

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences agronomiques
Spécialité : **Protect. de la ressource Sol Eaux Environnement**

Présenté par : **Melle** CHILEG Hadjer

Thème

**Etude de la variation spatiale de la salinité des eaux
phréatique de la commune de METLILI (Wilaya de
GHARDAIA)**

Soutenu publiquement

Le : 20/06/2023

M. IDDER	Abdelhak	M.C.A.	Présidente	UKM Ouargla
M. DADDI BOUHOUN	Mustapha	Pr.	Encadreur	UKM Ouargla
Melle BENHADID	Hadjira	M.C.B.	Co-Encadreur	U. Ghardaia
M. DJILI	Brahim	M.C.B.	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2022 / 2023

Remerciement

Tout d'abord, avec la grâce d'Allah et sa volonté qui nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.

. Il m'est agréable de remercier, vivement mon promoteur Monsieur DADDI BOUHOUN Mustapha, professeur au Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir proposé et dirigé ce travail, Je lui atteste ma profonde gratitude pour son encadrement, ses encouragements, ses conseils, ses orientations.

Mes remerciements s'adressent également à mon co-promoteur Mm BENHEDID HADJIRA Maitre-conférences B à Université de Ghardaïa pour ses encouragements et sa conseil et sa patience afin de corriger de ce travail

On tient aussi, à remercier les membres de jury Mr IDDER Abdelhak Maitre de conférences A à l'université de Kasdi Merbah Ouargla et Mr. DJILLI Brahim Maitre de conférences B à l'université de Kasdi Merbah Ouargla d'accepter d'examiner notre recherche et leurs orientations afin d'évaluer ce travail

Je dois remercier particulièrement mon Frère Abed Essalam et mohamed et mon père pour son aide toute la période de prélèvements

Un grand remerciement pour Mr ACHOUR Mansour, ingénieur de l'A.N.R.H. Ghardaïa pour son aide et cette orientation

Je remercier vont aussi, à tout le personnel de laboratoire, de l'ADE à Ghardaïa.

A tous mes enseignants, à toute la promotion de magister de science Agronomique.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail :

Mes très chers Parents sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs Encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études. Je sais bien quel que soit les remerciements que je leurs adresse c'est Peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.

A tous mes frères Abdésalem, Hicham, sid Ali,

Mouhamed .

Et ma soeur Asma et son mari Abbas A ma chère grand-mère, qui ne m'a pas oublié dans ses prières tout au long de la période de travail .

A mes neveux et nièces hadil et abd elmoumen et leur mère .

Et à toute la famille Chiléq et Belkacem.

A toutes mes adorables que j'ai connu pendant toute ma vie.

Hadjer

List des tableaux :

N°	Titre	Page
I.	La tolerance des plante au sol.	09
II.	Normes de potabilité Algeriennes de l' OMS.	11
III.	Normes Algeriennes de L' OMS des eaux d' irrigation.	13
IV.	Classification des eaux d irrigation selon leurs conductivites électrique.	14
V.	S.A.R des eaux et risque d alcalinisation des sols.	14
VI.	Communes et superficies de la wilays de Ghardaia.	17
VII.	Données climatiques de la station météologique de Ghardaia de l' année (2009 a 2021).	19
VIII.	L'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaia(1998-2018).	22
IX.	Invextaires des points d eau par communes(D.S.A ,2011).	35
X.	Localisation de la station d' échantillonge.	41
XI.	L ocalisation des sites d' échantillonge par G.P.S.	44
XII.	Classe de salinité des eaux d' irrigation dans la vallée du Metili.	78
XIII.	Classes de la sodicité des eaux de l' aquifère superficielle de l' Oued Metlili	79
XIV.	Classe des eaux de l' aquifère superficielle de l' Oued Metlili	81

Listes des figures:

N°	Titre	Page
1.	Gammes de concentrations et terminologie de salinisation (KHARKA et HANOR , 2005).	07
2.	Wilaya de Ghardaïa, localisation et cadre administratif (ACHOUR, 2021).	16
3.	Température Mensuelle de la région Ghardaïa.	19
4.	Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.	20
5.	Les vitesses moyennes mensuelles des vents	21
6.	Histogramme des humidités relatives moyennes en (%)	21
7.	L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa	22
8.	Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa 2009-2021	23
9.	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER (2009 -2021).	24
10.	Carte occupation du sol de la région de Metlili (logiciel surfer) (Hamel & Hanichi.,2019)	25
11.	Carte de Bassin Version de la Vallée de Metlili (ANRH, 2016)	27
12.	Carte de niveau statique de la nappe phréatique de Metlili (ANRH, 2003).	29
13.	Carte piézométrique de la nappe phréatique de Metlili (ANRH, 2003).	29
14.	. L'oued Metlili en crue (Crue 01 /10/2008 Debit max = 850 m ³ /s (Photo. Ouled)	31
15.	Une vue de la digue du grand barrage Si Lekhel	32
16.	Ahbas Boudjrada sur l'oued Metlili (Crue de 20/04/2018) (Photo. Ouled Cheikh)	33
17.	La ruelle devient une seguia en période de crues (Crue de 20/04/2018) (Photo. Ouled Belkhir, 2019.	33
18.	Une seguia principale et secondaire (canal à ciel ouvert) qui joue le rôle d'une ruelle	34
19.	koua (alimentant jardins consécutifs) située dans une seguia secondaire très dégradée et non entretenue	34
20.	Système de puisage traditionnel (A) et par traçage animal (B)	36
21.	Situation géographique de la commune Metlili (BENGUELIA et HADJ BRAHIM, 2018)	40
22.	Localisation des puits de l'aquifère superficiel de l'Oued Metlili	45
23.	Quelques puits des sites étudiés	45
24.	Conductimétre	48

25.	pH-mètre	48
26.	Localisation des Puits dans oued Metlili	55
27.	Types d'activité dans le site d'étude	56
28.	Types d'utilisations des eaux dans les sites d'étude	57
29.	Modes de collectes des eaux usées dans les sites d'étude	58
30.	Risques de pollution des eaux phréatiques	59
31.	Niveau statique de la nappe superficielle de l'Oued Metlili	62
32.	pH moyenne des eaux dans les stations d'étude	63
33.	C.E moyenne des eaux dans les stations d'étude	64
34.	R.s. moyennes des eaux dans les stations d'études	66
35.	NO2 - moyenne des eaux dans les stations d'étude.	67
36.	T.H moyenne des eaux dans les stations d'études	68
37.	Les cations solubles moyens des eaux dans les stations d'étude	71
38.	Les Anions solubles moyenne des eaux dans les stations d'étude	74
39.	Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER	75
40.	Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER	75
41.	Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER	76
42.	S.A.R moyenne des eaux dans les stations d'étude	77
43.	Qualité des eaux d'irrigation dans la station 1 et 2 en fonction de la C.E et du S.A.R	81
44.	Qualité des eaux d'irrigation dans la station 3et 4en fonction de la C.E et du S.A.R	82
45.	Qualité des eaux d'irrigation dans la station 5 en fonction de la C.E et du S.A.R	82

Liste des photos

N°	Titre	Page
1.	Paine marie pour Résidu sec	49
2.	Spectrophotomètre d'émission de flamme, de type JENWAY PFP7	50
3.	Dosage des SO4 -- par la méthode turbidimétrique	50
4.	Spectrophotomètre, de type ODYSSEY (H.A.C.H)	51

Liste des abréviations explicitées :

Abréviation	Signification
DPSB	Direction de programmation et du suivi Budgétaires
DSA	Direction des Services Agricoles
FAO	Food Agricole Organisation
A.D.E	Algérienne Des Eaux
A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
C.D.A.R.S	Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes
D.H.W	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
D.P.A.T	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
I.S.O	Organisation internationale de normalisation
J.O.R.A	Journal Officiel de la République Algérienne
O.M.S	Organisation Mondiale de la Santé
O.N.A	Office National d'Assainissement
O.N.M	Office National de la Météorologie
U.N.T	Nephelometric Turbidity Unit

Table des matières

N°	Titre	Page
	Remerciement	
	Dédicace	
	Liste des tableaux	
	Liste des figures	
	Liste des photos	
	Liste des abréviations	
	Introduction générale	1
	Première partie : Synthèse bibliographique	
	Chapitre I. Salinité des eaux souterraines	
I.	Eaux souterraines	06
1.	Types des nappes souterraines	06
1.1.	Nappe libre	06
1.2.	Nappe semi-captives	06
1.3.	Nappes captives	06
2.	Captage des eaux souterraines	06
2.1.	Forage profond	06
2.2.	Puits peu profond	07
2.3.	Puits dans les couches fissurées ou creusées	07
II.	Salinisation des eaux souterraines	07
1.	Terminologie des eaux salines	07
1.1.	Mécanismes de salinisation des eaux souterraines	08
1.2.	Mélange avec des saumures anciennes	08
1.3.	Dissolution des formations évaporitiques	08
1.4.	Autres sources de contamination des eaux souterraines	08
2.	Effet de sel sur agriculture	09
2.1.	Tolérance des plantes aux sels	09
2.2.	Effet de la salinité sur palmiers dattiers	09
2.3.	Effet de la salinité sur le système racinaire	10
3.	Normes de la qualité des eaux	11
3.1.	Normes de potabilité	11
3.2.	Normes d'irrigation	12
3.2.1.	Salinité	13
3.2.2.	Sodicité	14
	Chapitre II. Gestion des eaux dans la vallée de Metlili	
1.	Situation géographique	16
1.1.	Situation géographique de la zone d'étude	16
1.2.	Contexte socio-économique	17
2.	Climat de Metlili	18
2.1.	Température	19
2.2.	Précipitations	20
2.3.	Le vent	21
2.4.	Humidité	21
2.5.	Evaporation	22
2.6.	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	23
2.7.	Climagramme d'EMBERGER	24
3.	Géomorphologie	24

3.1.	Oueds	24
3.2.	Hamada	25
3.3.	Chebka	25
3.4.	Aregs	25
4.	Occupation du sol dans la région	25
4.1.	Structure des exploitations agricoles	26
4.1.1.	Le système oasien de l'ancienne palmeraie	26
4.1.2.	La mise en valeur	26
5.	Hydrologie	26
6.	Géologie	27
7.	Hydrogéologie	27
7.1.	Définition de système aquifère	28
7.2.	Présentation de système aquifère de Metlili	28
7.2.1.	Les nappes superficielles (phréatiques)	28
7.2.2.	Nappe du Turonien	28
7.2.3.	Nappes alluvionnaire	28
7.2.4.	Nappe continentale intercalaire (CI)	30
7.3.	Gestion des eaux de crues	30
7.3.1.	Ecoulement	30
7.4.	Gestion des eaux des aquifères	35
7.4.1.	Gestion des eaux de l'aquifère superficiel	35
Deuxième partie : Matériels et méthodes		
Chapitre III. Matériels d'étude		
1.	Choix de la zone d'étude	39
Chapitre IV. Méthodes d'étude		
1.	Approche méthodologique	43
1.1.	Enquête	43
1.2.	Echantillonnage des eaux	44
1.2.1.	Localisation des puits	44
1.2.2.	Etude des niveaux des eaux	45
1.2.3.	Prélèvement des eaux	46
1.3.	Caractérisation hydrochimique des eaux	46
1.4.	Classification des eaux et Risque de pollution	47
1.5.	Recommandation agro-enverementale	48
2.	Méthodes d'analyses	48
2.1.	Analyses physico-chimiques	48
Troisième partie : Résultats et discussions		
Chapitre V. Environnement agro-urbaines et Risque de de salinisation par pollution des eaux phréatique		
1.	Localisation du site	54
2.	Types d'activité dans le site	55
3.	Type d'utilisation des eaux	56
4.	Modes de collectes des eaux usées	57
5.	Risques de pollution des eaux phréatiques	58
Chapitre VI. Qualité hydro-chimique des eaux phréatique		
1.	Niveaux des eaux	61
1.1.	Niveau statique	61
2.	Etude physico-chimique de la nappe superficielle	62
2.1.	Potentiel d'Hydrogène	62
2.2.	Conductivité électrique	64
2.3.	Résidu sec	65
2.4.	Paramètres de la Pollution des eaux	66

2.4.1.	Nitrites	66
2.5.	Eléments majeurs	68
2.5.1.	Titre hydrométrique	68
2.5.2.	Cations solubles	69
2.5.3.	Anions solubles	71
2.5.4.	Faciès chimiques des eaux	74
2.6.	SAR.i	76
2.7.	Aptitude des eaux à l'irrigation	77
2.7.1.	Salinité de l'eau	77
2.7.2.	Sodicité des eaux	79
2.7.3.	Classification des eaux d'irrigation	80
	Conclusion	85
	Références bibliographiques	88
	Annexes	95
	Résumé	98

Introduction

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'eau peut-être rare à certains endroits et de mauvaise qualité à d'autres la qualité des eaux dans le monde a connu ces derniers années une grande détérioration à cause de régime industriel de l'utilisation intensive (BENZALET, 2010).

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités (DEBIECHE, 2002).

Selon Daoudi (2017) Au Sahara, l'agriculture se limite traditionnellement aux oasis, lieux de production et d'habitation, dont l'existence est liée à des sources d'eau relativement accessibles (oueds, sources artésiennes, foggaras). L'eau, composante constitutive de ces oasis, y est gérée collectivement grâce à une matrice institutionnelle endogène (droits de propriété, règles de transmission et d'accès, instruments et méthodes de mesure, etc.) qui a fait ses preuves des siècles durant, en matière de coordination des interactions interindividuelles autour de l'accès à cette ressource (Marouf, 1980 ; Granier, 1980).

Les eaux souterraines offrent des ressources avantageuses pour de nombreux utilisateurs prédominante dans certains pays mais de nature variée incorporées au ressource en eaux de surface. Elles sont largement utilisées dans un grand nombre de pays forment souvent la principale source d'approvisionnements en eaux potable contribuent dans une proportion appréciable aux approvisionnements en eau industrielle dans les pays développée et constituent la ressource locale quasi exclusive pour l'irrigation et l'élevage en zone arides (MARGAT, 1990).

L'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, surtout au bas Sahara (Sahara Septentrional); mais la qualité physico-chimique de cette eau dans certaines régions est le plus souvent médiocre. Cette salinité des eaux, dont une partie est d'origine géologique primaire s'accroît continuellement par une mauvaise gestion de la ressource en eau et en sols Salinisation secondaire. Cette salinisation de la ressource en eau est aggravée dans certains cas par une pollution d'origine anthropique, le plus souvent domestique, qu'industrielle ou agricole, ce qui rend l'eau le plus souvent impropre à la consommation et dès fois même à l'irrigation. En effet, la qualité des eaux dans les différentes régions sahariennes et notamment, celles situées au centre et au nord (Ouargla,

El Oued, Biskra) sont de mauvaises qualité et leur teneur en sels peut dépasser les 7 g/l de résidu sec (région de Oued Rhir). Cette forte teneur en sels conjuguée à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, est l'une des principales causes de la stérilisation des sols de plusieurs zones agricoles. (KHADRAOUI, 2015)

Quelques études, déjà réalisées sur la salinité des eaux de la nappe phréatique de Metlili (mémoires d'ingénieur, de master et de Magister), ont signalé la salinité de ces eaux (AMIEUR, 2020; A.N.R.H, 2001 ;) ont signalé le problème de la salinité et pollution de la nappe. Cette nappe est polluée suite aux déversements des eaux usées en aval de de la ville de Metlili,

En raison du faible nombre d'études réalisées sur la qualité de cette nappe et l'évaluation du niveau de la nappe et la variation spatiale des eaux phréatique le long de la vallée de Metlili ,Il apparait que l'intérêt de notre travail de recherche a pour objectif de déterminer les variations spatiales de la salinité et des niveaux des eaux, afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisations et les problèmes de dégradation posés.

L'approche méthodologique adoptée consiste de faire une étude spatiale visant un plus grand nombre de points de mesures dans les zones agricoles, et agro-urbaines de la vallée du Metlili par une enquête sur la gestion des eaux, ainsi que la classification de leurs qualités, leurs niveaux statiques. Les résultats obtenus vont nous orienter sur les zones potentiellement saline et de faire des recommandations d'utilisation des eaux, d'aménagements et de recherches.

Afin d'atteindre nos objectifs, notre recherche s'articule autour de trois grandes parties, à savoir :

1-Synthèse bibliographique : Elle contient un chapitre sur tous ce qui est sur l'eau et son niveau de salinisation ainsi qu'un chapitre qui présente la région d'étude de Metlili, notamment les potentiels hydro-édaphiques et agricoles et un aperçu général sur la gestion des eaux conventionnelles et celles non conventionnelles dans la région d'étude

2- Matériel et méthodes : consacrée à la présentation de la méthodologie d'étude et les différentes méthodes d'analyses des échantillons utilisés dans cette étude

3- Résultats et discussion: ce chapitre traite le résultat comprend l'évaluation des paramètres physicochimiques par rapport à la norme algérienne complétée par une conclusion avec quelques recommandations.

Première partie :
Synthèse bibliographique

Chapitre I.

Salinité des eaux souterraines

I. Eaux souterraines

Constituent 20 % des réserves d'eaux soit environ 1000 millions de m³, leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles sont généralement d'excellente qualité physicochimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes (RODIER, 1996)

1. Types des nappes souterraines

La nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère dont toutes les parties sont en continuité hydraulique (GILBERT, 1998).

1.1 Nappe libre

C'est une nappe qui peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, le siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable (BONNIN, 1982).

1.2 Nappe semi-captives

Elle appartient à un aquifère dont le toit ou /et le substratum est constitué par une formation semi-perméable. Celle-ci permet des échanges d'eau avec les aquifères situés au-dessus ou en dessous, appelés drainante (MUSY et HIGY, 2004 ; DETAY, 1997).

1.3 Nappes captives

Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol et elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux pollutions (CARDOT, 1999 ; DERGEMONT et al. 2005 ; ARJEN, 2010)

2. Captage des eaux souterraines

L'amenée des eaux à partir du lieu s'opère soit par les captages des nappes ou des sources, soit le prélèvement dans une rivière ou un lac, elle met en œuvre les ouvrages de transport (KOCH, 1969).

Les points d'eau sont habituellement classés de la manière suivante (DUPONT, 1981)

2.1 Forage profond

Les Forages profonds (Puits forcé) prélèvent l'eau sur une nappe souterraine située sous une couche imperméable.

2.2 Puits peu profond

Les Puits peu profond (creusé à la main foncé ou foré) : Prélèvement sur une nappe souterraine où l'eau s'infiltré au moins 3m à partir de la surface

2.3 Puits dans les couches fissurées ou creusées

Permettant aux eaux de surface d'atteindre facilement les eaux souterraines. Les eaux souterraines ont toujours été recherchées en raison de leur fraîcheur et leur qualité chimique et bactériologique. Plus l'eau est profonde et plus la sécurité est grande.

II. Salinisation des eaux souterraines

1. Terminologie des eaux salines

Selon BOURHANE (2009) Un grand nombre de termes descriptifs, plus ou moins précis est utilisé dans la littérature pour décrire la minéralisation des eaux souterraines sans qu'il n'existe de système de classification globale. Par le terme minéralisation on désigne la concentration des solides totaux dissous (STD) ou charge totale dissoute (CTD). Le terme correspondant dans la littérature internationale est TDS, l'abréviation anglaise de Total Dissolved Solids. Le terme salinité (en anglais : salinity) est synonyme de TDS et s'exprime généralement en g/L ou en gramme de sels par kilogramme de solution et donc en pour mille pondéral. La salinité peut être déterminée directement par la somme des concentrations mesurées en éléments dissous ou par le poids du résidu solide après évaporation et, indirectement et approximativement, à partir de la conductivité électrique (mS/cm). Toutefois, le terme de salinité est souvent utilisé comme synonyme de chlorinité qui désigne la concentration en chlore dissous sous forme de chlorures (mg/L ou g/L).

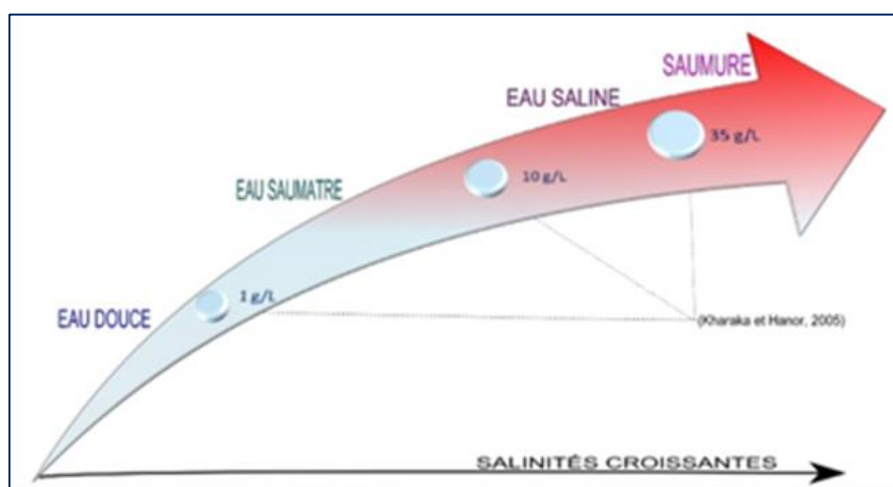


Figure 1.Gammes de concentrations et terminologie de salinisation (KHARKKA et HANOR , 2005)

1.1 Mécanismes de salinisation des eaux souterraines

Les mécanismes d'infiltration d'eau salée sont multiples (mélange avec d'anciennes saumures, dissolution d'évaporites, etc.) Qu'il soit d'origine anthropique (activité humaine) ou naturelle, le problème de la salinisation constitue un risque persistant d'épuisement des ressources en eau.

1.2 Mélange avec des saumures anciennes

La salinisation des eaux souterraines peut résulter de la remontée du niveau marin depuis l'Holocène, qui a fortement varié depuis 10 000 ans et n'a atteint une certaine stabilité que depuis 6000 ans. La présence d'eau marine dans un aquifère peut correspondre à une intrusion ancienne, particulièrement dans les aquifères fossiles (BENCHIKH,2017).

1.3 Dissolution des formations évaporitiques

La dissolution des minéraux évaporitiques, dans les bassins sédimentaires, constitue une source fréquente de contamination des aquifères. Etant discuté dans plusieurs recherches (RUWAIEH, 1995 ; MARJOUA et al. 1997; ROSENTHAL et al. 1998 in BOURHANE , 2009), ce type de minéralisation nécessite une bonne connaissance de la nature lithologique du secteur d'étude. Les halogénures tel que l'halite (NaCl) et les sulfates tel que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), faisant partie des minéraux salifères, sont souvent impliqués dans le cas de salinisation des eaux par des réactions de dissolution. En effet, la dissolution de l'halite se traduit essentiellement par une augmentation de la concentration en ions Chlore (Cl^-) et Sodium (Na^+) et celle du gypse se traduit par une augmentation des ions calcium (Ca^{2+}) et sulfate (SO_4^{2-}). Dans la zone non-saturée et dans les nappes en conditions oxydantes, l'oxydation des sulfures tel que la pyrite (FeS_2), peut provoquer la formation des sulfates traduisant ainsi une augmentation de la salinité des eaux de la nappe (BOURHANE, 2009 in BENCHIKH, 2017).

1.4 Autres sources de contamination des eaux souterraines

Dans certains cas, la nappe peut être contaminée par déplacement d'eau salée depuis les formations aquifères adjacentes et/ou sous-jacentes à travers des phénomènes de migration et/ou drainance des saumures. Ces processus de contamination ont été discutés dans plusieurs études et recherches (FEDRIBONT et al, 2001; KRIMISSA et al., 2004...) mettant en relief l'effet de la surexploitation dans la mise en place de ces phénomènes de minéralisation des eaux. Dans d'autres cas, certaines sources anthropiques de sels tels que l'élevage et l'activité agricole, peuvent affecter les eaux souterraines. En effet, l'utilisation des eaux salées dans l'irrigation, des engrais d'origine animale et des fertilisants artificiels,

gènèrent souvent un apport en ions participant ainsi de façon non négligeable à la salinisation des eaux souterraines (Bourhane, 2009 in BENCHIKH, 2017).

2. Effet de sel sur agriculture

2.1 Tolérance des plantes aux sels

La tolérance aux sels est un phénomène complexe qui varié avec les espèces, les variétés Et Le stade de développement des plantes. Les plantes les plus tolérantes sont appelées halophytes Ces dernières ont une aptitude à développer des pressions osmotiques suffisamment élevées pour compenser la pression osmotique de la solution du milieu extérieur (BOUGENDRE,1973). Par contre de nombreuses plantes sont sensibles aux sels et leur croissance est affectée par le niveau de salinité du sol (tab. 6). Il est à noté que la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (MAAS et al, 1977 ; SHANNON, 1984 in ZAMAN ALLAH et al, 2009)

Tableau I. La tolérance des plantes au sel.

CE ds/m	Plantes
25	Palmiers dattiers.
12	Orge, betterave à sucre, artichaut.
8	Chou, asperge, épinard, sorgho, avoine luzerne, soja.
4	Figuire, olivier, vigne, tomate, laitue, pomme de terre oignon, carotte, melon.
3	Radis, céleri, haricot.
2	Pommier, poirier, prunier, amandier, framboisier pêche, abricotier.
1.5	Fraisier.

2.2 Effet de la salinité sur palmiers dattiers

Selon SIBOUKER (2022) La salinité diminue la croissance végétative (ARMSTRONG, 1960). En Californie, les palmiers dans les parcelles très salées possèdent peu de palmes et peu de régimes et les palmes sont petites et jaunâtres (ARMSTRONG, 1960). Le palmier peut se développer végétativement, sans production, dans des sols qui contiennent jusqu'à 3 à 4 % de sels (AHMED et al. 1979).

HEWITT (1963) a montré que l'irrigation des jeunes palmiers issus de noyaux "DegletNour" par des solutions salées, ont des effets négatifs sur leur croissance. Celle-ci commence à diminuer à partir d'une concentration égale à 10 g.l-1. Elle s'abaisse radicalement à 20 g.l-1 et est bloquée pour les concentrations dépassant 30 à 34 g.

Les essais réalisés aux U.S.A., sur des palmiers issus de noyaux sur les cultivars "Deglet-Nour" et "Medjhou" (FURR et al. 1966), et en Egypte sur les cultivars "Sakkoti" et "Baratmuda" (HUSSEIN et al. 1996), montrent que l'augmentation de la salinité des eaux d'irrigation diminue la croissance des palmes. Le pourcentage de croissance des palmes par rapport au témoin, passe de 50 % à 16 %, quand la salinité des eaux d'irrigation passe de 11 à 38 dS.m-1 (FURR et al. 1966), et de 95,4 % à 22,5 % quand la salinité des eaux d'irrigation passe de 5,81 à 29,5 dS.m-1 (HUSSEIN et al. 1996).

Lorsque la concentration des sels dans le sol augmente, la croissance et le poids sec des organes végétatifs des jeunes palmiers dattiers, issus de graines de "Deglet-Nour" et de "Medjhou" diminuent. Cela est dû essentiellement à la pression osmotique des eaux d'irrigation et à l'accumulation de Cl et Na dans les organes végétatifs (FURR et REAM, 1967).

2.3 Effet de la salinité sur le système racinaire

Dans les sols où la nappe est proche de la surface, le système racinaire est peu profond et sa croissance est affectée. D'après SIMMONS (1926) l'enracinement du palmier dattier en Arizona est de 1,2 à 1,5 m de profondeur avant le drainage des sols et avec une nappe peu profonde. Après le rabattement de la nappe phréatique, les racines suivent le niveau de la nappe phréatique pour atteindre 3 à 4 m.

Le contact des racines avec des eaux phréatiques très salées provoque une chute de rendements (DADDI BOUHOUN, 2010). Le drainage devient primordial dans ces conditions (WEEKS, 1957). L'engorgement des sols par l'eau est dangereux au niveau des palmeraies algériennes (DADDI BOUHOUN, 2010). Il crée des conditions d'anaérobiose à l'origine de la nécrose et de la pourriture des racines (DUBOST, 199 ; in SIBOUKEUR, 2021).

3. Normes de la qualité des eaux

3.1 Normes de potabilité

Globalement, les qualités de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (BOUZIANI, 2000). La potabilité et la qualité chimique des eaux sont en fonction de la concentration des différents éléments chimiques dissous. On considère une eau potable quand elle ne présente pas de risques pour la santé humaine (KHADRAOUI et TALEB, 2008). Les normes fixées par l'OMS et les normes Algérienne et Françaises sont présenté dans le tableau suivant (Tabl. II).

Tableau II. Normes de potabilité Algériennes et de l'OMS (RODIER et al., 2009 ; JORA, 2011)

Paramètre	Norme Algérienne	Norme OMS	Unité
Température	25	-	C°
Couleur	15	15	Unités (mg/Pt)
Odeur à 12°C	4	-	Taux dilution
Saveur à 12°C	4	-	Taux dilution
Turbidité	5	5	Unités NTU
pH	≥6.5 et ≤9	6,5 et 9,5	-
Conductivité	2800	1500	μS/cm
Résidus secs	1500	1000	mg/l
Alcalinité	500	-	mg/l en CaCO ₃
Ammonium	0.5	1.5	mg/l
Nitrate	50	50	mg/l
Nitrite	0.2	0.2	mg/l
Phosphore	5	-	mg/l
DBO ₅	-	3	mg/l d'O
DCO	-	10	mg/l d'O ₂
Chlorure	500	250	mg/l
Sodium	200	200	mg/l
Potassium	12	-	mg/l

Sulfates	400	250	mg/l
Aluminium	0.2	0.2	mg/l
L'arsenic	0.01	0.01	mg/l
Baryum	0.7	0.7	mg/l
Bore	1	0.3	mg/l
Cadmium	3	3	µg/l
Calcium	200	-	mg/l en CaCO ₃
Chrome	0.05	0.5	mg/l
Cuivre	2	2	mg/l
Cyanures	0.07	0.07	mg/l
Dureté	200	-	mg/l en CaCO ₃
Fer total	0.3	-	mg/l
Fluorure	1.5	1.5	mg/l
Magnésium	200	200	mg/l
Manganèse	50	100	µg/l
Mercure	6	1	µg/l
Plomb	10	10	µg/l
Zinc	5	3	mg/l
Escherichia coli	0	0	nombre/100 ml
Entérocoques	0	0	nombre/100 ml
ClostridiumSulfitoréducteur	0	0	nombre/100 ml

3.2 Normes d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation varie en fonction de la nature et de la quantité des sels dissous. L'augmentation de la teneur en sels est à l'origine de plusieurs problèmes pour le sol et les plantes. Les problèmes les plus rencontrés sont associés à la salinité, sodicité, toxicité spécifique de certains ions et d'autres problèmes liés à l'excès d'azote et aux bicarbonates (Tab. II) (DADI BOUHOUN , 1997 ; BENHEDID, 2014).

Tableau III. Normes Algériennes et l'OMS des eaux d'irrigation (JORA, 2011; OMS, 2006)

Paramètres	Unité	Valeurs maximales	
		Norme Algérienne (2011)	Norme OMS(2006)
pH		6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductivité électrique	$\mu\text{s/cm}$ à 25 C°	<3000	<2250
Nitrates (NO_3^-)	mg/l	30	30
Sulfates (SO_4^{2-})	mg/l	300	250
Chlorures (Cl^-)	mg/l	350	350
Bicarbonates (HCO_3^-)	mg/l	500	400
SAR	/	<3	<3
Fer (Fe^{++})	mg/l	5	20
Manganèse (Mg^{++})	mg/l	0.2	100
Sodium (Na^+)	mg/l	/	200
Potassium (K^-)	mg/l	/	20
Calcium (Ca^{++})	mg/l	/	200

3.2.1 Salinité

La salinité de l'eau est exprimée par la conductivité électrique en $\mu\text{S/cm}$ ou dS/m . c'est le moyen pour la classification de la salinité de l'eau d'irrigation. La classification citée par DURAND (1983), permet de déterminer cinq classes d'eau, non saline ($\text{CE} < 250 \mu\text{mhos/cm}$) vers l'eau à salinité excessive ($5000 \mu\text{mhos/cm} < \text{CE} < 20\ 000 \mu\text{mhos/cm}$) (Tabl II.). De même la directive de FAO (1985), a divisé l'eau en trois catégories (Tabl. II), en fonction du problème de salinisation ou pas ($\text{CE} < 0,7 \text{ dS/m}$) vers le problème sévère ($\text{CE} > 3 \text{ dS/m}$) (BENHEDID, 2014).

Tableau IV. Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques (DURAND, 1983)

Classes	CE 25C° (µmhos/cm)	Salinité des eaux
C1	CE < 250	Eau non saline
C2	250 < CE < 750	Eau à salinité moyenne
C3	750 < CE < 2250	Eau à forte salinité
C4	2250 < CE < 5000	Eau à très forte salinité
C5	5000 < CE < 20 000	Eau à salinité excessive

3.2.2 Sodicité

Selon FABY et BRISSAUD, (1997), l'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio), il s'exprime à partir des concentrations (en meq/l) des ions Na⁺, Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ dans les eaux selon la formule suivante :

$$\text{SAR} = [\text{CNa}] / [\sqrt{(\text{CCa} + \text{CMg})/2}]$$

Selon (SERVANT) 1975, cinq classes ont été distinguées (Tabl. III) d'après le taux d'absorption du sodium ou pas d'alcalinisation (SAR ≤ 4) vers l'alcalinisation intense (SAR > 18) (BENHEDID, 2014).

Tableau V. S.A.R des eaux et risques d'alcalinisation des sols (SERVANT, 1975)

SAR	Alcalinisation
S.A.R ≤ 4	Pas d'alcalinisation
4 ≤ S.A.R ≤ 8	Faible alcalinisation
8 ≤ S.A.R ≤ 12	Alcalinisation moyenne
12 ≤ S.A.R ≤ 18	Forte alcalinisation

Chapitre II.
Gestion des eaux dans la vallée
de Metlifi

1. Situation géographique

1.1 Situation géographique de la zone d'étude

La wilaya de Ghardaïa se situe au center de la partie Nord de Sahara, à environ 600 Km de la capitale Alger, elle couvre une superficie de 84.660,12 km² (DPSB, 2020), Ses coordonnées géographiques sont (D.P.A.T .2009).

- Altitude 530 m ;
- Latitude 32° 30' Nord ;
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa est limitée (**Fig n°1**) ;

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 km);
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 km) ;
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla (190 km) ;
- Au Sud par la wilaya de Menia (270)
- Au Sud-ouest par la wilaya d'Adrar (400 km) ;
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayad (350 km).

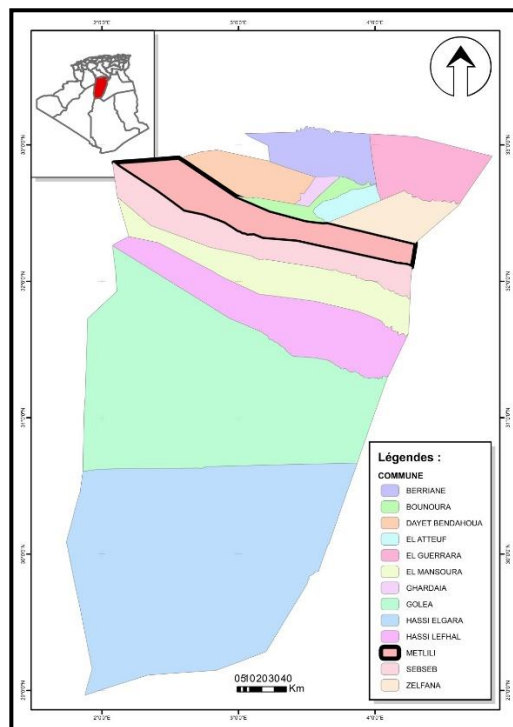


Figure 2. Wilaya de Ghardaïa et El-mniaa , localisation et cadre administratif (ACHOUR, 2021)

La Wilaya comporte actuellement 9 communes regroupées en 07 daïra pour une population estimée à 363598 (DPSB, 2018).

Tableau VI. Communes et superficies de la wilaya de Ghardaïa.

Communes	Superficie km ²
Ghardaïa	306.47
Daïa	2.234.94
Berriane	2.609.86
Metlili	5.010.12
Guerrara	3.382.27
Zelfana	1.946.23
Benoura	778.92
El-Atteuf	717.01
Sebseb	4.366.82
Total	19729

La commune de Metlili est situé au sud de la wilaya de Ghardaïa à une distance de 45 km, elle couvre une superficie de 5010 Km² (DPSB, 2020), ses coordonnées géographiques sont (DPSB, 2020).

- Latitude 32° 16' Nord.
- Longitude 03° 38' Est.
- Altitude 455 m.

Elle est limitée par :

- A l'Est par la wilaya d'Ouargla
- A l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh

1.2 Contexte socio-économique

Metlili est une municipalité de l'Est de Ghardaïa en Algérie, Situé sur les rives de l'Oued qui coule au centre-ville partageant la ville en deux parties Est et Ouest, La municipalité contaient également la culture oasienne qui représente la principale activité de la vallée, dont le sol est occupé en trois modes de :

- Culture des palmeraies en premier lieu.
- Culture des arabes fruitiers
- Culture maraîchère et fourragère en intercalaire.

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle à partir des seguias ; rare sont ceux pratiquantes d'aspersion et la goutte à goutte. D'autres activités portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries (verres, agroalimentaires, textiles, cosmétiques

2. Climat de Metlili

Le caractère du climat saharien est du tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes température, et au régime des vents qui se traduit par des courants chaudset secs (Ozenda, 1991).

Le caractère fondamental du climat saharien est la sécheresse (Dubief, 1959).

Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense (Achour et OuaiSSI Sekouti, 2003).

La région de Ghardaïa est typiquement Saharien, caractérise par deux saison : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grand différence entre les températures de l'été et de hiver (A.N.R.H, 2007). Vu qu'il n'y a pas une station météorologique dans la commune de Metlili, la présente caractérisation climatique est faite à partir d'une synthèse climatique de 11 ans entre 2009 et 2021, à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M., Ghardaïa 2021) sur la région de Ghardaïa.

Tableau VII. Données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa de l'année (2009 à 2021)

Parametre Mois	T moy (C°)	T min (C°)	T max (C°)	P (mm)	V (km/h)	Hr (%)
Janvier	11.77	7.23	15.92	11.69	20.31	62.62
Février	13.38	8.54	18.23	6.08	22.54	56.15
Mars	16.77	11.85	22.23	10.15	23.54	48.69
Avril	21.92	16.54	27.31	9.31	23.77	42.54
Mai	26.85	21.46	32.23	9.31	23.08	34.85
Juin	32	26.54	37.31	7.85	22.31	29
Juliet	35.31	29.85	41	4.08	18.62	23.38
Aout	46.46	28.92	39.54	11.23	17.85	27.31
Septembre	30.86	25.46	35	13.46	18.15	37.31
Octobre	23.77	18.92	28.46	8.54	17.77	45.46
Novembre	16.77	12.38	21.08	5.85	19.54	56
Décembre	12.46	8.38	16.54	6.31	18.54	63.62

2.1 Température

La température est un paramètre fondamental du climat sa variation influe sur la transformation de l'eau en vapeur et le phénomène de condensation, que ce soit à la surface ou dans le sous- sol. Elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux.

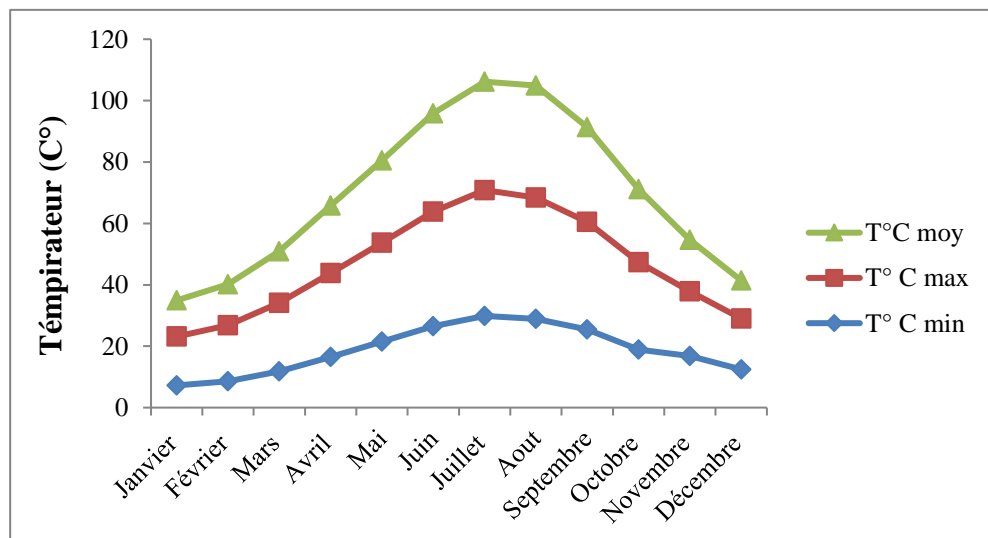


Figure 3. Température Mensuelle de la région Ghardaïa

On observe a partir le tableau que :

- La température minimale varient sont observé au cours de mois janvier (7.23°C) jusqu'à avril (16.54°C).
- La température maximas le plus faibles est observé au mois de Janvier (15.92°C) et les plus élevée au mois de juillet (41°C)
- La température moyen le plus forte au cours du mois du janvier (11.77°C) jusqu'au Juliet (32°C)
- L'amplitude thermique entre le mois le plus froid (janvier) et le mois le plus chaud (juillet)

2.2 Précipitations

Avec la température, les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat (Faure et al, 2011). Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

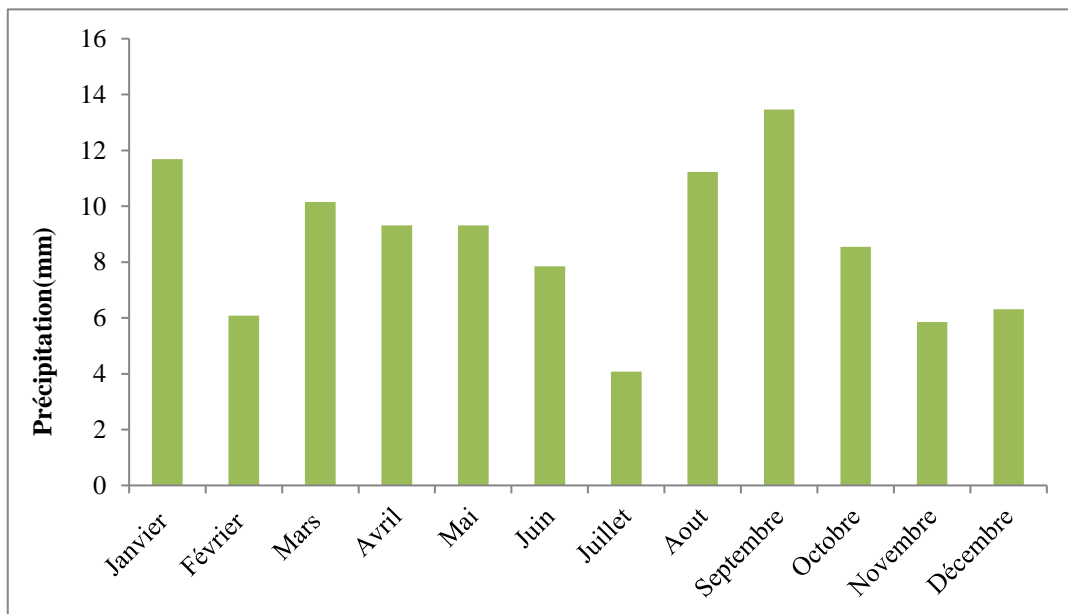


Figure 4. Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

2.3 Le vent

Le vent est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région. Sa vitesse Régit l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. La région de Ghardaïa est traversée

par des vents de direction générale N-O. Les vitesses Moyennes mensuelles des vents à la station ONM Ghardaïa sont illustrées

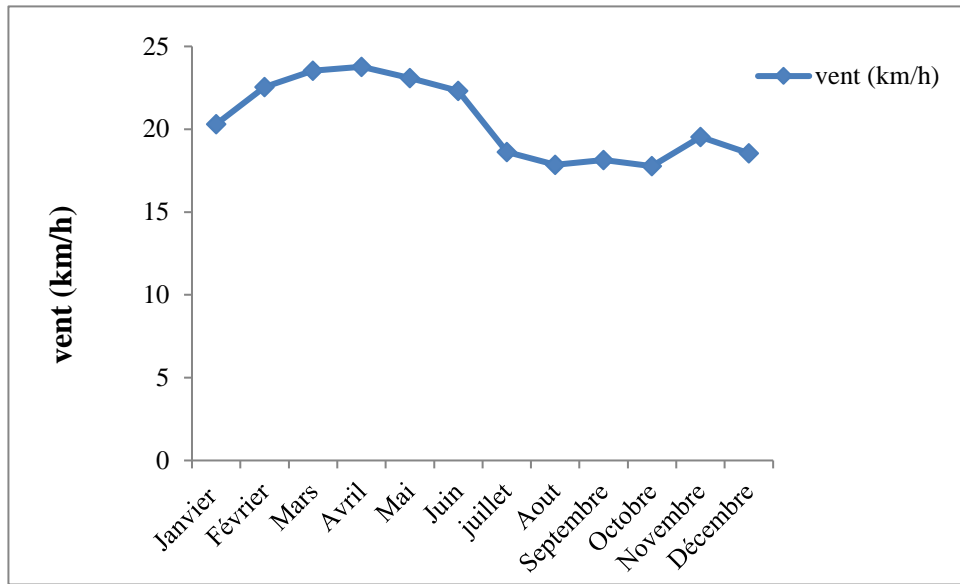


Figure 5. Les vitesses moyennes mensuelles des vents

Le sens dominant du vent est vers j-O une valeur maximum au mois de Mars 23.54 km/s une valeur minimal au mois d'octobre 17,18 km/s.

2.4 Humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en (%) de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un paramètre climatique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère.

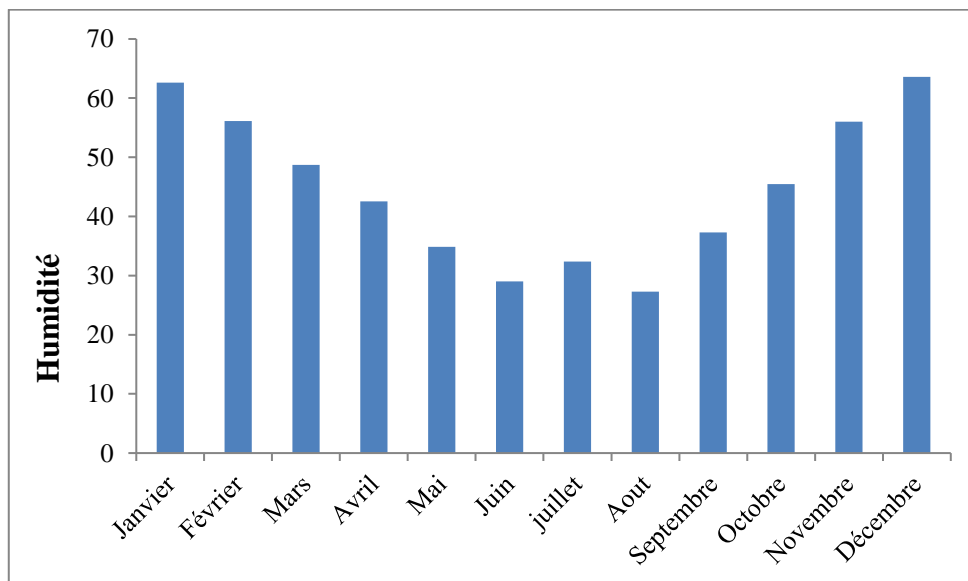


Figure 6. Histogramme des humidités relatives moyennes en (%)

A partir de histogramme nous peut remarquer il ya deux parties :

- ❖ Diminution du l’humidité pendant le mois de janvier avec une valeur 62.62% jusqu’à juillet 23.38%.
- ❖ Augmentation du l’humidité pendant le mois de Aout 27.31% jusqu’à Décembre 63.62%. Nous peut interprétez ca par la présence d’une relation vulnérable entre la quantité de précipitation et la température.

2.5 Evaporation

L’évaporation est le processus physique principal de la transformation de l’eau en vapeur ; car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrogéologique d’une région donnée. La température, la précipitation, la vitesse du vent, l’humidité de l’air, l’état du sol et la végétation tous ces facteurs sont essentiels pour mesure.

Tableau VIII. L’évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Evaporation	281	188	127	130	105	128	183	263	313	370	418	376

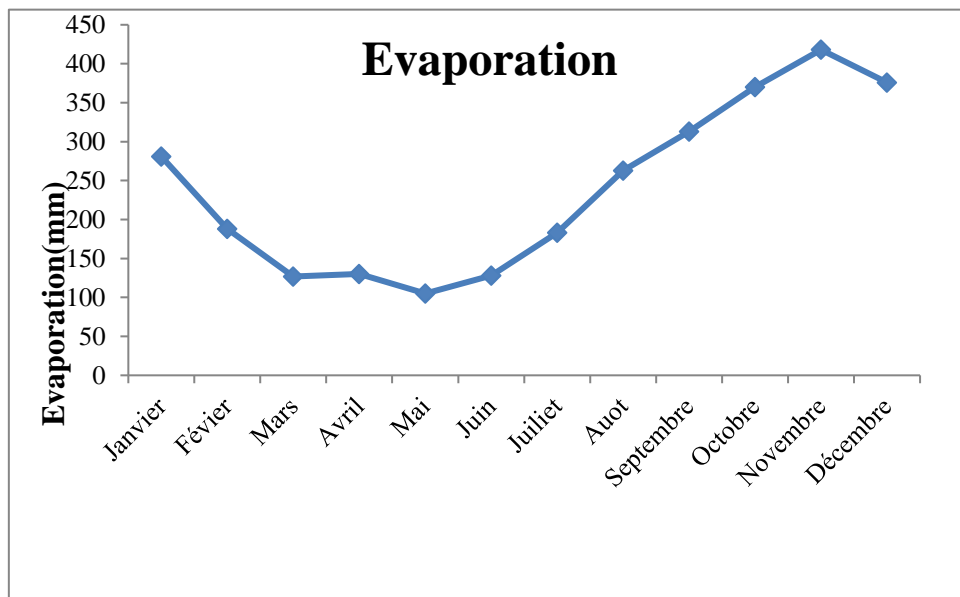


Figure 7. L’évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa

2.6 Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Ce diagramme est utilisé pour mettre en évidence les périodes de sécheresse. Il utilise deux variables : les moyennes des précipitations et des températures mensuelles, selon l'échelle : $P = 2 T$. Les périodes de sécheresse correspondent aux moments où la courbe de la pluviométrie passe au-dessous de celle de la température (DAJOZ, 2006).

D'après (Fig.8), la période sèche couvre la quasi-totalité de l'année à Ghardaïa.

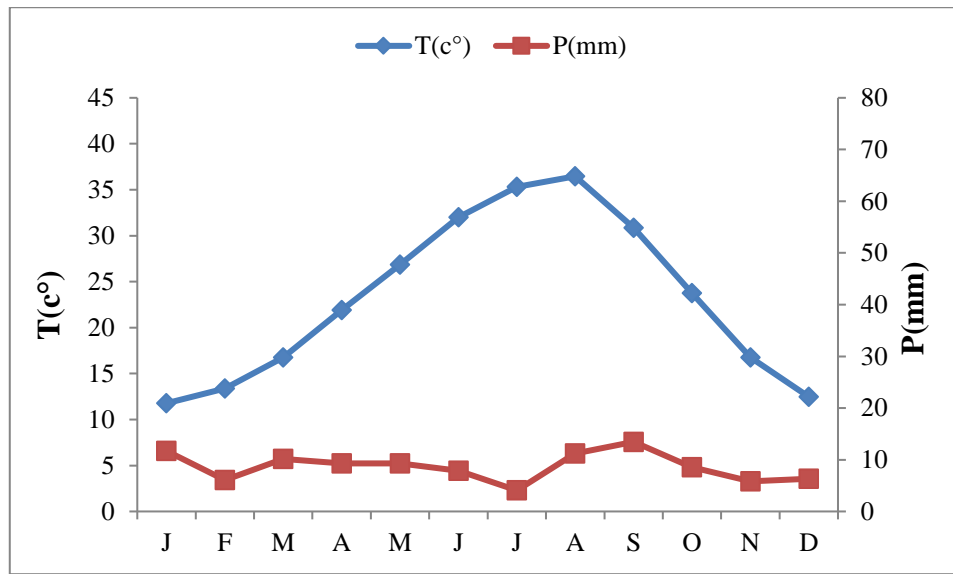


Figure 8. Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa 2009-2021

2.7 Climagramme d'EMBERGER

Le climagramme d'EMBERGER permet la classification des différents types de climats méditerranéens (DAJOZ, 1985 ; DAJOZ, 2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels :

- En abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid ;
- En ordonnées par le quotient pluviothermique (Q2) d'EMBERGER. On a utilisé la formule de STEWART (1969), adaptée pour l'Algérie, qui se calcule comme suit :

$$Q3 = 3,43.P/M-m$$

- Q3 : Quotient pluviothermique d'EMBERGER ;
- P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;
- M : La température maximale du mois le plus chaud en °C ;
- m : La température minimale du mois le plus froid en °C ;
- 3,43 : Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie.

D'après la formule, Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient pluviothermique (Q2) est de 11.02 (Fig.09)

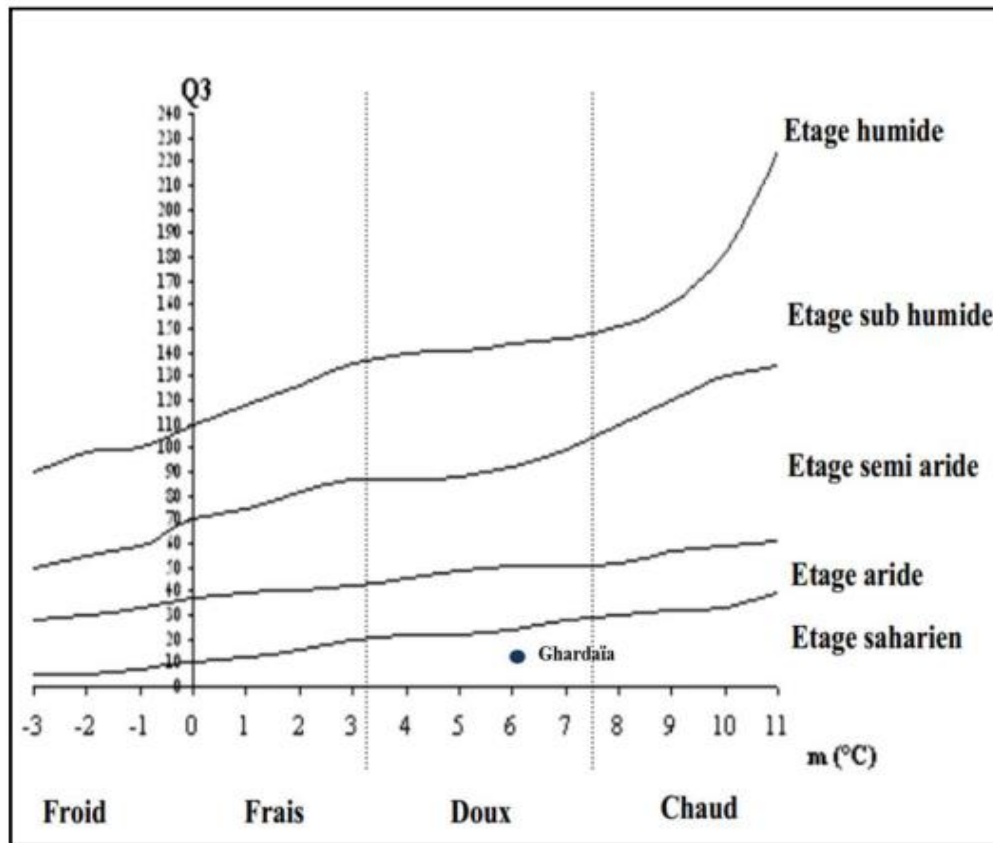


Figure 9. Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER (2009 -2021).

3. Géomorphologie

La région de Metlili est caractérisée par un relief très accidenté formé par un réseau serré de ravines séparées par des crêtes ou des croupes. Les ravins sont sous l'actions de l'érosion pluviale au début du quaternaire. Les ravins les plus profonds ont donné naissance aux grands oueds comme le cas de la vallée de Metlili, taillée en roche dure, laissant apparaître un escarpement en pente très forte qui domine les fonds plats de l'Oued, qui abrite toute au long de ses berges des palmeraies en plein développement. La région de la Chebka est caractérisée par un important réseau hydrographique, mais il est à sec pendant presque toute l'année ; cela est dû à la faiblesse et l'irrégularité des précipitations. Mais cela n'exclut pas des possibilités de crues importantes tous les 3 à 5 ans (Ouledmire, 2000).

Selon BENSAMOUN (2007), la région de Metlili est caractérisée par la présence de différentes formes géomorphologiques qui sont :

3.1 Oueds

Oued Metlili, dont l'orientation est l'Est vers l'Ouest jusqu'aux environ de Ouargla.

3.2 Hamada

Terre régulée qui existe à l'Est de la région de Metlili.

3.3 Chebka

Comme une terre rocheuse ou existe les lignes des ensemble des oueds exemple oued Metlili, oued Sebseb ou Oued N'Sa.

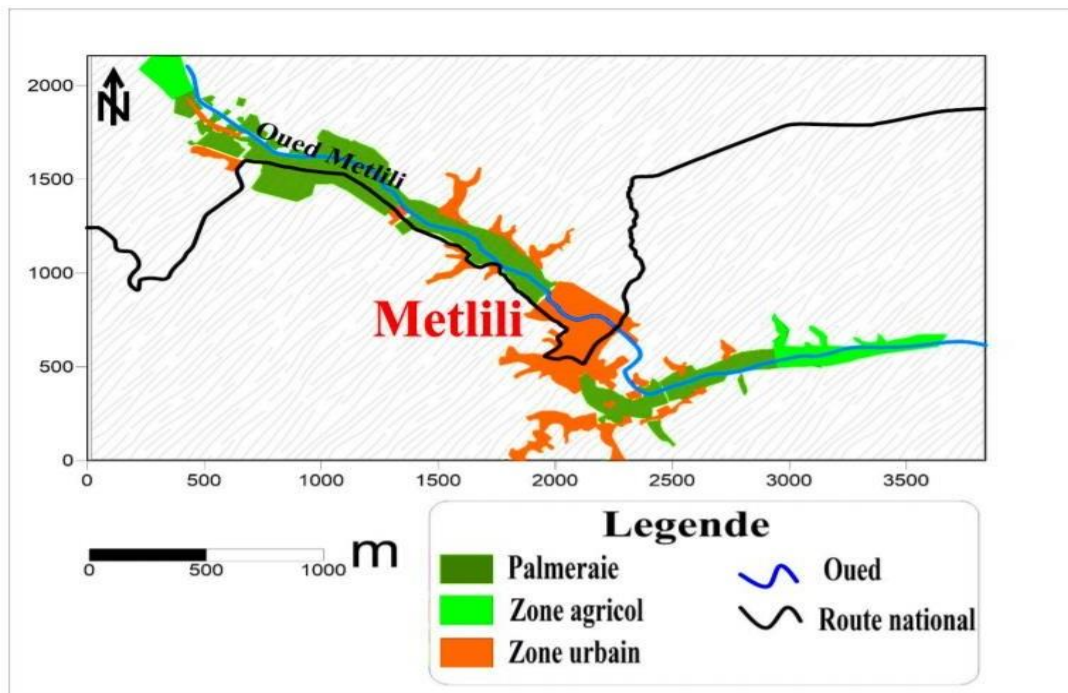
3.4 Ereg

Est une formation des sable différents en volume soit mobiles ou stables, ils occupent une grande partie de la superficie total de la wilaya de Ghardaïa, il reçoit l'affluent de Chabert Smail sur la rive gauche.

Plus en aval l'oued conflue avec deux affluents sur la rive droite, Chaabat Timoukert et Chaabat Sid cheikh (Achour et Ouaisi Sekouti, 2003).

4. Occupation du sol dans la région

La région de Metlili connu qu'est un zone palmeraie, qui couvre une grande partie de la superficie de la zone, la zone urbanise couvre la petite partie de la superficie, vos populations atteint 43.030 habitants, le tissu urbain de la ville est construit par des pôles d'évolution où la ville est en voie de saturation (DPAT, 2009).



(Hamel & Hanichi, 2019)

4.1 Structure des exploitations agricoles

Le secteur agricole est caractérisé par deux systèmes d'exploitation ; l'ancienne palmeraie et son mise en valeur.

4.1.1 Système oasien de l'ancienne palmeraie

Le système oasien de l'ancienne palmeraie est caractérisé par une forte densité de plantation, palmiers âgés, une irrigation traditionnelle par séguias et des exploitations mal structurées et fortement morcelées (0.5 à 1.5 ha) ce système caractérise par des cultures étagées de palmiers dattiers, arbres fruitiers, maraichage et fourrages en intercalaire des activités d'élevages familiaux sont souvent pratiquées avec des cheptels de petites tailles (ATLAS, 2009).

4.1.2 Mise en valeur

Le système de mise en valeur se scinde en (ATLAS, 2009) :

a- Mise en valeur péri-oasienne :

S'agit petite mise en valeur, basée sur l'extension des anciennes palmeraies selon un système oasien amélioré et caractérisé par une irrigation localisée, ne densité optimale, un alignement régulier, et une exploitation structurée. La taille moyenne est de 2 à 10 ha.

b- Mise en valeur d'entreprise :

C'est la grande mise en valeur mobilisant d'importants investissements, basée sur l'exploitation exclusive des eaux souterraines profondes et est caractérisée par: structure foncière importante (jusqu'à 500 ha), mécanisation plus importante, irrigation localisée et/ou par aspersion. Pratiquant des cultures de plein champs et vergers phoénicoles et arboricoles. Les cheptels associés aux productions végétales sont importants notamment ovin et bovin.

5. Hydrologie

Le bassin de Metlili se caractérise comme étant le pays du sud le plus pauvre en eaux superficielles à l'exception des crues d'Oued Metlili Bassin versant de l'Oued Metlili Le bassin versant de Metlili couvre une superficie d'environ 400 km². L'Oued a pour origine la confluence de deux principaux oueds ; El Botma et Gaa au méridien 03° 25' Est et la parallèle 32° 23' Nord à une altitude de 650 m, il parcourt environ 270 km de l'Ouest vers l'Est pour atteindre la dépression de Sabkhet Safioune à une altitude de 120 m dans la région de Ouargla (**Fig. 11**).

Comme tous les oueds de la dorsale, l'écoulement est sporadique se manifestant à la suite de grandes averses orageuses. Pour une fréquence cinquantenaire le débit peut atteindre $500\text{m}^3/\text{s}$ (ACHOUR et OUAISSI, 2003).

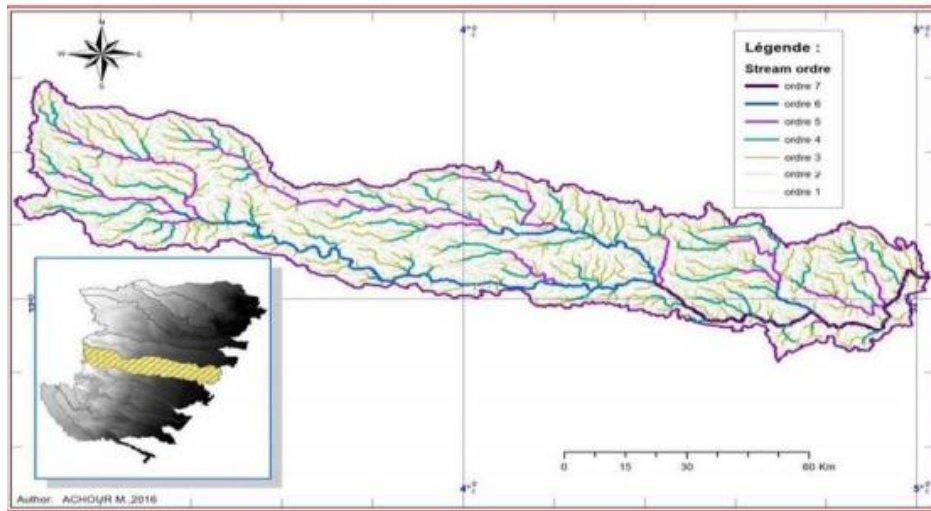


Figure 11. Carte de Bassin Versant de la Vallée de Metlili (ANRH, 2016)

6. Géologie

La wilaya de Ghardaïa, elle est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab". Du point de vue lithologique, les affleurements sont de type :

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-ouest attribués au Cénomanien.
- En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental.
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien.
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien.
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène.
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds (ACHOUR ,2010).

7. Hydrogéologie

Les principales ressources en eau de la commune sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères : les nappes phréatiques superficielles d'inferoflux et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albienne (MAYER, 1954).

7.1 Définition de système aquifère

Trois pays - l'Algérie, la Tunisie et la Libye - se partagent le système aquifère du Sahara septentrional (NSSA). Sa superficie totale est d'environ un million de km², dont 24 % en Libye, 6 % en Tunisie et 70 % en Algérie. La formation Continentale Intercalaire, ou IC, qui est la plus profonde, et le Complexe Terminal, ou TC, sont combinés pour produire le SASS (Figure2). Ces formations reçoivent un peu plus de 1 milliard de m³ de recharge par an, qui pénètre principalement au pied de l'Atlas saharien en Algérie, sur le Dahar et le Djebel Nefoussa en Tunisie, et en Libye.

7.2 Présentation de système aquifère de Metlili

7.2.1. Nappes phréatique

La région de Metlili renferme deux nappes superficielles :

7.2.2. Nappe du Turonien

Les affleurements des couches calcaires du Turonien dans la région de Metlili, peuvent contenir des nappes d'eau de faibles importance (ANRH, 2012). Ces assises calcaires d'une épaisseur moyenne de 110 m, présentent parfois des fissures et des karsts dans lesquels l'eau peut s'infiltrer (ACHOUR 2014).

7.2.3. Nappes alluvionnaire

Elle est formée d'alluvions, de sables, de galets et de poudingues du Quaternaire, qui tapissent les lits des oueds. Les alluvions reposent sur les couches calcaires dures du turonien. L'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 20m. Ces nappes présentent un intérêt très important dans le domaine agricole, elles servent comme une source vitale pour l'irrigation des oasis implantées dans les vallées des oueds et elles servent également pour l'alimentation en eau potable à l'amont de la vallée de Metlili.

La nappe phréatique dernière est exploitée dans les palmeraies par des puits ordinaires. Le niveau hydrostatique dans ces puits est caractérisé par l'instabilité, bas pendant les périodes sèches et remonte pendant la saison humide (Mansour Achour et OuaiSSI Sekouti, 2003).

a- Carte de niveau statistique

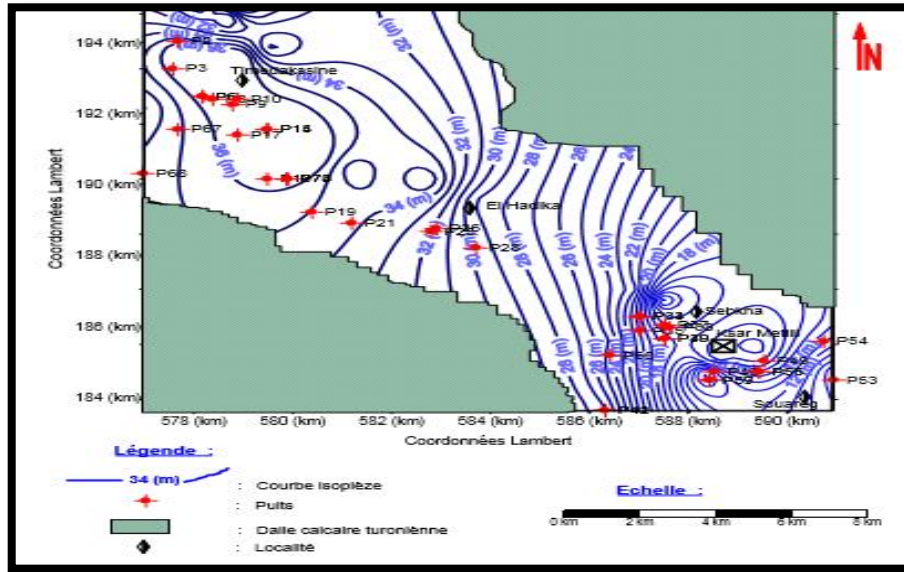


Figure 12. Carte de niveau statique de la nappe phréatique de Metlili (ANRH, 2003).

b- Piézométrie de la nappe phréatique

La carte de niveau piézométrique dressée par le logiciel "surfer" montre un écoulement général des eaux de la nappe de l'Ouest vers l'Est le long du lit de l'Oued identique aux écoulements de surface (Fig.13). D'une piézométrie de 590 mètres à Timedakassine en amont de la nappe; elle s'abaisse progressivement vers l'Est pour atteindre la cote 470 mètres en aval au niveau du Souareg, ce qui représente une chute de pente d'environ 5 mètres pour 2 km. Le gradient hydraulique est de 2,5% en amont et de 3,5% en aval (ANRH ,2003).

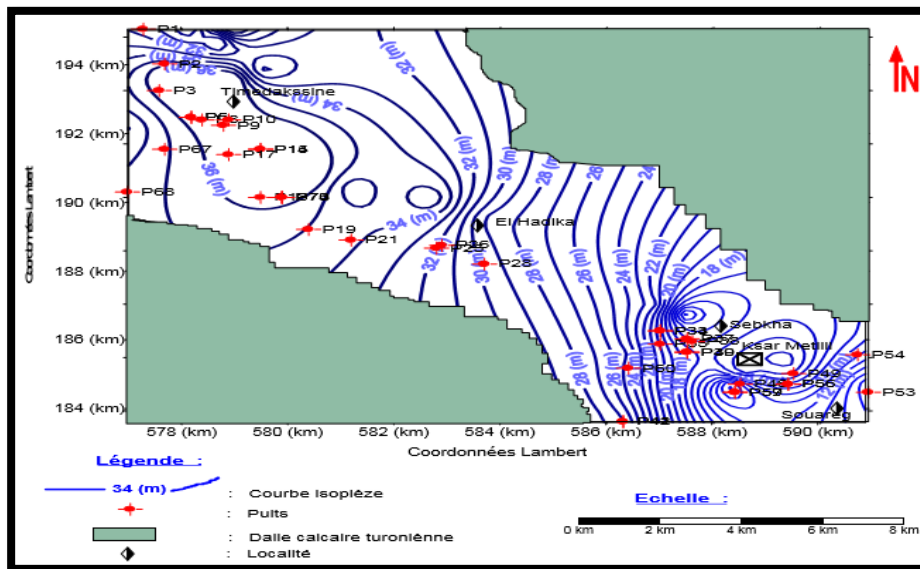


Figure 13. Carte piézométrique de la nappe phréatique de Metlili (ANRH, 2003).

L'allure des courbes isopièzes met en évidence une nappe radiale à écoulement convergent perturbée en quelques endroits. On distingue deux types de perturbations :

1- dépression de la surface piézométrique localisée au niveau de la région d'El Hadika, provoquées probablement par des pompages intensifs, étant donné que cette région est connue par une forte activité agricole.

2- dôme piézométrique, représenté par une surélévation de la surface piézométrique localisé au niveau de la région de Sebka – ksar Metlili, elle est due vraisemblablement à une alimentation extérieure de la nappe par l'infiltration des eaux usées (réseau d'assainissement dégradé) ou par les fosses

7.2.4. Nappe continentale intercalaire

Dans la région de Metlili, l'étage principal exploité est de l'âge Albien. Il est composé de sables fins et de grès jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Cette masse grés-sableuse est exploitée avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa. La profondeur du toit de l'aquifère albien varie une région à l'autre dans la wilaya de Ghardaïa, elle varie entre 60 et 150 m dans les zones sud-ouest exemple (Hassi fhal et El-Menia) ce que explique le nombre important des forages dans ces zones notamment à usage agricoles. Cependant la profondeur du toit est plus élevée dans les zones nord est Guerrara et Zelfana elle varie entre 650 et 700 m ce qui explique le nombre modéré des forages albiens dans ces régions. Dans les communes entourant le chef-lieu, comme Metlili, Daya, Bonoura, Atteuf, Berriane, Sebseb et Mansoura la variation des profondeurs du toit est de 250 à 320 m.

7.3 Gestion des eaux de crues

7.3.1 Ecoulement

Longtemps l'oasis de Metlili fait face aux crues soudaines et dévastatrices émanant de l'oued Metlili. Les crues dépassent même le seuil de 700 m³/s, ce qui justifié les dégâts matériels et humains causés à chaque crue (Fig.14). C'est ainsi que depuis des siècles, les Chaambi ont développé leur palmeraie et les jardins dans le lit majeur de l'oued. Par contre, le ksar (la cité de la population) a été bâti sur les hauteurs de la montagne qui surplombe le cours d'eau. (REMINI, OULED BELKHIR, 2019).



Figure 14. L’oued Metlili en crue (Crue 01 /10/2008 Debit max = 850 m³/s (Photo. Ouled)

a- Grand barrage de partage des eaux : Ahab Si Lekhel

Le grand barrage de régularisation des crues et de partage des eaux est appelé Ahab Lekhel. Il se compose :

- D’une digue de longueur de 150 m de forme zigzag construite par la roche et le gypse pour mieux résister aux forces de pression (Fig.15).
- D’une retenue de capacité de plus 110000 m³ à la cote normale et 150 000 m³ à la cote maximale.
- Du déversoir Hadika 1 qui évacue l’eau vers les seguias : Cherkia, El Haddour et Lihoude.
- Du déversoir Hadika 2 qui évacue l’eau vers la seguia Gharbia (Oued Metlili).
- Du déversoir 1 qui déverse directement l’eau dans la Ghabet Si Lekhel (palmeraie Si Lekhel). Une fois inondée (Ghabat Si Lekhel), le surplus d’eau est évacué par le déversoir 2 vers l’oued Metlili.
- D’une galerie munie d’une porte métallique pivotante qui joue le rôle d’une vanne de fond du barrage Si Lekhel. (REMINI, OULED BELKHIR, 2019).



Figure 15. Une vue de la digue du grand barrage Si Lekhel

b- Ahbas de Metlili

Sur un tronçon d'oued Metlili de 45 km à l'intérieur du bassin versant d'une superficie de 41000 ha, 24 Ahbas ont été réalisés dans le réseau hydrographique. L'ancienne palmeraie a été développée le long d'un tronçon de 1,8 km d'oued Metlili occupant ainsi une superficie de 50 ha. Quatre (4) Ahbas (Si Lekhel, Boudjrada, Amirate et Arch) ont été construits à l'intérieur de l'ancienne palmeraie. Aujourd'hui, de nouvelles terres ont été valorisées. C'est le lit majeur d'un tronçon d'oued Metlili égal à 20 km qui a été aménagé pour agrandir la palmeraie pour occuper une superficie de 1100 ha. Douze (12) Ahbas ont été bâtis sur un tronçon de 20 km. Les 12 restants ont été réalisés à l'amont des chaabat (oueds secondaires) dont le rôle est de régulariser les crues. Les 24 Ahbas sont bien répartis sur l'ensemble de la palmeraie dont le but est de régulariser les crues et surtout de réalimenter la nappe phréatique sur toute la superficie de la palmeraie. À chaque crue, le niveau piézométrique de la nappe monte. Cette élévation se répercute directement sur l'irrigation (REMINI, OULED BELKHIR, 2019).



Figure 16. Ahbas Boudjrada sur l'oued Metlili (Crue de 20/04/2018) (Photo. Ouled Cheikh)

c- Seguias –ruelles

Environ 7 km est la longueur totale des seguias–ruelles (principale et secondaire) d'un largeur moyenne de 3 m. Ces ouvrages jouent un double rôle ; une ruelle qui permet à la population de se déplacer entre les 4 coins de la palmeraie (Fig. 17). En période de crues, les ruelles deviennent des canaux à ciel ouvert qui permettent à l'eau de s'écouler (Fig. 18) (REMINI , OULED BELKHIR, 2019).



Figure 17. La ruelle devient une seguia en période de crues (Crue de 20/04/2018) (Photo. Ouled Belkhir, 2019).



Figure 18. Une seguia principale et secondaire (canal à ciel ouvert) qui joue le rôle d'une ruelle

d- Koua

Des ouvertures rectangulaires aménagées tangentiellement en bas du mur des jardins dans le sens opposé à l'écoulement. De dimensions différentes, ces orifices permettent à l'eau de pénétrer dans le jardin (Fig.19). A travers un réseau de seguias en terre, l'eau atteint les quatre coins du jardin. Ces ouvertures sont appelées Koua (REMINI , OULED BELKHIR, 2019).



Figure 19. koua (alimentant jardins consécutifs) située dans une seguia secondaire très dégradée et non entretenue

7.4 Gestion des eaux des aquifères

7.4.1 Gestion des eaux de l'aquifère superficiel

La nappe phréatique est exploitée par des puits traditionnels, présente un intérêt très important dans le domaine agricole. Elle sert comme une source pour l'irrigation de la palmeraie de la vallée, et sert également pour l'alimentation en eau potable à l'amont, où les eaux sont moins chargées (KHADRAOUI et TALEB, 2008). Le nombre de puits creusés en 1900 est d'environ 3300 puits dans les palmeraies des sept villes du M'Zab (KHELIFA, 2008). Le recensement non complet des puits agricoles en 2009 (D.S.A., 2011) dans quelques communes de la wilaya de Ghardaïa, montre un nombre total de puits de 10380, dont 9168 puits exploités. 13.37 % des puits exploités sont localisés dans la vallée du Metlili (Tabl.).

Tableau IX. Inventaire des points d'eau par commune (D.S.A., 2011)

Communes	Nombre de Puits	
	Exploité	Non Exploités
Ghardaïa	457	-
Daya Ben Dahoua	440	-
Berriane	645	160
Metlili	1226	30
Guerrara	100	1000
El Atteuf	283	-
Zelfana	0	0
Sebseb	923	22
Bounoura	310	-
Total	9168	1212

Selon SAIDI (1983) ; KHELIFA (2008) et GUEMARI (2009), les eaux de cette nappe étaient amenées autrefois à la surface du sol par traction animale. C'est un système de puisage ingénieux qui subsiste à la traction verticale de l'homme, la traction horizontale d'un animal. Le va-et-vient de l'animal qui tire les cordes, d'un bout à l'autre de la piste de halage, d'une longueur égale à la profondeur du puits, fait monter et descendre l'outre (guerba à tuyau ou delou) dans le puits, sa capacité est comprise entre 40 et 50 litres. Le tuyau étant maintenu relevé par la seconde corde, l'outre remonte remplie d'eau. Une fois arrivé à l'orifice, le tuyau s'abaisse et laisse couler l'eau du récipient dans un petit bassin (Fig.20).

D'après KHELIFA (2008) ; GUEMARI, (2009), depuis des centaines d'années, l'exploitation de ces puits a évolué d'un puisage traditionnel par traction animale (donc à débit modéré) à un pompage mécanique de fort débit, provoquant ainsi une descente assez rapide, puis une remontée du niveau de l'eau à l'intérieur du puits. Cette dynamique serait la cause de l'érosion des parois de celui-ci, lorsqu'il y a une exploitation quasiment quotidienne du puits. Vu le fonçage des puits d'une façon anarchique par les citoyens, à travers la wilaya, la situation de cette nappe demeure incontrôlée par les services techniques de la D.H.W.et l'A.N.R.H. Ceci a des conséquences graves, engendrant la dégradation et la pollution de cette nappe (BENHEDID ,2014).



Figure 20. Système de puisage traditionnel (A) et par traçage animal (B)

Deuxième partie :
Matériel et méthodes

Chapitre III. Matériel de l'étude

1. Choix de la zone d'étude

Notre recherche a été réalisée à Oued Metlili, zone caractérisée par une forte activité urbaine, agricole. Elle a été choisie à cause de la détérioration de l'environnement hydroédaphique, notamment la qualité des eaux de l'aquifère superficiel, par la mauvaise gestion des eaux usées. Cette recherche dans la vallée du Metlili a été menée dans cinq stations d'études par rapport au quartier, réparties le long de Oued Metlili, de l'amont vers l'aval, comme suit :

- **La station 1 en amont de l'Oued**, constituée d'anciennes palmeraies et de terrains de mise en valeurs,
- **Les stations 2, 3 et 4 au centre de l'Oued**, constituées d'anciennes palmeraies proches du ksar,
- **La station 5 en aval de l'Oued**, constituée d'anciennes palmeraies et de terrains de mise en valeurs.

Ces cinq stations sont choisies selon deux critères, à savoir :

- **L'altitude des puits dans le lit d'Oued Metlili :**
 - d'une haute altitude en amont de l'Oued,
 - d'une altitude moyenne au centre de l'Oued,
 - d'altitude base en aval de l'Oued,
- **L'orientation géomorphologique du lit d'Oued Metlili :**
 - d'une orientation Nord-Ouest vers le Sud-Est en amont de l'Oued,
 - d'une orientation Est-Nord vers le Ouest-Sud au centre de l'Oued,
 - d'une orientation Sud-Ouest vers le Nord-Ouest en aval de l'Oued.

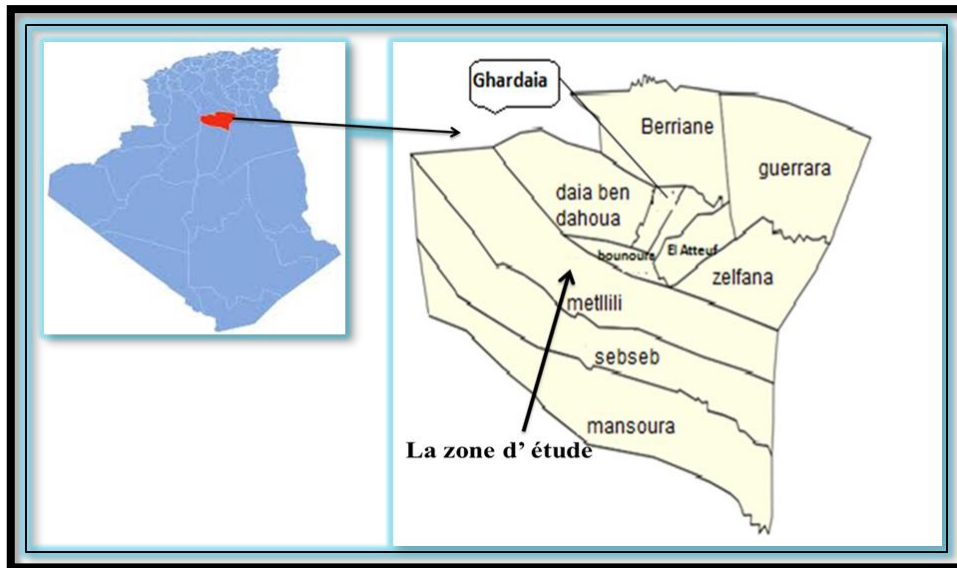


Figure 21. Situation géographique de la commune Metlili (D.S.A,2023)

2. Choix des sites d'étude

Nous avons échantillonné les eaux de la nappe superficielle sur vingt sites, choisis selon les critères suivant :

- Situés dans des zones d'activités variables : agricoles ou agro-urbaines (habitation avec jardin).
- Renferment des puits traditionnels non fermés,
- Accessible en accord avec les propriétaires des puits,

Les sites choisis sont répartis de façon presque égale entre les stations, à savoir :

Tableau VIII. Localisation de la station d'échantillonnage

Zones	Stations	Quartiers	Puits	Activités	
Amont de l'Oued	Station 1	Zagour	P1	Agricole : Palmeraie avec céréaliculture sous pivot	
			P2	Terrain vide	
			P3	Agricole : Palmeraie, viticulture et cultures fourragères	
		Gangouma	P4	Agricole : Palmeraie	
Centre de l'Oued	Station 2	Gangouma	P5	Agro-urbain : Palmier dattier et arbres fruitiers	
		Chaab larig	P6	Agro-urbain : Palmiers, Arbre fruitière, culture maraichers	
		El-hadika	P7	Agro-urbain : Jardin, palmiers, Arbre	
			P8	Agricole : Palmiers	
	Station 3	Al-arma	P9	Agricole : Palmiers, viticulture, Arbre fruitiers	
			P10	Agricole : Palmiers	
			P11	Agricole : Palmiers, Arbre	
			P12	Agro-urbain : Jardin, palmiers, Arbre fruitiers	
	Station 4	Rezigui	P13	Agro-urbain : Jardin, Palmiers, Arbre	
			P14	Agro-urbain : Palmiers	
		Sebkha	P15	Agro-urbain : Jardin, palmiers	
			P16	Agricole : Palmiers, Arbre fruitier	
		Ksar	P17	Agricole : Palmiers	
	Aval de l'Oued	Station 5	Souareg	P18	Agro-urbain : Palmiers
				P19	Agricole : Palmiers peu de culture
				P20	Agricole : Palmiers, peu de culture

Chapitre IV. Méthodes de l'étude

1. Approche méthodologique

Notre approche méthodologique consiste à abréger la variation spatiale de la salinité des eaux phréatiques dans la vallée de Metlili l'étude a été réalisée en plusieurs phases, comme suit (fig.):

- ❖ Enquêtes sur le site d'échantillonnage d'eau
- ❖ L'échantillonnage des eaux phréatiques dans chaque site
- ❖ Caractérisation hydro-chimique des eaux phréatiques
- ❖ Classification des eaux et Risque de pollution
- ❖ Recommandation agro-environnementale

1.1 Enquête

L'enquête a été réalisée parallèlement à la campagne d'échantillonnage des eaux. Elle a comme but de repérer les sources probables d'une éventuelle salinité par la collecte des renseignements sur l'activité agricole et urbaine. Notre fiche d'enquête dans chaque site d'étude s'articule sur les éléments suivants (**Annexe 1**) :

- **Localisation du site** : elle consiste à déterminer la localité du site d'étude par rapport à la zone de l'Oued Metlili, le numéro de la station d'étude et le nom du quartier d'étude.
- **Types d'activité dans le site** : elle consiste à déterminer le type d'activité dans le site d'étude par rapport à l'activité agricole (palmeraies) ou l'activité agro-urbaine (palmeraies habitées).
- **Mode d'utilisation des eaux** : elle consiste à déterminer le mode d'utilisation des eaux comme eaux de boissons, d'irrigation, de lavage-irrigation, de lavage-boisson-irrigation et puits non fonctionnel,
- **Mode d'assainissement** : elle consiste à déterminer le mode d'assainissement des eaux usées par rapport aux types existants, à savoir avec un réseau d'assainissement, une fosse septique, une latrine ou sans assainissement.
- **Risques de pollution des eaux phréatiques** : nous concéderons par rapport aux risques de pollution domestique ou agricole plusieurs options probables, à savoir pas de risque de pollution (terrain nu), présence de risque de pollution agricole (fertilisation organo-minérale en palmeraies), présence de risque de pollution agro-urbain par les fertilisations organo-minérales en palmeraies, les rejets des eaux usées dans les fosses septiques et latrines.

1.2 Echantillonnage des eaux

L'étude spatiale de l'aquifère superficiel dans oued Metlili a consisté à effectuer pour vingt puits traditionnels des mesures de coordonnées de localisation, de niveaux statiques des eaux de nappe phréatique et prélèvement des eaux pour analyse physico-chimique.

1.2.1 Localisation des puits

Les puits sont répartis de l'amont vers l'aval de l'oued dans la zone urbaine et agricole, suivant l'accessibilité des puits qui reste liée à la présence et la disponibilité des habitants à la coopération

Tableau IXI. Localisation des sites d'échantillonnage par G.P.S

Zone	Station	Puits	X	Y	Z
Amont	Station 1	P1	3,531726	32,350514	551
		P2	3,53971	32,338964	542
		P3	3,545516	32,331367	536
		P4	3,557542	32,311688	527
Centre	Station 2	P5	3,581427	32,299287	518
		P6	3,598056	32,290201	517
		P7	3,601889	32,288363	514
		P8	3,601889	32,288363	513
	Station 3	P9	3,609722	32,287332	510
		P10	3,3.11.863	32,284504	509
		P11	3,612278	32,282919	510
		P12	3,611174	32,2811	517
		Station 4	P13	3,616914	32,280816
	P14		3,618925	32,279086	502
	P15		3,6117568	32,27732338	496
	P16		3,6.23118	32,273134	497
	Aval	Station 5	P17	3,6922	32,270674
P18			3,643526	32,263137	482
P19			3 ,667339	32,265943	480
P20			3,667339	32 ,265943	496

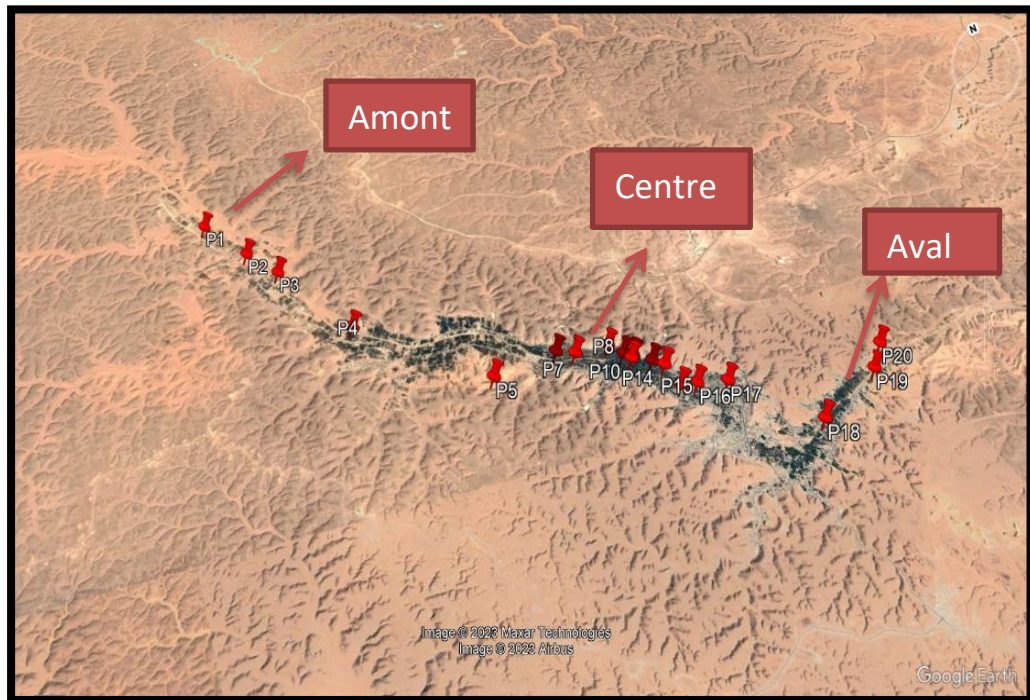


Figure 22. Localisation des puits de l'aquifère superficiel de l'Oued Metlili



Figure 23. Quelques puits des sites étudiés

1.2.2 Etude des niveaux des eaux

L'étude des niveaux des eaux consiste à mesurer le niveau statique et piézométrique de la nappe superficielle à l'aide d'une sonde électrique. Les puits d'études qui constituent nos piézomètres sont repérés avant mesure à l'aide d'un G.P.S., où on a enregistré les

coordonnées géographiques de latitude (X), longitude (Y) et d'altitude (Z). L'opération de mesures des niveaux consiste à faire descendre le bec de la sonde dans le puits, et une fois que celui-ci atteint la surface de l'eau, la sonde émet un son et son voyant lumineux s'allume. On peut alors lire la profondeur à laquelle se trouve le niveau de l'eau dans le puits. Ensuite, on mesure la hauteur de la margelle (sur élèvement du puits de la surface du sol), pour déterminer le niveau réel de l'eau par rapport à la surface topographique (niveau statique).

La mesure du niveau piézométrique est calculée par différence entre la cote du sol (repère sur l'ouvrage), l'altitude (Z) et la profondeur de l'eau (CASTANY, 1982).

1.2.3 Prélèvement des eaux

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de l'Algérie des eaux (ADE) vingt(20) échantillons de la nappe phréatique, ont été prélevés dans des flacons en plastiques. Les flacons ont été rincés à l'eau de puits avant de prélèvement, Vu du nombre important de puits étant confronté à l'impossibilité d'analyser les eaux de l'ensemble de ces puits, nous avons procédé à la sélection d'un nombre restreint de points d'eau éparpillés d'une façon à couvrir une partie de la région étudiée.

Dans le souci de rapporter au mieux les propriétés caractérisant les eaux de la nappe superficielle de Metlili, la collecte des échantillons s'est déroulée dans le respect des étapes, et consignes suivantes :

- Dans chaque site localise par G.p.S
- On a vu une sonde électrique et prélevé un échantillon d'eau grâce a une pompe d'eau ou un seau
- Remplissage des flacons destinés aux analyses physico-chimiques.
- Étiquetage des flacons, afin de faciliter leur identification.
- Transmission des échantillons d'eau ainsi prélevés et transportés au laboratoire.

1.3 Caractérisation hydrochimique des eaux

Avant d'exposer les résultats des mesures et d'analyse physico-chimique obtenus dans les eaux de la nappe phréatique. On a jugé utile de présenter les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse de nos échantillons. Des outils informatiques (logiciels), employés pour le traitement de nos résultats. Nécessitent d'être brièvement présentés. On a pris des prélèvements en le mois de mars à partir de

(20) puits de la nappe phréatique, pour faire les analyses physico-chimiques pour couvrir la région de Maithili

1.4 Classification des eaux et Risque de pollution

L'étude physico-chimique a été réalisée au cours d'une campagne d'échantillonnage des eaux de la nappe phréatique effectuée pendant la période des hautes eaux (période hivernale), durant le mois de Janvier à Mars 2023. La durée d'échantillonnage est conditionnée par les déplacements dans le oued de Metlili et la présence des propriétaires des sites de prélèvements, ainsi que la disponibilité des moyens d'analyse au laboratoire.

A travers cette étude nous avons déterminé la qualité physico-chimique et la classification des eaux par rapport aux normes nationales et internationales des eaux souterraines, des eaux potables et des eaux d'irrigation. L'étude comprend la détermination des paramètres physico-chimiques des eaux, Les paramètres étudiés sont : le potentiel Hydrogène (pH), la conductivité électrique (C.E), le Résidu de sec (R.S), les paramètres de pollution des eaux, le nitrite (NO_2^-), les composés ioniques (la dureté total (T.H), le calcium (Ca^{++}), le magnésium (Mg^{++}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlorure (Cl^-), les sulfates (SO_4^-) et les bicarbonates (HCO_3^-).

Parallèlement, ces résultats sont représentés sous forme des graphes créés par Excel 2010. Aussi les résultats obtenus nous ont permis d'apprécier les faciès chimiques, et les risques de salinisation et de sodisation relatifs aux eaux d'irrigation.

Le faciès hydro-chimique est une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, il est évalué par le diagramme de PIPER. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu en 2009 au laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon par SIMLER Roland.

Pour classer des eaux d'irrigation, nous avons utilisé la classification de RIVERSIDE en utilisant le logiciel Diagrammes. Le diagramme de ce dernier utilise les valeurs du Sodium Adsorption Ratio (S.A.R) en combinaison avec la C.E de l'eau. Le S.A.R s'exprime à partir des concentrations (en meq/l) des ions Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} dans les eaux selon la formule suivante, BENHEDID et al. (2019a).

1.5 Recommandation agro-enverementale

Sur la base des résultats obtenus nous allons essayer de proposer des recommandations pour réduire le salinisation des eaux et la pollution en particulier par rapport au niveau de la pollution et les zones de risques, pour préserver la ressource hydrique souterraine utilisée comme eau potable et permettre ainsi la durabilité des ressources.

2. Méthodes d'analyses

Les méthodes analytiques utilisées sont décrites par RODIER (1996), ou les catalogues de l'appareillage utilisé. Les méthodes utilisées sont aussi bien volumétriques, colorimétriques, spectrophotométriques que potentiométriques. Différents paramètres globaux sont ainsi mesurés tels que la température, le pH, la conductivité, et quelques paramètres toxiques tels que les métaux lourds et . Les analyses ont été réalisées au niveau du Laboratoire de l'Algérienne des eaux de Ghardaïa (ISO, 1993 ; ISO, 1989 ; RODIER, 2005 et RODIER et al. 2009 ; ADE ,2021).

2.1 Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques effectuées sont le pH, la conductivité électrique et les résidus secs selon les méthodes suivants :

- 1. pH :** la mesure a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre, de type W.T.W. (Photo. 14).;
- 2. Conductivité électrique :** elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre, de type L.F. 538 (Fig.24).
- 3. Résidu sec :** une quantité d'eau bien mélangée est évaporée au bain-marie dans une capsule tarée. Une fois toute l'eau évaporée, porter la capsule à l'étuve à 105 °C pendant 4 heures. Le résidu desséché est ensuite pesé (RODIER et al. 2009).
- 4. Titre hydrométrie :** il est dosé par titrimétrie à l'E.D.T.A. Titrage par complexométrie du calcium et du magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tetra-acétique (E.D.T.A.), à un pH de 10. Le mordant noir 11, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium est utilisé comme indicateur (I.S.O., 1984) ;
- 5. Calcium:** Titrimétrie à l'E.D.T.A. Titrage des ions Ca^{++} avec E.D.T.A. à un pH compris entre 12 et 13. Le H.S.N., qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur (I.S.O., 1984) ;

6. **Magnésium** : le Mg^{++} peut être estimé par la différence entre la dureté totale et le calcium (RODIER et al. 2009) ;
7. **Sodium et potassium** : le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme. Aspiration de l'échantillon dans une flamme de gaz, présentant une énergie thermique suffisante pour provoquer l'émission de radiations caractéristiques du Na^+ et du K^+ présents dans la solution. Mesure de l'intensité à une longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et de 766,5 nm pour le potassium (I.S.O., 1993) ;
8. **Chlorures** : le dosage des Cl est effectué par titrimétrie. Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble Chapitre IV Méthode d'étude 57 qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent, un rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage (I.S.O., 1989) ;
9. **Sulfate** : Le dosage des sulfates est effectué par la méthode turbidimétrique, elle est basée sur le fait que les ions sulfates se précipitent en milieu acide et en présence du chlorure de baryum ($BaCl_2$) pour former du sulfate de baryum ($BaSO_4$).
10. **Bicarbonates** : le dosage des HCO_3^- est effectué par titrimétrie. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré (I.S.O., 1989) ;
11. **Nitrates** : En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (RODIER et al. 2005) ;

Troisième partie :
Résultats et discussions

Chapitre V.
Environnement agro-urbaines et
Risque de de salinisation par pollution
des eaux phréatique

1. Localisation du site

La figure de la localisation des puits (Fig. 16) montre une répartition différente des puits entre les Zones, les stations et quartiers pour les Nombre de Puits étudié à tous l'oued :

- La Zone : 20 % des puits de cette zone se situent on Amont de l'Oued tandis que 65 % de ces puits se situent dans le Centre de l'Oued, duquel 15 % de ces Puits sont situés on Aval de l'Oued.
- Les stations: 20 % de Puits situent dans la station 1 et aussi 20 % pour la station 2 et mémé station 3 et pour les stations 4 c'est contient 25 % de Nombre de Puits et 15 % dans la station 5.
- les quartiers: 15% des puits se situent au zagour et 10% de ces puits se situent à Gamgouma , duquel 5 % de ces sites sont situés aux Chààb larig et 10% sont situent à Hadikaa et 20 % à orma c'est le plus grands nombre parce que c'est le quartiers que contient le plus nombre de Puits dans la zone et 10 % pour chaque quartiers de Rezuigi et sepkha etpour le ksar on à 5 % tandis que 15 % à soureg .

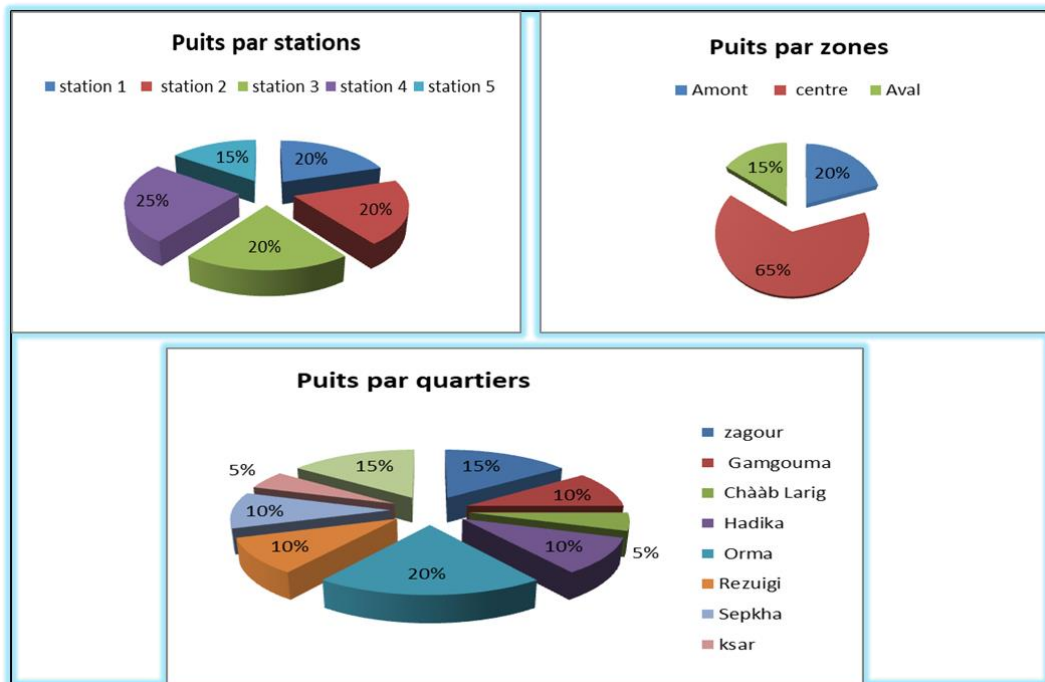


Figure 26. Localisation des Puits dans oued Metlili

2. Types d'activité dans le site

La figure de Types d'activité dans le site (Fig. 17) montre une répartition différente des puits entre les sites agricoles, agro-urbains pour les cinq stations :

- La station 1: 75 % des puits de cette station se situent dans des endroits agricoles tandis que 25 % de ces puits se situent dans le site agro-urbain, duquel 75 % de ces sites sont situés aux bordures de l'Oued.
- La station 2: la majorité de ses puits se trouvent dans des zones agro-urbaines avec des pourcentages successifs de 75 % duquel de cet Puits sont creusés aux bordures de l'Oued.
- Pour la station 3: la majorité de ses puits se trouvent dans des zones agricoles avec pourcentage de 75% et 25 % agro-urbaines, dont tout est située aux bordures de l'Oued avec un pourcentage de 100 %.
- Pour la station 4 : la majorité de ses puits se trouvent dans des zones agricoles avec pourcentage de 60% et 40 % agro-urbaines, dont tout est située aux bordures de l'Oued avec un pourcentage de 60 %.
- station 5: 67 % des puits de cette station se situent dans des endroits agricoles tandis que 33 % de ces puits se situent dans le site agro-urbain, duquel 67 % de ces sites sont situés aux bordures de l'Oued.
- Pour toute la zone d'étude : on a signalé que 60 % des puits étudiés se localisent dans les palmeraies, 40% dans les palmeraies habitées duquel 75 % sont creusés aux bordures de l'Oued Metlili, où les risques de pollution de la nappe peuvent être essentiellement d'origine agricole et domestique. Aussi, la localisation des puits aux bordures de l'Oued agit sur la réalimentation et le renouvellement des eaux des puits par les crues.

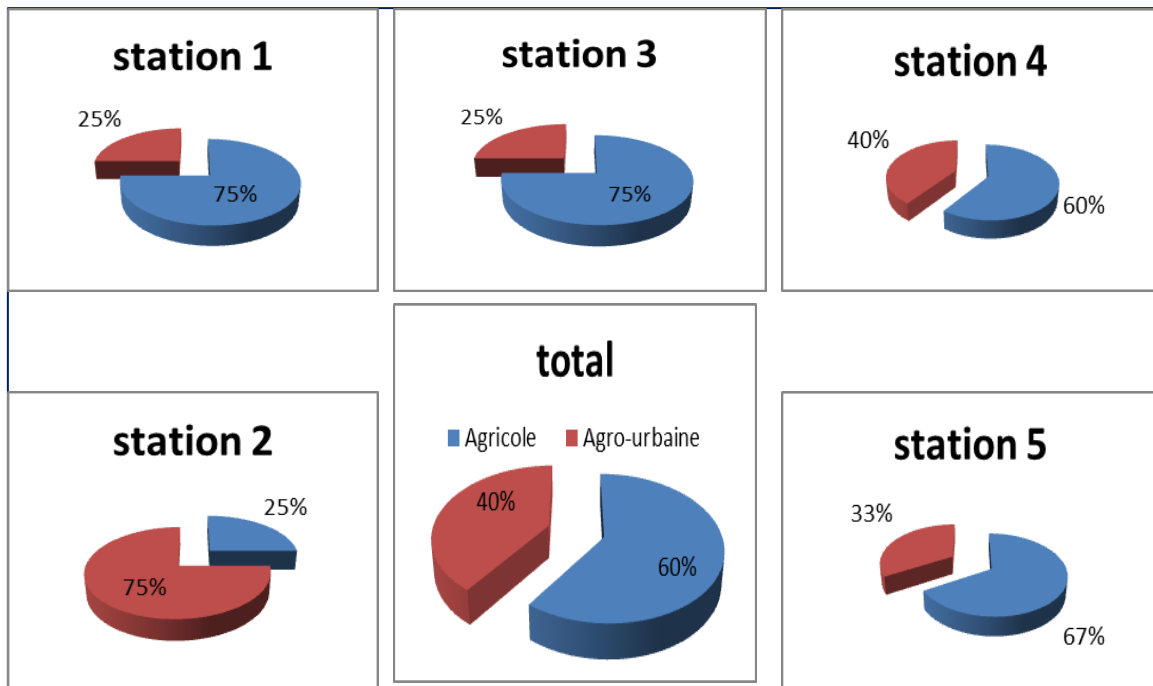


Figure 27. Types d'activité dans le site d'étude

3.Type d'utilisation des eaux

L'usage des eaux des puits dépend de sa localisation, la figure 18 montre que:

- ❖ Les eaux des puits étudiés dans la 1ere station d'étude représentent 50% pour l'irrigation et 25 % pour usage multiple (boissons, irrigation et lavage) et 25 % le seul puits non fonctionnel.
- ❖ ((3/4des puits prospectés dans la 2 eme station d'étude sont destinés à l'irrigation et lavage, 25 % pour l'irrigation.
- ❖ La 3eme station d'étude montre que 75 % des puits sont utilisés pour l'irrigation, 25 % sont destinés à la l'irrigation et le lavage,
- ❖ Les puits de la 4eme station sont destinés pour l'irrigation avec une proportion de 60 % et 25% pour des irrigations et lavage.
- ❖ La 5eme station d'étude montre que 67 % des puits sont utilisés pour l'irrigation, 33% sont destinés à la l'irrigation et le lavage.
- ❖ A partir de la figure 19, pour toute la zone d'étude, 50% des puits étudiés sont destinés à l'irrigation, 35% destinés à l'irrigation et le lavage, et 5% pour la boisson, l'irrigation et le lavage, ainsi que 5% pour un puits non fonctionnel. Nos remarquons que l'irrigation représente le pourcentage le plus élevé dans les quatre stations

- ❖ d'études, justifiant d'une part les localisations dans des sites agricoles, et d'autre part, une utilisation des eaux de puits restreinte pour l'irrigation.

Nous n'avons remarqué aucun puits utilisé pour l'alimentation en eau potable dans les localités domestiques, seulement destinés pour le lavage. Les habitants enquêtés ont remarqué un changement du goût de ces eaux, qu'ils considèrent pouvoir constituer un risque pour la santé publique. A ce niveau, on a trouvé plusieurs puits abandonnés et d'autre remblayés. Nous avons aussi sélectionné un puits pour déterminer ses qualités par rapport aux normes d'utilisation

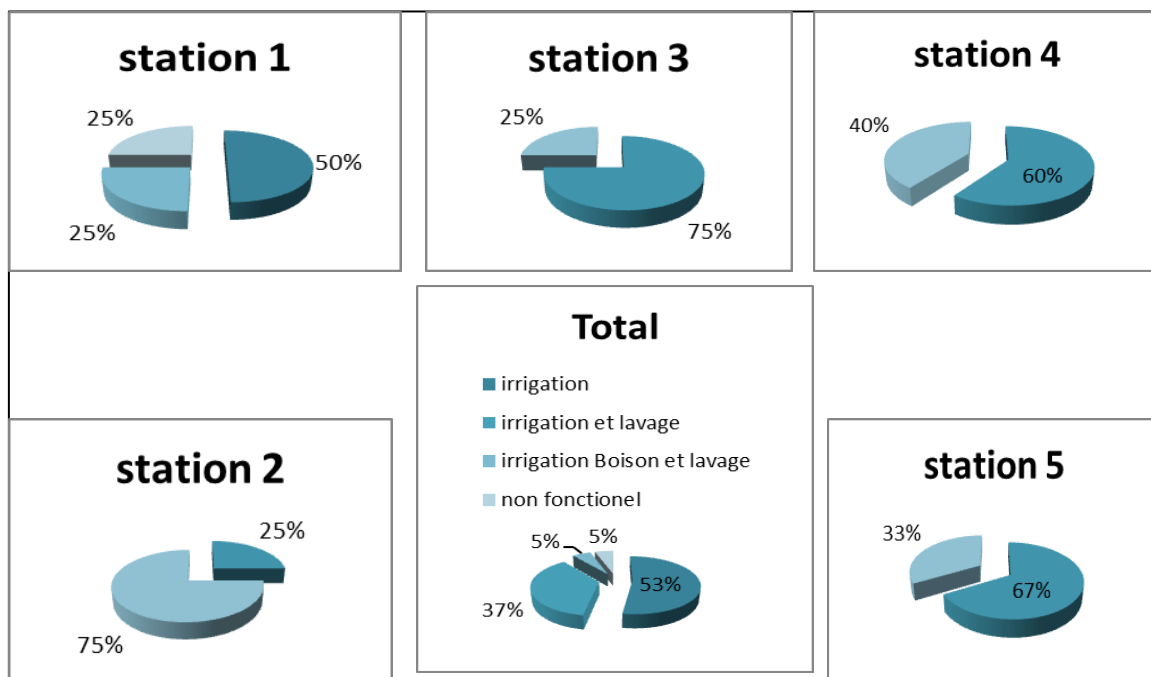


Figure 28. Types d'utilisations des eaux dans les sites d'étude

4. Modes de collectes des eaux usées

Ce paramètre a pour but d'apprécier les effets de l'infiltration des eaux usées sur la pollution de la nappe superficielle à partir du mode de gestion des eaux usées par le réseau d'assainissement ou les fosses septiques ou trine (Fig. 19) :

- 25 % des puits de la station 1 se trouvent dans des zones agricoles où il n'y a pas d'assainissement. Le mode de collecte des eaux usées dans les localités agro-urbaines se fait par des fosses septiques avec 50 % et 25 % faits par latrine.
- 75 % des puits échantillonnés dans la station 2 sont localisés dans des zones raccordées au réseau d'assainissement. Les 25 % restants faits par latrine.

- La station 3 avec 75 % des puits étudiés sont implantés dans des zones ne pas connecter au réseau d’assainissement et faits par le trine et 25% par les fosses septiques.
- 40 % des puits de la station 4 sont situés dans des lieux raccordés au réseau d’assainissement et pour 40 % l’évacuation des eaux usées se fait par des fosses septiques et 20% qui restent par latrine.
- La station 5 avec 67 % des puits étudiés sont implantés dans des zones ne pas connecter au réseau d’assainissement et 25% qui reste c’est raccordé au réseau.
- Dans notre zone d’étude, 30 % des puits se trouvent dans des endroits raccordés au réseau d’assainissement dans les zones urbaines. 15 % des puits étudiés sont localisés dans des sites non raccordés au réseau d’assainissement et 55 % des puits dans des localités dépourvues d’assainissement pour les zones agricoles 25% par les fosses et 30% par latrine.

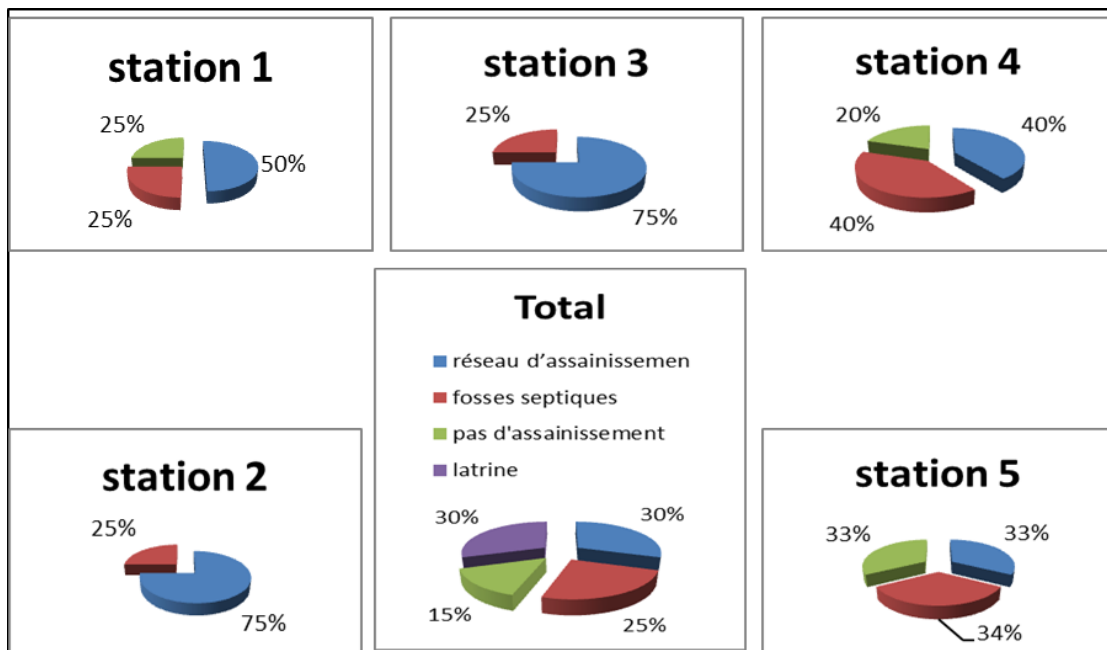


Figure 29 .Modes de collectes des eaux usées dans les sites d’étude

5.Risques de pollution des eaux phréatiques

La figure des Risque des eaux phréatique dans les sites d’étude montre que (Fig.20) :

- La station 1: 25 % des palmiers de cette station ne utilise pas les amendements tandis que 25 % de ces palmiers sont utilisé les amendements, duquel 50 % de ces sites sont utilisé les organo-minerales.

- La station 2: 25 % des palmiers de cette station ne utilise pas les amendements tandis que 50 % de ces palmiers sont utilisé les amendements, duquel 25 % de ces sites sont utilisé les organo-minerales.
- Pour la station 3: 100% des palmiers de cette station n'utilise pas les amendements.
- Pour la station 4 : la majorité de ses palmiers sont ne utilise pas les amendements pourcentage de 60% et 40 % qui reste sont utilisé les amendements.
- station 5: 33% des puits de cette station sont utilisé les amendements tandis que 67% de ces palmiers sont utilisé les organo-menerales.
- Pour toute la zone d'étude : on a signalé que 50% des palmiers étudiés sont ne utilise pas les amendements, 25% sont utilisé les amendements duquel 25% sont utilisé les organo-menerales,

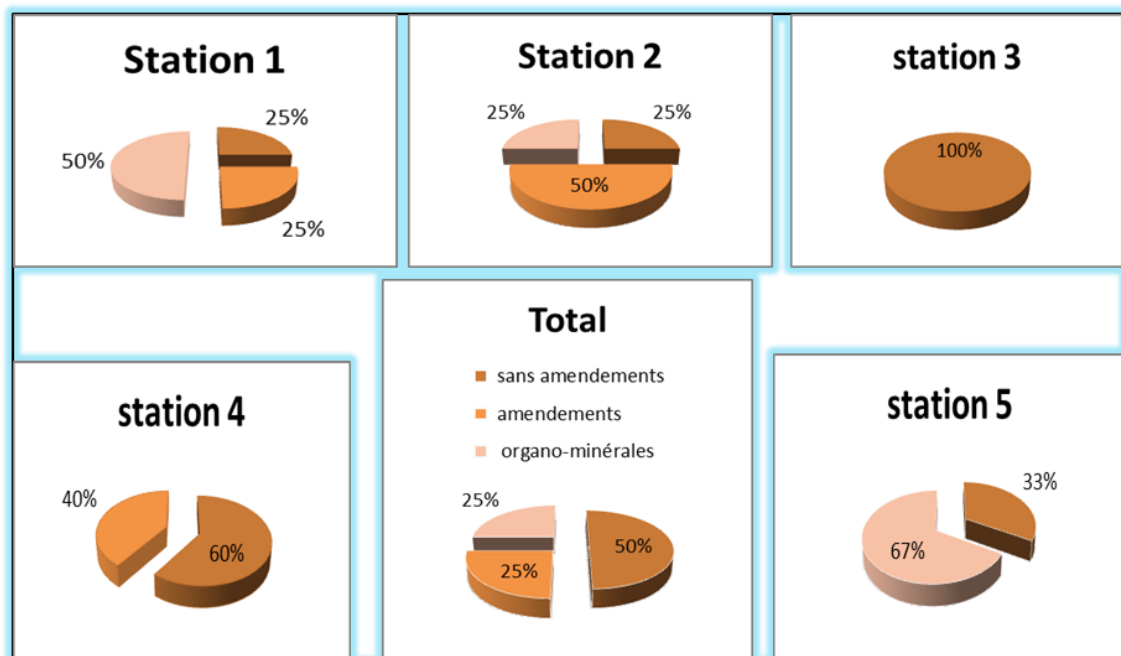


Figure30. Risques de pollution des eaux phréatiques

Chapitre VI.
Qualité hydro-chimique des eaux
phréatique

Chapitre VI. Qualité hydro-chimique des eaux phréatique

1. Niveaux des eaux

Les mesures de profondeurs de la nappe nous ont permis de réaliser un Histogramme pour le niveau statique.

1.1. Niveau statique

L'histogramme de la profondeur de cette nappe (Fig. 15), montre une variabilité de la profondeur d'un puits à un autre selon la topographie du terrain. Pour cela, on note que la nappe est plus profonde dans la station 1, sa profondeur varie entre 26.3 et 34.5 m, et avec une moyenne de 33.42m, et peu profonde dans la station 5, elle varie entre 4 et 7 m, avec une moyenne de 4,50m.

D'une manière générale, la profondeur de cette nappe varie entre un minimum de 2.5 m enregistré au niveau des puits p19 mesurés au niveau de S5 et un maximum de 37.18 m au niveau du puits p3 situé à S5.

La comparaison de ces résultats avec de (ACHOUR et OUAISSI SEKOUTI, 2003) (fig.20) montre qu'il y'a une remontée des eaux des puits entre 2003 et 2023 dans la vallée de metlili surtout à Station 5. Cette remontée est signalée par (ACHOUR et OUAISSI SEKOUTI, 2003), à tous l'oued entre 6 et 35m Cette profondeur est supérieure à celle de la nappe phréatique de vallée Mzab, entre 4 et 20.8 m (BENHEDID ,2022)

La remontée des eaux de la nappe est probablement dûe à l'alimentation de cette nappe par les eaux de pluie, les crues et l'infiltration des eaux usées des fosses septiques, et les eaux usées déversées en aval du lit d'Oued. Mais celle-ci nous montre que le niveau statique augmente dans les zones non raccordées au réseau d'assainissement et dans les zones agricoles irriguées. La faible inertie. Est due à la variation rapprochée des paramètres étudiés dans les localités d'Oued Metlili et les tendances observées sur le terrain, qui semblent dus à d'autres facteurs non déterminés.

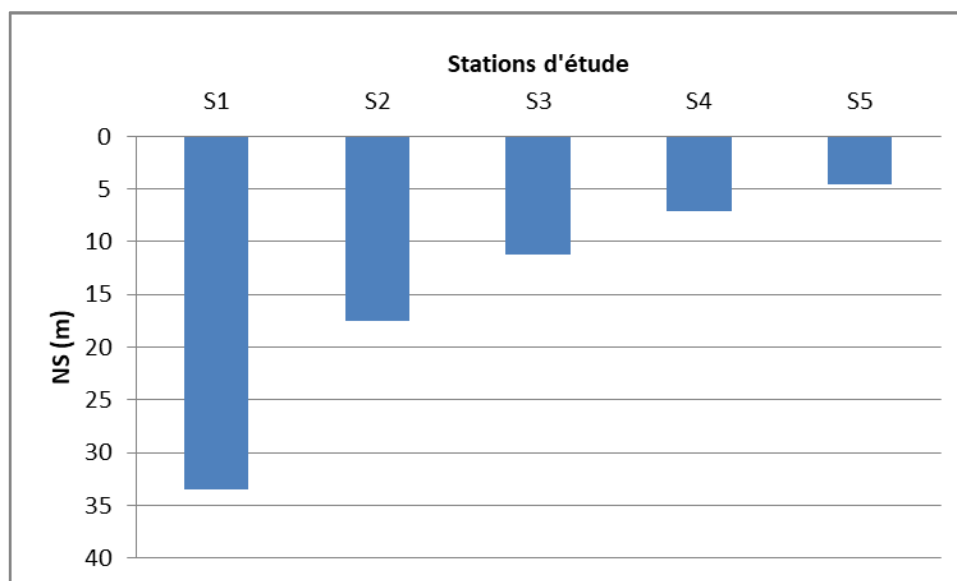


Figure 31. Niveau statique de la nappe superficielle de l'Oued Metlili

2. Etude physico-chimique de la nappe superficielle

2.1. Potentiel d'Hydrogène

Le pH est un paramètre caractérisant l'acidité ou la basicité d'un milieu. C'est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau (AMINOT & KEROUEL, 2004 ; RODIER et al. 2005). Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux (DERWICH et al. 2010).

Les valeurs moyennes du pH des eaux sont très proches pour toutes les stations, variant entre une valeur minimale de 7,85 au niveau de la station 4 et une valeur maximale de 8.55 au niveau de la station 1 (Fig. 21)

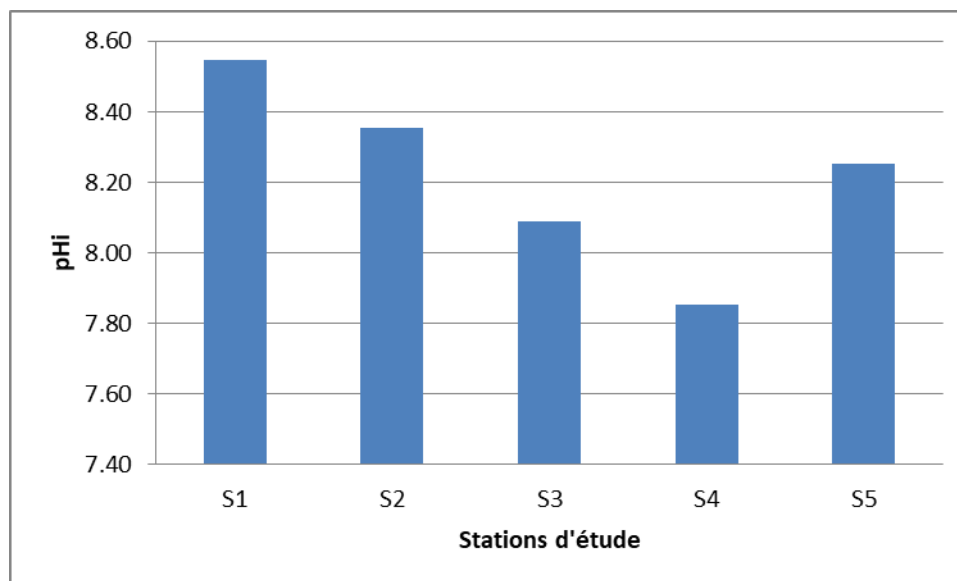


Figure 32. pH moyenne des eaux dans les stations d'étude

Les valeurs des teneurs du pH (Fig.21), montre une homogénéité de la variation spatiale dans tout l'Oued Metlili, variant entre un minimum de 7.36 au niveau du puits p13 situé à station 4 et un maximum de 8.74 dans le puits P5 situé à station 2.

La majorité des eaux prospectées ont des pH proches de la neutralité, se trouvant dans l'intervalle du pH caractéristique des eaux potables compris entre 6,5 et 9 selon l'Algérie et l'O.M.S (Annexe V ; VI).

Selon RODIER et al. (2009), le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. La stabilité de la neutralité de l'eau de cette nappe pourrait résulter d'un équilibre entre les teneurs en dioxyde de carbone et les bicarbonates de calcium dissous (AÏT BOUGHROUS, 2007).

Les valeurs du pH obtenus et en comparaison avec les études antérieures réalisées dans différentes zones de Metlili montre un rapprochement avec celles de DAHOU et BELMOKHTAR (2018) pour les eaux des puits de Metlili, ($7.73 \leq \text{pH} \leq 8$), et celles de BENHEDID (2022) pour l'Oued M'Zab avec ($6,92 \leq \text{pH} \leq 7,77$). A partir de là, on dit que la vallée du Metlili est caractérisée par un pH supérieure que la vallée du M'Zab

2.2. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité (N'DIAYE et al. 2013).

Les concentrations moyennes de la C.E des eaux souterraines analysées sont généralement très élevées pour les quatre stations, variant entre une valeur minimale 2545.75 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour la station 1 et une valeur maximale de 5547.5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour la station 3 (Fig. V 7).

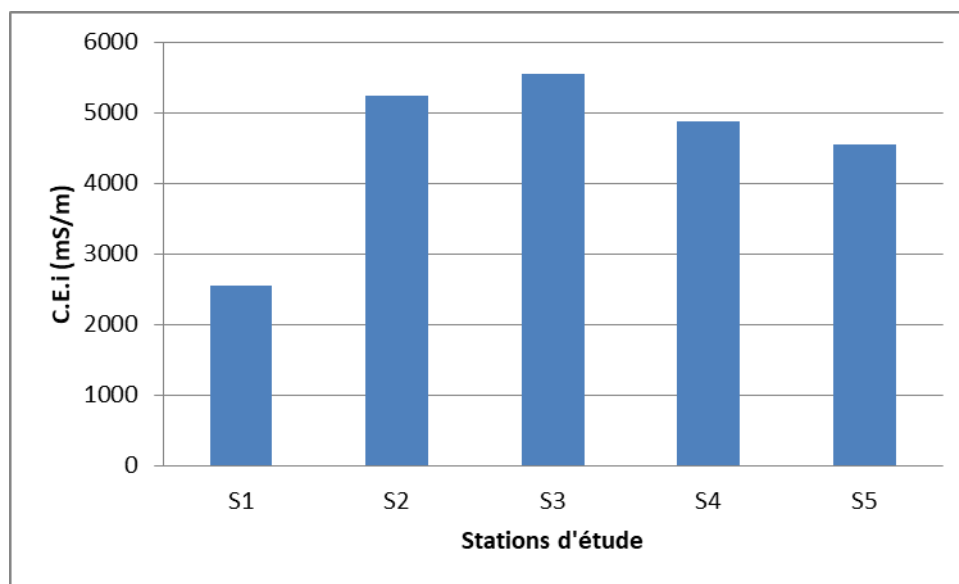


Figure 33. C.E moyenne des eaux dans les stations d'étude ($\mu\text{S}/\text{m}$)

Les valeurs de la C.E (Fig. V 8) montrent que la C.E des eaux varie dans un intervalle de 956 $\mu\text{s}/\text{cm}$ correspondant au puits p3 de S1 et 8690 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau du puits p13 de S4. Les eaux de cette nappe représentent une minéralisation généralement très élevée selon la C.E des eaux souterraines, dépassant largement la valeur norme des eaux potables recommandée par l'Algérie (2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et l'O.M.S (1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ sauf que le puits de S1 le P1, P2 et P3.

Valeur minimale enregistrée dans le p3 montre une minéralisation moyenne de ces eaux, car il est localisé en amont du sens d'écoulement de la nappe et des habitations. Cela implique une faible contamination de ce puits, cette C.E dépend aussi au substrat géologique

traversé par ce puits. Cependant, nous avons remarqué une légère augmentation de sa C.E par rapport à l'étude d'A.N.R.H 2001 (500 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

La valeur maximale de la salinité très élevée pour les eaux de puits p13 de S4 pourrait être due, soit à l'existence de formation géologique saline riche en évaporites dans le puits ou aux

rejets des eaux usées déversées dans le lit de l'Oued en aval ou l'existence des fosses septiques. Au niveau de la région de Sebkha –ksar Metlili on localise une zone de forte conductivité déjà révélée sur la carte de la minéralisation A.N.R.H de 2002 de les eaux dans cette région sont chargées en sels

Les valeurs de la C.E. obtenues lors de notre étude sont proches de celles obtenues par DAHOU ET BELMOUKHTAR (2018), avec $1046 \mu\text{s}/\text{cm} \leq \text{C.E.} \leq 7050 \mu\text{s}/\text{cm}$. Par contre, elles sont inférieures par rapport aux résultats obtenus par BENHEDID (2022), au niveau de ghardaia.

2.3. Résidu sec

La détermination du résidu de l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matière dissoutes et en suspension non volatiles (RODIER et al. 2009).

Au vu du graphe (Fig.31), les concentrations du R.s moyennes des eaux de puits analysées sont très élevées dans toutes les stations d'études, variant dans un intervalle de 2750 mg/l dans la station 1 et 5200 mg/l pour celle de station 2.

Les valeurs du résidu sec, montre une variation claire de ces teneurs de l'amont vers l'aval. Elles varient dans un intervalle de 1000 mg/l, correspondant au puits p1 et 9400mg/l au niveau du puits p12.

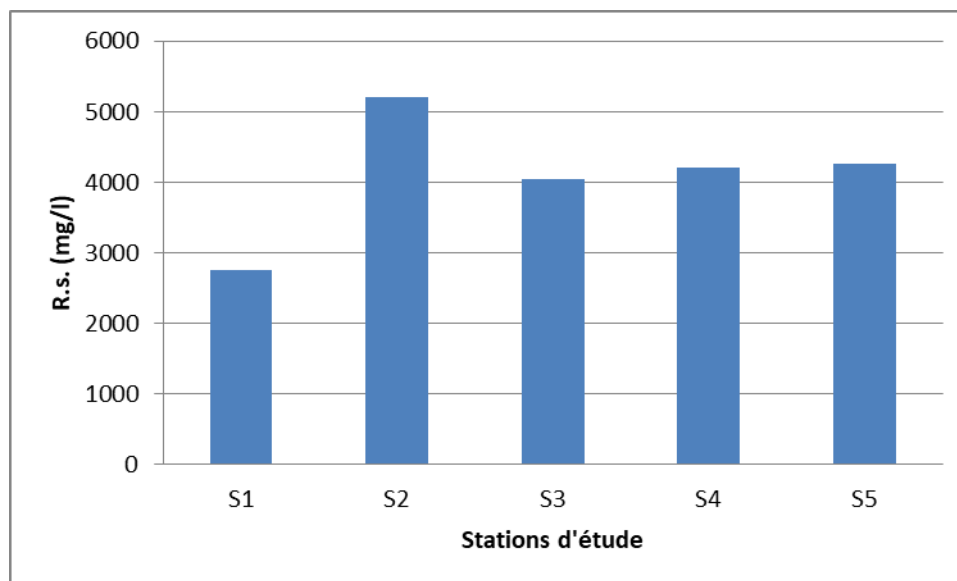


Figure 34. R.s. moyennes des eaux dans les stations d'études

Ces deux points enregistrent également les deux extrêmes pour la conductivité électrique. Tous les puits ont des teneurs supérieures à la valeur norme de l'O.M.S. (1000 mg/l) et la norme algérienne (1500 mg/l) (Tabl. I ; Tabl. II). des eaux potables. L'élévation des teneurs du résidu sec par rapport aux valeurs de la conductivité est due à la charge élevée des ions prédominants, notamment le SO_4^{--} , le Mg^{++} , le Cl^- , le Na^+ et le Ca^{++} . Toutefois, la présence des matières en suspensions peut contribuer à l'augmentation de la charge saline

Les quantités de résidu sec sont supérieures à celles enregistrées en velée de Mezab par ZEZZAG et BEN YAHKOUM (2005), ($561 \text{ mg/l} \leq \text{R.s.} \leq 7198 \text{ mg/l}$) et restent inférieures par rapport aux résultats de BOUHADDA et ZENTAR (2006) ($1696 \text{ mg/l} \leq \text{R.s.} \leq 10082 \text{ mg/l}$).

2.4. Paramètres de la Pollution des eaux

2.4.1. Nitrites

A partir la figure (24), il apparaît que les fortes teneurs moyennes des nitrites sont enregistrées au niveau des stations de 1 (0,11 mg/l) et de station 2 et 3 (0,08 mg/l), alors que les faibles concentrations sont observées dans les stations 4 et 5 avec (0,00 mg/l).

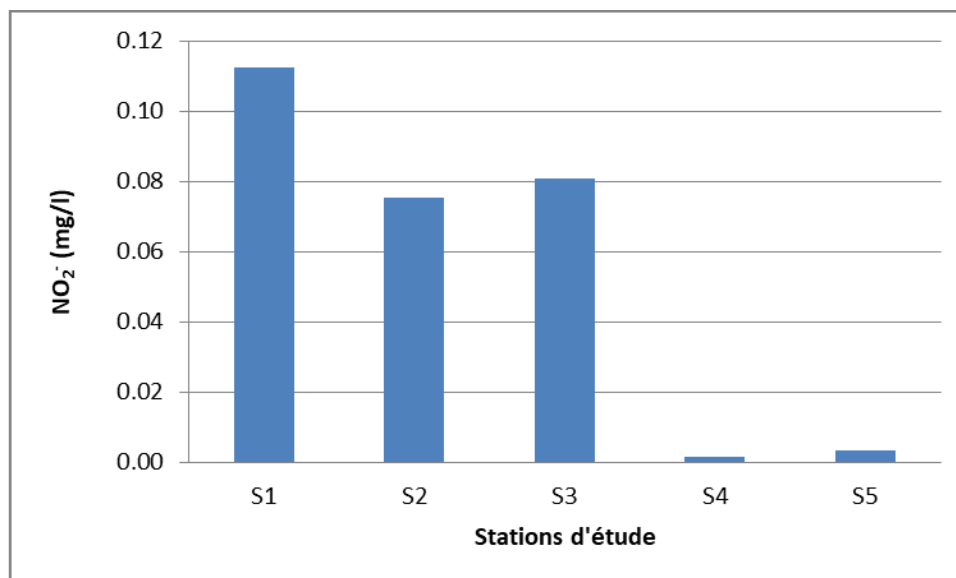


Figure 35. NO₂⁻ moyenne des eaux dans les stations d'étude.

L'examen de la Histogramme (Fig. 58), montre des variations spatiales claires des nitrites. Les valeurs minimales sont observées à l'aval de la vallée ; par contre, les valeurs maximales sont remarquées dans l'amont et le centre de l'Oued Metlili.

Les concentrations en cet élément varient dans un l'intervalle borné par une limite inférieure de 0 mg/l, notée dans les puits P8 de S2 et p16 et p17 de S4 et p19 et p20 de S5, et une limite supérieure de 0.197 mg/l mesurée dans le puits p4 de S1.

Tous les puits analysés respectent la norme de l'eau potable selon l'O.M.S. et l'Algérie (0,2 mg/l) (Tabl. I ; II) Cela peut être expliqué par sa transformation rapide en nitrates par oxydation ou en ammonium par réduction. Les teneurs de nitrites relativement élevées, mesurées au niveau de certains puits, selon BREMOND et VUICHARD (1973), leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Cela montre que ces derniers ne sont pas valables pour l'alimentation en eau potable et représentent un risque de méthémoglobinémie

La valeur maximale enregistrée lors de notre étude est inférieure à celle des études antérieures réalisées, $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0.074 \text{ mg/l}$ (DAHOU & BELMOUKHTAR, 2018,) à Oued Metlili BENHEDID (2014), $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 2,72 \text{ mg/l}$ et BENHEDID & DADDI BOUHOUN (2019), $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0,194 \text{ mg/l}$ à Oued M'Zab.

2.5. Eléments majeurs

2.5.1. Titre hydrométrique

Le titre hydrométrique (T.H.) ou la dureté totale d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et des ions hydrogènes.

Dans la plupart des cas, la dureté est due aux ions calcium et magnésium (RODIER et al. 2009 ; DE VILLERS et al. 2005).

Les valeurs moyennes de la dureté des eaux des puits analysées sont très fortes, elles varient dans un intervalle de 1021 °F pour la station 1, et 2257.33 °F pour la station 5 (Fig. 25).

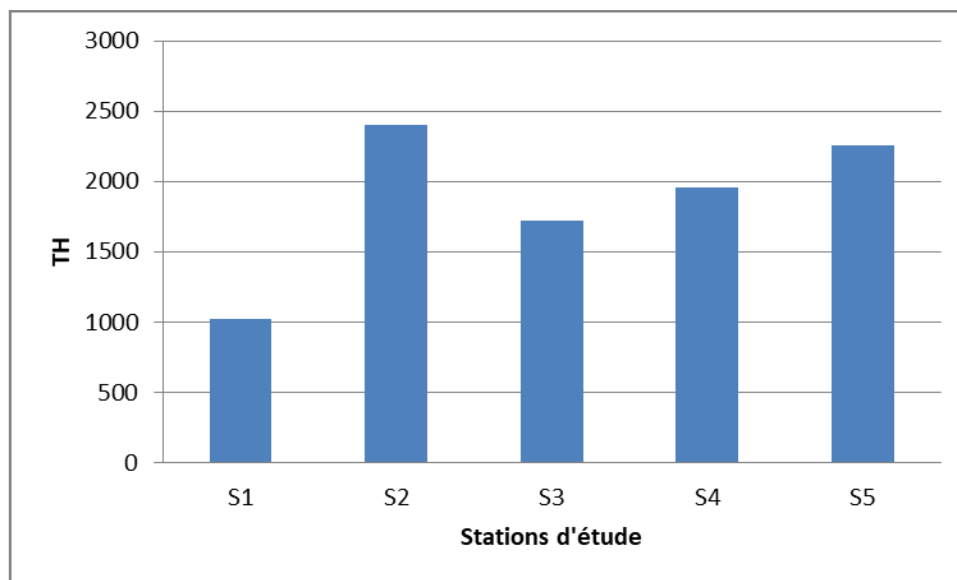


Figure 36. T.H moyenne des eaux dans les stations d'études

D'après les valeurs, les eaux des puits étudiés sont très dures (Annexe) et supérieures à la norme de l'eau potable algérienne (200) (Tabl. I). Cette dureté est plus élevée en aval par rapport à l'amont de l'Oued Metlii. Cela peut être dû à la nature calcaire des terrains géologiques traversés par l'eau.

Provenant des terrains calcaires ou surtout des terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées, susceptibles d'atteindre 1g/l (100 °F) (RODIER et al. 2005). Ces teneurs sont très variables d'une station à l'autre. L'eau du puits P20 de S5 présente la dureté totale la

plus élevée de 3376 mg/l. Par contre, l'eau du puits P1, se distingue par une dureté faible 732.

Les teneurs de dureté sont proche à celles enregistrées par DAHOU et BELMOKHTAR (2018) ($504\text{mg/l} \leq \text{T.H.} \leq 3024\text{mg/l}$), et supérieurs par rapport aux résultats de BAHAZ ET MANSOUR (2019) ($548 \text{ mg/l} \leq \text{T.H.} \leq 800 \text{ mg/l}$) de vallée du Mzab. Cela peut être expliqué par la différence de la localisation des puits et les régions.

Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés détergentes des savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau. Par contre, les eaux très douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (AÏT BOUGHROUS, 2007; MERABET, 2010)

2.5.2. Cations solubles

L'observation de la diagraphie des teneurs de calcium (Fig. V 28) montre que les teneurs de calcium varient d'un point à un autre ; la plupart des points prospectés ont un taux de calcium relativement supérieur à la norme de potabilité des eaux de l'Algérie et de l'O.M.S (200 mg/l) (Annexe V ; VI). Nous avons mesuré une teneur maximale de 516.23 mg/l au niveau du puits P6 à S2 et une valeur minimale de 134.67 mg/l au niveau du puits P1 à S1.

La présence des ions Ca^{++} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (DEBIECHE, 2002 ; GOUAIDIA, 2008).

Ces constatations sont proches de celles de DAHOU et BELMOKHTAR (2018), qui a signalé des teneurs, variant de ($107,414 \text{ mg/l} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 548,294 \text{ mg/l}$) et celles de BENHEDID (2014), (de 80.16 à 633.264 mg/l) a vallée du M'Zab, sont plus élevées par rapport aux teneurs dans la nappe de oued Metlili.

Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, et dans les phénomènes de perméabilité cellulaire. Il est concentré par les organismes à partir de l'eau ou des aliments. Il ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité (AÏT BOUGHROUS, 2007).

Les valeurs de magnésium (Fig. V 29) montre que dans l'ensemble des puits échantillonnés, les teneurs de magnésium sont très variables d'un puits à l'autre. Ces teneurs sont très élevées et généralement au-dessus de la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (150

mg/l) (Annexe VI). Elles sont reflétées par l'enregistrement d'un minimum de 597.3 mg/l au niveau de puits P1 pour la station 1 et d'un maximum de 2911.07mg/l enregistré au niveau de puits P20de la station 5.

Les origines des ions de Mg^{++} sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite) (DEBIECHE, 2002 ; GOUAIDIA, 2008 ; BOUTTELI, 2011 ; NOUAYTI et al. 2015).

Nos résultats et plus élevé de ($55,404 \text{ mg/l} \leq Mg^{2+} \leq 347,976 \text{ mg/l}$), (DAHOU et BELMOKHTAR, 2018). Et (BENHEDID 2014) au niveau de la nappe phréatique de vallée du M Zab ($12.15 \text{ mg/l} \leq Mg^{++} \leq 816.48 \text{ mg/l}$).

Les valeurs des concentrations du sodium (Fig. 26) montrent des variations spatiales claires du sodium où nous avons observé des valeurs maximales au centre et à l'aval de l'Oued Metlili . Ces concentrations dépassent les normes de l'Algérie et de l'O.M.S (200 mg/l) (Annexe V ; VI). Ces valeurs sont comprises entre 55 mg/l dans le puits P1 de la station de 1 et 1100 mg/l dans le puits P13 de la station 4.

Une consommation élevée de sodium peut causer des problèmes chez les personnes qui ont un régime appauvri en sel en raison de problèmes d'hypertension, cardiaques ou rénaux (M.E.N.E, 2008).

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'Halite (Nacala) (BOUTTELI, 2011). Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux, comme les silicates de sodium et d'aluminium (RODIER et al. 2005).

Ces teneurs sont plus élevées par rapport à l'étude de BELMPIKHTAR ET DAHOU(2018), qui a enregistré des concentrations variant entre 23.799 et 125.972 mg/l au niveau de la palmeraie deMetlili, mais qui restent inférieurs par rapport à ceux de l'étude de BENHEDID (2014), comprise entre 42,857 et 2875 mg/l à la vallée de M'Zab.

Selon la Histogramme de répartition de potassium (Fig. 26), la majorité des eaux de cette nappe ont une concentration de potassium ne pas compatible à la norme algérienne et de l'O.M.S des eaux potables (12 mg/l) (Annexe V ; VI). Ces teneurs oscillent entre 7.33 mg/l au niveau du puits P3 et 38.33mg/l au niveau du puits P20 de station 5.

Selon DEBIECHE (2002) ; GOUAIDIA (2006) ; BOUTTELI (2011), le potassium provient essentiellement des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par l'altération des argiles potassiques, des formations silicatées (gneiss, schiste) et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques.

Nos résultats de K^+ sont au-dessous d'intervalle de ceux de BELMOUKHTAR & DAHOU (2018) au Palmiers de Metlili ; BENHEDID (2014) au valée de M'Zab, où ils ont signalé des teneurs de $2.5314 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 89.6968 \text{ mg/l}$ et $8,333 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 91,66 \text{ mg/l}$.

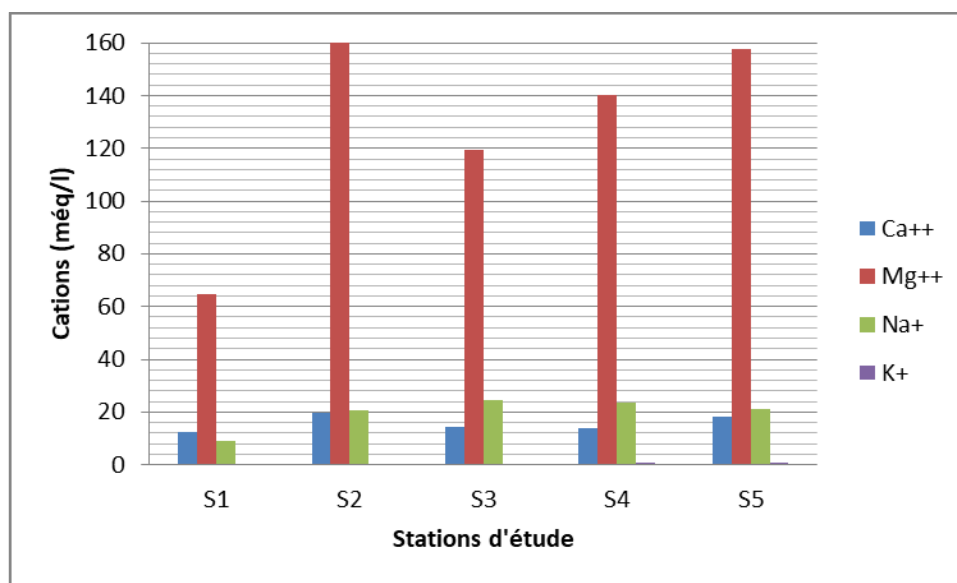


Figure 37. Les cations solubles moyens des eaux dans les stations d'étude

2.5.3. Anions solubles

Les valeurs de la répartition du chlorure (Fig.27) montre des teneurs du chlorure généralement plus élevées et dépassent la norme européenne des eaux souterraines (150 mg/l), et la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (250 mg/l) et celle de l'Algérie (500 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI). Dans le puits P13 de S4, nous avons noté la teneur la plus élevée

3613.37mg/l. Alors que la teneur le plus faible a été enregistrée dans le puits P3 de S1 avec 212.23 mg/l

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (N'DIAYE et al. 2013).

Ces teneurs sont proche à celles obtenues par DAHOU et BELMOKHTAR (2018), ($107.777 \text{ mg/l} \leq \text{Cl}^- \leq 1559.932 \text{ mg/l}$). La teneur des chlorures dans la nappe superficielle de l'Oued M'Zab est supérieure à sa concentration dans la nappe phréatique de la oued Metlili obtenue par BENHEDID (2014).

Consommation prolongée d'une eau contenant 1000 mg/l de chlorure peut être préjudiciable aux personnes atteintes de maladie cardiovasculaires et rénales (BENRAIS, 1995). Pour un usage agricole, les teneurs en chlorures peuvent limiter certaines cultures. Dès que sa teneur dépasse une certaine valeur, le chlore est absorbé par les racines et s'accumule dans les feuilles. Il provoque des brûlures débutant à la pointe des feuilles âgées et progressant vers l'arrière, en suivant les bords du limbe (RODIER et al. 2009).

Les valeurs (Fig. 27) représente des teneurs très élevées en sulfates dans la plupart des puits prospectés, surtout en aval de l'Oued, où elles sont supérieures à la norme européenne des eaux souterraines (250 mg/l), et la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (250 mg/l) et l'Algérie (400 mg/l) (Annexe IV ; V ; VI).

Les teneurs des sulfates varient dans un intervalle borné par une limite inférieure de 496 mg/l, notée dans le puits P1 de S1, et une limite supérieure de 2976.5 mg/l mesurée dans le puits P9 de S3.

D'après AÏTBOUGHROUS (2007) ; GOUAIDIA (2008) ; BOUTTELI (2011), la présence des ions sulfatés dans l'eau est liée, d'une part, à la dissolution des formations gypseuses.

La comparaison de nos résultats avec les études antérieures réalisées dans différentes zones de la vallée du Metlili montre que nos résultats est inférieurs de BELMOUKHTAR & DAHOU (2018) $165.486 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^{--} \leq 13201,32 \text{ mg/l}$ et Proche de BENHEDID (2014) $6,384 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^{--} \leq 4021,458 \text{ mg/l}$.

La présence des sulfates en quantités supérieures à 300 mg/l peut entraîner dans certaines conditions l'altération des matériaux de construction (corrosion des réservoirs de stockage) et accélère la corrosion du fer (RODIER et al. 2005). Un taux élevé de sulfate dans l'eau cause des diarrhées à l'être humain, et aussi, il peut causer une agression de la flore intestinale (BENTOUATI & BOUZIDI, 2011).

Selon les valeurs de répartition des bicarbonatées, on observe qu'ils sont très variables d'un puits à l'autre. Dans le puits p20 de S5, les teneurs en HCO_3^- sont les plus élevées de 1844.74 mg/l. Alors que les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans le puits p2 de S1 avec 488 mg/l. La majorité de ces teneurs dépassent la norme de l'eau potable selon l'O.M.S (500 mg/l) (Annexe VI), sauf les deux puits p2 de S1 qui ont des teneurs relativement faible, les concentrations sont relativement élevées, ce qui peut être dû à la dissolution des calcaires en bicarbonates. Selon DEBIECHE (2002), la présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. Cela semble probable pour nos eaux, car la relation est significative entre Mg^{++} et Ca^{++} ; et entre le Mg^{++} et les HCO_3^- .

Ces concentrations sont supérieures de celles obtenues par DAHOU et BELMOUKHTAR (2018) ($156.6 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 766.16 \text{ mg/l}$), et aussi à la valeur maximale de (BENHEDID, 2014), au niveau de la nappe de vallée du M Zab ($10 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 450 \text{ mg/l}$).

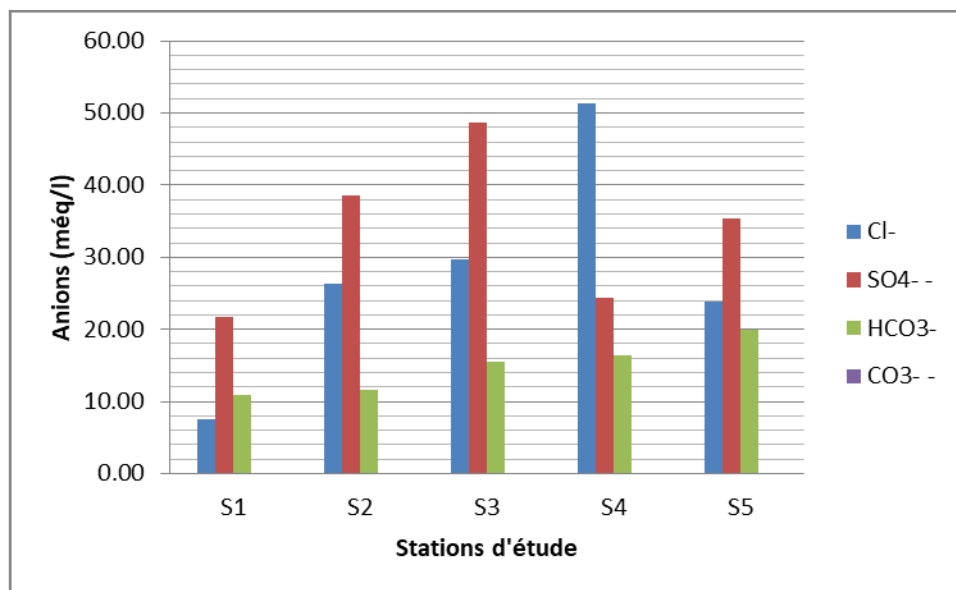


Figure38. Les Anions solubles moyenne des eaux dans les stations d'étude

2.5.4. Faciès chimiques des eaux

Pour mieux déterminer le faciès chimique des eaux de la région d'étude, une représentation graphique sur le diagramme triangulaire de PIPER a été effectuée à partir des résultats analytiques obtenus.

La présentation des résultats des analyses hydro-chimiques pour tous les puits sur ce type de diagramme (Fig.28; 29 et 30) a permis d'avoir une approche globale sur les faciès chimiques des eaux de la nappe superficielle de l'Oued Metlili. Cette représentation a montré des grandes variations des faciès dans la vallée du Metlili qui peuvent être d'origine géologique ou anthropique. Nous remarquons en général que le faciès cationique des eaux de la nappe étudiée est dominé, par le magnésium. Est Il s'agit de se référer à que ce composite de la dolomite de Ghardaïa .De même, le faciès anionique est dominé, soit par les sulfates ou les chlorures, mais en général, il est sulfaté.

- En amont de l'Oued Metlili (station 1), une dominance sulfatée calcim.
- Au centre de l'Oued Metlili (station 2,3 et 4), la dominance est entre le faciès sulfaté et et magnésien, et du facies sulfaté magnésien.
- En aval de l'Oued Metlili, une dominance Magnésienne équilibrée chlorure sulfaté et carbonaté.

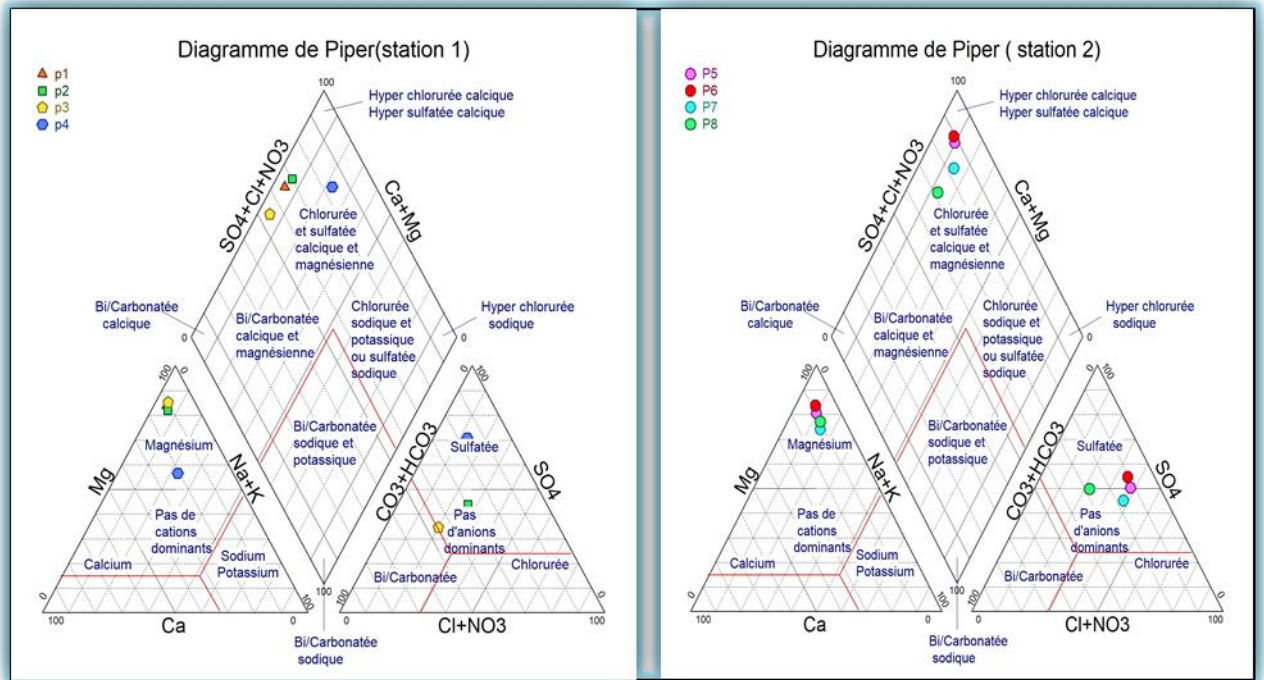


Figure 39. Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER

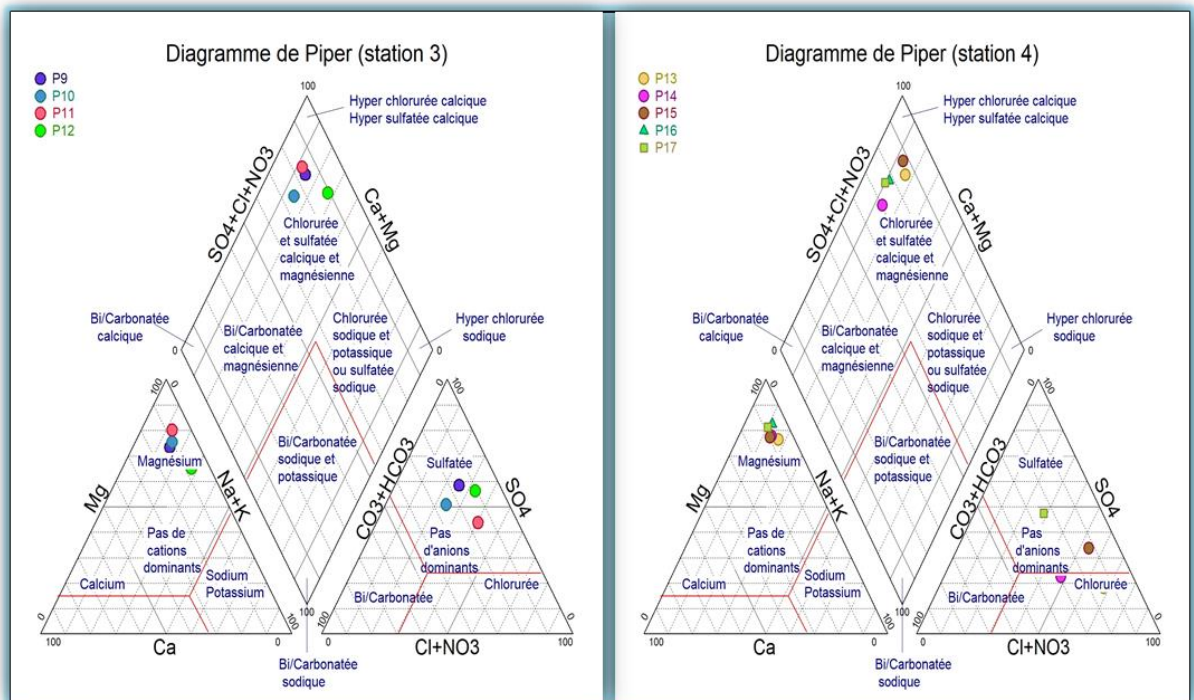


Figure 40. Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER

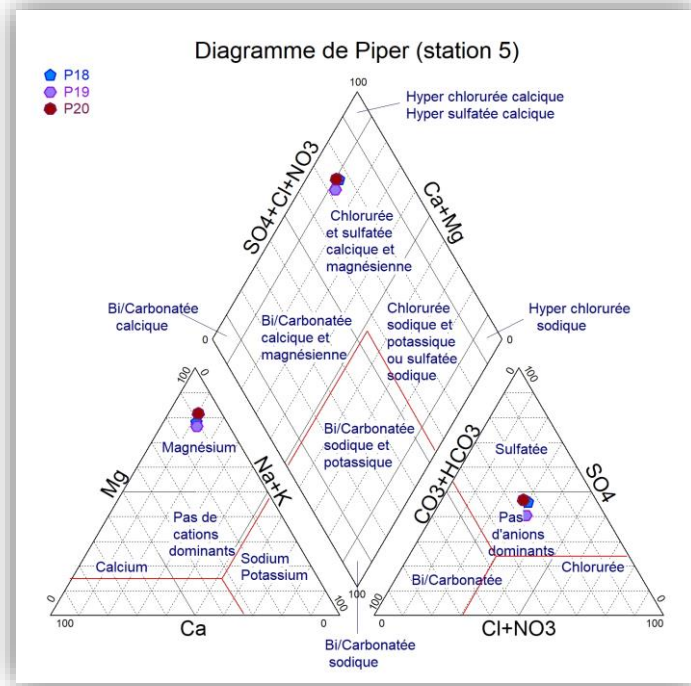
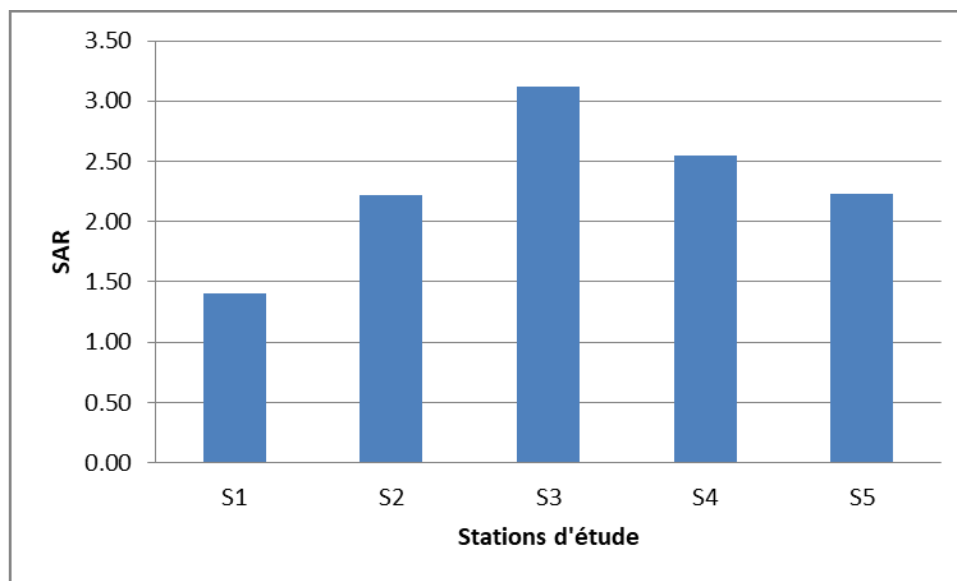


Figure 41. Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de PIPER

2.6. SAR.i

Les eaux de irrigation des cinq stations étudiées, ces eaux sont faiblement à moyennement alcalines, le SAR est égal à 1.40 dans la station 1, et égal à 2.22 dans la station 2 et égal à 3.12 dans la station 3 et égal à 2.55 dans la station 4 et égal à 2.23 dans la station 5 . (Fig.31).



Figur 42. S.A.R moyenne des eaux dans les stations d'étude

2.7. Aptitude des eaux à l'irrigation

Pour évaluer la qualité de ces eaux pour l'irrigation et les influences de ces eaux sur les sols et les cultures dans cette région, nous avons étudié la salinité et la sodicité.

2.7.1. Salinité de l'eau

Selon MERMOUD (2006), la salinisation est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol. Il s'en suit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

La classification de la salinité des eaux, donnée par le laboratoire de RIVERSIDE et modifiée par DURAND (1983), montre la présence de trois classes suivantes (Tabl. XIII)

- **Classe C3 ($750 < C.E < 2250 \mu S/cm$)** : elle représente trois échantillons seulement sur l'ensemble des points des eaux analysées avec un pourcentage de 15%, avec un pourcentage de 75% dans la station 1 pour les puits p1, p2, et p3. Ce sont des eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Même avec un bon drainage, des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
- **Classe C4 ($2250 < C.E < 5000 \mu S/cm$)** : elle comporte sept puits, soit un pourcentage de 35% ; ce qui montre que les eaux de cette nappe ont une très forte salinité. Ces eaux sont inutilisables normalement, à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage, et l'eau d'irrigation appliquée en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels ;
- **Classe C5 ($5000 < C.E < 20000 \mu S/cm$)** : l'addition de cette classe par DURAND (1983), pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à $5000 \mu S/cm$, la limite des 20000 a été choisie en tenant compte de la tolérance du palmier dattier. Elle représente 25 % pour la station 1 et 50% pour les puits de station 2, et la station 3 avec un pourcentage de 100 % et 33 % pour la station 5 alors qu'elle représente 50% de l'ensemble des puits.

Les eaux de la nappe superficielle de l'Oued Metlili représentent, en général, des eaux à salinité très forte, 35 % des puits, 50 % des eaux à salinité excessive et 15 % des eaux à forte

salinité. Cette situation traduit l'effet de la lithologie, d'une part, et l'effet anthropique d'autre part (augmentation des concentrations des ions par les rejets des eaux usées).

D'après DADDI BOUHOUN (1997) ; COUTURE (2004), la C.E élevée des eaux pourrait provoquer un excès des sels solubles dans le sol, et engendrer ainsi une diminution de l'absorption de l'eau par les plantes (phénomène de la pression osmotique), et par conséquent, une réduction de la croissance végétale en fonction de la tolérance des cultures à la salinité.

Tableau XII. Classes de salinité des eaux d'irrigation dans la vallée du Metlili

Salinité Stations	C3 Forte salinité		C4 Très forte salinité		C5 Salinité excessive	
	Nombre de puits	%	Nombre de puits	%	Nombre de puits	%
Station 1	3	75	0	0	1	25
Station 2	0	0	2	50	2	50
Station 3	0	0	0	0	4	100
station 4	0	0	3	60	2	40
Station 5	0	0	2	67	1	33
Total	3	15	7	35	10	50

2.7.2. Sodicité des eaux

Selon CHEVERRY (1972), la fixation du sodium sur le complexe du sol, d'où le processus d'alcalinisation, avec ses conséquences éventuelles sur les propriétés du sol, la dispersion des argiles, la dégradation de la structure, la perte de perméabilité et l'asphyxie du milieu.

La classification de RIVERSIDE, permet de déterminer le risque d'alcalinisation par classe en fonction du S.A.R et de la C.E des eaux sur le diagramme de RIVERSIDE .Elle montre la présence des quatre classes suivantes (Tabl. XIV) (DURAND, 1983) :

- **Classe S1** : 60% des puits appartient à cette classe, notamment les eaux du puits de station 2 avec 100%. Ce sont des eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation ;

- **Classe S2** : elle ne représente que 40% du nombre total des points d'eau. Le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange. Cette eau est utilisable sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité ;

Tableau XIII. Classes de la sodicité des eaux de l'aquifère superficiel de l'Oued Metlili ;

Stations sodicité	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5	
	N.p		N.p	%	N.p	%	N.p	%	N.p	%
S1	3	75	4	100	0	0	3	60	2	67
S2	1	25	0	0	4	100	2	40	1	33

N.p : Nombre de puits

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaître dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigations (AYERS & WESTCOT, 1988 in DIB, 2009). Les cultures absorbent le sodium en même temps que l'eau, et celui-ci se concentre dans les feuilles, tandis que l'eau s'échappe par transpiration. Il peut en résulter une toxicité si l'accumulation du sodium atteint une concentration, dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques en sont les brûlures et le roussissement du feuillage, ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Souvent, la toxicité par le sodium se modifie et s'atténue en présence du calcium (DIB, 2009).

2.7.3 Classification des eaux d'irrigation

Nous avons utilisé la classification de RIVERSIDE modifiée par DURAND (1983) Pour s'adapter aux régions du Maghreb, en ajoutant une cinquième classe de salinité C5. Le Diagramme de ce dernier utilise les valeurs du S.A.R. en combinaison avec la conductivité Électrique de l'eau. Il est constitué par des classes qui permettent la détermination de la Qualité des eaux pour l'irrigation. Selon GOUAIDIA (2008), elle est très utile et fiable pour caractériser une eau D'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de Sodisation. Elle donne une vision sur l'état actuel de ces caractéristiques mais ne permet pas D'anticiper sur le devenir de cette eau. Les diagrammes de RIVERSIDE (Fig.32;33;34) parallèlement à la détermination Du risque de l'alcalinisation permet de donner la classification des eaux d'irrigation en Fonction des

paramètres mesurés de la C.E. et du S.A.R. Ils nous ont permis de détecter six Classes d'eau dans la vallée du Metlili, comme suit (Tabl. XV) :

1- Classe C3-S1 : cette classe renferme des eaux de forte salinité avec un danger d'alcalinisation faible. Elle ne représente que trois puits avec un pourcentage de 15% des puits ;

2- Classe C4-S1: elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d'alcalinisation faible, avec 35 % des points des eaux analysées ;

3- Classe C4-S2: elle représente les eaux de très forte salinité avec un danger d'alcalinisation moyen. Elle représente un seul puits seulement de la station 2 avec 5 % des puits ;

4- Classe C5-S1: elle renferme des eaux d'une salinité excessive avec un danger d'alcalinisation faible. Elle représente un seul puits, soit 5 % de l'ensemble des puits ;

5- Classe C5-S2: elle renferme des eaux d'une salinité excessive avec un danger d'alcalinisation moyen, d'un pourcentage de 40% ;

Tableau XIV. Classes des eaux de l'aquifère superficielle de l'Oued Metlili

	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5	
	N.p	%	N.p	%	N.p	%	N.p	%	N.p	%
C3-S1	3	75	0	0	0	0	0	0	0	0
C4-S1	0	0	2	50	0	0	3	60	2	67
C4-S2	0	0	1	25	0	0	0	0	0	0
C5-S1	0	0	1	25	0	0	0	0	0	0
C5-S2	1	25	2	50	4	100	2	40	1	33

N.p : Nombre de puits

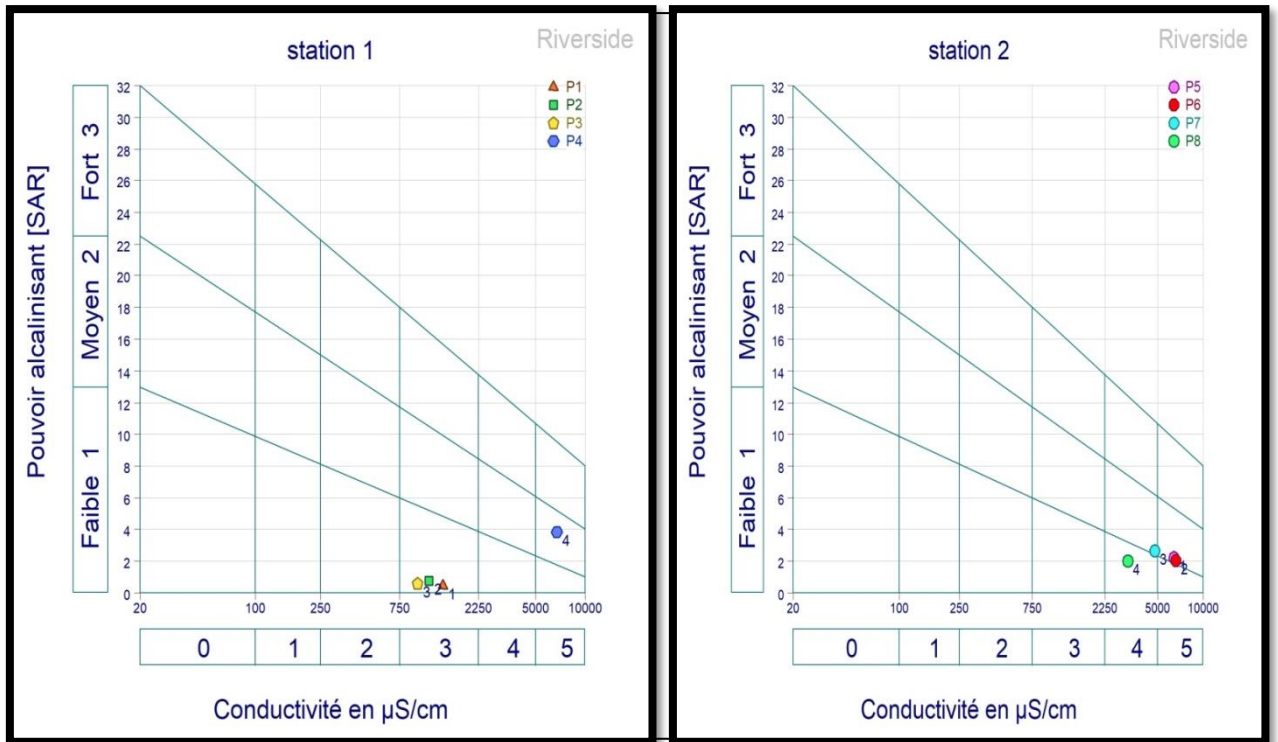


Figure 43. Qualité des eaux d’irrigation dans la station 1 et 2 en fonction de la C.E et du S.A.R

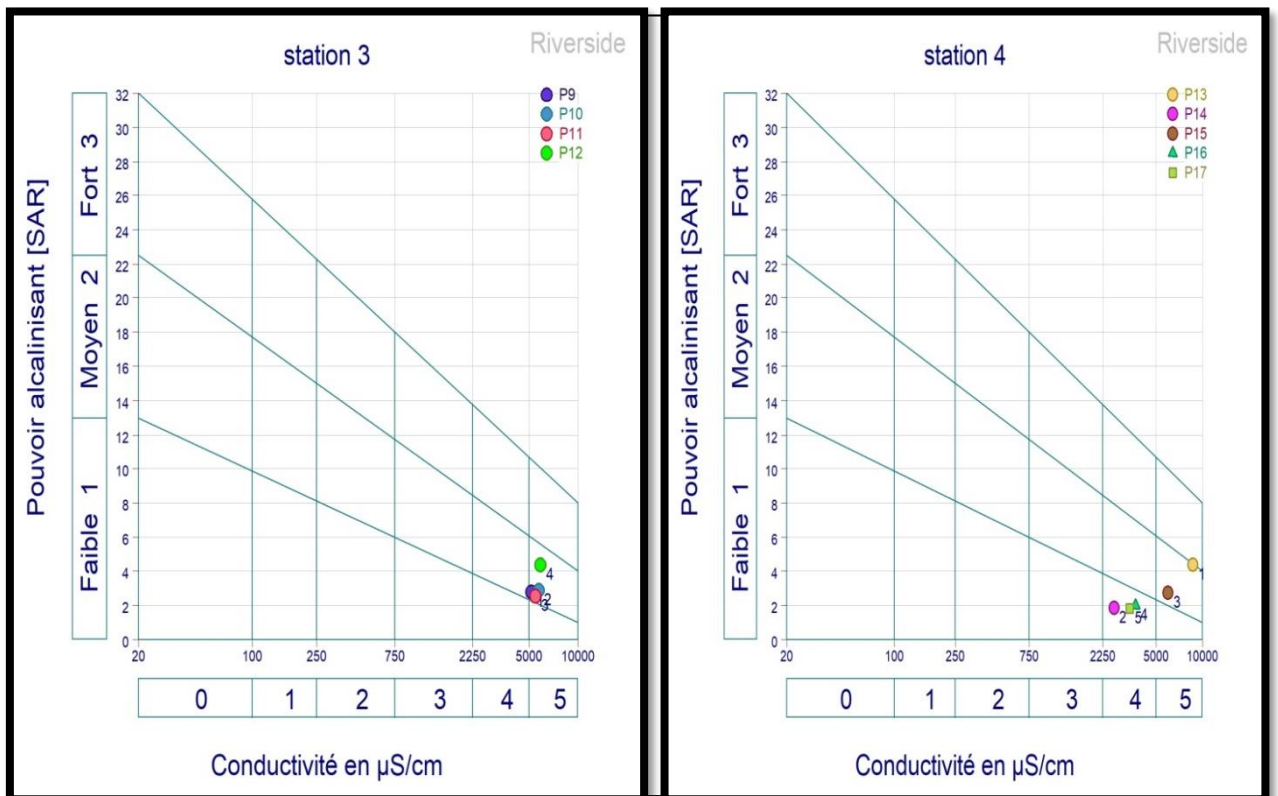


Figure 43. Qualité des eaux d'irrigation dans la station 3et 4en fonction de la C.E et du S.A.R

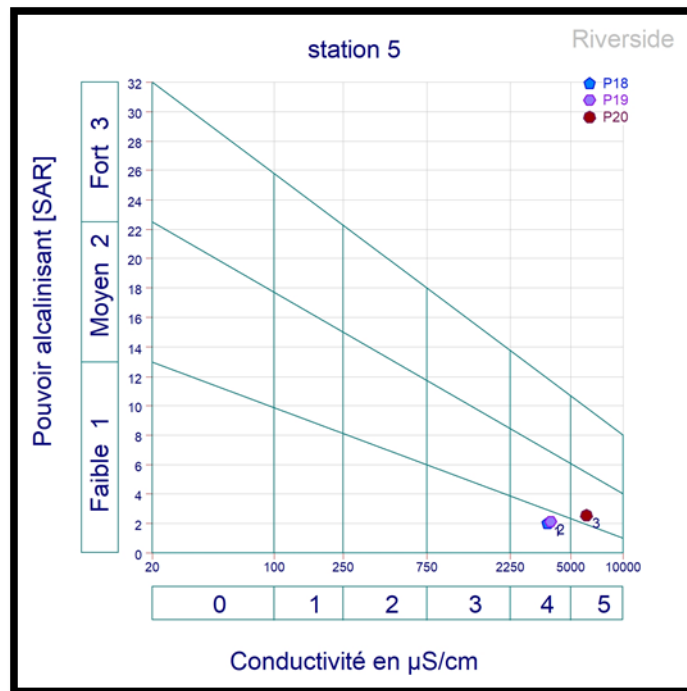


Figure 45. Qualité des eaux d'irrigation dans la station 5 en fonction de la C.E et du S.A.R

Conclusion

Notre travail de recherche sur les variations spatiales de la salinité des eaux de la nappe phréatique de l'Oued Metlili nous ramène à faire plusieurs constatations et recommandations

Au terme de cette étude, nous constatons que les eaux de la nappe superficielle de l'Oued Metlili sont soumises à une contamination agro-urbaine favorisant la salinisation des eaux des puits par l'agriculture, les fosses septiques et les rejets des eaux usées. Ces dernières sont utilisées pour l'irrigation et comme eau potable sans contrôle de sa qualité par les services concernés, nécessitant des suivis et des études plus approfondies.

La caractérisation spatiale de la qualité hydro-chimique des eaux de la nappe superficielle pendant la période des hautes eaux a permis de constater des variations dans les paramètres étudiés.

Les niveaux statiques de la nappe montrent un risque de remontée potentiel vers l'aval de l'Oued Metlili qu'il faut prendre avec prudence. L'écoulement de l'amont vers l'aval de l'Oued, de direction Sud-Ouest vers le Nord-Ouest favorise le déplacement des sels et des polluants. La salinité des eaux devient selon ce sens très élevée en centre et aval, le lieu de déversement des eaux usées et plus activité agricole, Le faciès des eaux est variable, présentant une dominance dans certains puits d'éléments, comme les chlorures, les sulfates, le sodium, le calcium et le magnésium, d'origine naturelle, géologique et anthropique agro-urbaine, dont le chlorure et le sodium sont classés toxiques. Les chlorures et les sulfates peuvent être le résultat d'altération minérale et d'activité anthropique

La classification des eaux indique qu'ils sont de qualité médiocre pour l'irrigation, notamment en centre et aval de l'Oued, présentant un risque pour la salinisation et l'alcalinisation des sols. Les eaux de la nappe sont classées polluées dans le oued et non potables par rapport aux normes de l'O.M.S.

Notre étude montre une dégradation des ressources hydriques souterraines par les activités agricole et urbaine dans oued Metlili, qu'il faut prendre en charge rapidement. Il ressort qu'une réglementation d'utilisation des eaux est primordiale, et d'autres aménagements sont nécessaires dans l'oued. Interdire l'utilisation des fosses septiques dans les zones raccordées au réseau d'assainissement. Pour prendre en charge rapidement ce problème, un ensemble de mesures s'avèrent nécessaires à savoir :

- ✓ Organiser des campagnes de sensibilisation sur les dangers de la pollution de l'eau et ses effets l'environnement agro-urbain
- ✓ La mise en place d'un dispositif de surveillance du niveau statique et de la qualité des eaux de cette nappe par l'A.D.E, l'A.N.R.H ou par l'O.N.A pour trouver les solutions adéquates de lutte contre la remontée de ces eaux et leurs salinisations et pollutions.
- ✓ la nécessité de protéger les ressources en eaux souterraines Service de développement durable de la vallée de Metlili.
- ✓ D'autres recherches seront indispensables dans la région pour contrôler l'évolution de la salinité et étudier les impacts agricoles, environnementaux et socio-économiques.
- ✓ Choisir des espèces végétales adaptées aux conditions climatiques de nos régions.

Enfin, ce travail de recherche reste une contribution dans l'étude de la salinité des eaux de la nappe phréatique de l'Oued Metlili. Le développement de cet axe de recherche est recommandé pour assurer un meilleur diagnostic des problèmes liés aux conditions hydriques. Les résultats obtenus peuvent contribuer à évaluer les niveaux des problèmes posés et proposer les solutions adéquates. Pour cela, il est impératif de promouvoir la recherche scientifique en aménagement hydraulique dans une perspective de développement durable dans l'oued Metlili.

Références bibliographiques

- 1- **A.N.R.H., 2003.** Note relative à l'étude de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab. Agence national des ressources hydrauliques direction régionale sud-Ouargla. 11p.
- 2- **A.N.R.H., 2005.** Note relative aux ressources en eaux souterraines de la Wilaya de Ghardaïa, Rapport de l'Agence national des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 19 p.
- 3- **A.N.R.H., 2007.** Notes relatives sur les ressources en eau de la wilaya de Ghardaïa, Agence national des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla. 4p.
- 4- **A.N.R.H., 2008.** Crue de Ghardaïa, Agence national des ressources Hydrauliques direction régionale sud-Ouargla. 9p.
- 5- **A.N.R.H., 2010.** Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, Agence national des ressources hydrauliques direction régionale sud-Ouargla, 13p.
- 6- **Abdelbaki C. et Boukli Hacene F., (2007).** Etude du phénomène de dégradation des Eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2. Pp 257 – 263.
- 7- **ACHOUR M. (2003) :** étude hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée de metlili (ghardaïa) 36p.
- 8- **ACHOUR M. (2014) :** Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride - cas la Vallée de M'Zab (Ghardaïa, Algérie), mémoire Magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 126p.
- 9- **Agence National des Ressources Hydrique (ANRH), (2010).** Note de synthèse sur Les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaia, rapport de l'Agence national ressource hydrique, Ouargla, p10.
- 10- **AÏT BOUGHROUS A., 2007.** Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse de doct. Sciences et Techniques des eaux. Hydrobiologie souterraine. Université Cadi Ayyad Marrakech. 207p

- 11- Aka N., Bamba S.B., Soro G., Soro N., (2013).** Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Cote d'Ivoire), Larhyss Journal, N°16, PP : 31-52.
- 12- BENHEDID H, 2014.** Étude de l'impact des eaux usées sur la variabilité de la pollution des aquifères superficiels à Oued M'Zab, Mémoire de Magistère.
- 13- BENZAYET B, 2010.** Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de Oued Labiod. MémIng. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. Alger. 78p
- 14- Bourhane, A. (2009).** Discrimination de l'origine de la salinité des masses d'eau souterraine: Contexte hydrogéologique et méthodes d'étude. Master 2 "hydrogéologie, sol et environnement". Université d'Avignon et des pays du Vaucluse. 108p.
- 15- BOUTELLI MH., 2011.** Salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkhah de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement. Mém magister. Université de KasdiMerbah- Ouargla. 90p
- 16- BOUZIANI M, 2000.** L'eau, de la pénurie maladies, Ed, IBN-KHOLDON, ORON, p 247
- 17- BOUZIANI, M. 2000.** L'eau de la pénurie aux maladies. Ed. IbnKhaldoun Oran. 117p.
- 18- Bureau P, Cointepas JP, Roederer P, Gilbert J.** Tolérance à l'eau salée de quelques cultures pratiquées en Tunisie. 1959; S.S.E.P.H, Rép,Tunis ES 16.
- 19- CASTANY G., 1982.** Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Ed. Dunod. Paris, 236p
- 20 - Cointepas JP.** Compte rendu concernant la parcelle d'essai de Ksar Rhilane. 1960 ; S.S.E.P.H., Rép. Tunis., ES 30.
- 21- DADDI BOUHOUN M., 1997.** Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse Magister, ElHarrach, I.N.A., 180p.
- 22- Daoudi A, Lejars C, Benouniche N. 2017.** La gouvernance de l'eau souterraine dans le Sahara algérien : enjeux, cadre légal et pratiques locales. Cah. Agric. 26: 35004.

- 23- DEBIECHE T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. (Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat. Univ. FRANCHE-COMTE, Spécialité de Sciences de la Terre (Hydrogéologie et Environnement), 199 p.
- 24- DE VILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C., 2005.** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement. 16p
- 25- Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., (2010).** La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15- 22
- 26- DIB I, 2009.** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien). Mém magister. Université Hadj Lakhdar Batna. 127 p
- 27- DJIDEL M., 2008.** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse doct. Université de BadjiMoukhtar Annaba. 164p
- 28- DURAND J.H., 1983.** Les sols irrigables : Étude pédologique. Presse Universitaire de France. Collection. Ed. ACCT et CILF. Paris. 339p
- 29- Fakhil lanjri A., Brigui J., El Cadi A., Khaddor M., Salmoune F., (2014).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger, Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 5, N° S1, PP : 2230- 2235
- 30- Forapulse, (2017).** Guide sur les divers types de puits et de forages, Société Forapulse Spécialiste en régénération de forages. <https://www.forapulse.com/guide-types-de-puits-et-de-forages/>
- 31- GOUAIDIA L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algerien. Thèse doct. Université de BadjiMoukhtar Annaba. 130p

- 32- <https://docplayer.fr/12618737-Methodologie-de-diagnostic-de-l-origine-de-la-salinite-des-masses-d-eau.html>
- 33- **I.S.O., 1984.** Qualité de l'eau. NA 1653, ISO 6058. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 4p.
- 34- **I.S.O., 1986.** Qualité de l'eau. NA 1848, ISO 6332. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 3p.
- 35- **I.S.O., 1989.** Qualité de l'eau. NA752, ISO 5813. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 5 p.
- 36- **I.S.O., 1993.** Qualité de l'eau. NA 2364, ISO 9964/3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 20 p.
- 37- **IDDER T. 2007.** Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse vol. 18, n° 3. pp161-167
- 38- **IPTRID.** Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. 2006 ; 12p. [14] Simonneau P. Les phénomènes temporaires de salinisation des sols irrigués en Algérie et au Sahara. Ann. Agron 1961; 12 (6).
- 39- **ISO 7899, 2000.** Qualité de l'eau- Recherché et dénombrement des entérocoques intestinaux
- 40- **ISO 9308, 1990.**Qualité de l'eau –Détermination des bactéries coliformes.
- 41- **ISO 9308, 2000.** Qualité de l'eau –Détermination des Escherichia coli.
- 42- **ISO, 1989.**Qualité de l'eau, NA 752, ISO 5813. Ed .Inapi et diffusion, Alger.
- 43- **ISO, 1993.** Qualité de l'eau, NA 2364, ISO 9964/3, ed, Inapi, Edition et diffusion, Alger.
- 44- **J.O.R.A., 1983.** Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983, portant code des eaux. Journal officiel de la république algérienne N° 30. 23p.
- 45- **J.O.R.A., 2006.**Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal officiel de la république algérienne N° 26. 23p.

- 46- J.O.R.A., 2011.**Décret exécutif n°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel de la république algérienne N°18. 34p
- 47- J.O.U.E., 2006.**Directive n° 2006/118/CE du 12/12/06 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration. J.O.U.E. n° L 372.
- 48- KHADRAOUI et TALEB ,2008.** Qualité des eaux dans le sud algérienne, Ed KHYAM, p239
- 49-KHADRAOUI, 2015.**Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien p1
- 50- M. daddi bouhoun,** Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Th. Doc., Université BADJI Mokhtar, Annaba, 2010.
- 51- MARGAT,J.,1990 .** Les eaux souterraines dans le monde, Département en eau,P1
- 52- Mebarki A .1982** le bassin du kebir ,ressources en eaux et aménagement en algérie,thèse doctorat 3éme cycle,université de Nancy II, p303.
- 53- ONM Ghardaïa, 2021.** Données climatiques de la région de Ghardaïa, Ed, Office national de Météo, Ghardaïa
- 54- REMINI B, OULED BELKHIR,2019 .**LE SYSTEME ANCESTRAL DE PARTAGE DES EAUX DE CRUES DE L'OASIS DE METLILI (ALGERIE) : UN PATRIMOINE HYDRAULIQUE OUBLIE
- 55- RODIER J, BAZIN C, BROUTIN J, CHAMBON P, CHAMPSAUR H, RODIL, 2005.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8ème édition. Dunod, Paris, p 1383-1384.
- 56- Simonneau P.** Les phénomènes temporaires de salinisation des sols irrigués en Algérie et au Sahara. Ann. Agron 1961; 12 (6).
- 57- these benchikh narjes.** ETUDE DES RELATIONS HYDRODYNAMIQUES ENTRE LA NAPPE PROFONDE DE SFAX ET LES SYSTEMES AQUIFERES MERIDIONAUX (Menzel Habib et Gabès Nord): ORIGINE(S) ET MECANISMES DE MINERALISATION DES EAUX SOUTERRAINES (2013) p 161

58- Valles V, Bourgeat F, Guiresse M. Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés. Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Cah ORSTOM sér Pédol vol XXIV no 2 1988; 115-122.

Annexes

Annexe I. Classification des eaux d'après leur pH (REFEA, 2003)

pH < 5	Acidité forte ; présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux Naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée ; majorité des eaux de surface
5.5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte

Annexe 2. Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité (DIB, 2009).

Conductivité électrique à 25°C (µs/cm)	Degrés de minéralisation
<45	Très faible
450-750	Faible
750-1500	Moyen
1500-2300	Moyennement élevé
2300-3000	Elevé
>3000	Très élevé

Annexe 3. les fiche de Enquette

Localitisation des sites					
	(L.A) localité agricole	(L.D) localité domestique	(L. A.D) localité agrodomestique	(L.C) localité commerciales	(L.I) localité et industrielles
NON	0	0	0	0	0
OUI	1	1	1	1	1

Mode d'utilisation						
	(U.B) boisson	(U.I) irrigation	(U.L)lavage	(U.I.L) irrigation et lavage	(U.I.B.L) irrigation, boisson et lavage	(N.F) non fonctionnel
NON	0	0	0	0	0	0
OUI	1	1	1	1	1	1

Mode de collecte des eaux usées				
	(R.A) réseau d'assainissemen	(FS) fosse septique	(T)latrine	(P.A) pas d'assainissemen
NON	0	0	0	0
OUI	1	1	1	1

Risqué de salinisation			
	Amendements	Sans amendements	Organo-minérales
NON	0	0	0
OUI	1	1	1

ملخص

دراسة التباين المكاني لملوحة المياه الجوفية ببلدية متليلي (ولاية غرداية)

ركز عملنا على دراسة الاختلافات المكانية للملوحة ومستويات المياه في طبقة المياه الجوفية السطحية لوادي متليلي ، من أجل تحديد مدى ملاءمتها للاستخدام ومشاكل التدهور المطروحة. يتكون منهجنا المنهجي المعتمد من إجراء دراسة مكانية لتنوع التلوث من خلال مسح إدارة المياه ، وكذلك تصنيف جودة المياه ومستوياتها الثابتة.

ظهر النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها في سياق هذا البحث أن مياه الخزان الجوفي تنطوي على مخاطر محتملة لارتفاع مجرى نهر واد متليلي ، اعتمادًا على اتجاه التدفق. تتنوع سطوح المياه ، مما يؤدي إلى توازن كبريتات المغنيسيوم كبريتات الكالسيوم والصدويوم السيادة. تصنف المياه الجوفية على أنها ملوثة في الوادي وغير صالحة للشرب وفقًا لمعايير O.M.S. يشير تصنيف المياه إلى أن هذه المياه ذات نوعية رديئة للري ، مما يشكل مخاطر تملح وقلونة التربة. تظهر هذه النتائج تدهور موارد المياه الجوفية من خلال الأنشطة الزراعية والحضرية الكلمات المفتاحية لتباين المكاني ، منسوب المياه ، الملوحة ، واد متليلي

Résumé

Etude de la variation spatiale de la salinité des eaux phréatique de la commune de METLILI (Wilaya de GHARDAIA)

Notre travail a porté sur l'étude des variations spatiales de la salinisation et des niveaux des eaux de l'aquifère superficiel de l'Oued Metlili , afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation et les problèmes de dégradations posés. Notre approche méthodologique adoptée consiste de faire une étude spatiale de la variabilité de la pollution par une enquête sur la gestion des eaux, ainsi que la classification de la qualité des eaux et leurs niveaux statiques .

Les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette recherche montrent que les eaux de la nappe présentent des risques de remontée potentiels vers l'aval de l'Oued Metlili , suivant le sens d'écoulement. Le faciès des eaux est variable, présentant une dominance magnésienne sulfatée équilibrée sulfatée calcique et sodique. Les eaux de la nappe sont classées polluées dans la vallée et non potables par rapport aux normes de l'O.M.S. La classification des eaux indique que ces eaux sont de qualité médiocre pour l'irrigation, présentant des risques de salinisation et d'alcalinisation des sols.

Ces résultats montrent une dégradation des ressources hydriques souterraines par les activités agricole et urbaine

Mots clés : variation spatiale, nappe phréatique, salinité, Oued Metlili

Summary

Study of the spatial variation of the salinity of the phreatic water of the commune of METLILI (Wilaya of GHARDAIA)

Our work has focused on the study of spatial variations of salinization and water levels of the surface aquifer of Wadi Metlili, in order to determine their usability and the problems of degradation posed. Our methodological approach adopted is to make a spatial study of the variability of : pollution by a survey of water management, as well as the classification of water quality and their static levels.

The main results obtained in the framework of this research show that the waters of the aquifer present potential risks of rise towards the downstream of the Oued Metlili, following the direction of flow. The facies of the water is variable, presenting a sulphated magnesium dominance balanced sulphated calcic and sodium. The waters of the aquifer are classified as polluted in the valley and not drinkable in relation to the standards of the O.M.S. The classification of waters indicates that these waters are of poor quality for irrigation, presenting risks of salinization and alkalization of soils.

These results show a degradation of the underground water resources by the agricultural and urban activities

Keywords : spatial variation, water table, salinity, Oued Metlili .