189	141	107	107	98	87	77,76	90
Mg ²⁺ (meq/l)	13	6,41	8,33	12,91	7,75	6,42	8,5	15,75	11,75	8,92	8,92	8,16	7,25	6,48	7,5

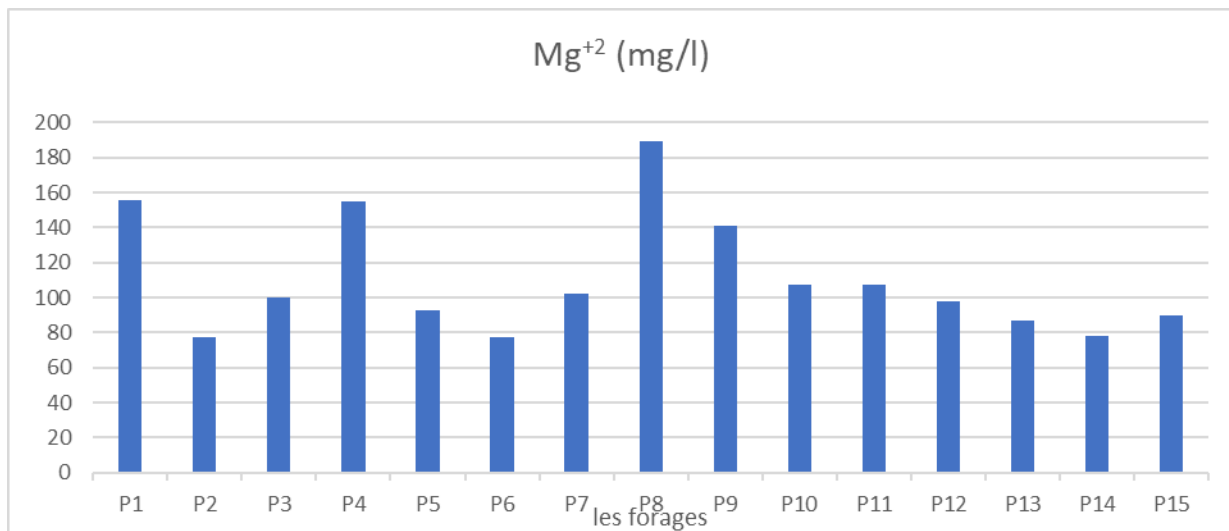


Figure III.9 : Variation du magnésium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

La figure III.9 montre que les concentrations en Mg des eaux souterraines sont comprises entre 77,76 mg/l (P₁₄) et 189 mg/l (P₈).

Les forages P₂, P₃, P₅, P₆, P₁₂, P₁₃, P₁₄, P₁₅ ont des eaux de qualité moyennes (elles affichent des valeurs comprises entre 75 à 100). Le reste P₁, P₄, P₇, P₈, P₉, P₁₀, P₁₁ affichent des valeurs de 100 à 400 ce qui donne une eau de mauvaise qualité.

III.1.2.2.3. Le Sodium

Les concentrations en sodium des eaux de la nappe de M'sila sont regroupées dans le tableau III.11.

Tableau III.11 : Teneurs en sodium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
Na ⁺ (mg/l)	45	102	170	140	225	81	370	133	217	190	250	170	96	60	233
Na ⁺ (meq/l)	1,95	4,43	7,39	6,08	9,78	3,52	16,08	5,78	9,43	8,26	10,86	7,39	4,17	2,60	10,13

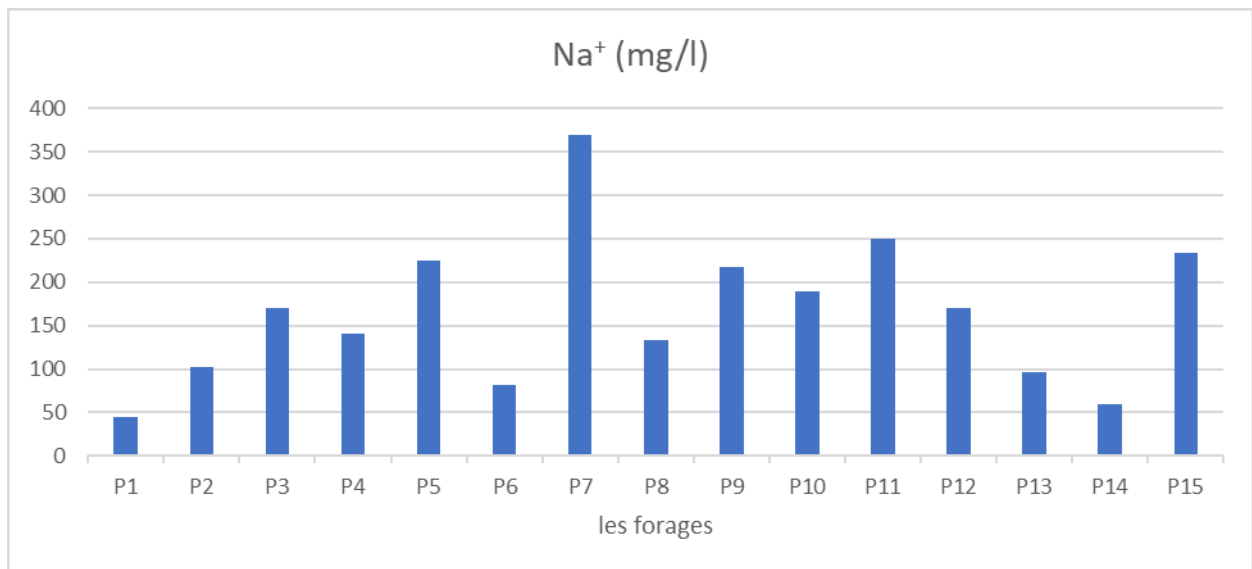


Figure III.10 : Variation du sodium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

Les résultats des analyses de sodium de la région d'étude montrent que la majorité des forages prennent des valeurs comprises entre 45 mg/l à 370 mg/l, la valeur la plus grande est de forage P₇ et la plus faible valeur est de forage P₁. Cette élévation est due à la présence des argiles gypseuses et des évaporites et l'influence du Chotte el Hodna avec l'intrusion de ses eaux vers les eaux de la nappe.

III.1.2.2.4. Le potassium

Les concentrations en potassium des eaux de la nappe de M'sila sont regroupées dans le tableau III.12.

Tableau III.12 : Teneurs en potassium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
K ⁺ (mg/l)	7	4,9	4	4,5	3	5,4	1	4,8	3,6	3,6	1,2	3,8	5	5,5	2
K ⁺ (meq/l)	0,15	0,13	0,10	0,12	0,08	0,14	0,03	0,12	0,09	0,09	0,03	0,09	0,13	0,14	0,05

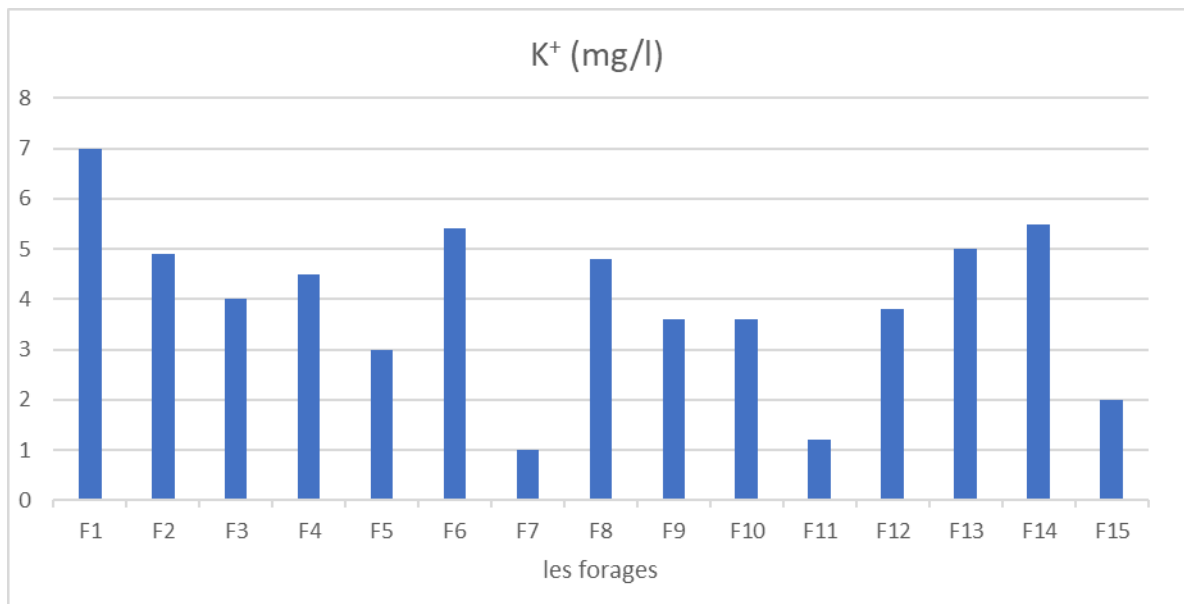


Figure III.11 : variation du potassium des eaux souterraines dans la plaine de M'sila.

Les teneurs en potassium au niveau de la plaine de M'sila est variés entre 1 et 7 mg/l aux forages P₇ et P₁. Le potassium est due à la présence des argiles potassique et de la dissolution des engrais chimiques utilisés durant l'activité agricole.

III.1.3. Faciès chimiques

III.1.3.1. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Cette classification est basée sur la présentation des résultats des analyses chimiques sur un diagramme mis au point par H. Schoeller et révisé par Berkaloff en 1952. Ce diagramme se compose de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés. Tous les éléments chimiques analysés sont répartis directement en mg/l.

Ce type de diagramme permet de déterminer le pH d'équilibre (pH équilibre) qui donne une idée sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau.

Les diagrammes logarithmiques (Figures III.12.13 et 14) ont permis d'identifier les grandes familles chimiques (Tab.III.13).

A première vue, on remarque une dominance des sulfates avec 73% de l'ensemble des points d'eau, en deuxième position les bicarbonates avec 20%, qui semble être liées à la géologie ou à la forte évaporation. Les sulfates, les bicarbonates et les chlorures accompagnent toujours le calcium, à cause de sa présence dans les carbonates (CaCO₃) et dans les sulfates (CaSO₄, 2H₂O).

Tableau III.13. Faciès chimiques des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF

Compagne chimique	Faciès chimique		Effectif	Pourcentage %
2021	Famille des eaux chlorurée	Chlorurée calcique	1	7%
	Famille des eaux sulfatée	Sulfatée calcique	11	73%
	Famille des eaux bicarbonatée	Bicarbonatée calcique	3	20%

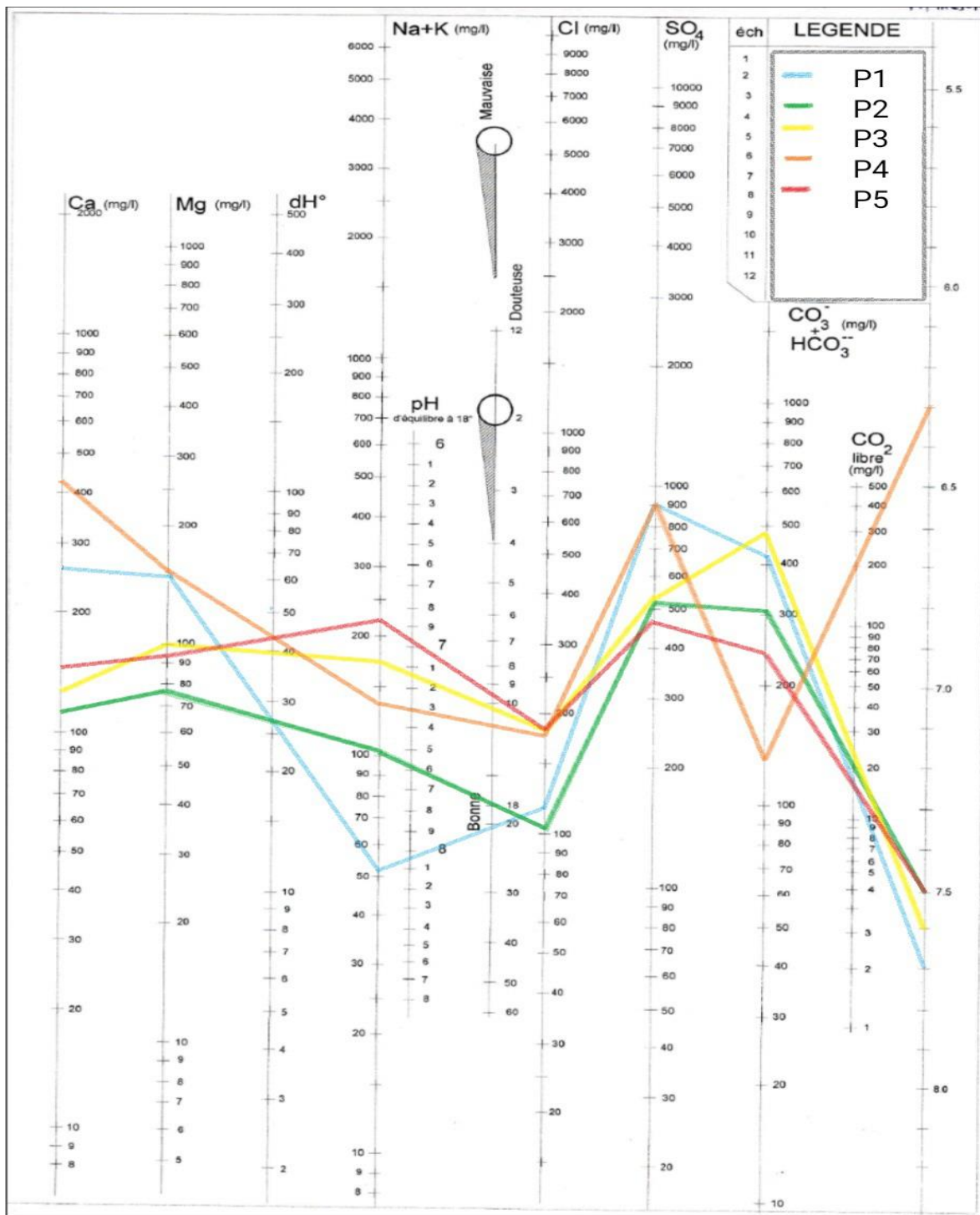


Figure III.12 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de M'sila

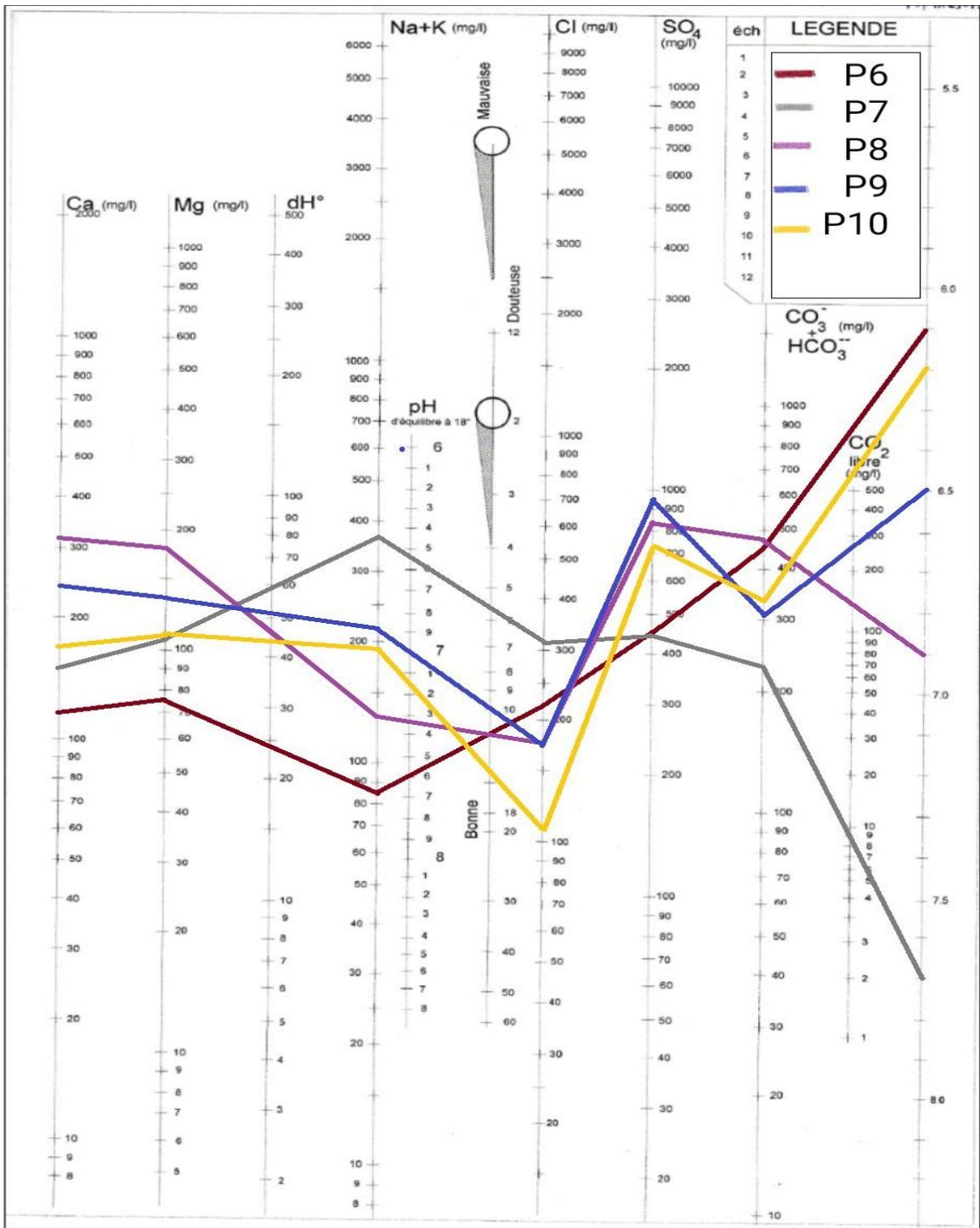


Figure III.13 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de M'sila.

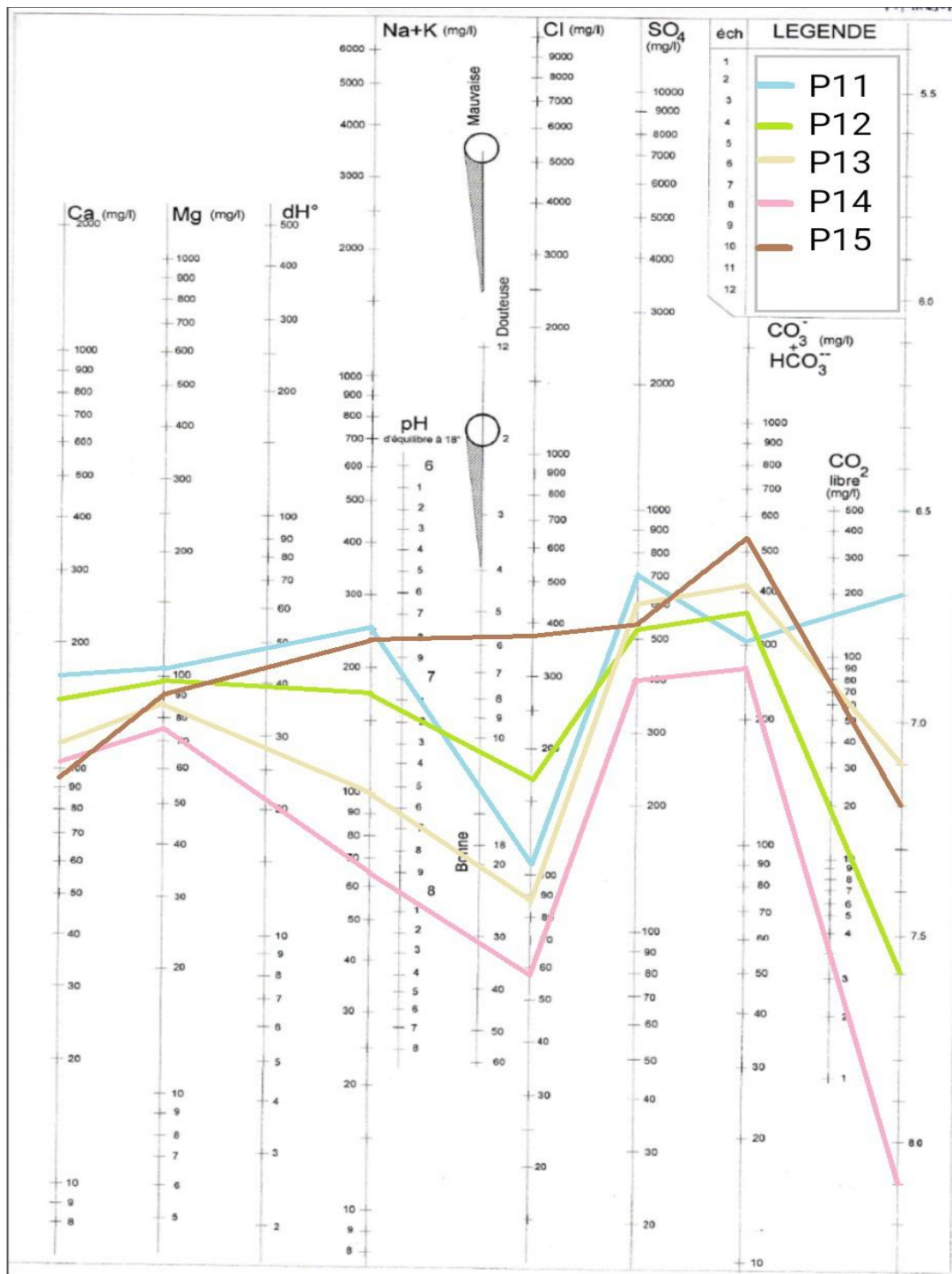


Figure III.14 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la plaine de M'sila.

III.1.3.2. Caractère de l'eau

L'interprétation du diagramme de Schoeller-Berkaloff nous donne une autre information utile. Le caractère de l'eau peut donner une idée sur l'état d'équilibre calco-carbonique de l'eau en comparant le pH d'équilibre obtenu à partir du diagramme et au pH mesuré.

- Si le $\text{pH}_{\text{mesuré}} > \text{pH}_{\text{équilibre}}$ —————> l'eau est incrustante ;
- Si le $\text{pH}_{\text{mesuré}} < \text{pH}_{\text{équilibre}}$ —————> l'eau est agressive ;
- Si le $\text{pH}_{\text{mesuré}} = \text{pH}_{\text{équilibre}}$ —————> l'eau est neutre ou en équilibre.

L'analyse des résultats du tableau III.14 montre que la majorité des points d'eau est agressive. Cette eau est une eau qui tend à attaquer, à dissoudre le calcaire et les matériaux qui en contiennent avec lesquels elle est en contact.

Tableau III.14 : Le caractère de l'eau

	Pourcentages des points d'eau
	2020
$\text{pH}_{\text{mesuré}} = \text{pH}_{\text{équilibre}}$	0%
$\text{pH}_{\text{mesuré}} > \text{pH}_{\text{équilibre}}$	40%
$\text{pH}_{\text{mesuré}} < \text{pH}_{\text{équilibre}}$	60%

III.1.3.3. Concentration en CO₂

La troisième information extraite d'après le diagramme de Schoeller et Berkaloff est la quantité en CO₂ libre. Cette dernière est obtenue après la liaison avec une droite entre la concentration en HCO₃+CO₃ et le pH mesuré. Les résultats obtenus sont mentionnés sur le tableau III.15.

Tableau III.15 : Les résultats des quantités en CO₂ libre

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
CO ₂ libre (mg/l)	17	20	25	200	17	>500	9	150	280	>500	170	20	75	3.5	75

L'agressivité d'une eau est liée à la présence de CO₂ dissous (dit CO₂ libre) en quantité supérieure à la quantité de CO₂ équilibrant. Dans ce cas, le pH de l'eau est inférieur au pH d'équilibre. Une fraction du CO₂ excédentaire susceptible de dissoudre du calcaire est appelée CO₂ agressif.

III.1.4. La dureté totale de l'eau

La dureté totale ou bien la présence des sels de calcium et de magnésium dans l'eau ce calculé par la relation suivant :

$$DT = (Ca + Mg) \times 5$$

Tableau III.16 : Classification des eaux selon la dureté en °F

D.H.T (en °F)	0 – 7	7 - 22	22 - 32	32 – 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Source : THEOBALD et GAMA, 1969

Avec la relation et le tableau III.16 on a trouvé les résultats suivants mentionnés dans le tableau 17.

Tableau III.17 : Dureté des eaux souterraines de la plaine de M'Sila

Puits	D.H.T(en °F)	Qualification de l'eau
P1	129	Très dure
P2	62.1	Très dure
P3	74.9	Très dure
P4	169.55	Très dure
P5	76.75	Très dure
P6	62.6	Très dure
P7	80.5	Très dure
P8	156.75	Très dure
P9	120.75	Très dure
P10	88.6	Très dure
P11	88.6	Très dure
P12	79.05	Très dure
P13	68.25	Très dure
P14	60.4	Très dure
P15	61.5	Très dure

D'après les résultats qui nous obtenons, on peut dire que l'eau souterraine de la région d'étude est très riche en $CaCO_3$ à cause de la dissolution de la calcite surtout et de la dolomite $CaMg(CO_3)_2$ des roches calcaires et dolomitiques en présence de CO_2 provenant de l'atmosphère.

III.1.5. Étude de qualité des eaux souterraines en vue d'un usage agricole

L'étude de la qualité des eaux souterraines à des fins agricoles est basée sur plusieurs paramètres. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées

dans la région, nous allons utiliser cinq (04) méthodes simplifiées en fonction du type de sol, qui sont :

- Le rapport d'absorption en sodium (SAR) du Riverside ;
- Le pourcentage de sodium (Na%) du Wilcox;
- L'indice de perméabilité (IP) ;
- Le risque du Magnésium.

III.1.5.1. Méthode du SAR

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (**R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988**). Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

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

Où: Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont les concentrations de l'eau en sodium, en calcium et en magnésium exprimées en méq/l.

Tableau III.18 : Les valeurs calculées du SAR

Points d'eau	S.A.R (még/l)	CE($\mu S/cm$)
P1	0.54	3041
P2	1.78	1085
P3	2.70	1670
P4	1.48	2510
P5	3.53	1345
P6	1.41	1340
P7	5.66	1315
P8	1.46	3120
P9	2.72	2910
P10	2.77	1870
P11	3.64	1730
P12	0.93	1650
P13	1.60	1335
P14	1.06	1100
P15	4.08	935

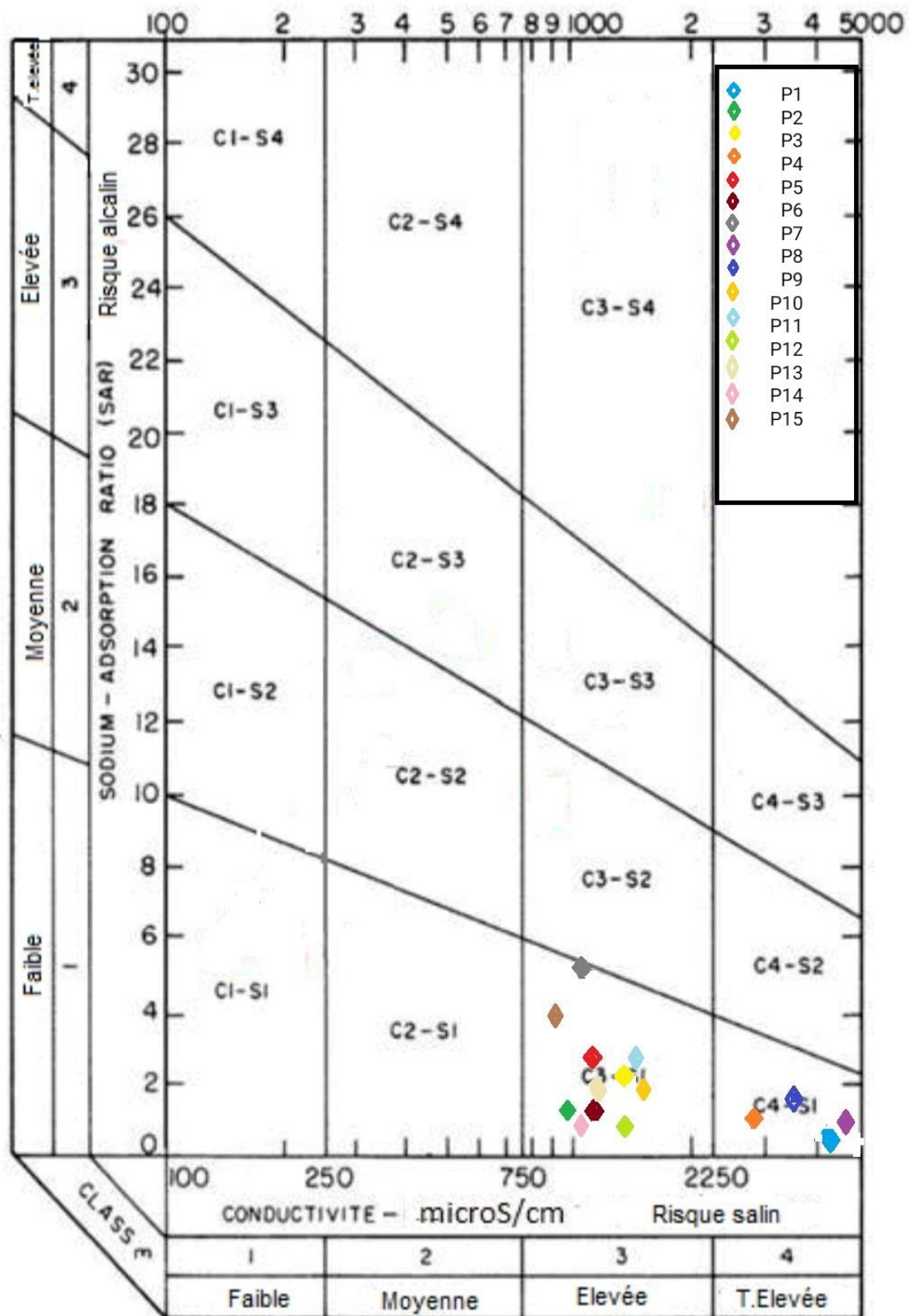


Figure III.15 : Diagramme du SAR

La représentation des données dans le diagramme de salinité décrit par Richards (1954) des échantillons prélevés durant l'année 2020 montre que dans l'ensemble de secteur d'étude, le

S.A.R représente deux classe : C3S1 et C4S1 (fig.III.15) Donc (73.3 %) des échantillons d'eau étaient dans la catégorie C3S1 et le reste (26.7%) dans la catégorie C4S1. Cette classe, désigne des eaux médiocres et admissibles, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

III.1.5.2. Méthode du pourcentage de sodium (Na%)

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, est définie par la formule suivante :

$$Na^+ = \frac{Na^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+} \times 100$$

Où tous les éléments exprimé en meq/l .

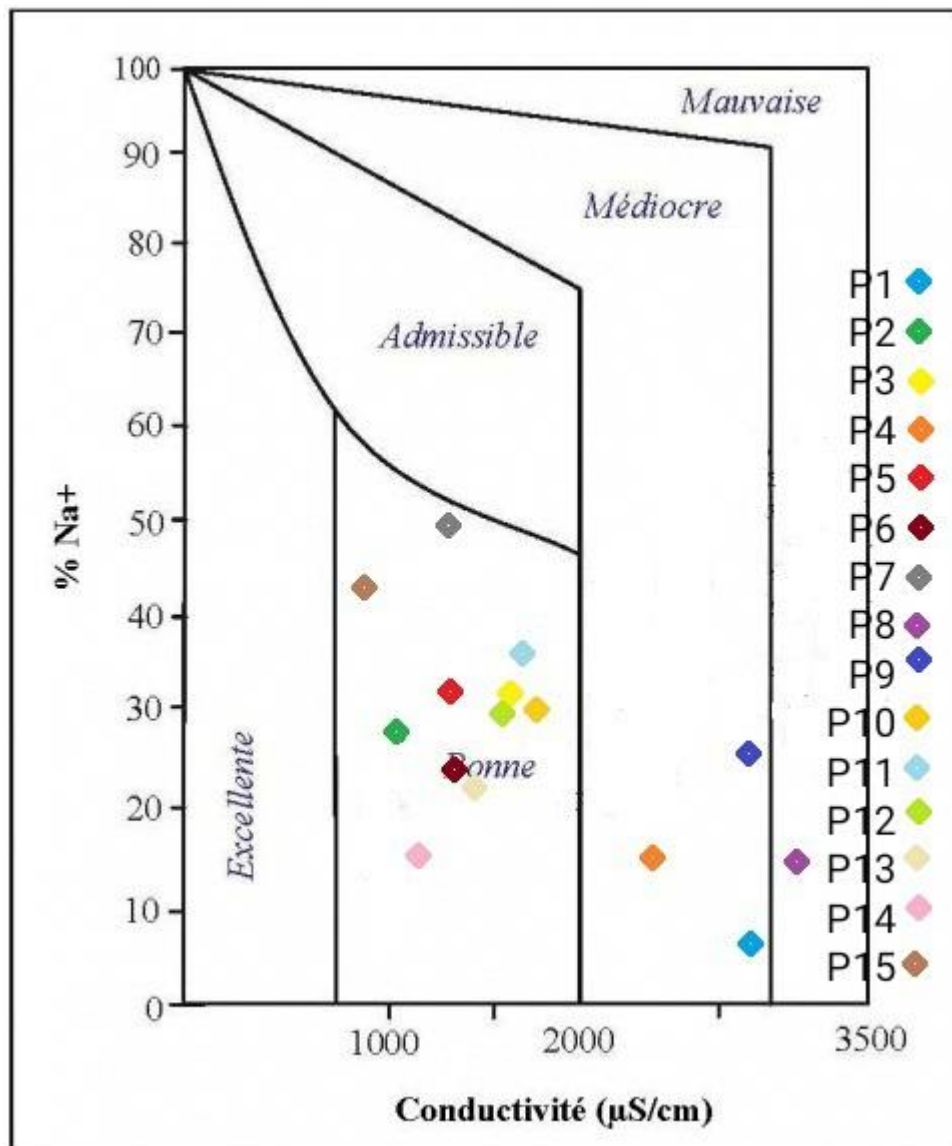


Figure III.16 : Classification de l'eau d'irrigation des puits selon le diagramme de Wilcox

D'après le diagramme de Wilcox (Na%), on interprète que 73.3% des points d'eau sont bonnes, 20% sont médiocres, et 6.7% de l'ensemble des échantillons représentent une eau de mauvaise qualité.

III.1.5.3. Méthode de l'indice de perméabilité (IP)

Doneen (1964) a exprimé l'indice de perméabilité (IP) par l'équation suivante :

$$IP = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+)} \times 100$$

Où tous les éléments sont exprimés en *méq/l*

Tableau III.19 : l'indice de perméabilité (IP)

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
IP (<i>méq/l</i>)	16.45	39.26	45.48	12.99	46.73	38.55	56.13	23.11	34.65	40.74	45.77	42.25	37.75	31.68	13.77
Concentration <i>méq/l</i>	58.13	35.72	46.6	66.58	44.78	39.23	54.28	60.86	64.4	50.49	52.23	45.04	40.09	29.31	53.92

Résultats du tableau III.19, montre que l'indice de perméabilité oscille autour d'une valeur moyenne de 34.56 ; avec un maximum de 56.13 au P7 et un minimum de 12.99 au P4

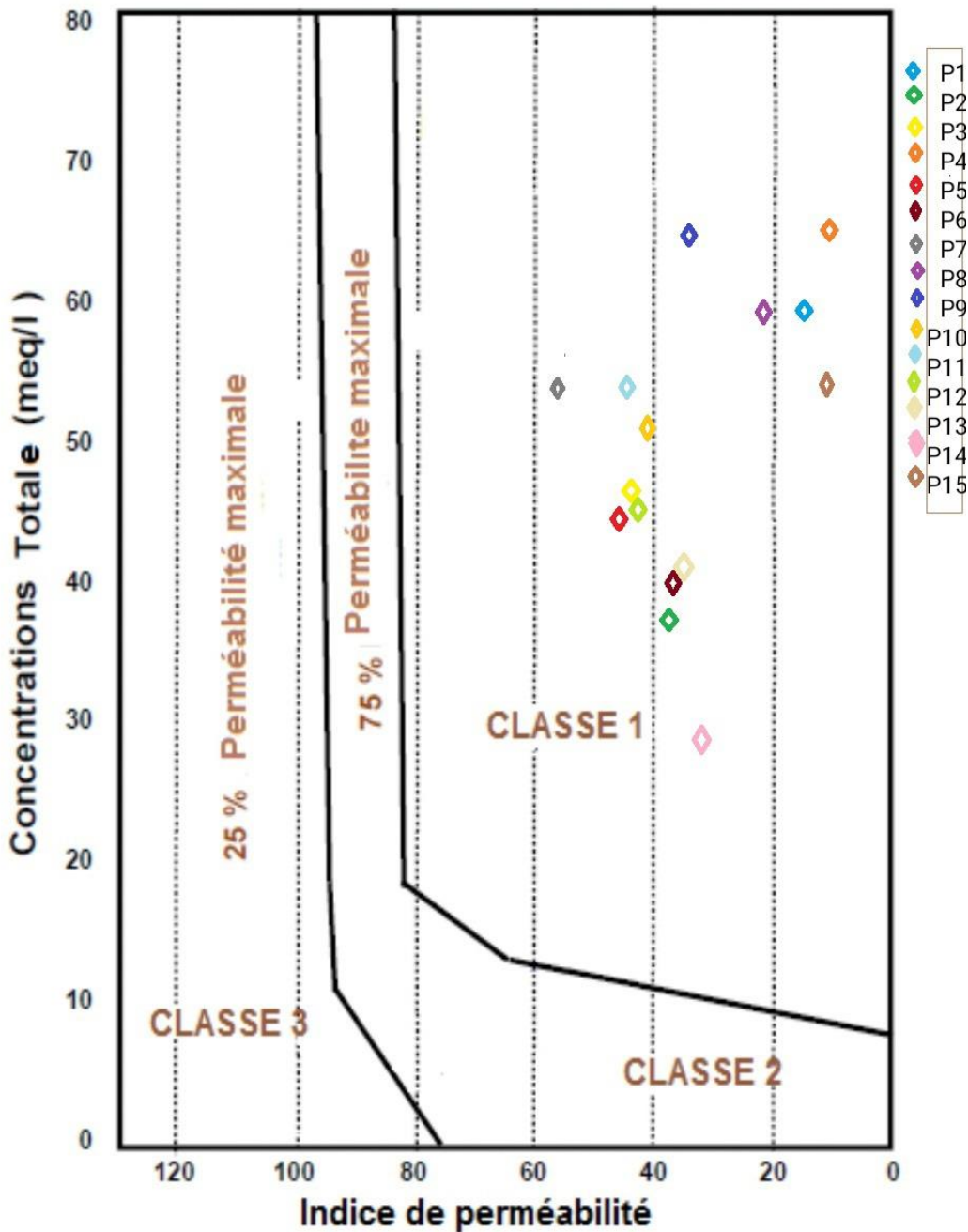


Figure III.17 : Diagramme de l'indice de perméabilité

Ainsi, d'après la figure.III.17, il ressort que les échantillons d'eau souterrains de la zone d'étude sont répartis comme suit :

- 100% se trouvent dans la classe 1. Donc, les eaux de la classe 1 peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols, du fait de leur faible concentration en Na^+

III.1.5.4. Méthode du risque de Magnésium (RM)

Szaboles et Darab (1964) ont proposé un risque de magnésium par rapport aux terres alcalines pour l'irrigation. Ce danger (RM) est calculé par l'équation suivante :

$$RM = \frac{Mg^{+2} \times 100}{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}$$

Où toutes les concentrations sont exprimées en méq / l.

Une eau riche en magnésium possède généralement des quantités équivalentes de bicarbonate ou de carbonate, lesquelles lui confèrent une alcalinité élevée. Lorsque l'alcalinité est élevée, le magnésium est le principal élément qui cause des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement obstrués les goutteurs par des dépôts calcaires.

Tableau III.20 : Valeurs du risque de magnésium (RM)

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
RM <i>méq/l</i>	50.38	51.69	55.60	38.07	50.48	51.27	52.79	50.23	48.65	50.33	50.33	51.61	53.11	53.64	60.97

D'après le tableau ci-dessus, les valeurs du RM représentent une moyenne de 49.52 avec un maximum de 60.97 (P15) et un minimum de 38.07 (P4). Les résultats du calcul montrent que 80% des eaux ont un taux supérieur à 50 du magnésium.

Les sols deviennent plus alcalins avec un RM supérieur à 50, donc en cas d'irrigation avec ces eaux, on peut s'attendre à des chutes de rendements des cultures (**Szaboles et Darab, 1964**) (**Amroune, 2018**).

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour conclure ce travail, la plaine alluviale de M'Sila est située au sud-est de l'Algérie, dans la région des hauts plateaux. La wilaya de M'Sila se trouve à 250 Km au sud-est d'Alger. Et elle est caractérisée par les coordonnées géographiques suivantes :

- Une latitude de 35°42'20'' N et une longitude de 04°32'30'' avec une superficie de l'ordre de 18175 Km².

L'objectif principal de notre étude est de connaître l'adéquation des eaux souterraines de la zone d'étude dans l'irrigation.

De point de vue climatique, la station de M'sila est localisée dans l'étage aride où le mois le plus pluvieux est le mois de Septembre avec une précipitation de 25,8mm, alors que le mois le plus sec est le mois d'Aout avec 5,6 mm. En outre, la moyenne des précipitations annuelles enregistrées est de l'ordre de 212,3 mm. La température maximale enregistrée est celle du mois de juillet avec 28,3 °C alors que la température minimale a été enregistrée au mois de janvier avec 8,9 °C et une moyenne estimée de 21,7 °C. Donc l'étude climatique a montrée que la zone est caractérisée par une forte évapotranspiration avec une écarte très important de 216,46 mm entre la valeur maximale de mois de juillet (267,96 mm) et la valeur minimale de mois de décembre (51,5 mm). L'évapotranspiration est plus élevée en été par rapport aux autres saisons sous l'action de la température élevée et les faibles précipitations.

L'étude hydro chimique montre que la majorité des eaux de la plaine de M'sila ont une forte conductivité où le degré de minéralisation est moyennement élevé à très élevée La CE passe d'une valeur minimale de 935 µS/cm à une valeur maximale 3120 µS/cm et une moyenne de 1797,06 µS/cm.

La valeur moyenne calculée du pH mesurée pour les 15 échantillons est de l'ordre de 7,11, ce que reflète un caractère basique des eaux de la région de M'sila. Elle est due aux teneurs élevées en anhydride carbonique.

Nous trouvons que le caractère de l'eau est agressive et on peut dire que l'eau souterraine de la région d'étude est très riche en à cause de la dissolution de la calcite surtout et de la dolomite CaMg(CO₃)₂ des roches calcaires et dolomitiques en présence de provenant de l'atmosphère.

Les résultats des SAR, IP, %Na et RM montrent que les eaux sont médiocres et admissibles, utilisables en irrigation mais pour de cultures tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

Pour (Na%), 73.3% des points d'eau sont bonne qualité et 20 % sont médiocre et 6.7% de l'ensemble des échantillons représentent une eau de mauvaise qualité. Donc les eaux peuvent être utilisés dans l'irrigation sans effets négatifs sur la perméabilité des sols, du fait de leur faible concentration en Na⁺.

A la fin de cette expérience, nous suggérons des recommandations suivantes :

- L'équipement de la région par une station pluviométrique au niveau du Chott et les massifs du Sud ou l'Ouest .
- Les doses d'engrais en eau d'irrigation apportées aux cultures devraient être calculées.
- De veiller à une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux forages existants.
- Réaliser un programme de suivre l'état de la nappe et les variations chimiques des eaux.
- Une surveillance permanente de la qualité des eaux d'irrigation pour éviter l'effet de la salinité des sols.
- L'exploitation des eaux de la région Sud-Ouest de la plaine qui ont de bonne qualité chimique (conductivité $\leq 1200 \mu\text{s/cm}$).

En conclusion, nous espérons que cette contribution hydro chimique que nous avons mené au niveau de la plaine de M'sila a apporté un certain nombre d'informations supplémentaires et de précisions qui pourront orienter les futurs travaux dans le domaine de la maîtrise de la ressource en eau.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

ALLOUCHEF F., LAMARI D et ZAHF F, (1998). Surveillance de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux contamination niveau des trois communes : Alii boussid, saby, ben Badis. Wilaya de sidi bel abbés, mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en biologie, université de sidi bel abbés.

AMROUNE A, (2018). Etude de l'apport hydro chimique dans la connaissance du fonctionnement de la nappe alluviale de la région nord du Hodna (Sud-Est algérien). Thèse de doctorat, université de Batna2 ,171page.

ANDI, (2015). Agence Nationale de Développement de l'investissement.

ANRH, (2016). Agence Nationale des Ressources Hydriques : Rapport sur les apports des Oueds L'Ham, Fagues, sou Bella, K'sob et Boussaâda.

AOUTA, (2014). Etude de permettre d'irrigation d'Ain Kercha ouest wilaya d'Oum Bouagi. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieurs d Etat en hydraulique, Ecole Nationale Supérieure d'hydraulique Arbaoui Abdellah ; p1.

AZELE., (1997). Fieled-portable automated pyrolysis GC/IMS system of rapid biomarker detection in aerosols: a feasibility study. Fieled Anal ChemTechnol/: 295-305.Edition: Ifremer, France, 336pages.

Ayers R.S.et Westcol D.W.;1984 .la qualité de l'eau en agriculture. *Bell FAO N°29 Rome 81 P.*

B

BECISSA H., (2011). Etude des caractéristiques physico-chimiques d'eau d'irrigation de barrage de k' sob (M'sila). Mémoire Ing.Dép. Agronomie. Univ M'sila .72p.

BENABDELLI K, MDERBAL K et MOHAMMEDI H, (1995). Comptes rendus 2éme colloque : Climat-Environnement. Environnement écologique et gestion intégrée des ressources hydriques. Centre Familiale Bouis ville Oran 24/25. Déc Pp 58-61.

BETOUT J., DELMONT J., MARCHOU B et PICHARD E. (2002). Manuel des maladies infectieuses pour l'Afrique. Edition JOHN LIBBEY. Vol (589).

BORDAS RODIER, J (1996). L'analyse de l'eau <<eau naturelles, eau résiduaire, eau de mer >> (8^e édition) paris : Dunode.1434 pages.

BOYADGIEV T. G, (1984). Méthode provisoire d'évaluation de la désertification Miemo. FAO Rome, page 70.

C

CHARABI A, BLISSAG B, (2011). Etude Critique des apports liquides et solides cas de sous bassin versant de k'sob dans le bassin du Hodna. Mémoire de Master, université Mohamed Boudiaf. M'sila, p110.

CHAREF O, KOUTI A, (1995). Comptes rendus 2éme colloque nationale Climat-Environnement. La politique actuelle de l'eau en Algérie. Centre Familiale Bouis ville Oran 24/25. Déc.1995.pages 1-6.

COUTURE I., (2004). Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation, Ed Québec, 13p.

D

DAJOZ, R (1971). Précis d'écologie. Ed Dunod, paris, 434p.

DJELFI M, (1996). Mobilisation et accroissement des ressources en eaux des bassins versants tributaires de la méditerranée. Th. Magister. Ecole Nationale de l'hydraulique de Blida 220p.

E

EQUIPES TECHNIQUES RéFEA. Analyses physico- chimique, 3p.

G

GOUADIA.L., (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskinia Nord -Est Algérien. Thèse de doctorat. Univ Annaba ,130p.

GUIRAUD, R., (1973). Evaluation post triasique de l'avant pays de la chaine algine en Algérie, d'après l'étude de bassin de Hodna et des région voisines. S.L. S. n.

H

HASSANI I,(1993).Les eaux souterraines :une ressource en péril .El watan du 17 mai 1993.

J

JORA, (1983). Journal officiel de la république Algérienne Lois 87-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux, p.1270 JORA n°30 du 19-07-83 chapitre. Eau d'irrigation.

L

LAZAAR, BELGOUMRI H, TIET H, (2009). Etude du bilan Hydrologique du Barrage k'sob - M'sila.

LIUSHU., (1984). Application of decertified lands as exemplified by the arid steppe in Eastern Mongolia Mimeo proceed. Symposium. AAAS/ Cast. DESRT INST /anzhou, china,16p.

M

MAYNARD D.N et G.J HOCHMUTH. (1997). K'nott 's Handbook for vegetable growers .582p.

MEBARKIA A., (2011). Etude des caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface, cas du barrage d'Ain zada Wilaya de Bordj Bou-Argeridj Nord-Est Algérien. Mémoire Ing. Univ Badji Mokhtar. Annaba, 209p.

MEYBECK M., KU SISTO E., MAKELAA., MALKKI., (1996). A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programme, E& F N Spon, water quality Monitoring. In J Bartram, R Balance, London, pp 9-34.

MIMOUNE S., (1995). Gestion des sols salés et désertification dans un cuvette endoréique en Algérie (Sud de chott El Hodna). S.I. Thèse doc.

N

NAUCIEL., (2000). Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires, cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France).

Nechad I., ELHARCHLI E., FADIL. (2014). caractérisations physico-chimique des eaux de la source Tataw à Imouzzer Marmoucha (Maroc), science lib , Editions Mersenne., Vol .6, N° 140103.

O

OMS, 1994 (Organisation Mondiale de la Santé) de la qualité de l'eau de boissons, 2eme ed., vol.1: Recommandations .OMS.Genève,1994,p8-30.

R

RAMSAR (2001), ATHMANI S, BAZA K, (2017). Contribution à l'étude hydro- chimique des eaux d'irrigation en zone semi-aride cas de la plaine de Boussaâda (Sud-Est). Algérien .138p.

RAMSAR, (2010). Le plan stratégique de la convention de Ramsar, 2009-2015 : objectif, stratégies et attentes relatifs à l'application de la convention de Ramsar pour la période 2009à 2015(Manuel 11).

RAMADE F., (2003). Elément d'écologie. 3°Ed.Dunod, paris, 690p.

RODIER J., (1984). L'analyse de l'eau <<eau naturelles, eau résiduaire, eau de mer>>.7ème édition, Dunod, paris.

RODIER. BAZIN C., BROUTIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., et RODIER L., (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, paris ,1384p.

RODIER J., LEUBEB., MERLET N et coll., (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer DUNOD, 9ème. Paris ,1526p.

RICHARD., (1996). Full -scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. Appl Environ Microbio 162:2201-2211.

S

SACK, R. B., (1975). Human disease caused by enterotoxigenic Escherichia coli. *ann. Rev. Microbiol.*29:333-353.

SAIYOURI N ;(2012). Méthode d'irrigation en milieu aride (projet d'eau 2012), pp-47.

SEDRATI N ;(2011). Origine et caractéristiques physique, chimique des eaux de la wilaya de Biskra -Sud-Est Algérien. Thèse de doctorat, univ Badji Mokhtar -Annaba, pp1-138.

SANTE CANADA., (2008). MFE : influence des propriétés physico-chimiques des sols sur le comportement des métaux lourds (contenus dans les eaux usées).

U

UNESCO, (2003). Observatoire du Sahara et du sahel, système aquifère du Sahara septentrionale, gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse .129 pages.

Z

ZELLA I, (2015). Irrigation : eau, sol et plante. L'office des publications universitaires, Ben Aknoun, Alger.61p.

ZIANI D, (2017). Quantification de la pollution anthropique des eaux souterraines de l'aquifère d'Ain Djasser. Est algérien. Doctorat en science, université de Batna 2 ,120 pages.

ZID EL KHIR F., BAOUCHE Z., (2016). Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation les paramètres physico-chimiques en zone semi-aride Cas des eaux souterraines de l'Aquifère Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de M'sila. Mémoire Master université de M'sila.

Annexe

Annexe 1

Tab.III.1. Résultats des paramètres mesurés sur terrain

paramètres Puits	CE ($\mu\text{S/cm}$)	T($^{\circ}\text{C}$)	pH
P1	3041	22	7.7
P2	1085	22	7.5
P3	1670	22	7.6
P4	2510	22	6.3
P5	1345	22	7.5
P6	1340	21	6.1
P7	1315	21	7.7
P8	3120	22	6.9
P9	2910	22	6.5
P10	1870	22	6.2
P11	1730	22	6.7
P12	1650	21	7.6
P13	1335	21	7.1
P14	1100	22	8.1
P15	935	21	7.2

Annexe 2

Résultat des paramètres mesurés au laboratoire

Puit	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	NO3 mg/l	HCO3 mg/l
P1	256	156	45	7	118	900	45	427
P2	120	77	102	4.9	106	510	6	305
P3	139	100	170	4	177	520	23	488
P4	420	155	140	4.5	171	900	29	144
P5	152	93	225	3	177	492	16	244
P6	122	77	81	5.4	218	450	4	450
P7	152	102	370	1	312	450	20	244
P8	312	189	133	4.8	177	840	36	488
P9	248	141	217	3.6	176	950	56	305
P10	176	107	190	3.6	118	720	22	341
P11	176	107	250	1.2	118	700	19	305
P12	153	98	170	3.8	165	510	26	366
P13	128	87	96	5	88	600	12	414
P14	112	77.76	60	5.5	59	400	4	268
P15	96	90	233	2	377	547	20	547

Annexe 3

Tab.III.3. Résultat des paramètres mesurés au laboratoire en méq/l

Puits	Ca méq/l	Mg méq/l	Na méq/l	K méq/l	Cl méq/l	SO4 méq/l	NO3 méq/l	HCO3 méq/l
P1	12.8	13	1.95	0.18	3.73	18.75	0.72	7
P2	6	6.42	4.43	0.13	3.03	10.62	0.09	5
P3	6.65	8.33	7.39	0.10	5.06	10.83	0.24	8
P4	21	12.91	6.08	0.12	4.89	18.75	0.47	2.36
P5	7.6	7.75	9.78	0.08	5.06	10.25	0.26	4
P6	6.1	6.42	3.52	0.14	6.23	9.38	0.06	7.38
P7	7.6	8.5	16.08	0.03	8.91	9.38	0.32	4
P8	15.6	15.75	5.78	0.12	5.06	10	0.58	8
P9	12.4	11.75	9.43	0.09	5.03	19.8	0.90	5
P10	8.8	8.92	8.26	0.09	3.37	15	0.25	5.6
P11	8.8	8.92	10.86	0.03	3.37	14.58	0.31	5
P12	7.65	8.16	7.39	0.09	4.71	10.62	0.42	6
P13	6.4	7.25	4.17	0.13	2.51	12.5	0.19	6.79
P14	5.6	6.48	2.60	0.14	1.69	8.33	0.06	4.39
P15	4.8	7.5	10.13	0.05	10.77	11.39	0.32	8.96

Annexe 4

Tab.III.4. Coordonnées des points d'eau à travers la plaine de M'Sila

Coordonnées des points d'eau au niveau de la plaine du M'Sila _ Algérie		
Forages	X	Y
P1	04°29'	35°02'
P2	04°45'	35°34'
P3	04°43'	35°37'
P4	04°31'	35°32'
P5	04°46'	35°38'
P6	04°34'	35°39'
P7	04°29'	35°37'
P8	04°37'	35°32'
P9	04°26'	35°32'
P10	04°27'	35°35'
P11	04°32'	35°36'
P12	04°34'	35°37'
P13	04°33'	35°37'
P14	04°31'	35°33'
P15	04°35'	35°34'

الملخص

يقع سهل المسيلة في الجنوب الغربي للجزائر في المرحلة المناخية الجافة، في السنوات الأخيرة كان هناك انخفاض في منسوب المياه الجوفية بسبب الإفراط في استغلال المياه الجوفية Mio-Plio-Quaternaire في الري. نتائج التحاليل الكيميائية أجريت لـ 15 عينة من المياه الجوفية، من أجل الحصول على جودة هذه المياه المستخدمة في الري، استخدمت أدوات التفسير بالتزامن مع خصائص التركيب الكيميائي والملوحة. تشير قيمة ال pH الهيدروجيني إلى صفة أساسية لمياه منطقة المسيلة. وذلك راجع ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون. علاوة على ذلك، تتمتع غالبية المياه بدرجة متوسطة إلى عالية جدًا من تمعدن المياه إلى متوسط قدره 1797.06 S / cm. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام SAR و IP و % Na و RM أنه لا يمكن استخدام هذه المياه إلا للمحاصيل المقاومة للملوحة وفي التربة جيدة التصريف والرشح.

الكلمات المفتاحية: سهل المسيلة، الري، الجودة الكيميائية، المياه الجوفية، الملوحة

Résumé

Le plaine de M'Sila est situé au Sud-Est de l'Algérie dans l'étage climatique aride où elle connaît ces dernières années une baisse de niveau des eaux souterraines due à la surexploitation de la nappe Mio-Plio-Quaternaire en irrigation. Les résultats des analyses chimiques de 15 échantillons d'eau souterraine ont été traités à l'aide des outils d'interprétations tout en caractérisant la composition chimique et la salinité pour connaître la qualité de ces eaux en irrigation. La valeur du pH a indiqué un caractère basique des eaux de la région de M'sila. Elle est due aux teneurs élevées en anhydride carbonique. En outre, la majorité des eaux ont un degré de minéralisation moyennement élevée à très élevée avec une moyenne de 1797,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les résultats du SAR, IP, %Na, RM montre que ces eaux sont utilisables uniquement pour les cultures tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

Mots clés : Plaine de M'Sila, Irrigation, Qualité chimique, Eaux souterraines, Salinité

Abstract

The plain of M'sila is located to the South-West of Algeria in the arid climatic stage , In recent years it has reached a fall in the water table due to the overexploitation of the groundwater Mio-Plio-Quaternaire in irrigation. The results of chemical analyzes of 15 groundwater samples were processed, in order to obtain the quality of these waters used for irrigation, interpretation tools in conjunction with characterizing of the chemical composition and salinity were used. The pH value indicated a basic character of the waters of the M'sila region. It's due to the high anhydride carbonic content. Moreover, the majority of waters have a medium-high to very high ..degree of water mineralisation with an average of 1797,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The obtained results using SAR, IP, %Na, RM show that these waters can only be used for salt-tolerant crops and on well-drained and leached soils.

Keywords: M'Sila Plain, Irrigation, Chemical quality, Groundwater, Salinity