



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et sciences de la nature
et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Réf. :

Présenté et soutenu par :
BEN AICHA Ibtissem

Le : 09 juillet 2019

Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation de la région de Tolga

Jury :

Mme. Nassima Benameur	Dr	Université de Biskra	Rapporteur
Mme Khadidja BOUKHAROUBA	Pr	Université de Biskra	Président
Mme Salma BENCHARIF	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

Remerciements

Je remercie tout d'abord " Allah" de m'avoir donné le courage d'entamer et de finir ce mémoire dans de bonnes conditions.

Je remercie vivement mon encadreur, Madame BENAMER Nassima, d'avoir dirigé ce travail avec beaucoup de compétence. Merci pour votre confiance et votre soutien qui m'ont été le souffle permanent durant toute l'année de réalisation de ce mémoire.

Je remercie aussi mon Co-encadreur, Mme SAADI Hassina, pour son aide précieuse pour le bon déroulement de ce travail.

Je remercie également, Madame TABOUCHE Nora, la directrice du centre de recherche scientifique et technique sur les régions arides CRSTRA qui m'a offert cette opportunité d'effectuer mon stage.

Mes plus grands remerciements vont à l'équipe de CRSTRA particulièrement Dr. HECINI Linda pour son soutien lors de mon stage, sans oublier Dr. RECHACHI Miled Zohra, Dr. KHERIFI Wahida et Mme BEKIRI Fedia pour leurs aides scientifiques, techniques et soutien moral.

Je remercie infiniment monsieur OTMANE Tarik, pour ses encouragements et précieuses aides.

Je remercie vivement Dr MERIDJA Sabrina et le collègue MERIDJA Yaakoub pour leur soutien moral afin de continuer mon parcours universitaire.

Je remercie Monsieur ALI pour son accompagnement dans mes prélèvements. Sans oublier le Dr CHEDLI Mohammed Lamine, et Dr ZIDI Mohamed, Dr KOLEIFouzia pour leur aides et encouragements.

Je remercie aussi mes meilleures amies SALHI Ines, AOURAR Hana et HADID Amina pour leur soutien moral.

Enfin, mes remerciements vont aussi à tous les amis (es) et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire aux êtres, qui me sont les plus chers, je cite :

Ma très chère mère

Pour son amour, son support moral et physique, ses prières et ses tendresses pour m'avoir
donnée la force de continuer et obtenir ce mémoire;

Ma très chère grand-mère

Que dieu la protège pour moi ;

Mon très cher oncle

Pour ses encouragements, son soutien moral qui m'a précieusement aidée pour continuer mes
études ;

Mes deux grandes familles ben Aicha et Bouaziz ;

Mes sœurs, mes frères ;

Ma très chère cousine BOUAZIZ Wissem ;

Que dieu grand et puissant les bénisses et leurs accorde une très longue vie

Inchallah

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations	III
Introduction	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	3
1.1 L'irrigation en Algérie	3
1.2 L'irrigation dans la région de Biskra	4
1.3 Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	4
1.4. Les principales techniques d'irrigation	5
1.4.1 L'irrigation gravitaire ou l'irrigation de surface	5
1.4.2 L'irrigation par aspersion	6
1.4.3 L'irrigation localisée	6
1.4.4. L'irrigation à la goutte à goutte	6
1.5 Les nappes souterraines	6
1.5.1. La nappe phréatique	6
1.5.2. La nappe des sables	7
1.5.3 La nappe des calcaires	7
Chapitre 2 : Matériel et méthode	8
2.1 Cadre Géographique et climatique	8
2.1.1 Cadre géographique	8
2.1.1.1 Situation géographique	8
2.1.1.2 Population et socio économie	9
2.1.2 Cadre Climatique	10
2.1.2.1 Température	10
2.1.2.2 Précipitations	10
2.1.2.3 Humidité	11
2.1.2.4 Insolation	12
2.1.2.5 Vent	12
2.1.2.6 Evapotranspiration	12
2.2 Les analyse hydrochimique	13

2.2.1	Méthode d'échantillonnage.....	14
2.2.1.1	Repérage des points d'échantillonnage	14
2.2.1.2	Technique de prélèvement et conservation des échantillons	16
2.2.2	Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux	16
2.2.2.1	Paramètres physico-chimiques	16
a-	Potentiel en Hydrogène (pH).....	16
b-	Conductivité électrique (CE).....	17
2.2.2.2	hydrochimies des forages	18
a.	Les cations majeurs.....	18
b.	Les anions majeurs	20
2.3.	Outils de traitement des données	22
2.3.1	Diagramme de Piper	22
2.3.2	Diagramme de Schoeller-Berkaloff	23
2.3.3	Diagramme de Welcox	24
2.3.4	Diagramme de Riverside.....	24
2.3.5	Logiciel de l arc Gis	24
2.4	L'aptitude des eaux à l'irrigation.....	25
2.4.1	Sodium Adsorption Ratio (SAR).....	25
2.4.2	Evaluation du risque d'alcalinité	25
2.4.3	Evaluation du risque de salinité	26
2.4.4	Pourcentage de sodium	26
	Chapitre 3 : Résultats et discussion	28
3.1	Hydro chimique des forages	28
3.1.1	Paramètres physico-chimiques.....	28
3.1.1.1	Potentiel d'hydrogène (pH).....	30
3.1.1.2	Minéralisation.....	30
3.1.3.	Les cations majeurs	32
a.	Calcium (Ca ²⁺).....	32
b.	Magnésium (Mg ²⁺)	32
c.	La dureté	33
d.	sodium (Na ⁺).....	34
e.	potassium (K ⁺)	34
3.1.3	Les anions majeurs	35

a. Bicarbonate (HCO_3^-).....	35
b. Chlorure (Cl^-).....	35
d. nitrate (NO_3^-)	37
3.2 Classification hydrochimique des eaux souterraines.....	38
3.2.1 Classification des eaux souterraines selon PIPER.....	38
3.2.2 Classification des eaux souterraines selon Diagramme de Schoeler Berkaloff.....	39
3.3 L'aptitude des eaux à l'irrigation.....	40
3.3.1 Diagramme de Riversid	40
3.3.2 Diagramme de Welcox	40
3.3.3 Diagramme de Wilcox log	41
3.4. Les cartes des teneurs des éléments physicochimiques des eaux dans les forages	42
3.4.1 Conductivité.....	42
3.4.2. Calcium.....	42
3.4.3 Magnésium.....	42
3.4.4. Potassium	43
3.4.5. Sodium	43
3.5 Synthèse des résultats.....	44
Conclusion.....	45
Référence bibliographique	46
Annexe	
Résumé	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation (Source : Maynard et Hochmuth, 1997).

Tableau 2 : Les coordonnées de 14 points de prélèvement des eaux de forages si tu n'as pas de profondeur pas besoin de faire la colonne.

Tableau 3: normes de l'irrigation par Ayers et Westcot (1994).

Tableau 4: Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Bulletin FAO N° 29 ; 1976).

Tableau 5: L'échelle de la dureté (Sais et Touati , 2017).

Tableau 6 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure du sodium.

Tableau 7 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure du potassium.

Tableau 8 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure des sulfates.

Tableau 9 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure des nitrates.

Tableau 10: Classe d'alcalinité des eaux selon U.S.S.L (1954).

Tableau 11 : Classification de l'eau basée sur la concentration totale en sels.

Tableau 12 : classification de Wilcox.

Tableau 13: Tableau récapitulatif des analyses paramètres physico-chimiques des eaux de forages.

Tableau 14 : Classification de l'eau basée sur la concentration totale en sels, selon Ayers et Westcot (1976).

Tableau 15 : Dureté des eaux de 14 forages.

Tableau 16 : Formule et faciès chimique des eaux des forages.

Tableau 17 : classification des eaux des forages Wilcox.

Liste des figures

- Figure 1** : Situation géographique de la zone de Tolga.
- Figure 2** : Température moyennes mensuelles de la période de (2007 à 2017).
- Figure 3**:Précipitations moyennes mensuelles de la période (2007 à 2017).
- Figure 4** : Humidité moyenne mensuelle de la période (2007 à2017).
- Figure 5** : Insolation moyenne mensuelle de la période (2007à 2017).
- Figure 6** : Vitesse du vent moyen mensuel de la période (2007 à 2017).
- Figure 7** : L'évapotranspiration mensuelle moyenne de la période (2007 à 2017).
- Figure 8** : Répartition des points d'eaux dans la région de Biskra (ANRH, 2011).
- Figure 9**: Positionnement des points d'eaux dans la zone d'étude (Tolga).
- Figure 10** : Courbe d'étalonnage du sodium.
- Figure 11** : Courbe d'étalonnage du potassium.
- Figure 12** : Courbe d'étalonnage des sulfates.
- Figure 13**: Courbe d'étalonnage des nitrates.
- Figure 14** : Diagrammes de Piper vierges.
- Figure 15** : Diagramme de Piper et de Schoeller-Berkaloff vierges.
- Figure 16** : Histogrammes de conductivités Potentiel d'hydrogène.
- Figure 17** : Histogrammes des conductivités.
- Figure 18** : Histogrammes de Calcium de 14 forages.
- Figure 19** : Histogrammes de Magnésium de 14 forages.
- Figure 20** : Histogrammes de la dureté de 14 forages.
- Figure 21** : Histogrammes de sodium de 14 forages.
- Figure 22** : Histogrammes du potassium de 14 forages.
- Figure 23** : Histogrammes du Bicarbonate 14 forages
- Figure 24** : Histogrammes du Chlore de 14 forages.
- Figure 25** : Histogrammes de Le sulfate de 14forages.
- Figure 26** : Histogrammes du nitrate de14 forages.
- Figure 27** : Représentation graphique des eaux des forages sur le diagramme de PIPER.
- Figure 28** : Représentation graphique des eaux des forages selon Schoeler Berkaloff.
- Figure 29** : Diagramme de Riverside des eaux des forages.
- Figure 30** : Diagramme de Wilcox des eaux des forages.
- Figure 31** : Diagramme de Wilcox log des eaux des forages.

Liste des abréviations

ANRH : Agence National des Ressources Hydriques.

CIID : Commission Internationale des Irrigations et du Drainage.

CRSTRA : Centre De Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides.

CI : Continental Intercalaire.

EDTA : Éthylène Diamine Tétra Acétique.

ETP :Evapo Transpiration Potentielle.

FAO : Food Alimentation Organisation.

FNDRA : Fonds National de Développement Rural et Agricole.

GPI : Grands Périmètres Irrigués.

GPS : Global Positioning System.

PMH : Petite et Moyenne Hydraulique.

PVC :Poly Chlorure de Vinyle.

OPI : Office de Périmètres Irrigués.

MRE :Ministère des Ressources en Eau.

MNT : Modèles Numériques de Terrain.

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

Introduction

L'irrigation est l'application de l'eau au sol, par ce moyen on peut réaliser les conditions les plus favorables pour la croissance des plantes. Depuis des siècles ou millénaires, des canaux d'irrigation ont été construits presque pour transporter l'eau. L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe en particulier dans les zones arides et semi-arides selon (El-Asslouj *et al.*, 2007).

Les ressources hydriques sont soumises à plusieurs contraintes, la rareté, l'irrégularité temporelle, la mauvaise répartition spatiale et la grande vulnérabilité à la sécheresse et à la pollution (Boukhari, 2008). La zone de Biskra ne fait pas l'exception avec ces ressources en eau, la pluviométrie faible, et son potentielle en superficie agricole.

L'altération naturelle de la qualité des eaux souterraines est la conséquence des facteurs de salinité. Tous ce qui défavorise et ralentit le drainage naturel en surface ou dans le sous-sol est un facteur de concentration des eaux. On cite les faibles pentes, les basses altitudes, les faibles perméabilités, l'évaporation, la nature lithologique du réservoir...etc.

L'approvisionnement en eau d'irrigation de bonne qualité devrait diminuer à l'avenir car le développement de nouveaux approvisionnements en eau ne suivra pas les besoins croissants en eau des industries et des municipalités.

La wilaya de Biskra présente des ressources en eau souterraines très importantes, représentées par les nappes des deux systèmes aquifères du Sahara Septentrional, le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire (Eress ,1972).

L'exploitation des eaux souterraines est la principale ressource pour l'alimentation en eau potable pour les habitants de la région de Biskra. En fait l'exploitation de deux barrages sur la région ne se fait que l'irrigation des cultures affirme (Bouchemal, 2001). Selon les statistiques de l'année 2015, elle compte approximativement 15151 forages. Parmi ces forages, 14144 forages sont destinés à l'irrigation des terres agricoles (Aaide, 2016).

Malgré ça, l'agriculture irriguée est confrontée au défi d'utiliser moins d'eau, souvent de moindre qualité, pour fournir des aliments et des fibres à une population en expansion. Certains de ces besoins futurs en eau peuvent être satisfaits en utilisant plus efficacement les réserves en eau disponibles, mais dans de nombreux cas, En outre l'augmentation des niveaux la salinité (teneur en sel total) et la sodicité (teneur en sodium) de ces eaux seront supérieures

à celles de la source d'eau initiale en raison de l'ajout direct de sels à l'eau et de l'évapoconcentration qui se produit lorsque l'eau est utilisée. Bien que l'utilisation de ces eaux ne nécessite que des modifications mineures des stratégies d'irrigation et agronomiques existantes, dans la plupart des cas, certaines situations nécessiteront des modifications majeures des cultures, de la méthode d'application de l'eau et de l'utilisation des amendements de sol.

Ceci a fait que dans certains cas l'irrigation n'a pas été ce complément nécessaire à l'amélioration de la production et on a pu constater bien au contraire, des baisses de rendements des cultures et parfois même la stérilisation progressive des sols voire des problèmes sanitaires. Ce constat doit inciter à plus de rigueur dans la gestion et le pilotage de l'irrigation. Il impose une règle à savoir : tout approvisionnement en eau destiné à l'irrigation doit faire l'objet non seulement du point quantitatif mais surtout d'une évaluation qualitative préalable constate (Bouaroudj ,2012).

L'objectif de ce travail est donc de prévenir et de résoudre, au niveau du champ du cultivateur de la région de Tolga wilaya de Biskra, les problèmes relatifs à la qualité de ces eaux d'irrigation, en présentant une analyse qualitative des problèmes pédologiques et agronomiques potentiels (salinité, sodicité et la perméabilité, etc.). Ceci prouve bien qu'une meilleure connaissance de la qualité d'eau destinée à l'irrigation doit être préconisée dans le but d'assurer une bonne relation sol-eau-plante- atmosphère.

Nous nous sommes limités dans cette étude à déterminer la qualité physico-chimique en référence aux normes FAO(1976) et Ayers et Westcot (1994) d'irrigation des eaux de 14 forages de la région de Tolga (Dkhila, Megtofa 1, Megtofa 2 Ain El'Hamia, Boutraifa ,Mekhref, Bouaiche 1,ZaouiaEl'Othmania, Bouaiche 2 , DraeBetikh 1 , DraeBetikh 2, Djelada , Ferfar 1, Ferfar 2).

D'autre part d'évaluer et classier la qualité hydro-chimique de ces eaux.

La démarche adoptée pour la réalisation de cette étude a été la suivante : dans un premier temps les investigations bibliographiques nous ont permis de définir l'irrigation en Algérie et plus précisément à Biskra ainsi que les normes de qualité d'eaux destinée à l'irrigation ; à l'addition de différents types des nappes. Dans un deuxième temps nous exposerons la méthodologie préconisée par la FAO (1976) Normes de valeur maximale admissible fixée par Ayers et Westcot 1994). Ainsi que l'analyse par les deux diagrammes de Piper et Schoelleret Berkloff pour déterminer le faciès chimique des eaux et l'évaluation et la classification de la qualité des eaux destinées à l'irrigation par wilcox, Riverside. Enfin la conclusion à tirer et les recommandations à proposer seront fonction des résultats obtenus.

Chapitre 1
Synthèse
bibliographique

1.1 L'irrigation en Algérie

L'irrigation est une application artificielle d'eau au sol, localisée dans le temps et l'espace. Elle permet de satisfaire les besoins en eau d'une culture à un moment précis de son cycle végétatif affirme FAO (2006).

D'après les sources, le potentiel en terres irrigables s'établirait entre un million environ et plus de 2.3 millions d'hectare. Ces estimations élevées ne semblent cependant pas tenir compte des faibles ressources en eau. Si l'on considère les ressources en eau renouvelables, ce potentiel est estimé à environ 0.5 million d'hectare. Les superficies irriguées se subdivisent en grands périmètres irrigués (GPI) et en petite et moyenne hydraulique (PMH).

Les GPI ont une superficie équipée de 149 860 ha environ. Ils peuvent être classés en deux catégories: les anciens périmètres hérités de la colonisation, où se pratique l'irrigation traditionnelle gravitaire (112 910 ha), et les périmètres récents réalisés après l'indépendance (36 950 ha). Sur ces 149 860 ha, seule une superficie de 100 300 ha est estimée irrigable, l'écart de 49 560 ha correspondant en grande partie aux zones abandonnées suite à la dégradation avancée des réseaux d'irrigation et/ou des sols (salinisation). Sur ces 100 300 ha irrigables, 33 763 ha seulement ont été effectivement.

L'irrigués en 2001, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations.

Les GPI utilisent principalement les eaux de surface régularisées par des barrages. La conjugaison de la faiblesse des volumes d'eau vendus, de la limitation du tarif de l'eau d'irrigation et de l'exiguïté des taux de recouvrement des factures d'eau a abouti à une situation financière catastrophique pour les Offices de périmètres irrigués (OPI) qui ne peuvent plus assurer normalement l'exploitation et l'entretien des réseaux d'irrigation. Cette situation entraîne la dégradation continue des équipements La superficie irriguée en PMH est évaluée par le Ministère des ressources en eau (MRE) à 363 508 ha. Ces aménagements sont constitués par des périmètres de taille très variable dont l'alimentation en eau est diversifiée

- Utilisation des eaux de forages: 160 143 ha
- Utilisation des eaux de puits: 176 610 ha
- Utilisation des eaux de sources: 8 967 ha
- Utilisation des eaux des retenues collinaires: 17 788 ha

Le secteur de la PMH est très dynamique et contribue pour une large part à l'approvisionnement en fruits et légumes. Il bénéficie de subventions d'investissement importantes (jusqu'à 80 %) octroyées par le fonds national de développement rural et agricole (FNDRA). Cependant, le développement de la PMH, qui utilise principalement les eaux souterraines, risque d'avoir des impacts négatifs sur les nappes dont la plupart est déjà surexploitée. La superficie irriguée par les eaux d'épandage des crues est de 56050 ha. (Banque mondiale, 1988).

1.2 L'irrigation dans la région de Biskra

La région des Zibans, c'est un laboratoire aéré dans la nature, qui présente des ressources en eau souterraines très importantes, représentées par les nappes des deux systèmes aquifères du Sahara septentrional le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire (Eress, 1972).

Notre région d'étude caractérisée par une forte éventualité phoenicicole avec près de 5 millions palmiers dattiers, et près de 10000 points d'eau (forage, nappes et sources) ainsi que deux barrages irrigant une surface de plus de 100 000 Hectare sous forme d'Oasis avec généralement une polyculture en étage (palmier dattier arboriculture et cultures herbacées ou maraîchères) ou sous forme de périmètres, irrigués et d'abri-serres plus spécialisés (palmiers dattiers ou céréales ou cultures maraîchères). Toutes ces potentialités composent un facteur certain de progrès et d'amélioration des conditions de vie des populations locales et de satisfaction alimentaire à l'échelle du pays. Malheureusement cet acquis est menacé par une gestion irrationnelle des facteurs de production et notamment l'eau et le sol entraînant la dégradation du milieu et la baisse de la qualité du sol, remettant en cause le développement durable de ces espaces cultivés. Le défi est donc de caractériser ces derniers, c'est-à-dire de décrire leur contexte topographique et géomorphologique, les systèmes de culture adoptés, les techniques culturales suivies, D'analyser la couverture édaphique et les eaux utilisées pour l'irrigation.

1.3 Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées. De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes

de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. L'exemple dans le tableau 1 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth, 1997).

Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sus cités.

Les normes ont pour objectif de :

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

Tableau 1 : Barème de qualité pour l'eau d'irrigation (Source: Maynard et Hochmuth, 1997)

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
-Salinité			
-Conductivité (mS/cm)	< 0.75	0.75-3.0	> 3
-Matières dissoutes totale	< 700	700-2000	>2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9 >	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

1.4. Les principales techniques d'irrigation

L'eau d'irrigation est distribuée au sol de diverses façons qui dépendent en partie du sol par ses propriétés et sa topographie, Généralement il ya trois grands types de techniques d'irrigation sont identifiés, nous les présentons ici tels que définis dans la littérature de l'irrigation.

1.4.1 L'irrigation gravitaire ou l'irrigation de surface

Regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la répartition de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre, par simple écoulement à la surface du sol.

L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins soit dans des sillons en terre (l'irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) (Brouwer *et al*, 1990).

1.4.2 L'irrigation par aspersion

Elle fait partie des techniques d'irrigation sous pression elle requiert obligatoirement une mise en pression préalable de l'eau. L'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimentés sous pression, choisis et disposés de façon à obtenir la répartition la plus uniforme possible de la pluviométrie (Pénadille, 1998). Dans la littérature l'efficacité en irrigation par aspersion se situe le plus souvent entre 55% et 85%, en fonction de la maîtrise technique des irrigants du contexte climatique et des équipements (Pénadille, 1998).

1.4.3 L'irrigation localisée

C'est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle. Elle est caractérisée par la mise en place sur la parcelle d'un réseau dense de canalisation (rampes) couvrant totalement la surface à irriguer l'apport de l'eau au voisinage de la plante; l'utilisation de faibles débits unitaires, et de faibles doses avec une fréquence d'apport élevée l'efficacité de l'irrigation localisée est théoriquement excellente, avec une efficacité d'irrigation pouvant atteindre 90 à 95% (Pénadille, 1998).

D'après le même auteur, sur le plan international, différents termes sont utilisés pour désigner cette technique d'irrigation (drip, trickle ou micro-irrigation). La micro-irrigation est le terme choisi par la CIID (Téhéran 1976) en référence aux débits utilisés qui, contrairement à l'aspersion et à l'irrigation de surface, sont très faibles.

1.4.4 L'irrigation à la goutte à goutte

C'est un terme utilisé par certains auteurs en référence à l'utilisation d'un type particulier de distributeur le goutteur. Selon le FAO (Brouwer *et al*, 1990).

L'irrigation à la goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations.

1.5 Les nappes souterraines

1.5.1. La nappe phréatique

Cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, elle est alimentée essentiellement par les eaux des précipitations, d'infiltration des Oueds et des eaux d'irrigation. Cette nappe est trop sollicitée dans la ville de Biskra, elle est utilisée pour l'alimentation en eau potable. Sa profondeur est comprise entre 20m et 150 m, avec un débit oscillant entre 05 l/s et 20 l/s et une qualité chimique qui se situe de bonne à mauvaise, selon les zones (Sdre, 2010).

1.5.2. La nappe des sables

L'aquifère est constituée par une alternance de niveaux d'argiles, sables, et cailloutis d'âge Mio-pliocène, elle couvre une grande superficie de la wilaya. La profondeur de cette nappe varie de 100 m à 300 m, avec un débit moyen de 15 l/s (Sdre, 2010). A l'Est de la wilaya de Biskra, la nappe se subdivise en deux aquifères séparés par une épaisse couche d'argile et d'argile sableuse, l'un profond désigné sous le nom du pontien et l'autre moyennement profond qui est la nappe du Mio-Pliocène, connue dans cette région.

1.5.3 La nappe des calcaires

Cette nappe est constituée essentiellement de calcaires fissurés, d'âge Eocène inférieur, elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Zibans, cette dernière est appelée « Nappe de Tolga ». La profondeur de cette nappe varie de 100 m dans la zone de Tolga, à 500 m dans la zone de Lioua, le débit de cette nappe varie de 10 l/s jusqu'à 30 l/s, jaillissant dans les zones d'Ourlal et Lioua. (Sdre, 2010).

Au Nord et au Nord Est de la wilaya de Biskra, cette nappe est représentée par un aquifère très important qui est le Maestrichtien et le Campanien, d'une profondeur compris entre 200m et 900 m et d'une bonne qualité chimique d'eau. (Sdre, 2010)

Conclusion

Quel que soit l'origine de l'eau (cours d'eau naturel, nappe souterraine, eau de barrage) et son mode de transport (canaux, conduite sous pression), le problème qui se pose est comment répartir cette eau sur le sol de façon que les plantes tirent le maximum de profit. Cependant le moyen de répartition de l'eau sur le sol ne doit pas toujours répondre à ce critère d'une production maximale, donc on doit essentiellement envisager un choix minutieusement détaillé du mode d'irrigation et de la technique d'arrosage et compatibilité avec les contraintes de la région d'étude.

Chapitre 2

Matériel et méthodes

2.1 Cadre Géographique et climatique

Selon Ozenda (1991), les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et sec.

Le climat des régions arides est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température. Le climat de la région de Biskra est un climat saharien se caractérise par un faible taux de précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif.

Dans ce chapitre, on va étudier différents paramètres climatologiques caractérisant la région d'étude. Ainsi que l'illustration des méthodes d'analyses physicochimique des 14 points d'eaux d'irrigation de la zone d'étude Tolga, ainsi que les moyens de mesure de l'aptitude et classification de ces derniers.

2.1.1 Cadre géographique

2.1.1.1 Situation géographique

La wilaya de Biskra est située au Sud-Est du pays, et plus exactement au sud des Aurès qui constituent sa limite naturelle au Nord. Elle s'étend au sud est jusqu'à la zone des Chotts (Chott Melghir) et au sud-ouest jusqu'au commencement du grand erg oriental. D'une superficie de 22379.95 Km². avec une population de 758354 habitants (D.P.A.T., 2010).

Elle comporte 12 daïras et 33 communes, dont, la commune de Tolga qui est la perle de la datte Deglet Nour, se située entre 4°92' et 5°52' de latitude nord et entre 34°67' et 35°09' de longitude et est sur une superficie de 121400 hectares avec une population de 58000 habitants. Tolga est située à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Biskra.

- **Au Nord**, par les communes de Batna et M'doukala (wilaya de Batna).
- **A l'Est**, par la commune d'El Outaya (Daira d'El Outaya, Wilaya de Biskra)
- **Au Sud –Est**, par la commune d'El hadjeb (Daira de Biskra), Bouchagroune et Lichana (Dairade Tolga).
- **Au Sud**, par la commune de Lioua (Daira de Tolga).
- **Au Sud-Ouest**, par la commune de Bordj Ben Azzouz (Daira de Tolga), Foughala, Grous(Daira de Foughala) et Chaiba (Dairad'OuledDjellal, Wilaya de Biskra)
- **A l'Ouest**, par la commune de Zarzour et Ouled Slimane (Wilaya de M'Sila).

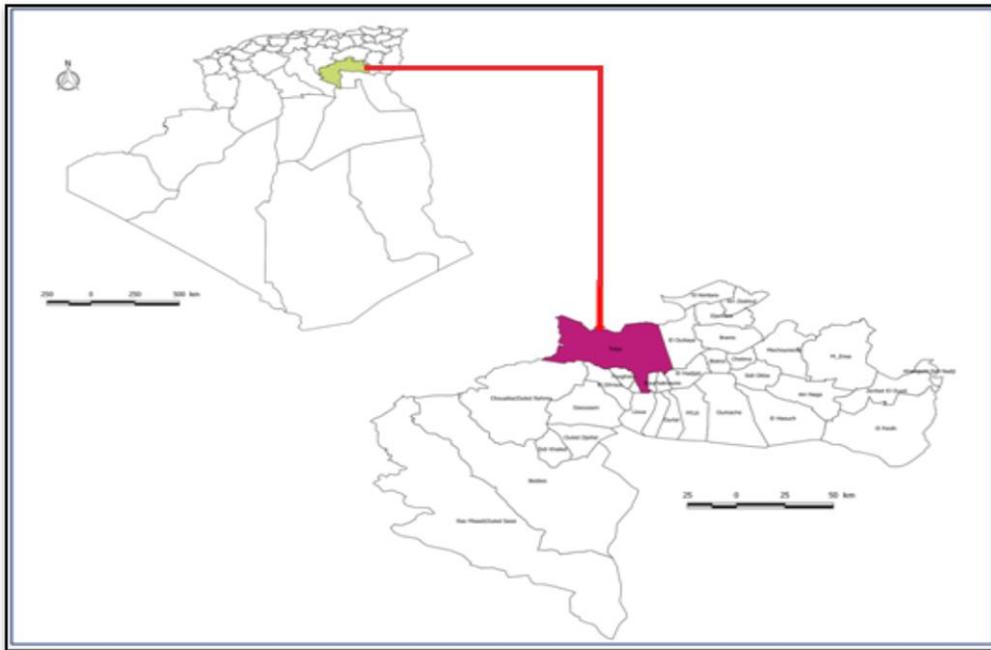


Figure 1 : Situation géographique de la zone de Tolga.

2 .1.1.2 Population et socio économie

La population de la wilaya de Biskra a passée de 589697 habitants après le recensement de 1998 à 758354 habitants en 2009. Dont la commune de Tolga à passer de 44690 habitants après le recensement de 1998 à 58000 habitants en 2009.

Le palmier dattier qui est le moteur de la vie économique, dans les oasis de Tolga, la superficie a évolué de 1741.67 hectares en 1999 à 2462.50 hectares en 2010 à raison de 72.083 hectares par années. Tolga est incontestablement le pôle agro-commercial le plus attractif et le plus dynamique sur toute la région du Zab Gharbi (Dubostet *al.*, 1998). En effet, la vitalité de cette commune découle d'un bon nombre de facteurs parmi lesquels on évoque :

- ✓ L'évolution très rapide de sa population.
- ✓ L'importance de son patrimoine phœnicole (295090 palmiers) et la présence de la variété DegletNour (228580 palmiers) qu'est commercialement supérieure et universellement indiscutée.
- ✓ Sa position géographique qui constitue un carrefour de travail obligatoire entre les Hauts plateaux et le Sud. Population: Tolga est sur peuplée, sa densité démographique dépasse les 48 habitants/km² contre moins de 35 habitants/km² pour la wilaya, en effet sa population n'a pas cessé d'évoluer.

2.1.2 Cadre Climatique

Le climat de la région de la commune de Tolga fait partie de la willaya de Biskra et vu que il ya une seul station nous avons pris les données climatiques de la willaya est comme le climat saharien se caractérise par un faible taux de précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif.

2.1.2.1 Température

Les valeurs de température mensuelles minimales et axiales de la région de Biskra, durant la période (2007- 2017) sont données dans l'annexe (annexe 1). D'après la figure 3, on remarque que la région de Biskra est caractérisée par une température moyenne maximale de 34,8 °C pour le mois de juillet sur une période de 10 ans (2007-2017) et une température moyenne minimale est de 12,6 °C enregistrée le mois de Janvier (Henanou.k, 2018).

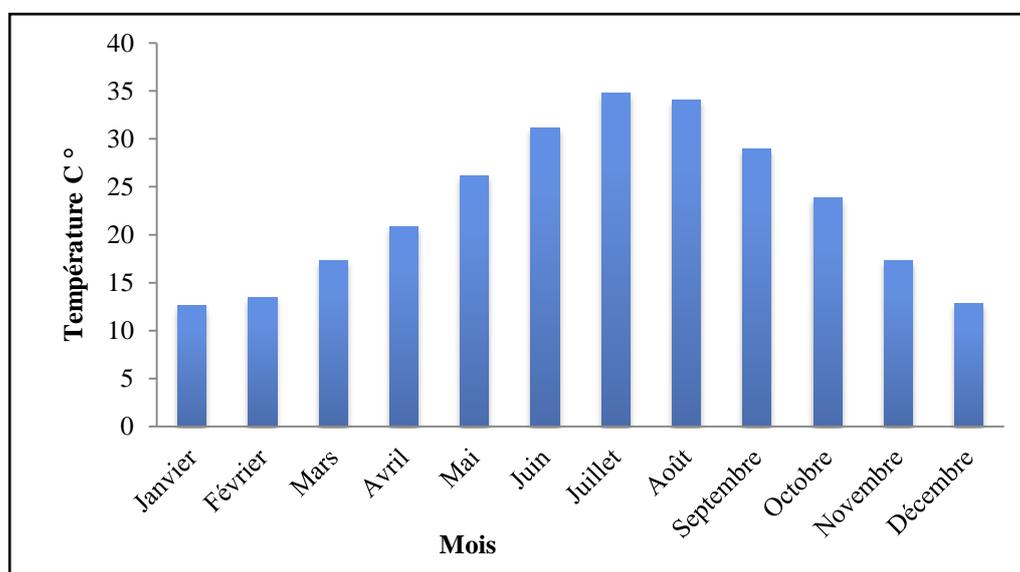


Figure 2 : Température moyennes mensuelles de la période de (2007à 2017).

2.1.2.2 Précipitations

La pluviométrie constitue un facteur important pour l'agriculture. Notre région d'étude est caractérisée par des précipitations faibles, irrégulièrement réparties en automne et en hiver avec un maximum pendant le mois octobre (27,35 mm) pour les 10 ans (2007- 2017) (voir Figure 3) (Henanou.k, 2018).

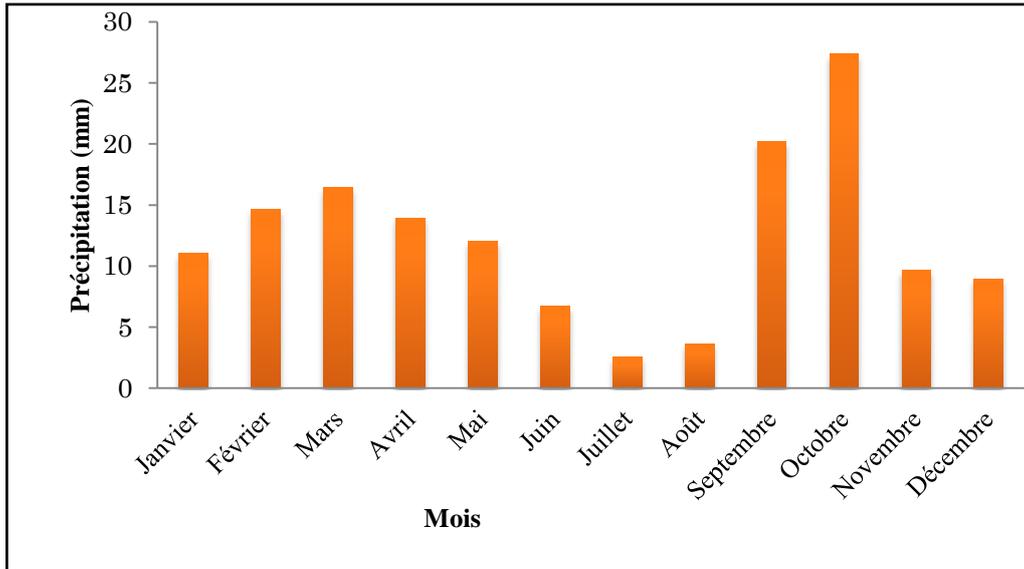


Figure 3: Précipitations moyennes mensuelles de la période (2007 à 2017).

2.1.2.3 Humidité

Les valeurs mensuelle de humidité relative dans de la région de Biskra durant la période (2007-2017) sont données dans l'annexe 1 L'histogramme ci-dessous (Figure 4), illustre le pourcentage de l'humidité maximale moyenne de 10 ans mesurant un pourcentage de 58,7% pour le mois de Décembre, et l'humidité minimale moyenne de la même période est de 27,33% pour le mois de Juillet (Henanou.k, 2018).

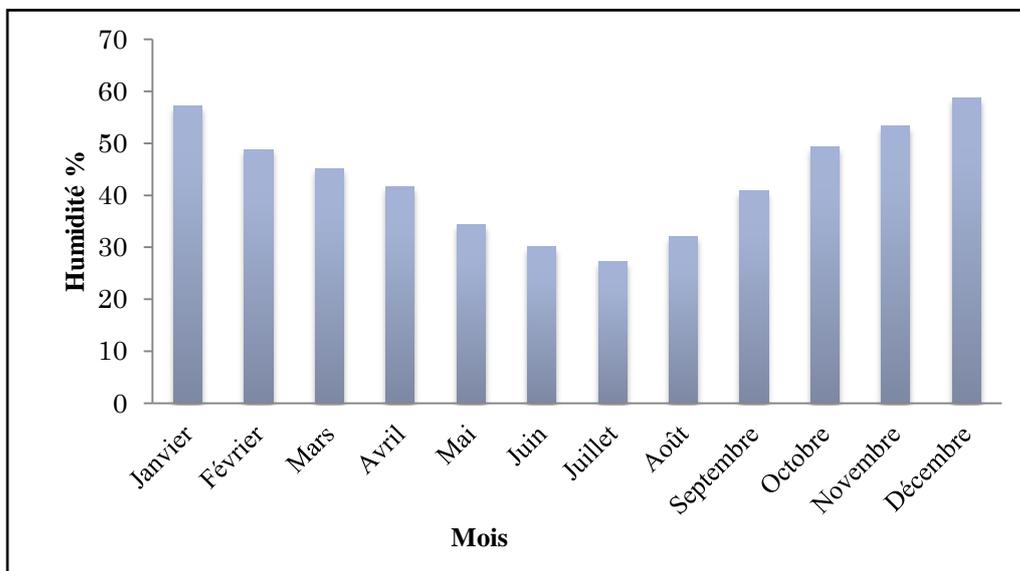


Figure 4 : Humidité moyenne mensuelle de la période (2007 à 2017).

2.1.2.4 Insolation

L'histogramme ci-dessous figure l'insolation de la période (2007-2017) dont le nombre annuel moyen d'heures d'insolation est 234 heures. Le maximum est enregistré en mois de juillet avec une valeur de 270 heures par an par contre la valeur minimum est enregistré en mois de décembre (227 heures) (voire annexe 1, Figure 5) (Henanou.k, 2018).

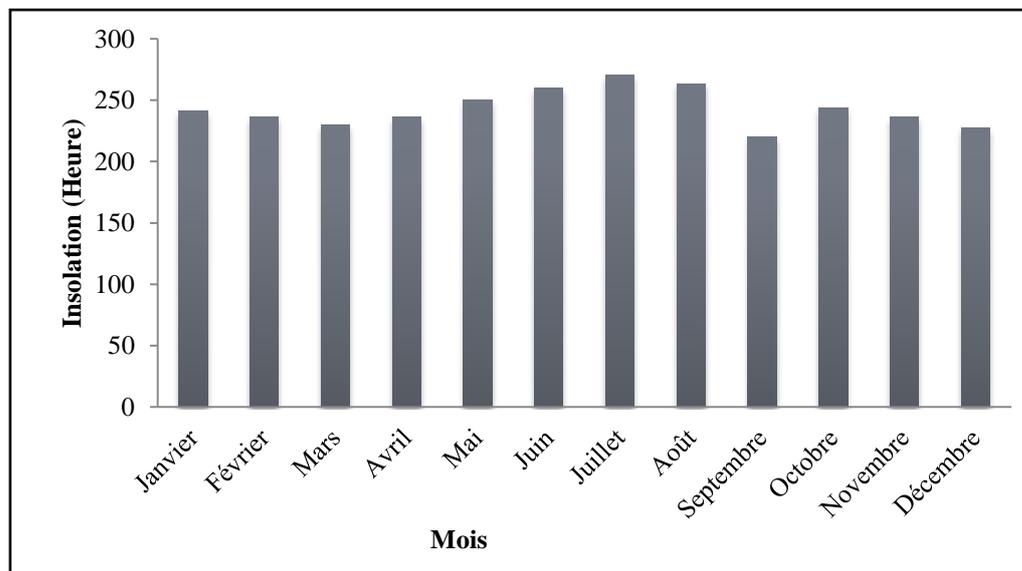


Figure 5 : Insolation moyenne mensuelle de la période (2007à 2017).

2.1.2.5 Vent

Dans la région de Biskra, les vents les plus forts soufflent du Nord-est et du Sud. Il exerce une grande influence sur les êtres vivants selon Torki (2014). La figure 6 montre que la vitesse du vent maximale moyenne est de 13,97 m/s pour le mois de Juillet par contre la vitesse du vent minimale moyenne est de 6,16m/s pour le mois de Décembre pour la durée de 10 ans (2007-2017) (Annex1) (Henanou.k, 2018).

2.1.2.6 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène conjugué entre l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration des plantes, ce dernier est influencé par plusieurs facteurs, la température, l'hygrométrie, la vitesse des vents, le rayonnement solaire, la pression de l'atmosphère et la nature du sol. D'après la figure 7, nous remarquons que l'ETP moyenne annuelle calculée durant la période de 10 ans (2007 à 2017), est de 2264,122 mm. La valeur maximale de l'ETP de est 320,904 mm pour le mois de Juillet et la valeur minimale est de 65,898 mm pour le mois de Décembre pour la période (2007- 2017) (Annexe 2) (Henanou.k, 2018).

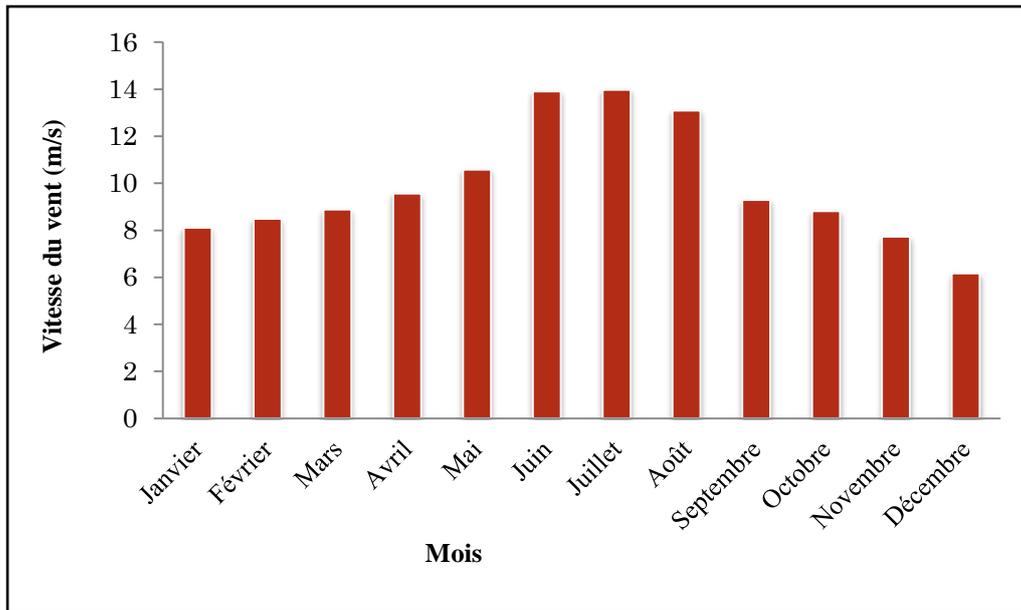


Figure 6 : Vitesse du vent moyen mensuel de la période (2007 à 2017).

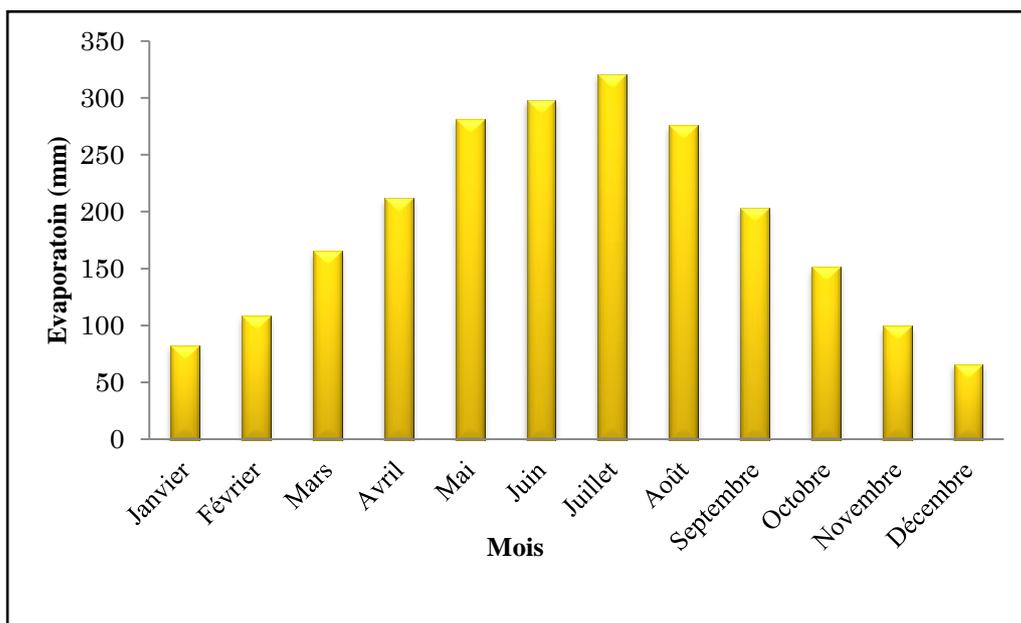


Figure 7 : L'évapotranspiration mensuelle moyenne de la période (2007 à 2017).

2.2 Analyses hydro chimique

L'analyse hydro-chimique des eaux étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux, et constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu dans lequel les eaux souterraines circulent, la nature de l'encaissant.

Nous avons échantillonné de 14 forages de champ captant dans la nappe des calcaires de la zone de Tolga. L'étude hydro-chimique a pour but de déterminer, les principaux faciès chimiques des eaux et d'évaluer la qualité de ces eaux.

2.2.1 Méthode d'échantillonnage

2.2.1.1 Repérage des points d'échantillonnage

Notre zone d'étude se situe au Sud-Est de la commune de Tolga. Nous avons échantillonné 14 forages; le choix des points de prélèvement est basé sur la carte établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH, 2011) (voir Tableau 3, Figure 9 et 10).

Tableau 2 : Les coordonnées de 14 points de prélèvement des eaux de forages.

point	Y	X	profondeur
Dkhila (F1)	34°44' 44.729"	5°24'30.637"	220 m
Magtofa 1 (F2)	34°44'32.974"	5°22'25.770"	350 m
Magtofa 2(F3)	34°44'34.127"	5°21'51.385"	350 m
Aine EL'Hamia (F4)	34°44'25.489"	5°22'15.498"	500 m
Boutraifia (F5)	34°41'53.02"	5°24'34.09"	300 m
Mekhraf (F6)	34°41'36.71"	5°25'50.57"	250 m
Bouaiche (F7)	34°42'43.152"	5°22'42.150"	200 m
Zaouia EL'Othmania (F8)	34°42'00.689"	5°23'11.442"	200 m
Bouaiche (F9)	34°42'09.781"	5°22'26.982"	200 m
Drae Betikh 1(F10)	34°41'59.26"	5°24'26.77"	200 m
Drae Betith(F11)	34°41'54.839"	5°24'10.872"	200 m
Djelada(F12)	34°41'58.245"	5°24'35.112"	140 m
Ferfar 1(F13)	34°43'02.034"	5°24'07.440"	200 m
Ferfar 2(F14)	34°43'12.883"	5°25'14.975"	75 m

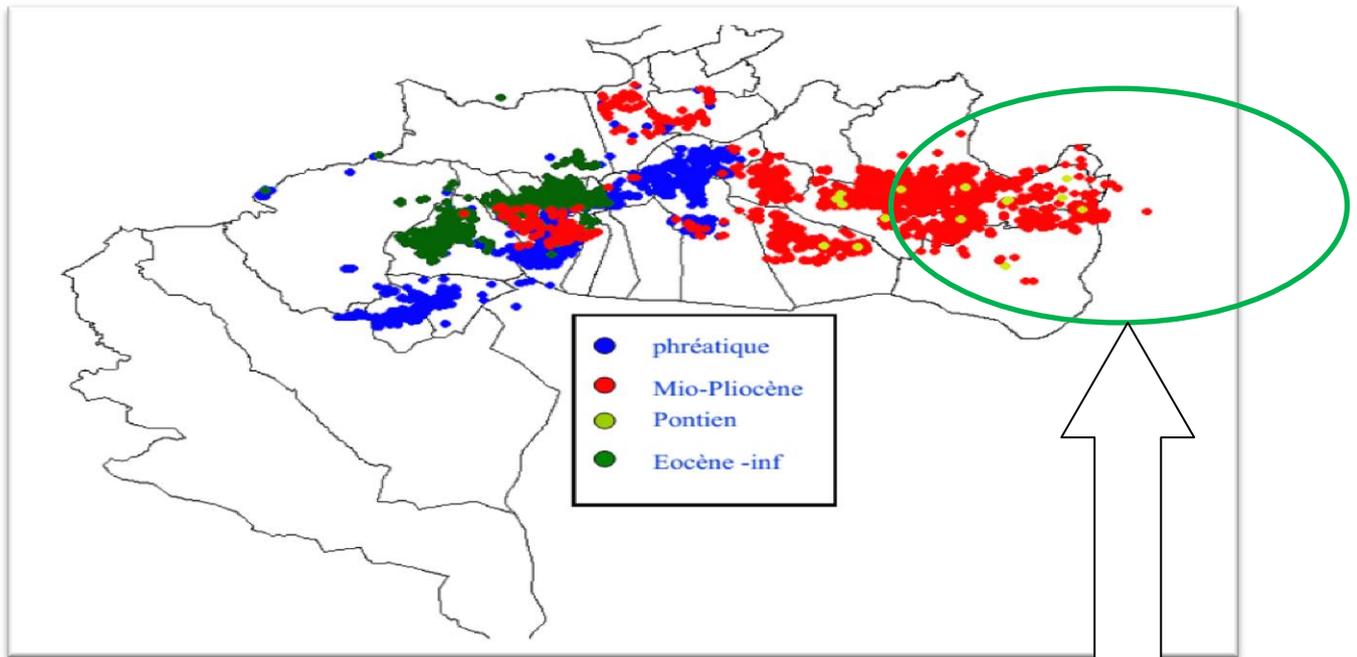


Figure 8 : Répartition des points d’eaux dans la région de Biskra (ANRH, 2011).

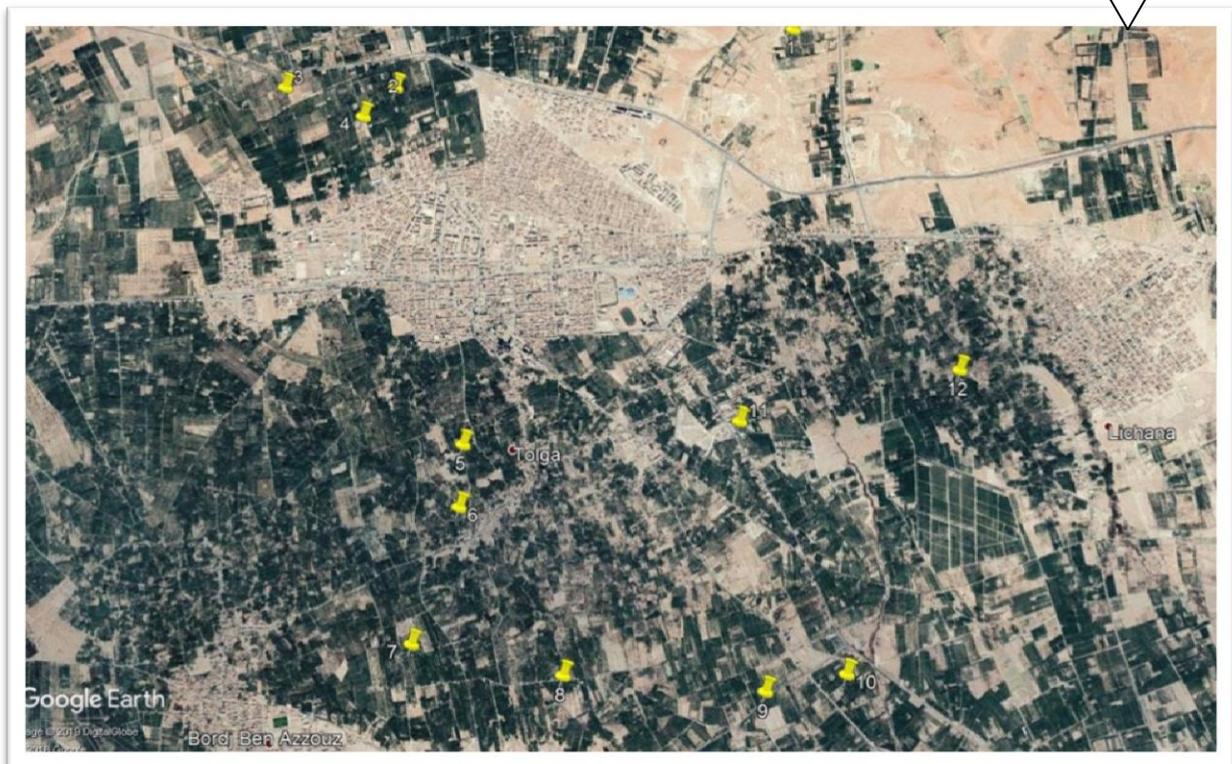


Figure 9: Positionnement des points d’eaux dans la zone d’étude (Tolga) Google Earth (2019).

2.2.1.2 Technique de prélèvement et conservation des échantillons

Le prélèvement a été effectué manuellement pendant le mois de Mars 2019. L'eau est rempli dans des bouteilles en plastiques (1.5 litre) conservées et transportée dans une glacière (4°C) jusqu'au moment de l'analyse. Les flacons d'échantillonnages rincés 3 fois avec l'eau à analyser, et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon ce qui a été adopté par Rodier (2009).

2.2.2 Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux

Les analyses des différents paramètres physico-chimiques des eaux ont été effectuées au sein du laboratoire d'analyse du Centre De Recherche Scientifique Et Technique Sur Les Régions Arides (CRSTRA) de Biskra selon les méthodes standard d'évaluation de qualité décrites par Tardat-Henry (1984) et Rodier *et al.* (2009).

2.2.2.1 Paramètres physico-chimiques

a- Potentiel en Hydrogène (pH)

Le pH est le cologarithme de la concentration en hydrogène qui représente le caractère acide ou alcalin d'une masse d'eau. Ce paramètre est sensible à la température.

$$\text{pH} = -\text{Log} (\text{H}^+)$$

Tableau 3: normes de l'irrigation par Ayerset Westcot (1994)

Paramètre physico- chimiques	Normes (valeur maximale admissible fixée par Ayerset Westcot 1994)
Conductivité CE	<3 mS/cm
PH	-
Calcium (Ca^{+2})	20 meq/l
Magnésium (Mg^{+2})	5 meq/l
Sodium (Na^+)	40 meq/l
Potassium (K^+)	2 meq/l
Chlorure (Cl^-)	10 meq/l
Sulfate (SO_4^{2-})	20 meq/l
Bicarbonate (HCO_3^-)	50 meq/l

Tableau 4 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Bulletin FAO N° 29, 1976)

Nature des problèmes	Unité	Guide pour la qualité de l'eau		
		Pas de problème	Problème de croissance	Problème grave
Conductivité CE	ms/cm	< 0.75	0.75	> 3
SAR		< 6	6-9	> 9
Toxicité spécifique de certains ions	meq/l		3-9 4-10	
Sodium (Na ⁺)		<3		> 9
Chlore (Cl ⁻)		<4		> 10
Effets divers				> 30
Nitrate (NO ₃ ⁻)	mg/l	<5	5-30	> 8.5
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	meq/l	< 1.5	1.5-8.5	
pH		< 6.5	6.5 – 8.4	> 8.4

b- Conductivité électrique (CE)

La minéralisation de l'eau se produit par des phénomènes d'interaction eau-roche passant par différents processus physico-chimiques et/ou de mélanges entre différents types d'eau, la composition chimique des eaux naturelles est le résultat combiné de la composition chimique des précipitations qui atteignent le sol et des réactions avec les minéraux présents dans l'encaissant (Kamagaté, 2006). La conductivité permet de mesurer la propriété de l'eau à conduire le courant électrique qui dépend de la concentration en sels dissous. La mesure de la conductivité donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau, (Tableau FAO 29 T).

Le pH, la conductivité et la température ont été mesurées à l'aide d'un multi paramètre de type Multi (3430 SET K).dire que le mesure sont effectué in situ.

2.2.2.2 Hydrochimies des forages

a. Les cations majeurs

a.1 Calcium (Ca^{2+})

La présence de calcium résulte de traverser des eaux à les formations carbonatées. La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



Pour déterminer la dureté calcique, on emploie le plus souvent une variante de la méthode complexométrique. On utilise l'EDTA en présence de NaOH, et cela à un pH = 12, l'indicateur coloré est la murenidé. La dureté magnésienne est déduite par différence, dureté totale et dureté calcique.

a.2 Magnésium (Mg^{2+})

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, Ces cations proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques.

Pour déterminer la dureté calcique, on emploie le plus souvent une variante de la méthode complexométrique. On utilise l'EDTA en présence de NaOH, et cela à un pH = 12 l'indicateur coloré est la murenidé. La dureté magnésienne est déduite par différence, dureté totale et dureté calcique.

a.3 La dureté (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté (Tableau 5). Le mode opératoire consiste à prélever 100 ml d'eau à analyser, ajouter 5 ml de solution tampon (pH = 10) et quelques gouttes d'indicateur coloré (d'eriochrome noir T).

Enfin, verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vieux au bleu vert, ce volume versé correspond à la dureté totale (en °F). Il se calcule par la formule suivante :

$$\text{TH} = (\text{r Ca} + \text{r Mg}) \times 5$$

Exprimer par (°F) avec :

r Ca : quantités réaction du calcium exprimée en méq/l .

r Mg : quantité en réaction du magnésium exprimée en méq/l.

Tableau5: L'échelle de la dureté (Sais etTouati, 2017)

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	très douce	eau douce	plutôt dure	dure	très dure

a.4 Sodium et Potassium (Na⁺, K⁺)

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau. Les cations Na⁺ et K⁺ sont dosés par photométrie d'émission de flamme (JENWAY FP7). Afin d'effectuer le dosage du sodium, les solutions étalons sont préparées par dilution à partir d'une solution mère de NaCl à 1000 mg de Na⁺/l. Les résultats du tableau 6 et de la figure 10 présentent un exemple des lectures servant à l'étalonnage pour le dosage du sodium.

Tableau 6 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure du sodium.

Na ⁺ (mg/l)	0	20	40	60	80	100
Absorbance	0	35	53	68	80	100

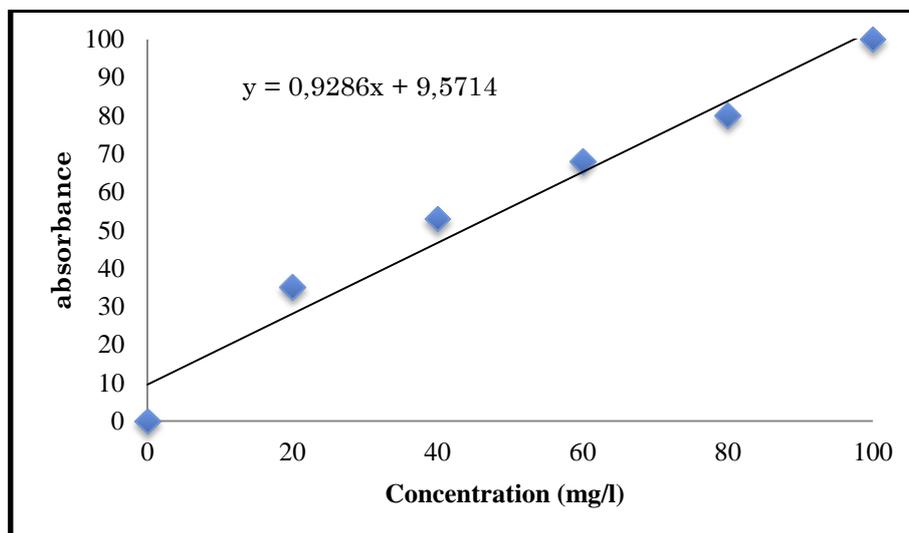
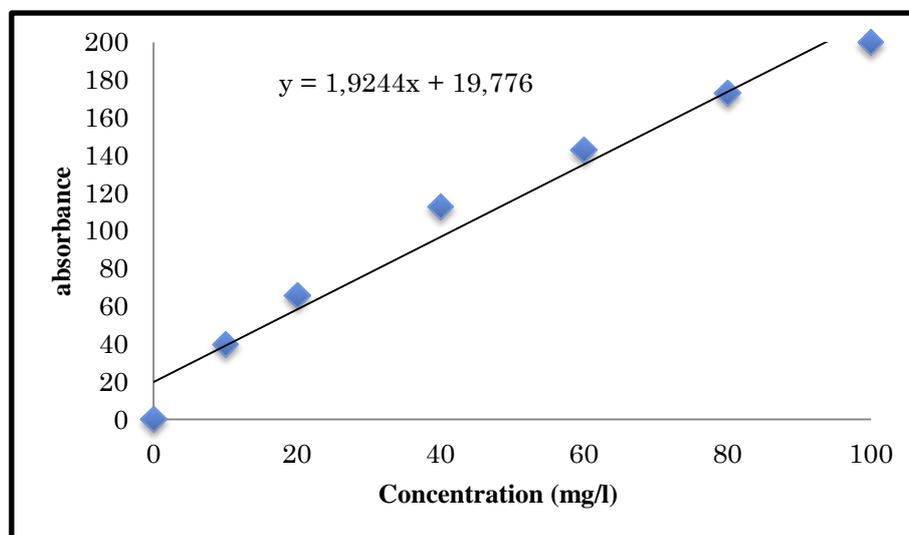


Figure 10 : Courbe d'étalonnage du sodium.

Pour le dosage du potassium, les solutions étalons sont préparées par dilution à partir d'une solution mère de KCl à 1000 mg de K⁺/l. Les résultats du tableau 7 et de la figure 11 présentent un exemple des lectures servant à l'étalonnage pour le dosage du potassium.

Tableau7 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure du potassium.

K ⁺ (mg/l)	0	10	20	40	60	80	100
Absorbance	0	40	66	113	143	173	200

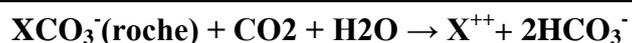
**Figure11** : Courbe d'étalonnage du potassium.

b. Les anions majeurs

b.1 Bicarbonates (HCO₃⁻)

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO₂, de la température, le pH de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés.

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



b. 2.Chlorure (Cl⁻)

Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives (Humbert etPommier, 1988; Tarik, 2005). La concentration des chlorures dans l'eau dépend aussi du terrain traversé.

b.3 Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de formations gypseuses, Légère solubilité de CaSO₄ avec des passées gypseuses et des eaux usées industrielles. Pour déterminer la teneur de SO₄²⁻ dans les échantillons d'eau, nous avons opté pour la méthode Néphélométrique, par utilisation d'un Spectrophotomètre DR 5000 (HACH) à une longueur d'onde de 600 nm pour une suspension obtenue par réaction

des sulfates avec le chlorure de baryum. Les résultats du tableau 8 et de la figure 12 présentent un exemple des lectures servant à l'étalonnage pour le dosage des sulfates.

Tableau 8 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure des sulfates.

C (meq/l)	0	1	2	3	4	5
Absorbance	0	0,039	0,105	0,226	0,29	0,387

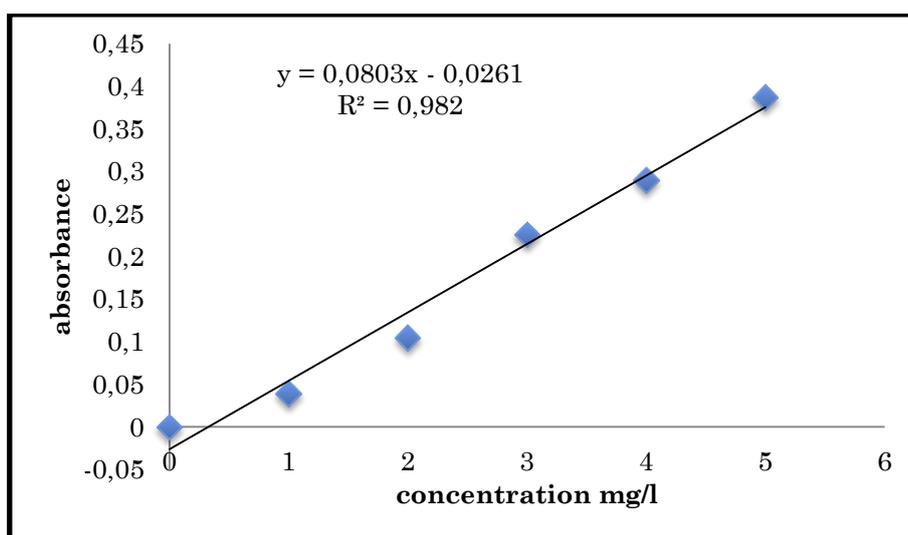


Figure12: Courbe d'étalonnage des sulfates.

b.4. Nitrates (NO_3^-)

Pour déterminer la teneur de NO_3^- dans les échantillons d'eau, nous avons opté pour la méthode Néphélométrique, par utilisation d'un Spectrophotomètre DR 5000 (HACH) à une longueur d'onde de 220 nm pour une suspension obtenue par réaction des nitrates avec l'acide chlorhydrique (Rejsek, 2002). Les résultats du tableau 9 et de la figure 13 présentent un exemple des lectures servant à l'étalonnage pour le dosage des sulfates.

Tableau 9 : Données de la courbe d'étalonnage pour la mesure des nitrates.

C (mg/l)	0,2	0,4	0,8	1,4	2	4	5	7
Absorbance	0,057	0,113	0,218	0,369	0,506	0,992	1,236	1,689

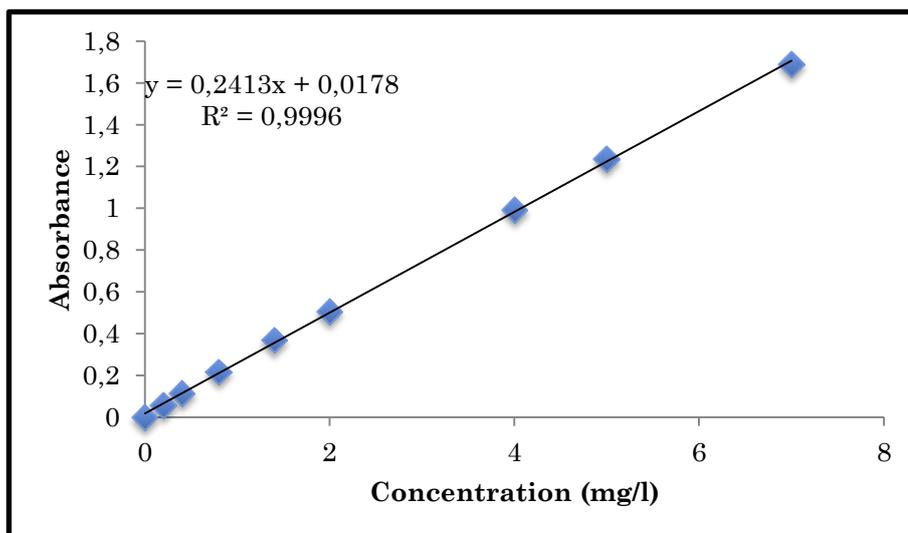


Figure 13 : Courbe d'étalonnage des nitrates.

2.3. Outils de traitement des données

Pour le traitement des données, nous avons eu recours aux outils de traitement du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon(France).Ce logiciel, on peut réaliser par le diagramme de Piper,Schoeller, et Riverside pour tester le faciès chimique des eaux et leurs aptitudesà l'irrigation par Welcox et Arc Gis.

2.3.1 Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper(Figure 14) permet de caractériser les faciès géochimiques des eaux. Cette caractérisation est basée sur des calculs de proportions relatives des différentes espèces cationiques et anioniques analysées. Ce diagramme est formé d'un 1^{er} triangle pour les cations d'un 2^{ème} triangle pour les anions et d'un losange découpé en famille d'eau . Les éléments considérés sont (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) pour les cations et (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) pour les anions. Dans le diagramme, la concentration relative en méq/l de chaque élément calculé permet de placer les points sur les triangles qui sont ensuite projetés sur le losange. Cette concentration est définie par la proximité des points de projection par rapport aux différents sommets ou pôles. La projection dans le parallélogramme des points placés dans les triangles des anions et des cations, classe la solution en faciès suivant les ions prédominants (Allassane, 2004).



Figure14: Diagrammes de Piper vierges.

2.3.2 Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff (Figure 15) permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau et facilite sa comparaison. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. Il est ainsi possible de visualiser à la fois le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau (sa charge dissoute), ce qui est appréciable définit (Gouaidia, 2008).

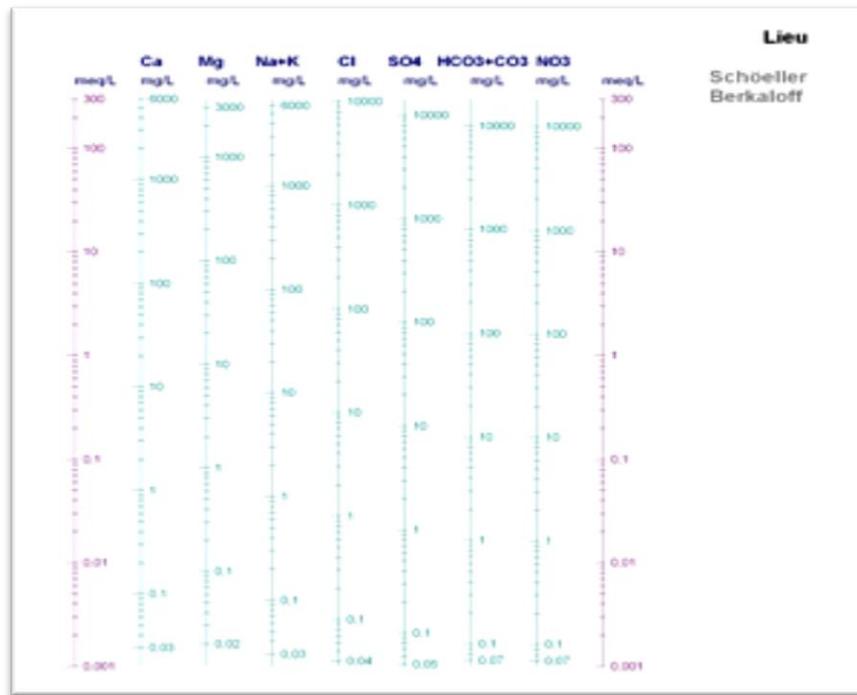


Figure 15: Diagramme de Piper et de Schoeller-Berkaloff vierges.

2.3.3 Diagramme de Welcox

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de Na^+ , elle s'écrit par la formule suivante :

$$\text{Na}\% = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100.$$

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définit cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

2.3.4 Diagramme de Riverside

Selon Sedrati (2006) le diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique.

2.3.5 Logiciel de l'Arc Gis

L'Arc Gis est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser et diffuser des informations géographiques. En tant que plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) au monde. Il comprend principalement trois applications :

- Arc Catalog : pour la gestion, la documentation et la navigation dans les bases de données (spatiales ou non).
- Arc Map : pour afficher, cartographier, éditer, interroger et analyser des données géographiques.

- Arc Toolbox : pour les opérations de conversion (de projection, de format) et de géo traitement (Labbaci et Gharbi,2017).

2.4 L'aptitude des eaux à l'irrigation

Le développement de l'agriculture dans les zones aride rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation des sols qui peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière est due aux échanges ioniques (du sodium, du calcium et du magnésium) entre l'eau et le sol irrigué (Zaghtou, 2011).

2.4.1 Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Le SAR est un indice qui mesure le danger de la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le S. A. R. est donné par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}}$$

La concentration de chaque ion est exprimée en meq/l ; selon le taux d'absorption du sodium (S. A. R.).

2.4.2 Evaluation du risque d'alcalinité

La précipitation rapide des carbonates de calcium et de magnésium permet aux ions sodiques de se fixer sur le complexe la teneur en ions Na^{2+} et K^+ du sol provenant des sels alcalins (carbonates et sulfates) conduisent à des pH supérieurs à 8. L'alcalinisation est le processus par lequel la teneur en Na échangeable d'un sol augmente par la fixation sur le complexe adsorbant (Bekkouch, 2013). On a la classification des eaux (Tableau 10).

Tableau 10: Classe d'alcalinité des eaux selon U.S.S.L (1954)

Classes	SAR	Observation
S1	<10	eau à faible danger d'alcalinisation des sols, (eaux excellentes).
S2	10-18	eau avec un danger d'alcalinisation assez appréciable (eaux bonnes).
S3	18-26	eau avec un danger d'alcalinisation important (eaux convenables).
S4	>26	eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort (eaux médiocres).

2.4.3 Evaluation du risque de salinité

La salinité provoque des effets directs sur les végétaux et des risques de salinisation du sol. En effet, elle perturbe le développement des végétaux en limitant l'assimilation des éléments nutritifs. Un niveau de salinité élevé des sols provoque le flétrissement des plantes du fait d'une augmentation de la pression osmotique et des effets toxiques des sels.

La salinité d'une eau est exprimée en termes de conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette dernière caractérise la faculté de l'eau à laisser passer le courant électrique (Tableau 11), elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Généralement, les valeurs sont ramenées à 25 °C.

Tableau 11 : Classification de l'eau basée sur la concentration totale en sels.

Classes de salinité	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
C1 : Elle est satisfaisante pour toutes les cultures, excepté les cultures sensibles.	< 250
C2 : En général, elle est satisfaisante bien que quelques cultures sensibles peuvent être affectées.	250-750
C3 : satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.	750-2250
C4 : Elle est non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées comme le palmier dattier et si le lessivage et le drainage sont impératifs.	2250-5000

2.4.4 Pourcentage de sodium

Selon Louvrier (1976), le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés de sodium. Nous avons d'utiliser la classification de «Wilcox» (Tableau 12) qui basé sur la comparaison de conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau pour examiner ce problème. Le pourcentage du sodium peut être défini comme suit :

$$\text{Na}\% = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100.$$

Les éléments sont exprimés en meq/l. Cette méthode se traduit sous forme d'un diagramme qui définit cinq classes d'eau suivante :

Tableau 12: Classification de Wilcox

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Chapitre 3

Résultats et discussion

L'illustration et l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau de 14 forages fait l'objectif de ce chapitre. Les paramètres physico-chimiques mesurés sont la conductivité électrique, les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-). On se basant sur la caractérisation des analyses physicochimique puis leur classification par des diagrammes (Piper, Schoeller, Welcox et Riverside). Pour déterminer les faciès chimiques et la qualité des eaux des prélèvements, ainsi que leur aptitude à l'irrigation.

3.1 Hydro chimique des forages

3.1.1 Paramètres physico-chimiques

Les résultats des analyses physicochimiques de 14 forages de la zone de Tolga sont présentés dans le tableau 13.

Tableau13:Tableau récapitulatif des analyses paramètresphysico-chimiques des eaux de forages

Forage paramètre	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
PH	7.52	7.13	6.85	7.01	7.57	7.6	7.32	7.33	7.19	7.25	7.24	7.09	7.32	6.72
CE $\mu\text{s/cm}$	1977	2640	3160	4390	3300	3300	7580	3010	3920	7700	3110	3030	3220	6400
Ca²⁺(meq/l)	7.84	10.72	13.84	21.12	19.20	19.36	28.40	17.04	22.48	27.68	18.32	20	18.64	35.36
Mg²⁺(meq/l)	6.48	8.48	8.56	11.04	10	10.64	22.40	10.96	14.72	33.20	10	28.96	8.96	24.64
K⁺(meq/l)	0.05	0.08	0.13	1.46	0.12	0.13	0.84	0.13	0.27	0.82	0.14	0.14	0.14	0.35
Na⁺(meq/l)	0.62	10.95	13.41	16.32	9.61	3.22	24.14	3.93	12.07	31.75	11.40	16.97	12.96	23.24
HCO₃⁻(meq/l)	3.64	4.40	4.48	2.8	4.92	3.68	3.56	10	3.48	7.88	3.60	3.4	3.76	3.60
Cl⁻(meq/l)	11.2	10.80	15.2	23.2	10	9.6	28.4	10	12.4	31.6	10.8	9.2	12.4	26.8
SO₄⁻(meq/l)	5.45	6.36	15.61	27.42	25.15	26.36	127.27	25.76	45.76	66.20	21.82	27.42	23.03	54.55
NO₃⁻(meq/l)	0.05	0.04	0.04	0.04	0	0.05	0.06	0.03	0.05	0.03	0.05	0.06	0.05	0.02

3.1.1.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs des pH sont généralement comprises entre 6.93 et 7.37, ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des valeurs naturelles.

Les valeurs des pH dans les forages varie entre 6.72 et 7.57 (figure 16) montrent que presque tous les eaux de forages se trouvent dans l'intervalle de norme de l'irrigation (6.5 - 9) selon et Ayerset Westcot (1994). Bouchemal *et al.* (2011) qui ont trouvé des résultats pour la nappe calcaire un pH de 7.26 à 8.12. D'après Chabour (2006) la corrosion du métal peut devenir importante en dessous d'un pH de 6.5. L'incrustation et l'entartrage peuvent apparaître à un pH supérieur à 8.5.

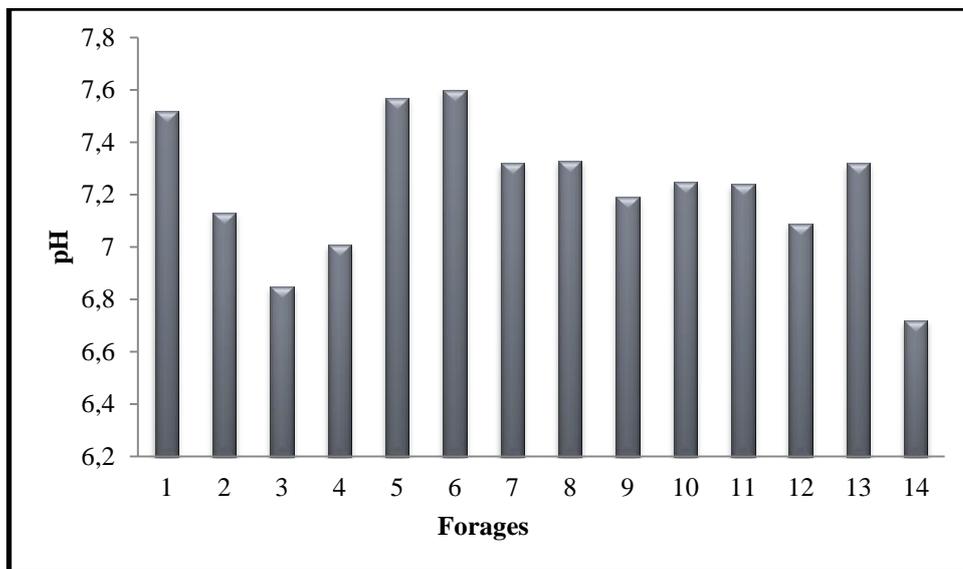


Figure 16: Histogrammes de potentiel d'hydrogène de 14 forages.

3.1.1.2 Minéralisation

La conductivité dans tous les forages dépasse 3mS/cm sauf dans les deux forages (F1 : 1.977 mS/cm – F2 : 2.64 mS/cm), par rapport au normes d'Ayers et Westcot 1994.

Alors le taux de minéralisation d'eau est élevée dans tous les valeurs enregistrées varient de 1.977 à 7.700 mS/cm. Le minimum enregistré au forage 1 et le maximum enregistré au forage 10 (figure 17). Nos résultats sont conformes à celle obtenue à Bouchemal *et al* (2011) qui varie entre 1,79 ms/cm et 5,53 ms/cm.

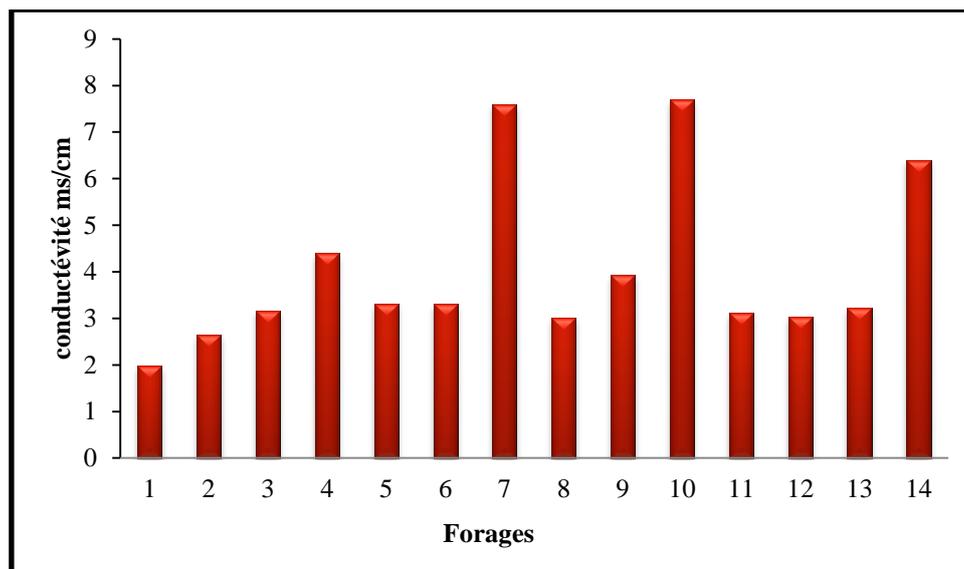


Figure 17 : Histogrammes des conductivités de 14 forages

Tableau 14 : Classification de l'eau basée sur la concentration totale en sels, selon Ayerset Westcot (1976) .

Classe de salinité	CE (ms/cm)	Pourcentage	Observation
C1	< 250	21 %	Elle est satisfaisante pour toutes les cultures, excepté les cultures sensibles.
C2	250- 750	71.42 %	En général, elle est satisfaisante bien que quelques cultures sensibles peuvent être affectées.
C3	750 -2250	7.14 %	satisfaisante pour la plupart des grandes cultures, mais des conditions de salinité vont se développer si le lessivage et le drainage ne sont pas adéquats.
C4	2250 -5000	0 %	Elle est non recommandée sauf si des cultures tolérantes sont cultivées. comme le palmier dattier et si le lessivage et le drainage sont impératifs.

La salinité élève de l'eau cause la baisse de rendements de certaines cultures en relation d'où l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

3.1.3. Les cations majeurs

3.1.3.1 Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (Sais et Touati, 2017).

Dans les points d'eau analysés (figure 18), les teneurs de Ca^{2+} dans les forages sont comprises entre 7.84 à 35.36 meq/l, toutes les taux sont dans les normes de (Westcot 1994) qui ne dépassent pas 20 meq/l sauf les trois forages (F7 =28.40, F10 =27.68 et F14 =35.36) dépassent les normes. Les résultats de Sedrati (2011) est de 17 à 41 meq/l au niveau des eaux de la nappe des calcaires.

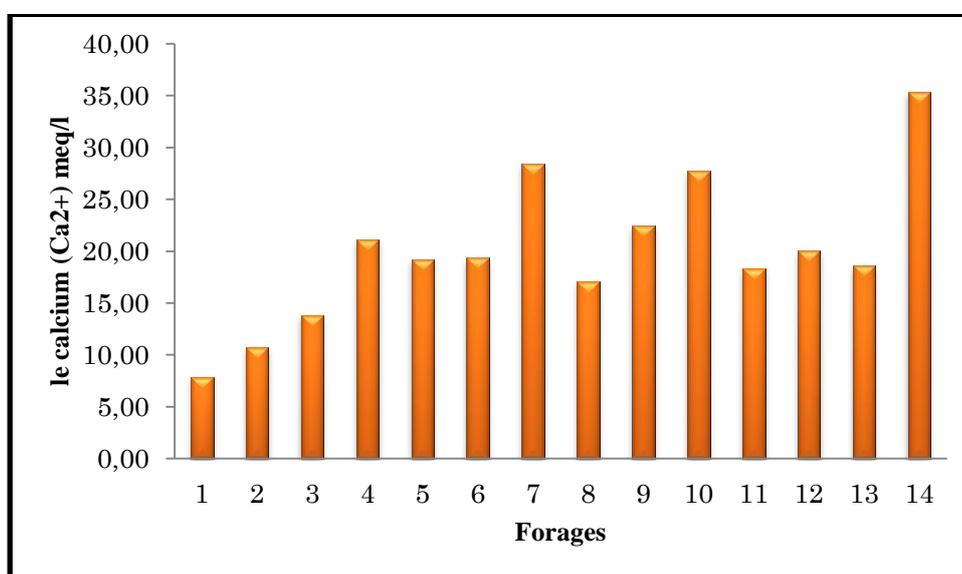


Figure 18: Histogrammes de Calcium de 14 forages.

3.1.3.2 Magnésium (Mg^{2+})

Ses origines sont comparables à celles du calcium, ils proviennent de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium confirmer aux travaux Sais et Touati (2017).

Dans les points d'eau analysés (voir Figure21) varie de 6.48 à 33.20meq/l tout dépassent les normes selon Weksot qui sont de 5meq/l .Nos résultats sont conforme à celle obtenue par Chebour (2006) sont de 2.41- 20.41meq /l dans la nappe calcaire.

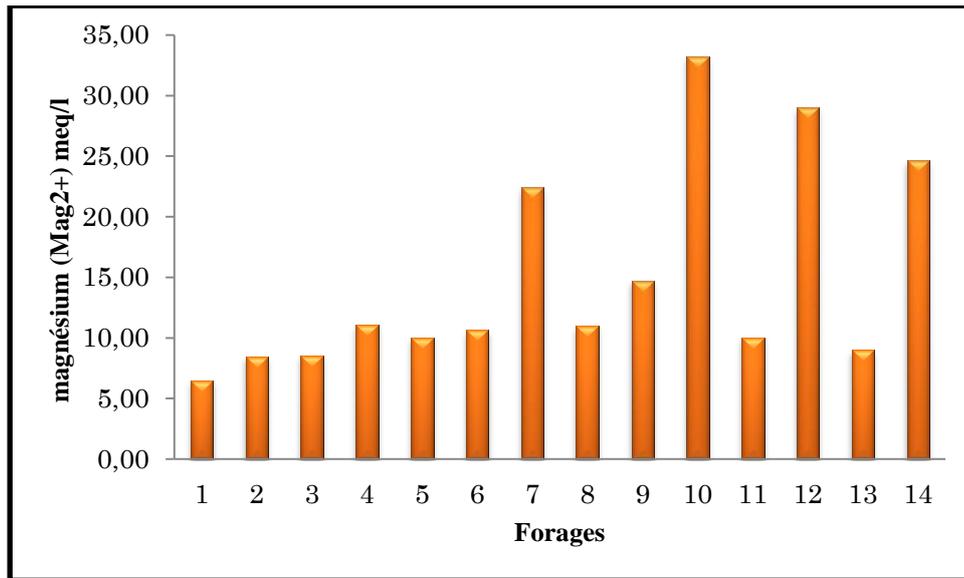


Figure 19 : Histogrammes de Magnésium de 14 forages.

3.1.3.3 La dureté

Elle exprime la teneur de l'eau en sel de calcium et en magnésium. La dureté totale oscille entre 71.6 et 300 (°F) (Tableau 15 ; Figure 20). Tous les points d'eau analysés présentent des eaux très dures (TH > 30°F). Les résultats de Bouchemal et al(2011) confirment que la dureté oscille entre de 74 et 386 (°F) pour la nappe des calcaires. Nos résultats sont conformes à celle obtenue des résultats de Bouchemal *et al.* (2011).

Tableau 15 : Dureté des eaux de 14 forages

Forage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TH (F°)	71.6	96	112	160.8	146	150	254	140	186	304.4	141.6	244.8	138	300

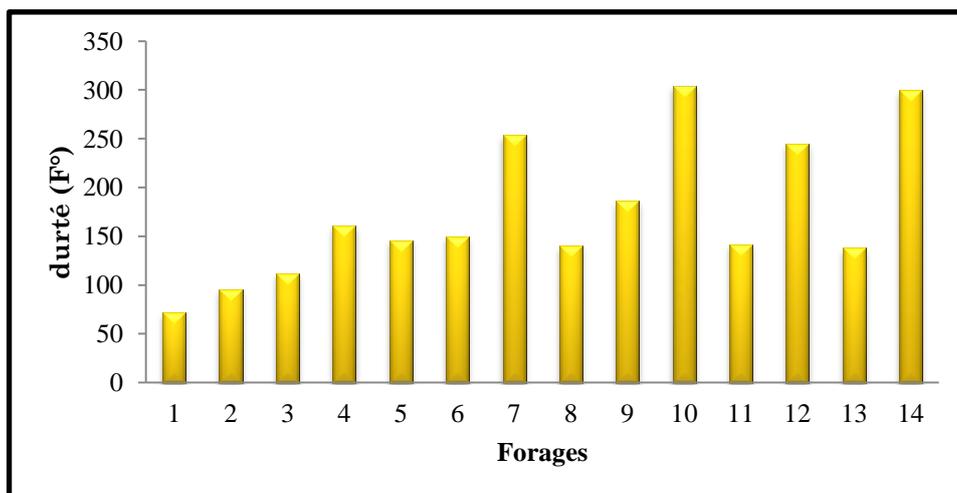


Figure 20 : Histogrammes de la dureté de 14 forages.

3.1.3.4 Sodium (Na^+)

L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts Évaporatiques et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base (Sais et Touati, 2017).

Dans les points d'eau analysés varie de 0.62meq/l à 31.75 meq/l (Figure21), ou cela F1 = 0.62 meq/l indique que ya pas de problème et (F6= 3.22 – F 8 = 3.93) meq/l indique que il ya un problème de croissance et les autre forages (F2, F3, F4, F5, F7, F9, F10, F11, F12, F13 et F14) indique que il ya un grave problème selon FAO. Nos résultats corroborent avec ceux obtenue par Sedrati (2011) que se situent entre 5.39 à 30.43 meq/l.

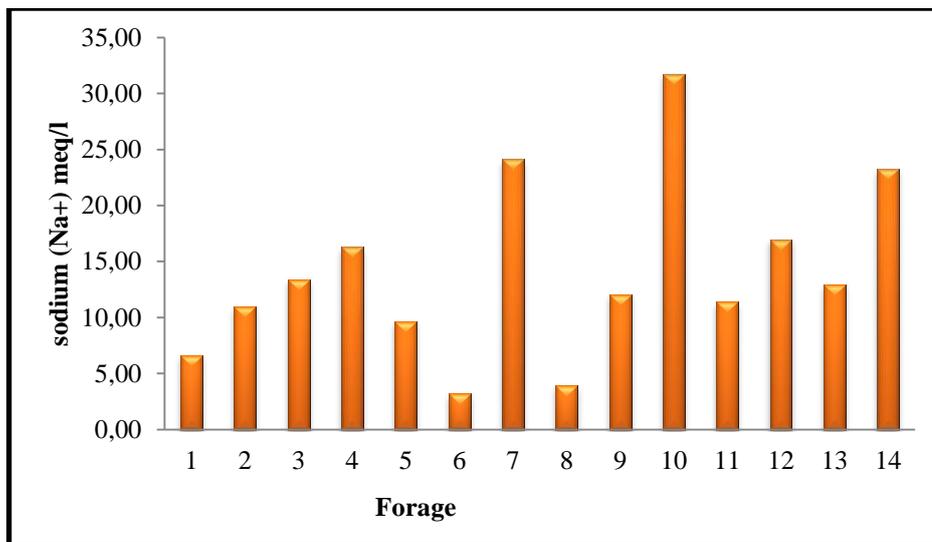


Figure 21 : Histogrammes de sodium de 14forages.

3.1.3.5 potassiums (K^+)

Les valeurs de ce paramètre dans les eaux étudiées sont variables et oscillent entre (0.05à1.46) mg/l (Figure 22).Elles sont dans les normes selon wescott 40meq/l. Nos résultats sont conformes à celle obtenues par Sedrati (2011), dont ils ont varié entre (0.44 à 10.25) meq/l.

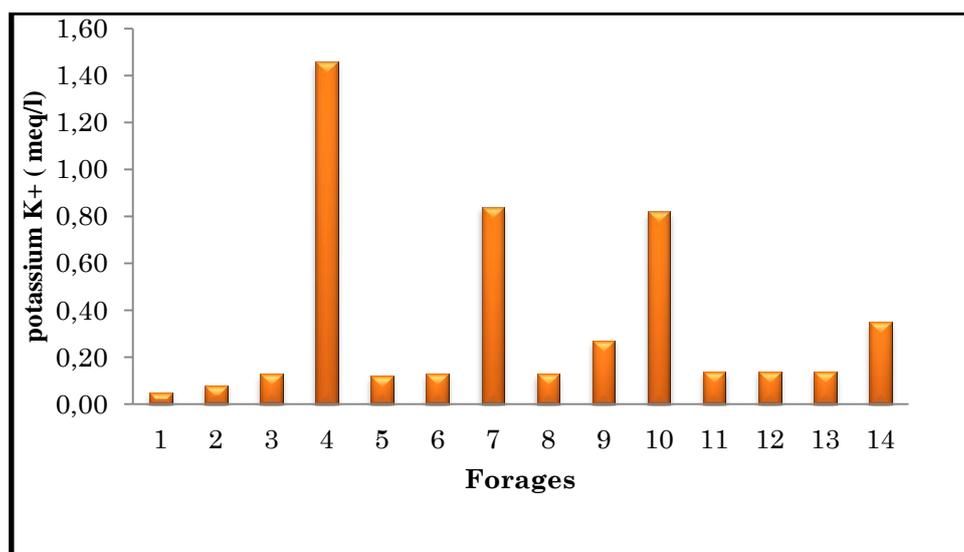


Figure 22: Histogrammes du potassium des 14 forages.

3.1.4. Les anions majeurs

3.1.4.1 Bicarbonate (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et par les eaux chargées en gaz carbonique. Dans les points d'eau analysés (Figure 23) varie de 2.8 meq/l à 7.88 meq/l selon FAO il existe un problème de qualité de l'eau. Les résultats de Sedrati(2011) varient entre (1.66 à 4.84) meq/l. Nos résultats sont conformes à celle.

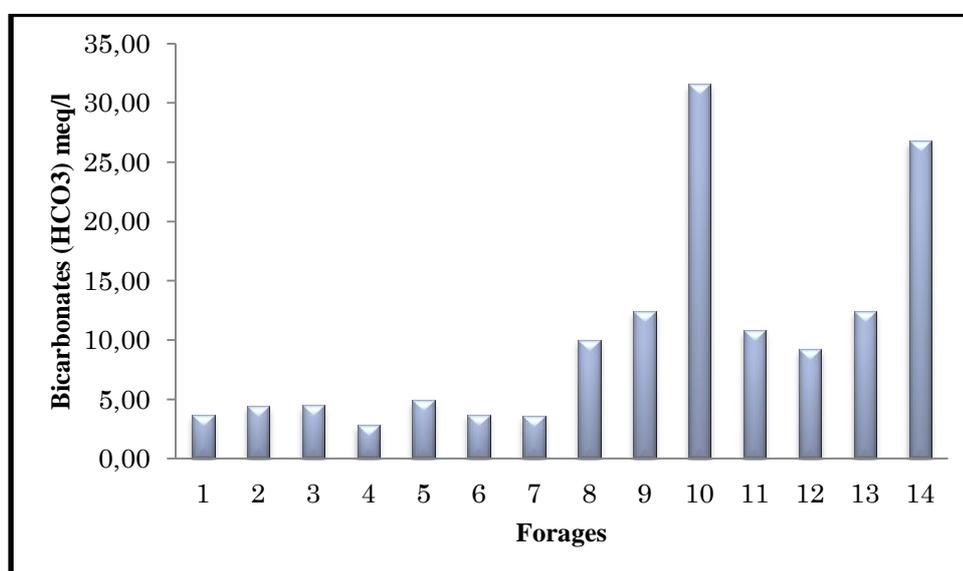


Figure 23: Histogrammes du Bicarbonate 14 forages

3.1.4.2 Chlorure (Cl)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec

les éléments chimiques et reste très mobile. Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères.

Dans les points d'eau analysés (Figure 24) varie de 9.2 meq/l à 26.8 meq/l, nous avons remarqué que (F1, F2, F3, F4, F5, F7, F8, F9, F10, F11, F13 et F14) des points d'eau dépassent la norme de Wescott 10 meq/l. Alors (F6 et F12) répand aux normes. Nos résultats dépassant celle obtenues par Sedrati (2011) dont ces valeurs varient entre 3.21 et 27.71 meq/l.

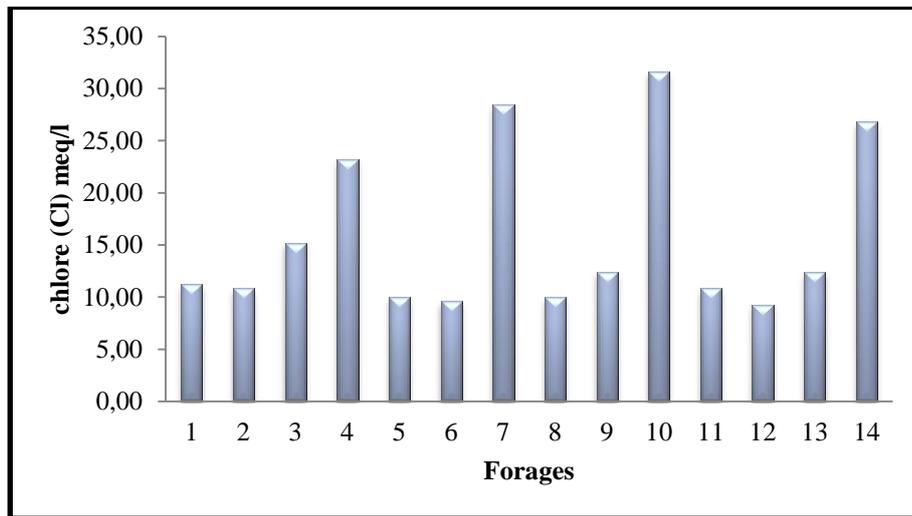
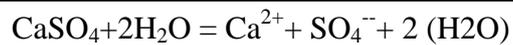


Figure 24: Histogrammes du Chlore de 14 forages.

3.1.4.3 Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des ions sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses.



La concentration de sulfate des points d'eau analysés varie de 5.45 meq/l à 127.27 meq/l, nous observons que tous les forages analysés ont des valeurs très élevés dépassant la norme de 20 meq/l selon Wilcox, (voir figures 25). Sauf pour les trois forages suivants (F1 = 5.45, F2 = 6.36, F3 = 15.61) dont les valeurs sont inférieures aux normes. Nos résultats sont conformes à celle retenues par Sedrati (2011) dont il avait trouvé des valeurs varient entre 3.14 à 57.5 meq/l.

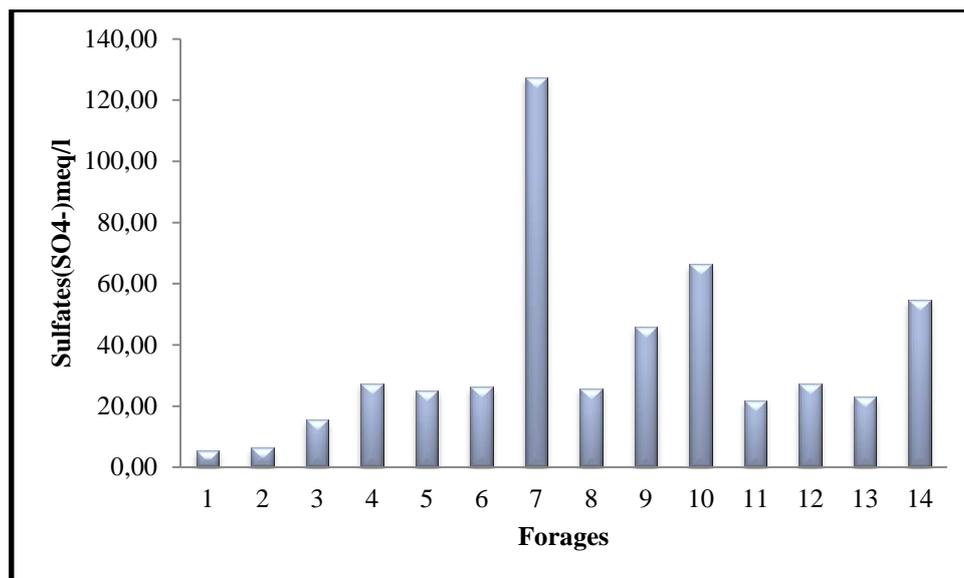


Figure 25: Histogrammes de sulfatede14forages.

3.1.4.4 Nitrates (NO₃⁻)

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée, en général à l'utilisation des engrais Chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées.

La teneur en nitrates des eaux souterraines est comprise entre 0meq/l et0.06meq/l(figure26). Les taux sont faibles par rapport au seuil qui est de<5 meq/l évoqué par la norme welcox ainsi que celle obtenues par Sedrati (2011) variant entre 1.66 à 4.84meq/l.Ce qui indique qu'il n'ya pas une pollution de la nappe.

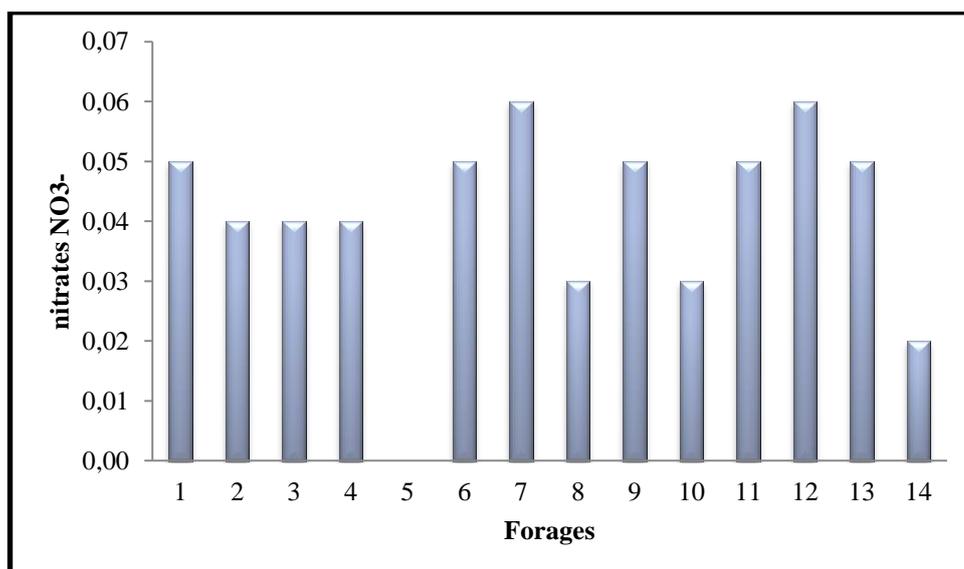


Figure 26 : Histogrammes du nitrate de 14forages.

3.2 Classification hydro-chimique des eaux souterraines

3.2.1 Classification des eaux souterraines selon PIPER

Selon le diagramme de Piper (Figure 27), Les eaux de cette nappe présentent 2 faciès hydrochimiques :

- ✚ Chloruré sodique.
- ✚ Sulfaté calcique magnésique faciès dominant.

Le faciès chimique d'après le diagramme de Piper de figure 14.28 % des points de prélèvement étudié représente un faciès chimique de type Chloruré sodique, et le faciès chimique de 85.71% des points de forages consultés représente un faciès de type sulfaté calcique et magnésien (voir Tableau 18).

Selon Sedrati (2011), la nappe des calcaire, a une seule famille d'eau, c'est celle des eaux sulfatées magnésiennes à calciques, mais les résultantes de Bouchemel *et al.* (2011) présenté sur le diagramme de Piper les eaux de cette nappe sont de type :

Sulfaté calcique et magnésienne, un ou deux forages présente faciès chlorure sodique et potassique. Nous avons trouvés la même famille de faciès chimiques des eaux de forages étudiés de la région de Tolga ce qui confirme la nature calcaire de la nappe phréatique (voir Figure 27 et Tableau 16).

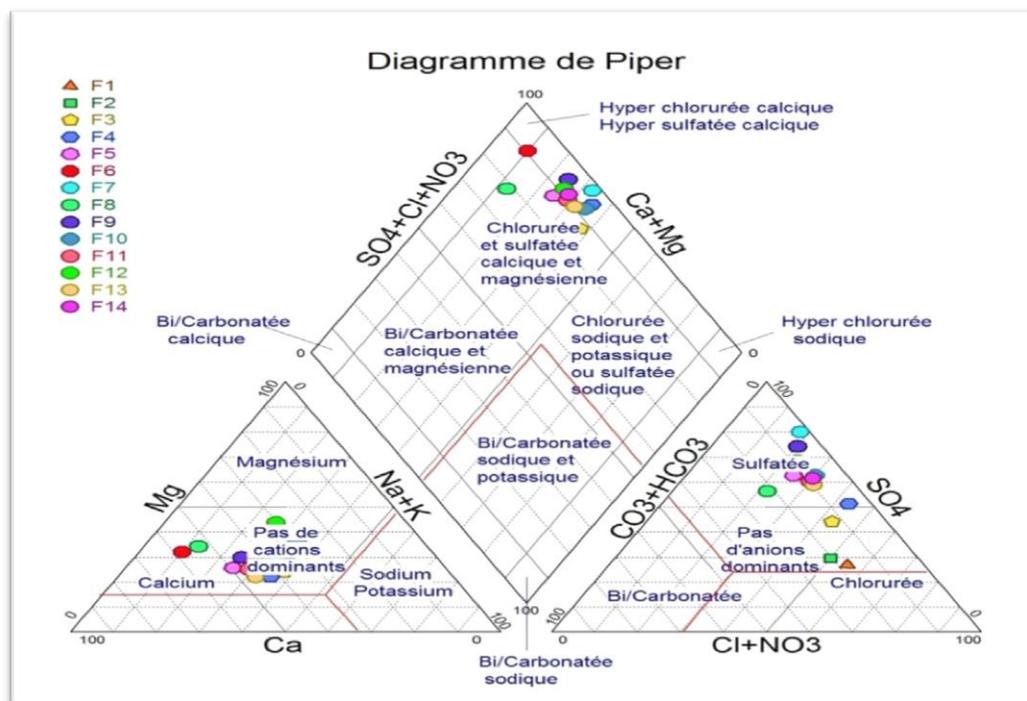


Figure 27:Présentation graphique des eaux des forages sur le diagramme de PIPER

Tableau16: Formule et faciès chimique des eaux des 14 forages.

Faciès chimique	Formule caractéristique	Pourcentage %	Points d'eau
Chloruré Sodique	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$ $rNa^+ + rMg^{2+} > rCa^{2+}$	14.28%	F1 et F2
Sulfaté calcique magnésique	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^-$ $rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+ > rNa^+$	85.71%	F3-F4-F5-F6-F7-F8-F9-F10-F11-F12-F13-F14

3.2.2 Classification des eaux souterraines selon Diagramme de Schoeller Berkloff

Ce diagramme à échelle logarithmique, permet de distinguer deux faciès chimiques et confirmer ce qu'on a déjà trouvés par le diagramme de Piper dont nous avons constatés que Les éléments dominants : SO_4^{2-} ; Ca^{2+} ; Mg^{2+}

Alors que Les faciès chimiques sont de type :

- ✚ Chloruré sodique.
- ✚ Sulfaté calcique magnésique.

D'après Bouchemal *et al*(2011) les ions dominant sont SO_4^- pour les anions et $Ca^{2+}Mg^2$ pour les cations. C'est résultats se corroborent avec nos résultats (voir Figure 28).

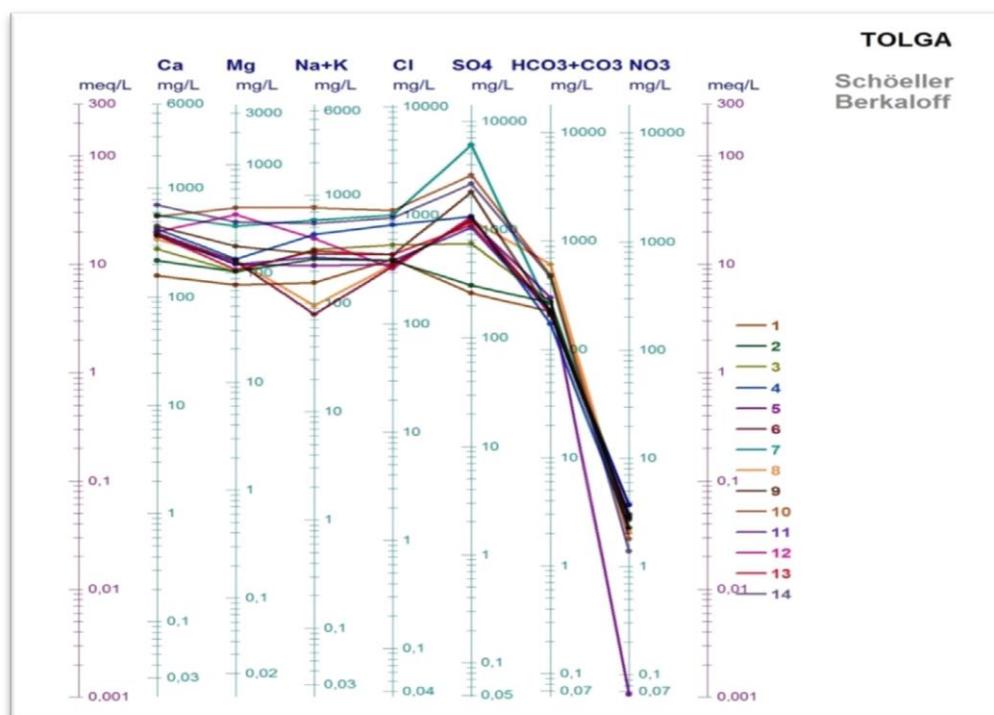


Figure28 : Représentation graphique des eaux des forages selon Schoeller Berkloff

3.3 L'aptitude des eaux à l'irrigation

Pour arriver à ressortir l'aptitude des eaux des 14 forages à irriguée des périmètres cultivés, il est impératif d'appliquer le diagramme de Riverside et de Welcox log pour classer ces derniers.

3.3.1 Diagramme de Riverside

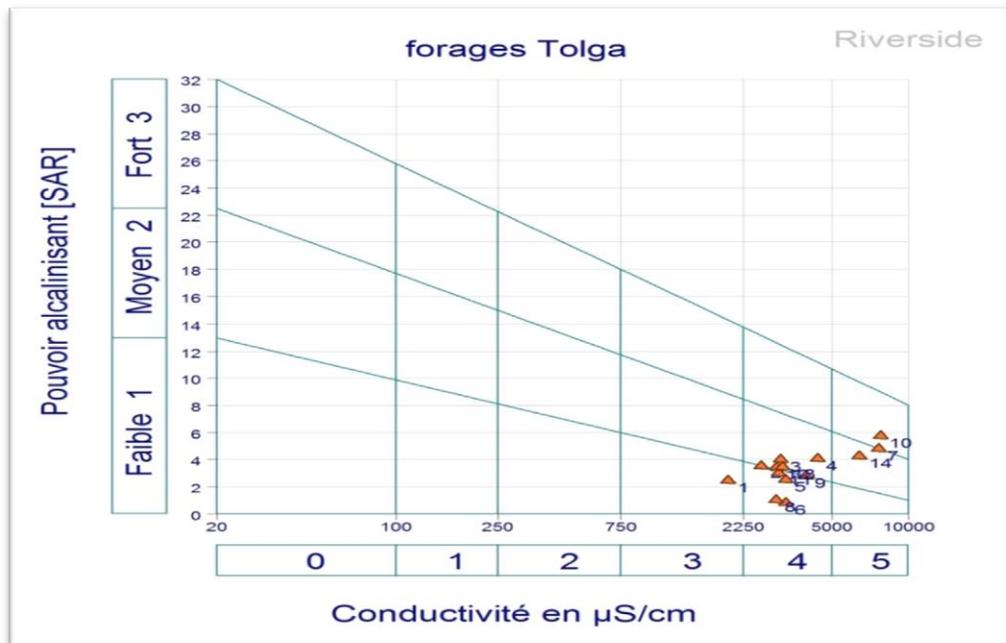


Figure 29: Diagramme de Riverside des eaux des forages.

3.3.2 Diagramme de Welcox

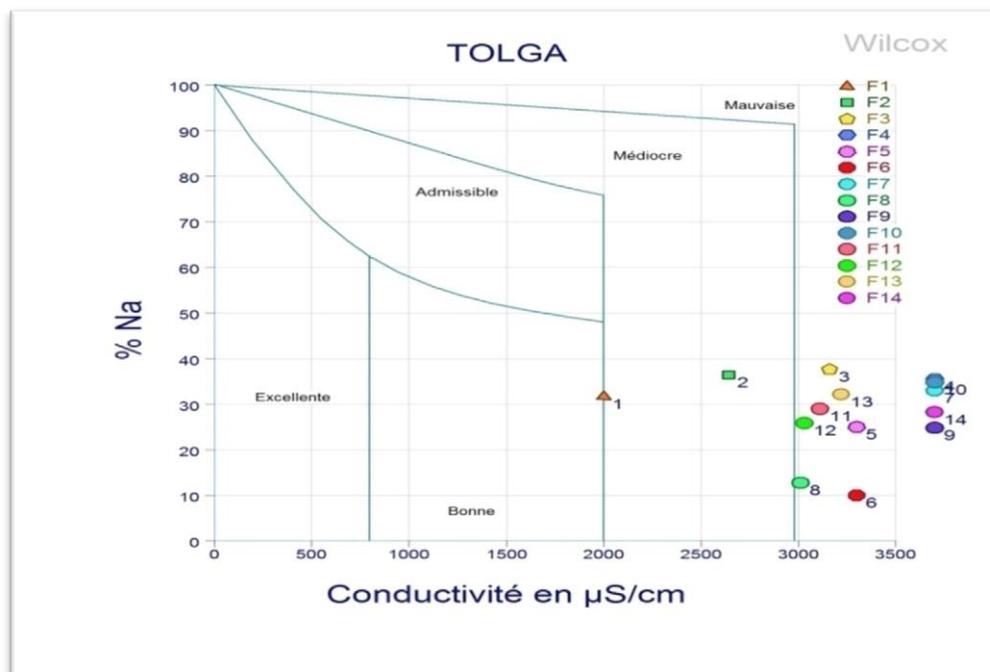


Figure 30 : Diagramme de Welcox des eaux des 14 forages

Les valeurs élevées de la conductivité et de sodium dans les eaux des forages montrent des grandes proportions de salinité dans l'eau, ce qui réduit son aptitude à l'irrigation et conduit à des problèmes lorsqu'ils sont utilisés.

3.3.3 Diagramme de Wilcox log

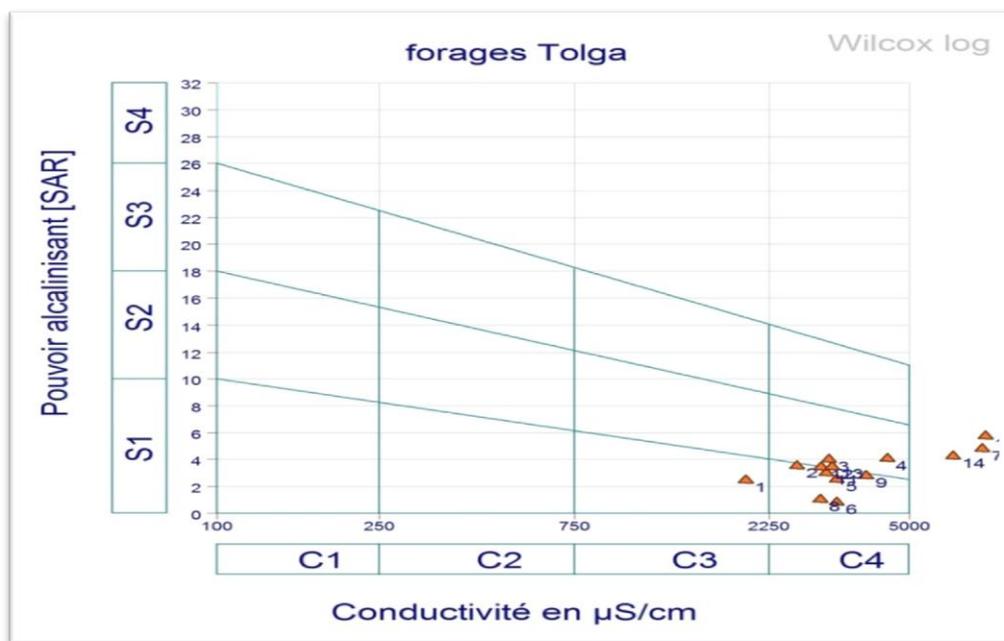


Figure 31: Diagramme de Wilcox log des eaux des forages

Le tableau ci-dessous sert à conclure la liaison entre les deux diagrammes, celle de Riversid et le diagramme de Wilcox log, dans le but de ressortir l'aptitude des eaux des 14 forages à irriguer les périmètres cultivés.

Tableau 16: Classification des eaux des forages Wilcox.

Forage	Classe	Qualité d'eau	Observation
F1	C3 S1	Admissible	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
F2 - F5 F6 - F8 F9 - F10 F11- F12- F13	C4 S2	Médiocre	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

F3-F4	C4 S4	Mauvaise	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions . Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.
F4 -F7 F10	/	Très mauvaise hors la calcification	/

3.4. Les carte des teneurs des éléments physicochimiques des eaux dans les forages

3.4.1 Conductivité

Une répartition spatiale Homogène est figuré ce qui nous a mené de dire que, la salinité globale des eaux d'irrigation des forages échantillonnés ne témoigne pas une grange variabilité spatiale, la carte de cette variable ne peut pas fournir une information explicative.

3.4.2. Calcium

La répartition spatiale du calcium des 14 forages par rapport à la nappe phréatique est hétérogène et représente une existence accroisse du Nord au Sud-Est (Figure 33).

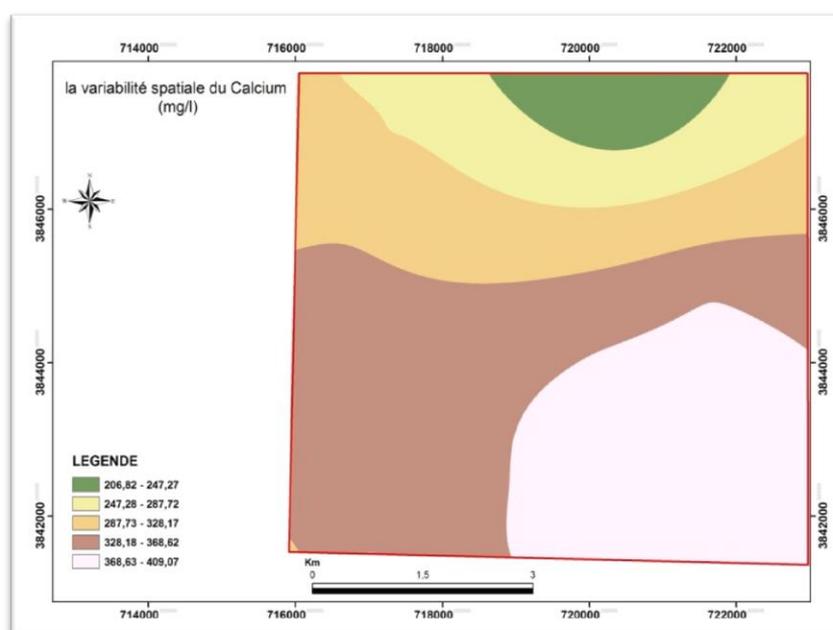


Figure33 : Carte de variation de Calcium.

3.4.3 Magnésium

Des faibles concentrations du magnésium sont apparues dans les 14 forages (Figure 34).

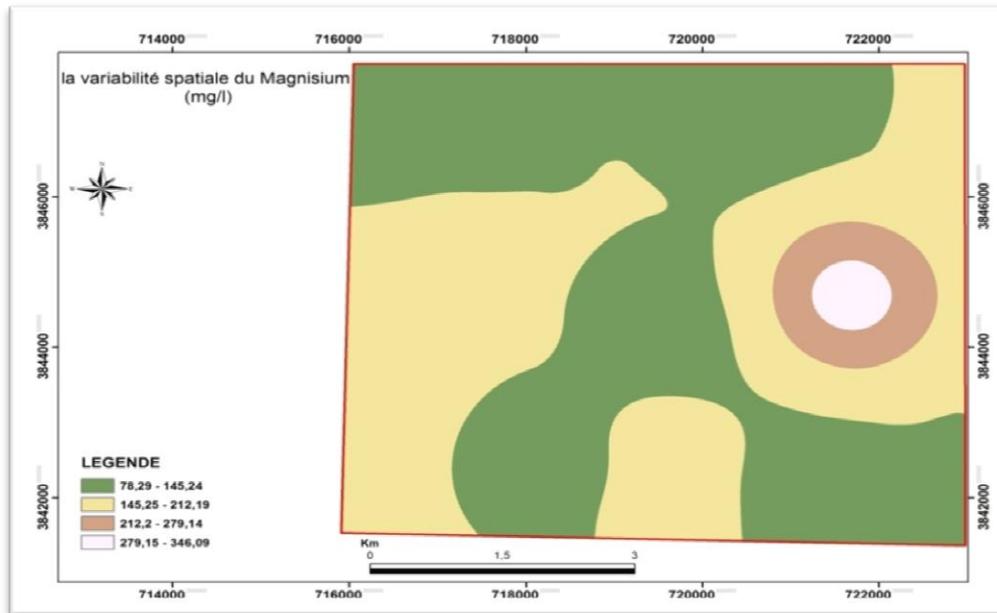


Figure34 : Carte de variation de Magnésium.

3.4.4. Potassium

Le potassium dans les 14 forages est concentré au Nord-Ouest (Figure 35).

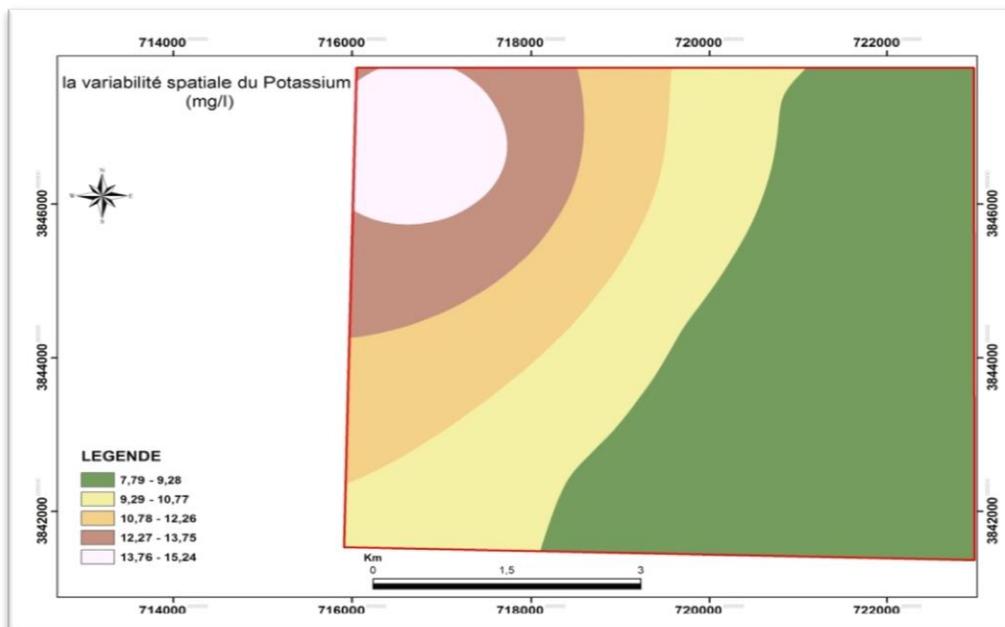


Figure35 : Carte de variation de potassium.

3.4.5. Sodium

Le sodium se trouve aux niveaux des 14 forages avec des concentrations variables par rapport à la totalité des forages (Figure36).

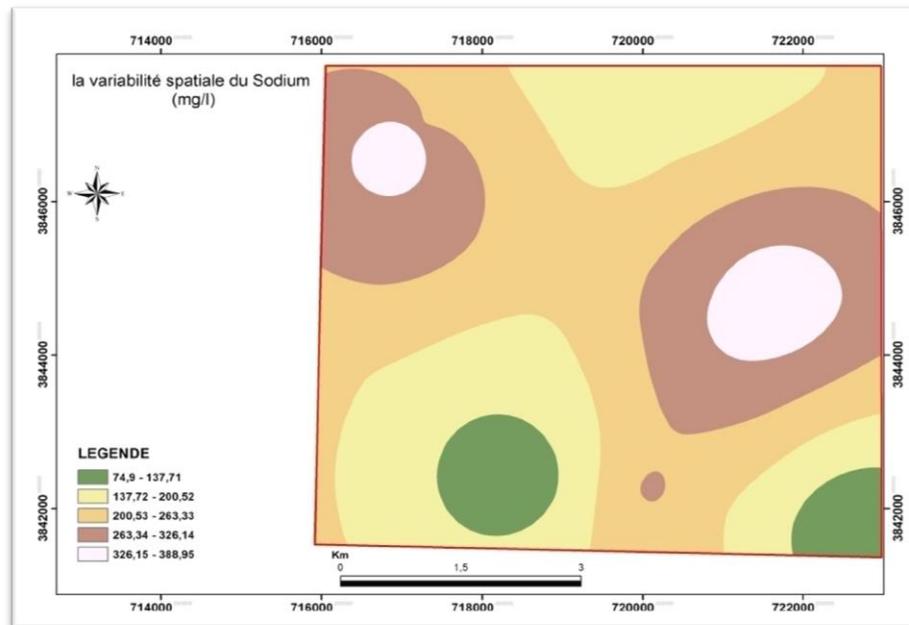


Figure 36: Carte de variation de Sodium.

3.5 Synthèse des résultats

L'étude hydro-chimique des eaux de la nappe du calcaire dans la région de Tolga montre que :

- Ces eaux présentent une forte salinité, elles sont caractérisées par une minéralisation relativement élevée.
- La relation entre le contexte géologique de la région et la répartition spatiale des éléments chimiques montre que leurs origines sont liées principalement à la dissolution des formations essentiellement grés-argileuses sablo-gréseuses de la nappe du calcaire (Sais et Touati, 2017).
- Les faciès chimiques caractérisent les eaux de la région d'étude :
 - Un faciès dominant : sulfaté sodique magnésique caractérise 85.71% des forages.
 - Un faciès : Chloruré sodique caractérise 14.28% des forages.
- Ces eaux sont très dures à caractère incrustant de qualité médiocre à mauvaise, Plusieurs facteurs ont contribué à l'acquisition de la minéralisation de la nappe du calcaire.

Conclusion

A l'heure actuelle le développement démographique ne cesse de croître vis à vis la demande et la consommation des aliments qui est en croissance rapide aussi. Ce qui pousse les agriculteurs d'assurer plus de quantité et avec pratiquement une qualité acceptable des légumes et des fruits nécessaires pour satisfaire le besoins des consommateurs.

Cette sécurité alimentaire de notre pays et notre citoyen est conditionnée aussi avec la disponibilité et la qualité de l'eau destinée à irrigation. C'est dans ce contexte nous avons met l'accent sur l'évaluation et la classification des eaux des forages utilisés pour l'irrigation dans la région de Tolga ; a pour but de prévenir les agriculteurs à la qualité de ces derniers.

C'est pourquoi l'évaluation de la qualité de l'eau demeure à l'heure actuelle un impératif pour rassurer durabilité et la protection de l'écosystème des oasis.

L'évaluation de l'eau d'irrigation avec des eaux souterraines prélevées pour 14forages captant de la nappe de calcaire fait l'objectif de cette étude ; dont l'analyse par les deux diagrammes de Piper,Schoeller Berkaloff résultant que la salinité des eaux avec certaine sodicité. Sachent que deux faciès chimiques signifiant un type Sulfaté calcique magnésique est le type dominant pour 85.71 %des forages étudiés ; et un faciès chloruré sodique caractérise 14.28% des forages.

Le diagramme de wilcoxet le diagramme de Reverside et les analyses physico-chimiques ont permis de caractériser leurs hydrochimie et évaluer leurs utilisation en irrigation. Les compositions chimiques de ces eaux font apparaître une salinité élevée avec un faible à fort risque de sodicité, selon le diagramme de Riverside, un seul classe d'eau d'irrigation est admissible (C3S1), le reste des classes est médiocre à mauvaise qualité d'irrigation (C4S2, C4S4).

L'utilisation de l'eau d'irrigation saline a des effets néfastes sur les relations sol-eau-plante, parfois restreignant sévèrement l'activité physiologique normale et la capacité de production des cultures.

Ces eaux d'irrigation restent utilisables avec certaines mesures de précautions comme le mélange des eaux d'irrigation avec une source moins salé, le lessivage des sels avec une augmentation de la dose d'irrigation ce qui permet lessivage des sels, l'installation des réseaux de drainages évacué les eaux, l'apport de la matière organiques, la mises en cultures des plantes résistante aux sels.

Bibliographie

- Ayerset Westcot (1994) Bouhoun, M. D., & Brinis, L (2006).** Étude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin: cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. J. Algérie. Rég. Arides, Nspécial, p 17-20.
- Ashley, R., & Cashman, A (2006).** Incidences du changement sur la demande à long terme d'infrastructures dans le secteur d'eau. OCDE-Organisation de Coopération et de Développement Économiques. Programme de l'OCDE sur l'Avenir. Les infrastructures à l'horizon, 2030.
- ANRH (2011)** Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques Etude sur modèle mathématique du système aquifère de la région du Biskra.
- Allassane. A 2004** Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (Sud du Benin) : identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle.
- Bleu, P. (2008).** Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée.
- Banque mondiale (1988).** Banque Mondiale, U. S. A. I. D. (1988). Coopération Suisse.
- Brouwer, B., al Ashby, P. (1992)** Corticospinal projections to lower limb motoneurons in man. *Experimental brain research*, 89 (3), p 649-654.
- Benouniche, M., Kuper, M., Hammani, A., & Boesveld, H. (2014).** Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science*, 32(6), 405-420.
- Bouchmel ,Mazzaferro, S., Bouchemal, K., Gallard, J. F., Iorga, B. I., Cheron, M., Gueutin, C., ... & Ponchel, G (2011).** Bivalent sequential binding of docetaxel to methyl- β -cyclodextrin. *International journal of pharmaceuticals*, p 416(1).
- Bekkouch k, Bouammali, H., Ousslim, A., Bouammali, B., Aouniti, A., Al-Deyab, S. S et al Hammouti, B (2013).** The anti-corrosion behavior of *Lavandula dentata* aqueous extract on mild steel in 1M HCl. *Int. J. Electrochem. Sci*, 8, 6005-6013.
- Bouaroudj, S. 2012.** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, mémoire de magistère écologie, université de Constantine, p 75.
- Chabour, N (2006).** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie, p180.
- Dubost, D., & Moguedet, G (1998).** Un patrimoine menacé: les foggaras du Touat. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 9(2), p 117-122.
- DDASS(2005).** Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du BAS-RHIN (Service Santé-Environnement, Qualité des eaux d'alimentation, syndicat des eaux de Drulingen : Secteur Rimsdorf, p 2 .

- DRE (2018).**Sonneville-Bordes, D., & Perrot, J. (1956). Lexique typologique du Paléolithique supérieur: Outillage lithique-IV Burins. Bulletin de la Société préhistorique de France, 53(Fasc. 7/8), 408-412
- El Ghorfi, M., Melcher, F., Oberthür, T., Boukhari, A. E., Maacha, L., Maddi, A., & Mhaili, M. (2008).**Platinum group minerals in podiform chromitites of the Bou Azzer ophiolite, Anti Atlas, Central Morocco. Mineralogy and Petrology, 92(1-2), 59-80.
- El Asslouj, J., Kholtei, S., El Amrani, N., & Hilali, A (2007).** Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie, 3(1).
- Eress, (1972).** Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. par UNESCO. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. Vol.5. nappe du continental intercalaire Vol.2. nappe du complexe terminal. vol.3.
- FAO ,(2006).** Food Alimentation Organisation La qualité de l'eau en agriculture. Bull. d'irrigation et drainage n°29 , 176 p.
- FAO, (1988).** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et drainage n°29, 180 p.
- FAO N° 29 (1976).**Masmoudi-Charfi, C., Masmoudi, M. M., & Ben Mechlia, N. (2004). Irrigation de l'olivier: Cas des jeunes plantations intensives. Revue Ezzaitouna, 10(1-2), 37-51.
- 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.
- Google Earth 2019.**
- Kline, A. E., McAloon, R. L., Henderson, K. A., Bansal, U. K., Ganti, B. M., Ahmed, R. H., ... & Sozda, C. N (2010).**Evaluation of a combined therapeutic
- Kamagaté, B (2006).**Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant de milieu tropical de socle au Bénin: bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé). Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 319p.
- Louvrier, M(1976).** Acquisition et traitement des données Hydrogéochimiques: exemples d'application (Doctoral dissertation).
- Labbaï Kheireddine et Gharbi Chaker, 2017,** les maladies à transmission hydrique en Algérie, mémoire, université BADJI MOKHTAR ANNABA.
- Maynard, D. N., et al Hochmuth, G. J (1997).** Knott's handbook for vegetable growers (No. Ed. 4). John Wiley and Sons, Inc.

- Nemra, A., & Aouf, N (2010).** Robust INS/GPS sensor fusion for UAV localization using SDRE nonlinear filtering. *IEEE Sensors Journal*, 10(4), 789-798.
- Ozenda, P., & Borel, J. L (1991).** Les conséquences [écologiques] possibles des changements climatiques dans l'Arc alpin. ICALPE [Centre international pour l'environnement alpin].
- Rodier et al (2009).** L'analyse de l'eau - 9^{ème} édition,- Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer: Analyse de l'eau, 9ème édition, Paris, Dunod.
- Rejsek, F(2002).** Analyse des eaux. Edition ressources pour l'éducation nationale. Bordeaux. Cedex. France.
- Sais Z, Touati A (2017).** Etude hydrochimique des forages d'eau de Continental intercalaire de In Salah destinés à l'AEP de la ville de Tamanrasset, mémoire, Université Kasdi Merbah – Ouargla.
- Sedrati N (2006).** Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de La wilaya de biskra-sud est, thèse doctorat, algérien. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Sedrati, N (2011).** Origines et caractéristiques physicochimiques des eaux de la wilaya de Biskra, Sud-Est algérien (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Univ. Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, p 252.
- Thoraval, J., Pellerin, C., Lambert, M., & Le Solleuz, J (1976).** Les grandes étapes de la civilisation française p 203.
- Torki, (2014).** Reproduction des tourterelles dans la région des Zibans, diplôme de magisterscience agronomie, Université Mohamed Khider- Biskra p5.
- U.S.S.L (1954).** Staff Diagnosis and improvement of saline and alkali oils. *Agriculture Handbook*, 60, p.83-100.
- Zaghtou, A. E., & Mesbah, M. (2011).** Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans la région d'Adrar (Touat) (Doctoral dissertation). Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux de la nappe du continental intercalaire dans la région d'Adrar.

Annexes

Annexe

Annexe 1 : Les données climatiques moyennes mensuelles de la wilaya de Biskra pendant une période de 10 ans (2007 à 2017)

Mois	T max	T min	T moy	Precipitation	Vitesse de vent	Humidité	insolation
Janvier	18,1	6,9	12,6	11,04	8,10	57,24	241,4
Février	19,1	9,9	13,5	14,65	8,48	48,79	236,1
Mars	23,2	11,4	17,3	16,46	8,87	45,15	229,9
Avril	27,6	15,2	20,8	13,95	9,55	41,71	236,3
Mai	32,6	19,9	26,2	12,02	10,58	34,30	250,3
Juin	37,8	24,7	31,2	6,71	13,90	30,03	260,1
Juillet	41,3	28,2	34,8	2,53	13,97	27,33	270,4
Août	40,3	27,9	34,1	3,62	13,08	32,07	263,7
Septembre	35,1	23,6	29,0	20,18	9,28	40,88	219,8
Octobre	29,4	18,4	23,9	27,35	8,81	49,32	244
Novembre	22,6	14,4	17,3	9,69	7,72	53,28	236,4
Décembre	18,1	9,4	12,8	8,95	6,16	58,70	227,7

Annexe 2 : L'évapotranspiration mensuelle moyenne (mm/mois) de la wilaya de Biskra pendant une période de 10 ans (2007 à 2017)

Mois	ETP (mm /mois) durant la période(2007 à 2017)
Janvier	82,056
Février	108,36
Mars	165,624
Avril	211,749
Mai	281,272
Juin	298,19
Juillet	320,904
Août	276,3
Septembre	203,283
Octobre	151,15
Novembre	99,336
Décembre	65,898
TOTAL	2264,122

Annexe 3 : Le déficit mensuel moyen hydrique mensuel de la wilaya de Biskra pendant une période de 10 ans (2007à 2017).

Mois	ETP (mm)	P (mm)	Dp=ETP-P (mm)
Janvier	82,056	11,04	71,02
Février	108,36	14,65	93,71
Mars	165,624	16,46	149,16
Avril	211,749	13,95	197,80
Mai	281,272	12,02	269,25
Juin	298,19	6,71	291,48
Juillet	320,904	2,53	318,38
Août	276,3	3,62	272,68
Septembre	203,283	20,18	183,10
Octobre	151,15	27,35	123,80
Novembre	99,336	9,69	89,65
Décembre	65,898	8,95	56,95
TOTAL	2264,122	147,14	2116,99

Annexe 4 : Classification de l'eau en fonction de la conductivité

Forage	CEmS/cm	Taux des selles Mg/l (0.64)	interprétation
F1	1.977	1.26528	Dans les normes
F2	2.640	1.6896	Dans les normes
F3	3.160	2.0224	Elevée
F4	4.390	2.8096	Elevée
F5	3.300	2.112	Elevée
F6	3.300	2.112	Elevée
F7	7.580	4.8512	Elevée
F8	3.010	1.9264	Elevée
F9	3.920	2.5088	Elevée
F10	7.700	4.928	Elevée
F11	3.110	1.9904	Elevée
F12	3.003	1.92192	Elevée
F13	3.220	2.0608	Elevée
F14	6.400	4.096	Elevée

ملخص

تعد منطقة الزيبان واحدة من أكثر المناطق الانتاجية من حيث كمية ونوعية الزراعة. بالرغم انها تتمتع بمناخ جاف وتستعمل المياه الجوفية للري. يتناول هذا العمل تقييم نوعية المياه الجوفية الكلسية المعدة للري في بلدية طولقة. فمنا باخذ 14 عينة من ابار منتشرة في منطقة الدراسة. أتاحت التحليلات الفيزيائية والكيميائية للمياه وصف خصائصها الهيدروكيميائية وتقييم استخدامها في الري وتكشف التركيبات الكيميائية لهذه المياه عن درجة عالية من الملوحة مع مخاطر منخفضة إلى عالية من شوارد الصوديوم وفقاً لمخطط ريفرسايد ، فئة واحدة من مياه الري مسموح بها (C3S1) ، وبقية الفئات متوسطة إلى نوعية رديئة (C4S2, C4S4) يتجلى نمطان كبيران من الماء ؛ النمط الاول عبارة عن سلفات الكالسيوم المغنيسيوم بنسبة 85.71 % والثاني كلوريد الصوديوم بنسبة 14.28 %. ويستنتج من هذه الدراسة أن نوعية مياه الري لها تأثير كبير على الجودة الفيزيائية والكيميائية للتربة من خلال الملوحة. من أجل حل مشكلة الملوحة ، يتم أخذ بعض التدابير عين الاعتبار من قبل المزارعين مثل: اختيار الأنواع والأصناف المسموح بسقيها بهاته المياه ، وتوريد المواد العضوية ، وتخفيف ملوحة المياه ، وغسل الأملاح والصرف.

الكلمات الأساسية : طولقة ، المنطقة الجافة ، الملوحة ، الري ، جودة المياه

Résumé

La région des Ziban est l'une des régions la plus productive en matière agricoles sur le plan quantitatif et qualitatif. Néanmoins cette zone, a climat aride ; exploite en premier lieu, les eaux souterraines pour l'irrigation. Ce travail traite l'évaluation de la qualité des eaux de la nappe de calcaire de destinée à l'irrigation dans la commune de Tolga. L'échantillonnage porte sur 14 forages répartis sur la zone d'étude. Des analyses physico-chimiques des eaux ont permis de caractériser leur hydrochimie et évaluer leur utilisation en irrigation. Les compositions chimiques de ces eaux font apparaître une salinité élevée avec un faible à fort risque de sodicité, selon le diagramme de Riverside, un seul classe d'eau d'irrigation est admissible (C3S1), le reste des classes est médiocre à mauvaise qualité d'irrigation (C4S2, C4S4). Deux grands faciès d'eau se manifestent ; le premier faciès est un faciès sulfaté calcique et magnésien avec un taux de 85.71% et le deuxième est un faciès chloruré sodique avec un taux de 14.28%. Il résulte de cette étude que la qualité des eaux d'irrigation a un impact non négligeable sur la qualité physico-chimique des sols par leur salinisation. Afin de résoudre le problème de salinité, quelques mesures sont prise en considérations par les agriculteurs comme : le choix des espèces et des variétés tolérantes, apport de la matière organique, mélange des eaux, lessivage des sels et drainages.

Mots clés : Tolga, zone aride, salinité, irrigation, qualité de l'eau.

Abstract

The Ziban region is one of the most productive regions in terms of quantity and quality of agriculture. At least this area has an arid climate; operates primarily, groundwater for irrigation. This work deals with the assessment of the water quality of the limestone slick intended for irrigation in the municipality of Tolga. The sampling covers 14 drill holes spread over the study area. Physicochemical analyzes of the waters made it possible to characterize their hydrochemistry and evaluate their use in irrigation. The chemical compositions of these waters reveal a high salinity with a low to high risk of sodicity, according to the Riverside diagram, a single class of water irrigation is permissible (C3S1), the rest of the classes are mediocre to poor irrigation quality (C4S2, C4S4). Two large facies of water are manifested; the first facies is calcium and magnesium sulphate facies with a rate of 85.71% and the second is sodium chloride facies with a rate of 14.28%. It follows from this study that the quality of irrigation water has a significant impact on the physico-chemical quality of the soil by salinization. In order to solve the problem of salinity, some measures are taken into consideration by farmers such as: the choice of species and tolerant varieties, supply of organic matter, mixing of water, leaching of salts and drainages.

Key words: Tolga, arid zone, salinity, irrigation, water quality.