



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

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences de la nature et de la vie  
Agronomie  
Hydro pédologie

Réf. : Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**MERABTI Ahlam**

Le : 21-6-2023

## Etude de la qualité des eaux d'irrigation de la région de Tolga W. Biskra

---

### Jury :

Mr	AISSAOUI .H	Grade	Université de Biskra	président
Mme	HIOUANI Fatima	Grade	Université de Biskra	Encadreur
Mme	MABREK Naima	Grade	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire :  
2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciements*

*Avant tout, je tiens à remercier Dieu, le tout puissant. Grâce à son assistance ce mémoire a pu être réalisé.*

*Louange à Dieu...*

*Ces quelques lignes vont me permettre de remercier toutes les personnes qui m'ont beaucoup apporté au niveau scientifique mais aussi personnel.*

*Qu'il me soit permis d'adresser mes vifs remerciements et ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse : le Professeur HIOUANI .F(Université de Biskra) pour la confiance qu'il a eu en moi en acceptant de diriger mon travail, malgré ses occupations multiples. Je voudrais qu'il trouve ici toute ma reconnaissance pour ses encouragements, ses conseils, ses recommandations, le temps qu'il m'a consacrée et sa bienveillance.*

*Mes plus grands remerciements vont à l'équipe de CRSTRA particulièrement Dr. HAROUN FADLAOUI pour son soutien lors de mon stage, sans oublier Dr. Tarek OTMANE et Dr. Rabeh et Mme Mancer HALIMA et Mme Benaoune Salíha, et Mme Nariman pour leurs aides scientifiques, techniques et soutien moral.*

*Je remercie aussi l'équipe de ITIDAS particulièrement MME FADLAOUI SOUMIA pour son soutien lors de mon stage, Je remercie infiniment monsieur Mme DJAOUHER, pour ses encouragements et précieuses aides.*

*Un grand merci à nos amis de la promotion 2022-2023 de Master 2.*

# Dédicaces

*Je dédie humblement ce travail*

*Au plus précieux des êtres humains sur mon cœur*

*maman c'est la personne qui peut remplacer  
n'importe qui mais ne peut être remplacée par  
personne source de ma joie de vivre et de mon*

*Courage d'avancer.*

*A tout ma famille*

*A tous mes amies*

*A toute ma promotion 2022-2023*

*A ceux qui m'ont aidé de près ou de loin*

# Sommaire

<i>Remerciements</i> .....	I
<i>Dédicaces</i> .....	II
<i>Liste des tableaux</i> .....	VI
<i>Liste des figures</i> .....	VII
<i>Liste des abréviations</i> .....	VIII
Introduction générale.....	1
Première partie_ Cadre naturel et caractérisation de la région d'étude- Tolga	
Chapitre 1_ Situation géographique et cadre physique	
1. Cadre géographique.....	4
1.1 Limites géographiques .....	4
2. Aperçus sur la région d'étude Biskra (Tolga) .....	5
Chapitre 2_ Etude climatique et hydrographique	
1. Facteurs écologiques .....	7
1.1. Les facteurs abiotiques .....	7
1.1.1. Reliefs.....	7
1.1.2. Pédologie.....	7
1.1.3. L'hydrographie.....	8
2. Facteurs climatiques.....	8
2.1. Le climat.....	8
2.1.1. La température.....	9
2.1.2. Les précipitations .....	9
2.1.3. L'humidité.....	10
2.2. Le régime climatique.....	11
2.2.1. Diagramme pluviothermique de Gaussen .....	11
Chapitre 03_ Contexte géologique et hydrogéologique	
1. Géologie régionale et locale.....	13
2. Cadre litho stratigraphique .....	13
2.1. Le mesozoïque.....	13
2.1.1. Le trias.....	14
2.1.2. Le jurassique .....	14
2.1.3. Le crétacé .....	15

3. Hydrogéologie régionale .....	19
3.1. Les formations aquifères à nappe libre, semi libre à semi captive .....	20
3.2. Les formations aquifères captives .....	21
4. La répartition spatiale des ressources souterraines en eau captant les nappes et leurs profondeurs du substratum .....	21
4.1. La nappe phréatique du quaternaire .....	22
4.2. La nappe des sables du Miopliocène .....	23
4.3. La Nappe des calcaires .....	24

## Partie 2: Méthodologie et résultats

### Chapitre 03: Matériels et Méthodes

1. méthodes d'échantillonnage .....	27
1.1. Choix de la zone d'étude .....	27
1.2. Points d'échantillonnage .....	27
2 Méthode d'étude .....	29
2.1 Analyse physico-chimiques des eaux .....	29
2.1.1. Ph. ....	29
2.1.2. Conductivité électrique .....	29
2.1.3. Les cations .....	29
2.1.4. Les anions .....	29
3. Les faciès chimiques des eaux .....	30
3.1. Diagramme Schoeller et Berkloff .....	30
3.2. Diagramme de Piper .....	31
3.3. Diagramme de Riverside .....	31
3.4. Diagramme de Stabler : .....	32

### Chapitre 04: Résultats et discussion

1. Introduction .....	34
2. caractérisation physiques-chimiques des eaux d'irrigation .....	34
2.1. Potentiel d'hydrogène (pH) .....	34
2.2. Conductivité électrique (CE) .....	35
2.3. Les cations .....	36
2.3.1. Le calcium .....	36
2.3.2. Le sodium .....	37
2.3.3. Le potassium .....	38
2.3.4. Le magnésium .....	39
2.4. Les anions .....	40
2.4.1. Le chlorure .....	40

2.4.2. Les bicarbonate .....	41
2.4.3. Les carbonate.....	41
2.4.4. Les sulfate .....	42
2.4.5. Les nitrate.....	42
3. Etude de la corrélation entre les variables.....	42
3. Classification des eaux d'irrigation.....	43
3.1. Classification des eaux souterraines selon Riverside .....	43
5. Classification des eaux souterraines selon PIPER.....	45
6. Classification des eaux souterraines selon Stabler .....	46
7. Classification des eaux souterraines selon Diagramme de Schoeler Berkaloff.....	48
Conclusions .....	34
Bibliographie.....	52
Annexes.....	55
Résumé.....	56

## *Liste des tableaux*

<b>N°</b>	<b>Désignation</b>	<b>page</b>
<b>01</b>	<b>Cordonnées géographiques, situation, profondeur et la température eaux des forages étudiant.</b>	<b>28</b>
<b>02</b>	<b>Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux</b>	<b>43</b>
<b>03</b>	<b>Classification des faciès chimiques des eaux d'après la formule caractéristique de Stabler</b>	<b>47</b>

## *Liste des figures*

N°	Désignation	page
<b>01</b>	Carte de localisation et des limites de la wilaya de Biskra.	<b>4</b>
<b>02</b>	Carte de milieu physique de la wilaya de Biskra	<b>7</b>
<b>03</b>	Températures moyennes dans la région de Biskra durant la période 2020-2021	<b>9</b>
<b>04</b>	Précipitations moyennes dans la région de Biskra durant la période 2020-2021	<b>10</b>
<b>05</b>	l'humidité moyenne dans la région de Biskra durant la période 2020-2021,	<b>10</b>
<b>06</b>	Diagramme pluviothermique de la région de Biskra durant la période 2020-2021	<b>11</b>
<b>07</b>	Carte du toit de la nappe des calcaires de l'éocène inférieur	<b>21</b>
<b>08</b>	Répartition des points d'eaux dans la région de Biskra	<b>22</b>
<b>09</b>	Carte des profondeurs du substratum de la nappe phréatique	<b>23</b>
<b>10</b>	Carte des profondeurs du substratum de la nappe des sables	<b>24</b>
<b>11</b>	Carte du toit de la nappe des calcaires de l'éocène inférieur	<b>24</b>
<b>12</b>	Prélèvement d'un échantillon d'eau	<b>27</b>
<b>13</b>	Diagramme SCHOELLER et BERKALOFF	<b>30</b>
<b>14</b>	Diagramme de Piper	<b>31</b>
<b>15</b>	Diagramme Riverside	<b>32</b>
<b>16</b>	Répartition spatiale du pH dans la zone d'étude	<b>34</b>
<b>17</b>	Répartition spatiale de la conductivité électrique	<b>35</b>
<b>18</b>	La répartition spatiale du calcium	<b>36</b>
<b>19</b>	La répartition spatiale du sodium dans la zone d'étude..	<b>37</b>
<b>20</b>	.Répartition spatiale en potassium dans la zone d'étude	<b>38</b>
<b>21</b>	Répartition spatiale des teneurs en magnésium (mg/l) dans la zone d'étude.	<b>39</b>
<b>22</b>	Répartition spatiale des teneurs en chlorures (mg/l) dans la zone d'étude	<b>40</b>
<b>23</b>	Répartition spatiale des teneurs en bicarbonates (mg/l) dans la zone d'étude.	<b>41</b>
<b>24</b>	Diagramme de Riverside des eaux des forages	<b>44</b>
<b>25</b>	Classification des eaux souterraines selon Welcox	<b>45</b>
<b>26</b>	Représentation des résultats sur le diagramme de Piper	<b>46</b>
<b>27</b>	Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de STABLER	<b>47</b>
<b>28</b>	Représentation des résultats d'analyses sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.	<b>48</b>
<b>29</b>	Représentation des résultats d'analyses sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.	<b>49</b>
<b>30</b>	Représentation des résultats d'analyses sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff	<b>49</b>

## *Liste des abréviations*

C.E : Conductivité Electrique

C.T. : Complexe Terminal

G.P.S. : Global Positioning System

O.N.M. : Office National de la Météorologie

S.A.R. : Sodium Adsorption Ratio

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre Hydrométrique

U.S.S.L. : United State Salinity Laboratory

C.I. : Continental Intercalaire

A.N.R.H. : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques



# **Introduction générale**

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).

Depuis des siècles ou millénaires, des canaux d'irrigation ont été construits 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 (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 région de Biskra est marquée par le déficit hydrique ; les précipitations sont rares, irrégulières et males réparties dans le temps et l'espace, il ne fait pas l'exception avec ces ressources en eau, et son potentielle en superficie agricole.

La wilaya de Biskra présente des ressources en eau souterraines très importantes, représentées par les nappes des deux systèmes aquifères, le complexe terminal et le continental intercalaire (Eress, 1972).

L'objectif principal de cette étude est l'identification et la classification des eaux d'irrigation de la région Tolga, wilaya de Biskra, et de prévenir les problèmes relatifs à la qualité de ces eaux, à partir des analyses physico-chimiques.

Aussi, une étude statistique des paramètres hydro- chimique mesurés (statistiques élémentaires, étude de la corrélation entre les variable).

- Une classification des faciès chimiques des eaux et évaluation de la qualité des eaux souterraines

Pour cela notre travail est réparti comme suit :

Le premier chapitre, est consacré à l'étude géologique, hydrogéologique, climatique, etc.)

Le deuxième chapitre porte sur la présentation du matériel et méthodes utilisées dans la réalisation de ce travail ;

Le troisième chapitre, est préservé aux différents résultats et leurs discussions.

# **Première partie**

## **Cadre naturel et caractérisation de la région d'étude- Tolga**

# **Chapitre 1**

## **Situation géographique et cadre physique**

## 1. Cadre géographique

La wilaya de Biskra est située au sud-est du pays, sur le flanc sud des monts du massif des Aurès, plus exactement dans la zone de transition entre l'Atlas saharien et le Sahara. Elle occupe une superficie de l'ordre de 1 024 600 km<sup>2</sup> (Monographie de Biskra, 2011)

### 1.1 Limites géographiques

La wilaya de Biskra est limitée (figure 01)

Au nord, par la wilaya de Batna ; reliée par la route nationale n°03

Au nord-est, par la wilaya de Khenchela ; menée par la route nationale n° 83

Au sud-ouest, par la wilaya d'Ouled Djellal ; menée par la route nationale n°46

Au sud, par la wilaya d'El Oued ; aussi, reliée par la route nationale n°03.



Figure 01 : Carte de localisation et des limites de la wilaya de Biskra.

Description de l'état agraire de Biskra à l'arrivée colonial (en 1844), selon Cataldo (1988) :

La ville de Biskra :

La principale richesse de Biskra est, comme celle d'autres villes des Ziban, la culture des dattiers. Ils ont aussi un grand nombre d'oliviers, on y récolte des grenades et quelques abricots, mais en petite quantité... on y cultive le poivre rouge en grande abondance.

Le henné s'y trouve aussi mais sa culture n'est pas aussi étendue que dans plusieurs autres villes des Ziban. La ville de Droue, entre autres, est une de celles où on récolte le plus. Le blé et l'orge sont aussi un des objets qui attirent le plus l'attention des habitants de Biskra.

**Tolga :**

La capitale en est Tolga, on aperçoit tout le Zab Occidental de Bouchagroune à l'Est à El Amri à l'Ouest ; à Rassouta, se trouvaient les très belles palmeraies Ben Tabbi et Bengana. Cette dernière, entourée de hauts murs, était un petit paradis : l'eau courait descendant en petites cascades les terrasses étroites plantées de palmiers. Les massifs de fleurs, roses, géraniums, jasmin, les grandes volières où s'ébattaient des centaines de perruches blanches, jaunes, rouges, bleues, vertes, la fraîcheur de l'atmosphère en faisait un jardin des Mille et une nuits.

**2. Aperçus sur la région d'étude Biskra (Tolga)**

Cette région se trouve à une altitude moyenne de 427 m, La wilaya de Biskra compte un total de 584 forages avec une profondeur totale de 176 230 Ml/s et un débit total de 14 962 l/s. La part de la ville de Biskra est de 2 226 l/s soit 14,8% du débit total (Farhi 2002).

La Daïra de Tolga couvre 1334.10 km<sup>2</sup> soit 6.20 % de la superficie totale de la Wilaya (21.510 km<sup>2</sup>), la SAU (Superficie Agricole Utile) représente 8.89% de la SAT (Superficie agricole Totale) soit 9250 ha; dont 74.87% en phoeniciculture, le reste est constitué par des terres incultes et par des parcours qui couvrent pré de 91% de la SAT. Elle est située à 390 km au Sud-est de la capitale et à 36 km au nord ouest du chef lieu de wilaya Biskra. Son altitude est de 128 mètres au dessus du niveau de la mer. Elle est caractérisée par un climat froid en hiver, chaud et sec en été. Sa localisation géographique fait d'elle une région à vocation agrosaharienne basée sur les vastes étendues des oasis. L'activité de culture du palmier dattier s'est ancrée dans la région, et elle se présente comme l'une des plus importantes régions Phoenicicole en Algérie. Elle est connue mondialement pour la grande qualité de ses dattes, notamment par la variété noble Deglet Nour (Benziouche et Chehat, 2010).

# **Chapitre 2**

## **Etude climatique et hydrographique**

## 1. Facteurs écologiques

### 1.1. Les facteurs abiotiques

Nous mentionnons quelques-unes des caractéristiques naturelles de la région d'étude :

#### 1.1.1. Reliefs

Selon Boukhelouf (2018) ; la wilaya de Biskra se distingue par 04 unités morphologiques :

- **Les montagnes** : Situées au Nord de la région presque découvertes de toute végétation naturelle (El-Kantara, Djamoura, et M'Chouneche ils représentent 13% de la superficie de la wilaya (Boukhelouf, 2018).

- **Les plateaux**

Localisés en grande partie à l'Ouest de la wilaya, et s'étendent sur une superficie de 1 210 848 hectares (soit 56% de l'étendue de la wilaya). La végétation des plateaux est maigre et constitue des sites privilégiés de parcours représentés par les pentes et s'étendent jusqu'à la rive Sud de l'Ouest constituent le plateau de Ouled Djellal (Ouled Djellal et Sidi Khaled),

- **Les plaines**

S'étendent dans l'axe Est/Ouest. Elles sont caractérisées par des sols profonds et fertiles. Elles sont couvertes par les steppes d'El Outaya, Doucen, Lioua, Tolga, Sidi Okba et Zeribet El oued.

- **Les dépressions**

Situées au Sud-est de la wilaya, elles constituent une assiette où se forment des nappes d'eau très minces constituant ainsi les chotts dont le plus important est le chott Melghir dont le niveau peut atteindre -33m au-dessous de celui de la mer.

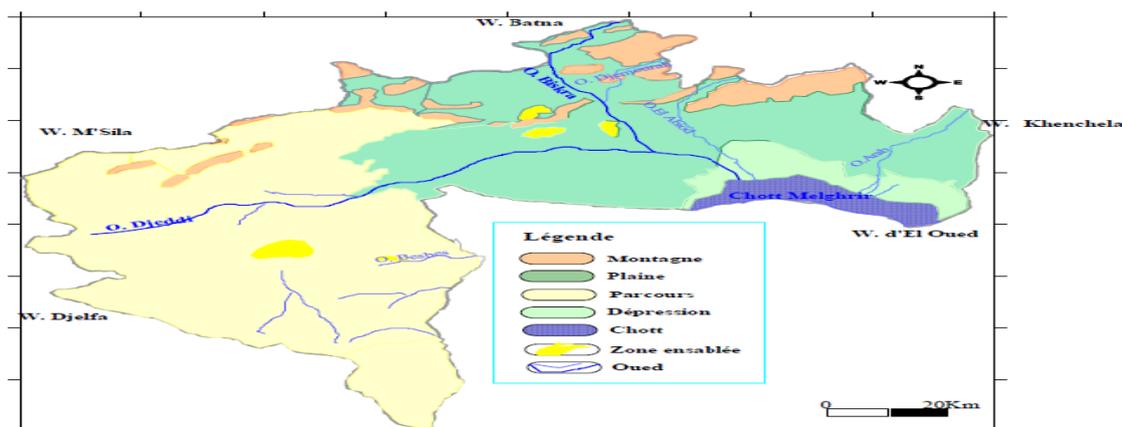


Figure 02: Carte de milieu physique de la wilaya de Biskra ( Sedrati, 2011).

#### 1.1.2. Pédologie

Les sols de la région de Biskra sont hétérogènes mais ils sont constitués des mêmes catégories rencontrées dans l'ensemble des régions arides de l'Algérie. Alors que ; d'après les études pédologiques réalisées par ( KHACHAI (2001),

Les sols de la wilaya de Biskra présentent les caractéristiques suivantes :

- La partie Sud, sont surtout caractérisées par les accumulations salées, gypseuses et calcaires.
- La partie Est, sont définies par les sols alluvionnaires et les sols argileux fertiles.
- La partie Nord (ou zones de montagnes) sont le siège de formation des sols peu évolués et peu fertiles.

Enfin, la plaine située au Nord-Ouest de Biskra où les sols argileux sodiques sont irrigués par les eaux fortement minéralisées qui constituent le caractère de la pédogénèse de cette région.

### **1.1.3. L'hydrographie**

Selon Hannachi et Bekkari (1994); Chabour (2006); Belguedj *et al.* (2008), la wilaya de Biskra est drainée par une série d'oueds dont les plus importants sont :

- Oued Djedi
- Oued Biskra
- Oued El-Arab
- Oued El-Abiod

## **2. Facteurs climatiques.**

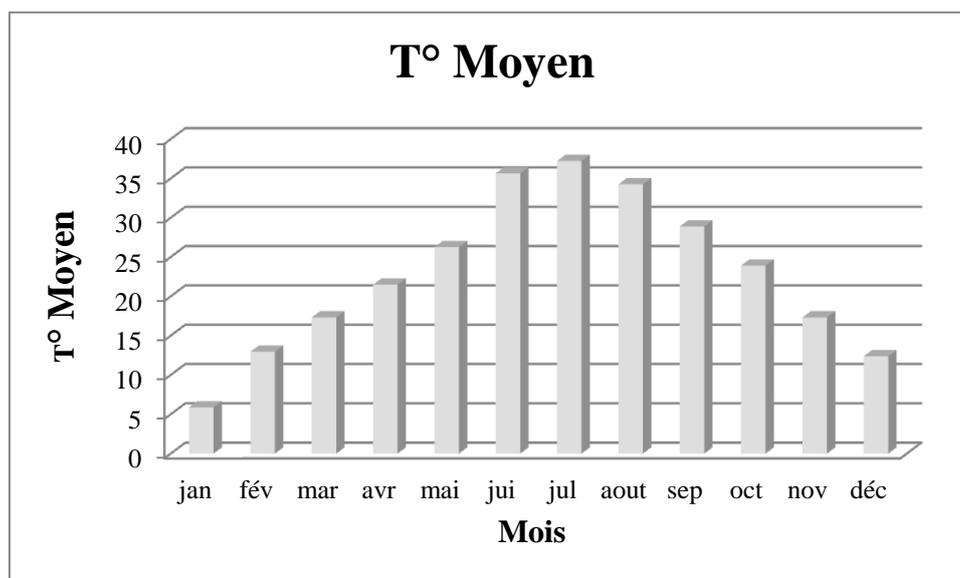
### **2.1. Le climat**

En général, le Sahara est caractérisée par un déficit hydrique dû à la faiblesse des précipitations, à l'évaporation intense, aux fortes températures et à la grande luminosité (Toutain, 1979).

Le climat est déterminé grâce à la moyenne et la variabilité de certains paramètres sur une période de temps allant de plusieurs mois à plusieurs milliers ou millions d'années. Ces paramètres (variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent) sont habituellement moyennés sur une période de 30 ans (Les carmontier *et al.*, 2019). Le climat est bouillant dans cette localité en ce mois de juin. Le thermomètre atteint en moyenne au maximum 36°C. Le minimal est de 27°C. Ce qui fait qu'en moyenne, la température en juin à Biskra est de 32° (Tony Samson le 01/12/2014, mise à jour le 15/03/2021)

### 2.1.1. La température

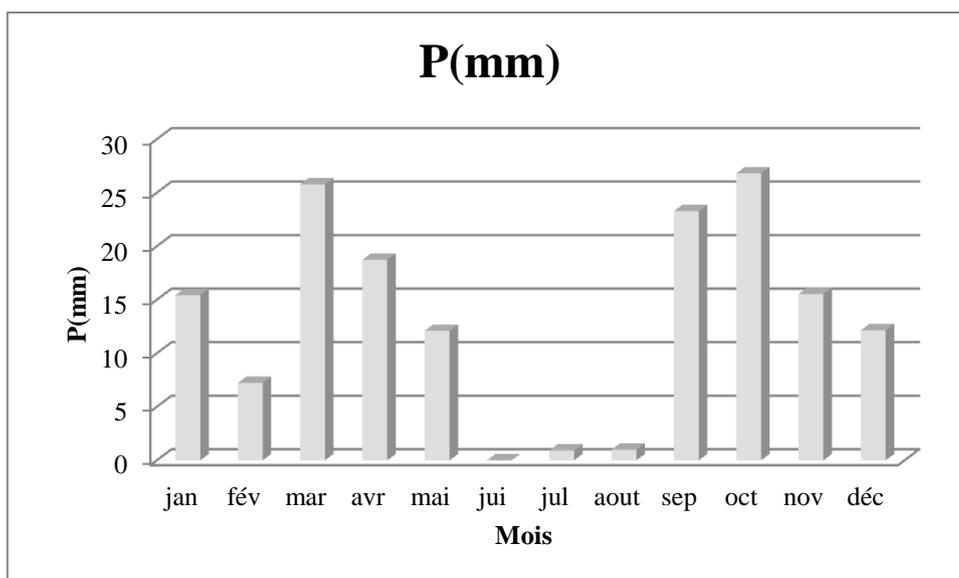
La région de Biskra est caractérisée par des températures très élevées, la Température moyenne annuelle est de 22.80°C, avec 35.22°C en juillet pour le mois le plus chaud et 5.89°C en Janvier pour le mois le plus froid. (Annexe 05),(figure 03) :



**Figure 03: Températures moyennes dans la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021)**

### 2.1.2. Les précipitations

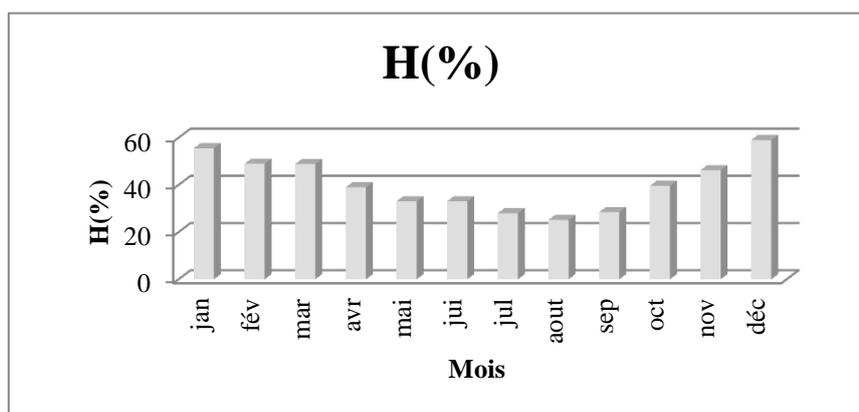
La région de Biskra indiquées un minimum de précipitations avec une pluviométrie moyenne mensuelle durant le mois le plus chaud (juillet), par contre le mois le plus pluvieux c'est le mois (Avril). (Annexe 06), (figure 04) :



**Figure 04: Précipitations moyennes dans la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021)**

### 2.1.3. L'humidité

L'humidité est très élevée et très variable suivant les années, les mois et aussi les semaines. Dans la région de Biskra, elle est 59.04 mm au mois de Décembre ( maximal ) .et de 25.18 mm au mois de Aout ( minimal ) , soit 41.59 mm moyenne annuelle .( Annexe 07),(figure 05) :



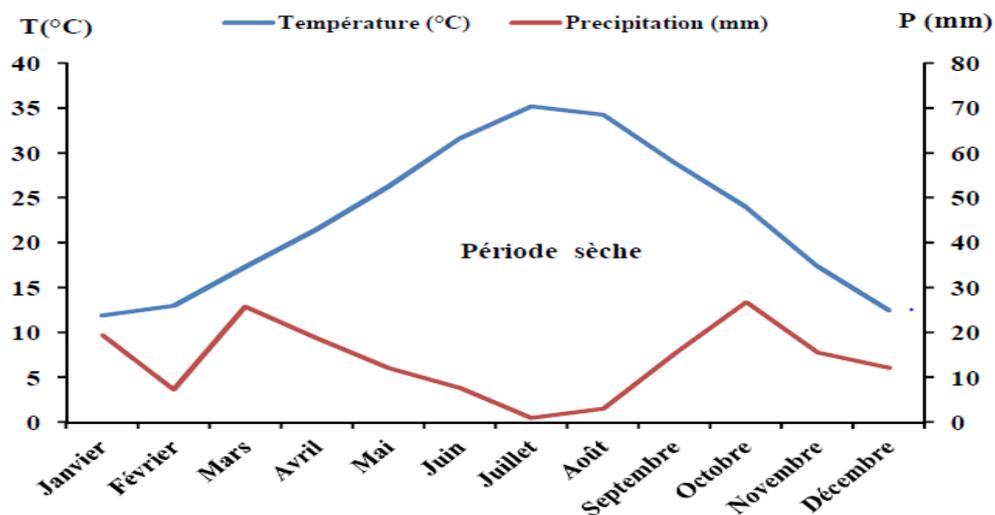
**Figure 05: l'humidité moyenne dans la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021)**

## 2.2. Le régime climatique

### 2.2.1. Diagramme pluviothermique de Gaussen

On utilise cette méthode pour déterminer la période sèche et la période humide de la région d'étude à (2006-2016).

Le climat est sec quand la courbe des températures se situe au-dessus de celle des précipitations est celui où la totalité des précipitations en mm est inférieure ou égale au double des températures moyennes ( $P \leq 2T^{\circ}\text{C}$ ). Pour Gaussen.



**Figure 06: Diagramme pluviothermique de la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021)**

L'analyse de diagramme (Figure06) montre que la période sèche s'étale sur toute l'année dans la région d'étude avec une intense sécheresse aux mois de Juin, Juillet et Août.

# **Chapitre 03**

**Contexte géologique et hydrogéologique**

## 1. Géologie régionale et locale

La région de Biskra est prise au sens large du terme, et ses limites sont approximatives.

Elle forme une zone de transition progressive entre le domaine atlasique et le domaine saharien septentrional car la continuité géologique de part et d'autre de l'accident sud atlasique est vérifiée entre Branis et Chetma (Chebbah, 2007).

Selon (Sedrati ,2011), Biskra est une zone de transition structurale et sédimentaire, le Nord est dominé par la structure montagneuse, tandis qu'au le Sud effondré, fait partie du Sahara Septentrional. Le passage entre ces deux domaines différents est caractérisé par la présence d'une formation appelée "accident sud atlasique » composée d'un ensemble de flexures, de plis-failles et de failles d'orientation Est Ouest.

Dans toute la région, les parties centrales des bassins sont formées par une suite de vastes dépressions remplies de sédiments quaternaires (et miopliocènes par endroits), séparées par des reliefs montagneux limités ou recoupés par des accidents transverses : des seuils (paléostructures) sur lesquels affleure le Néogène (Miocène et Pliocène). Les massifs bordiers, tant au Nord qu'au Sud de l'accident sud-atlasique, montrent des affleurements importants. Le type de l'érosion, l'absence ou la rareté de la végétation, ont permis de lever des coupes dans les sédiments siliciclastiques ou confinés sur les marges des bassins, déposées tout le long du néogène (Chebbah, 2007).

## 2. Cadre litho stratigraphique

Cette région est marquée par des phénomènes tectoniques synsédimentaires d'ampleurs diverses, commandant la sédimentation, dont la région a vécu du Miocène au Quaternaire et en partie à l'actuel un ensemble d'aires sédimentaires, plus ou moins indépendantes qui se sont surimposées à l'orogénèse tellienne ou hercynienne (Guiraud, 1990). Selon Chebbah (2007), la série litho stratigraphique repérée dans la région de Biskra en allant du plus récent vers le plus ancien est distingué par trois zones (Figure 07) :

- Zone Est (Cénozoïque, Miopliocène, Pontien, Maestrichtien) ;
- Zone Nord (Cénozoïque, Miopliocène, Maestrichtien) ;
- Zone Ouest (Cénozoïque, Miopliocène, Eocène inférieur, Sénonien supérieur, Albo-Barrémien).

### 2.1. Le mesozoïque

Le Mésozoïque forme les principaux reliefs imposants dans toute la région d'étude comme dans l'ensemble de l'Atlas saharien. Il est, en grande partie, constitué de terrains crétacés où domine une sédimentation argilo-carbonatée.

### **2.1.1. Le trias**

Le Trias est, souvent remarquable sur le terrain par son faciès évaporitique (Boutouga, 2012) et constitue les plus anciennes formations reconnues dans la région.

Il est caractérisé par la conservation de sel gemme en affleurement, qui forme la masse de cette montagne, où il est associé à des lambeaux dolomitiques liasiques ou à des petits affleurements d'argiles bariolées (fontaines des gazelles, Branis et Djemoura) est, au milieu desquels on trouve les cristaux fréquents de ce faciès, tels que : l'aragonite, l'anhydrite, la dolomie, le quartz bipyramide et l'hématite (Chebbah, 2007)..

### **2.1.2. Le jurassique**

#### **- Le Lias**

Dans l'Atlas saharien, le Lias débute par un niveau carbonaté. Il est formé par une série inférieure comportant des calcaires et des dolomies massives. La série supérieure est essentiellement argileuse. Le Dogger montre une série à faciès argilo-gréseux dépassant parfois les 2000 mètres d'épaisseur. Le Malm présente des faciès d'influence marine sous forme de sables et de grès, d'argiles et de calcaires (Chabour, 2006).

Comme le Trias, le Lias est inconnu en position normale et quand on le rencontre, il est emballé dans le Trias sous forme de lambeaux constitués d'argiles schisteuses (Menaâ, centre Aurès) ou de dolomies (El Outaya).

#### **- Le Kimméridgien**

Il est constitué de deux parties « le kimméridgien inférieur et Le Kimméridgien Supérieur ». Il s'agit des terrains les plus anciens reconnus en position normale dans le massif de l'Aurès où il forme une boutonnière entre les vallées de l'Oued Abdi et de l'Oued Abiod (anticlinal de Dj El Azreg) .

Il se scinde en deux ensembles bien distinctes avec :

Un ensemble carbonaté basal, d'une épaisseur de 250 à 300 m, qui se rapporte au Kimméridgien inférieur. Il est formé de calcaires marneux, de marnes jaunâtres, de calcaires silicifiés multicolores à intercalations de marnes rouges surmontés de calcaires, de marnes et de calcaires bréchoïdes à débris de crinoïdes, d'échinides et de bryozoaires et à cristaux de

quartz. Ensuite viennent des conglomérats à intercalations marneuses à débris d'organismes récifaux associés à des bélemnites, des calcaires et des calcaires marneux ou granuleux. Cet ensemble se termine par une alternance de calcaires et de marnes.

Un ensemble marneux sommital, d'une épaisseur de 400 m, monotone admettant dans sa partie médiane des intercalations de calcaires marneux à lamellibranches. Cet ensemble forme le coeur de l'anticlinal de Dj. El Ezreg. (Chebbah, 2007).

#### **a- Le Portlandien et le Berriasien:**

Cette formation, d'une épaisseur de 250 à 300 m, se présente sous deux faciès bien distincts, mais qui passent progressivement de l'un à l'autre, formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaro-marneux au NW et un faciès dolomitique au SW du massif aurésien :

- L'ensemble calcaro-marneux, peu fossilifère, est formé de calcaires en bancs siliceux blanchâtres violacés surtout à radiolaires et de marnes à ammonites pyriteuses admettant quelques intercalations de calcaires argileux et de calcaires pisolithiques à brachiopodes, lamellibranches, polypiers et échinodermes à leur sommet.

-L'ensemble dolomitique est formé de dolomies azoïques à rares passées de calcaires et de marnes à bélemnites et forme en majeure partie le flanc sud de DJ. El Azereg. Au-delà de l'accident sud atlasique, les dépôts jurassiques ne sont connus qu'au Sud tunisien. Ils sont formés une alternance de dolomies, de calcaires et de marnes avec des gypses à brachiopodes, crinoïdes, échinidés, gastéropodes et lamellibranches attribués au Bathonien - Kimméridgien. (Chebbah, 2007).

#### **2.1.3. Le crétacé**

Deux séries s'individualisent dans les formations crétacées : une série gréseuse basale du crétacé inférieur (Valanginien-Berriasien - Albien) d'une puissance de 2000 m environ, comportant parfois des lentilles de marnes ou de calcaires et une série marno-calcaire sommitale du Crétacé supérieur (Cénomaniens – Maestrichtien-Danien) d'une puissance de 3000 m (Chebbah, 2007).

##### **a) Le Crétacé inférieur**

Il est caractérisé par une prédominance de faciès gréseux et par une épaisseur considérable pouvant atteindre 2000m ; on distingue de bas en haut :

##### **- Le Valanginien**

Il a une épaisseur de 150 à 200 m et subdivisé en trois parties: La partie basale du (Valanginein inférieur) est formée d'argiles et qui n'affleure qu'au niveau de Dj El Ezreg (centre des Aurès). Il ne se rencontre qu'au centre du massif de l'Aurès (Dj El Azreg).

Il est formé d'argiles blanches ou jaunes verdâtres à ammonites pyriteuses et à petits cristaux de gypse contenant, par endroits, à leur sommet des bancs calcaires qui se chargent en grès auxquels se superpose une alternance de marnes, de grès et des quartzites à bélemnites permettant quelques intercalations de calcaires à ostracées, de lumachelles et des calcaires pisolitiques. Plus à l'Ouest, il est représenté par des marnes à huîtres et de lumachelles. Son épaisseur est de 150 à 200 mètres. Au-delà de l'Accident Sud Atlasique, il devient lagunaire et il n'est connu que dans le Sahara tunisien. Cet étage est caractérisé surtout par des Céphalopodes et Ammonites (Chebbah, 2007).

#### - **L'Hauterivien**

Cet étage est caractérisé par la disparition des fossiles (Hamel, 2009). Deux faciès se distinguent dans l'Hauterivien de l'Aurès :

- un faciès calcaro-gréseux caractérisé par des calcaires pisolitiques à algues au SW
- un faciès gréseux dolomitique peu fossilifère au NE.

Il est formé de calcaires coquilliers (mollusques, échinidés), de calcaires pisolitiques (ou oolithiques), de calcaires gréseux et de grès friables à stratifications entrecroisées avec parfois des quartzites et des dolomies au sommet de la série. D'une épaisseur d'environ 450 m, ces différents termes montrent d'importantes variations de faciès (latérale ou verticale) et correspondent à des dépôts peu profonds (côtiers) (Chebbah, 2007).

#### - **Le Barrémien**

Le Barrémien est le terme le plus anciens visible dans la région de Biskra. Son épaisseur diminue du Sud (400 m) au Nord (250 m), et près de la ville de Biskra (Dj. Bou Rhezal), il n'est représenté que par quelques mètres d'argiles rouges à bois fossiles (Chebbah, 2007).

Il affleure très largement dans les Aurès (DJ. El Azreg) et représente une période régressive. Il est constitué de grès à base bréchique, de calcaires, de marnes gréseuses et de dolomies massives, avec par endroits des calcaires marneux ou gréseux. Les grès sont très diversifiés (moyens, grossiers, à graviers) et souvent à stratifications entrecroisées. Les marnes ou argiles sont multicolores (vertes, rouges, ocres ou brunes). Au SW de l'Aurès, il est à dominance de grès à dragées et d'argiles rouges contenant, à leur sommet, des lentilles de gypse. Au NW, on trouve des quartzites à la base et des marnes marines fossilifères au sommet. Vers le N et le

NW les quartzites de base s'intercalent avec des calcaires marins à foraminifères ou à céphalopodes .

- **L'Aptien**

L'Aptien est visible seulement vers Chaiba, il est comportant des argiles, des marnes, des anhydrites, des calcaires et des dolomies sur une épaisseur de 60m environ.

- **L'Albien**

Il est caractérisé en majeure partie par des grès rouges avec des intercalations d'argiles rouges, sa puissance est d'environ 250 m. Il est très difficile, au niveau de l'Atlas saharien de le différencier de l'Aptien ; l'Albien inférieur est argilo gréseux (épaisseur 350 m) alors que l'Albien supérieur est calcaro-dolomitique (350 m). Au sud dans la plate-forme saharienne il est constitué en grande partie par des grès avec des intercalations d'argiles. L'Albien supérieur annonce la transgression marine qui va durer du Crétacé supérieur à l'Eocène. (Chabour, 2006).

**b) Le Crétacé supérieur**

- **Le cénomanien**

Dans la partie occidentale de l'Aurès (Dj. Metlili, El Kantara), il est formé d'alternances de calcaires gris jaunâtres à violacés, de marnes et de calcaires marneux à passées lumachelliques que surmontent des calcaires dolomitiques à orbitolines ou des dolomies blanches saccharoïdes. Au centre et à l'Est du massif (Dj. El Ezreg, Ahmar Khaddou), aux marnes noires surmontant les argiles bariolées et grès rouges albiens se superposent des alternances de marnes et de calcaires marneux à orbitolines et il se termine par des calcaires à radiolites, huîtres et échinidés

-A l'Est de Biskra (flanc sud d'Ahmar Khaddou), le Cénomanien est représenté par des marnes à ammonites et des calcaires à ostracées, huîtres et polypiers au sommet

- Par contre à l'Ouest (Dj. Boughzal où l'épaisseur est réduite : 200 m), il est formé d'une alternance de marnes et de calcaires à ostracées et radiolites et se termine par des marnes à huîtres contenant, à leur sommet, des bancs gypseux

Sur la marge septentrionale du Bas Sahara, le Cénomanien, d'une épaisseur de 450 à 500 m, est formé de calcaires gris lumachelliques ou bioclastiques à glauconie, de marnes grises ou noires à l'Est (Negrine) et de marnes pélitiques, de calcaires argileux, de dolomies cryptocristallines admettant des niveaux anhydritiques ou argileux à ostracodes surmontés d'une alternance d'anhydrite, de calcaires argileux ou crayeux parfois dolomitiques et de

marnes pyriteuses à l'Ouest (Ouled Djellal). Plus au Sud (Bas Sahara - Daias orientale), deux séries se distinguent dans le Cénomanién et se prolongent jusqu'au confins tunisiens ; une série inférieure, de 50 à 60 m, formée de marnes dolomitiques grises localement anhydritiques ou ligniteuses à intercalations d'anhydrites, de calcaires marneux ou dolomitiques, de dolomies et d'argiles beiges et une série supérieure, de 120 à 135 m, riche en anhydrite formée d'argiles grises ou vertes, de marnes grises, de calcaires dolomitiques et de dolomies (Chebbah, 2007).

#### - **Le Turonien**

Au Turonien, le régime marin persiste dans le Bas Sahara et la mer présente le maximum d'extension. Dans les zones périphériques, il est formé de récifs et de calcaires à rudistes, polypiers et algues calcaires (100 à 300 m), alors que dans les zones axiales, il est surtout représenté par des marnes et des calcaires à céphalopodes et échinidés (600 à 800 m).

-Dans la partie occidentale de l'Aurès (Dj. Metlili, El Kantara), il débute par des calcaires bréchoïdes à rudistes et nodules siliceux qui sont surmontés par des alternances de marnes et de calcaires à oursins, gastéropodes et polypiers et se termine par des calcaires graveleux et ferrugineux. Au centre et au NE du massif (DJ. El Azreg), il est formé de calcaires compacts à rudistes et polypiers qui passent par la suite à des alternances de marnes à échinidés et de calcaires marneux.

-Dans la partie la plus orientale Dj. El Azreg, on enregistre un développement plus important des marnes au dépend des calcaires. Au SE flanc sud d'Ahmar Khaddou, il est formé de calcaires à rudistes, polypiers et algues admettant quelques intercalations de marnes ou de calcaires marneux.

Près de Biskra (Dj. Boughzal), il est formé de calcaires, de calcaires marneux ou dolomitiques, de marnes et de gypse au sommet. Sur la marge septentrionale du Bas Sahara, il est formé de calcaires bioclastiques, de marnes grises à blanches entrecoupées de bancs de calcaires marneux à l'Est et de dolomies parfois argileuses, de calcaires dolomitiques et de marnes blanches avec manifestations à tous les niveaux de la série des bancs d'anhydrite à l'Ouest.

Plus au Sud (Bas Sahara), il est formé d'une barre carbonatée, d'une centaine de mètres d'épaisseur, appelée " Barre turonienne " où s'alternent des faciès calcaireux et dolomitiques (calcaires, dolomies, calcaires dolomitiques, marnes dolomitiques et calcaires marneux). (Chebbah, 2007).

#### - **Le Sénonien**

Dans l'Atlas saharien, le Sénonien est très réduit, dans la partie orientale (Chabour, 2006). Il n'affleure pas que dans les anticlinaux mais bien aussi dans les synclinaux de la région. Il est formé d'une épaisse série marine, 1500 à 2000 m, marno-calcaire présentant une certaine homogénéité d'ensemble avec une réduction Nord – sud des épaisseurs.

### 3. Hydrogéologie régionale

De point de vue hydrogéologique, la wilaya de Biskra se distingue par trois zones (ANAT, 2002) :

**Zone Est** : se caractérise par les nappes suivantes :

**Quaternaire** : cette formation est constituée par des dépôts alluvionnaires qui renferment une nappe phréatique de faible profondeur, de faible débit et de mauvaise qualité d'eau à l'exception de la nappe d'Oued Biskra ;

**MioplIOCène** : c'est la nappe la plus sollicitée dans cette zone. Elle se caractérise par une profondeur moyenne de l'ordre de 400 m, d'un débit de 15 l/s et d'une qualité chimique moyenne à bonne ;

**Pontien** : c'est un aquifère important, exploité dans la partie Sud de la zone, il se caractérise par une profondeur qui va jusqu'à 900 m, d'un débit moyen de 30 l/s et d'une qualité chimique moyenne

**Maestrichtien** : cette formation est exploitée dans les zones montagneuses à une profondeur moyenne de 300 m. cet aquifère présente un débit de l'ordre de 20 l/s et une bonne qualité chimique de l'eau.

**Zone Nord** : se caractérise par les nappes suivantes :

**Quaternaire** : cette formation est faiblement exploitée dans cette zone. Elle se caractérise par une faible profondeur, un faible débit et une mauvaise qualité chimique de l'eau ;

**MioplIOCène** : cet aquifère est exploité dans la plaine d'El-Outaya à une profondeur allant jusqu'à 250 m. il se caractérise par un débit de 15 l/s et une qualité chimique moyenne ;

**Maestrichtien** : il est exploité dans les zones montagneuses, à une profondeur comprise entre 300 et 800 m, il se caractérise par un débit moyen de 20 l/s et de bonne qualité chimique de l'eau ;

**Zone Ouest** : se caractérise par les nappes suivantes :

**Quaternaire** : est représenté essentiellement par la nappe phréatique de l'Oued Djedi, qui représente la ressource la plus importante pour l'irrigation des palmeraies de Sidi Khaled et Ouled Djellal. La profondeur de cette nappe varie entre 20 et 90 m avec un débit moyen de 20 l/s et une qualité d'eau mauvaise à moyenne et bonne au sud de Lioua ;

**MioplIOCène** : cet aquifère est exploité au sud de la région de Tolga, à une profondeur allant jusqu'à 150 m, il se caractérise par un débit de 15 l/s et la qualité chimique de l'eau est moyenne ;

**Eocène inférieur** : c'est l'aquifère le plus sollicité dans la région des Ziban, sa profondeur varie de 90 à 500 m au sud de Tolga, il se caractérise par un débit moyen de 20 l/s et une qualité d'eau moyenne ;

**Sénonien supérieur** : il est séparé de l'éocène inférieur au sud de la wilaya (Oumeche et M'lili) par une épaisse couche de marne et d'argile, où il atteint la profondeur de 1000 m, il se caractérise par un débit jaillissant de 25 l/s et d'une qualité chimique moyenne de l'eau ;

**Albo-Barrémien** : c'est un aquifère très profond (plus de 2000m), il se caractérise par des eaux chaudes dont la température peut dépasser les 60 °C et une mauvaise qualité chimique de l'eau

### **3.1. Les formations aquifères à nappe libre, semi libre à semi captive**

#### **- La nappe phréatique du quaternaire**

Elle est mieux connue au niveau des palmeraies de Tolga. Elle se localise dans les accumulations alluvionnaires du Quaternaire et des Oueds (nappes d'inféro-flux), sa profondeur varie de 0 à 10 m ; son réservoir de composition hétérogène est constitué par des matériaux détritiques (de blocs, de galets, de graviers et de sables). Son substratum est formé d'une épaisse formation argileuse, parfois, il apparaît sous forme de lentilles de sables en discordance avec les couches d'argiles. (Chabour, 2006).

#### **- La nappe des sables du MioplIOCène**

Cette nappe contient plusieurs niveaux aquifères de composition hétérogène ; des graviers et des sables dans une matrice argileuse. En profondeur, la formation devient à prédominance argilo-sableuses et repose sur une formation imperméable composée de marnes à gypse et d'anhydrite de l'Eocène moyen, ce qui implique qu'il n'y a pas infiltration des eaux de cet aquifère vers l'aquifère inférieur puisque leur nature lithologique freine toute circulation, mais il faut noter que près de bordures des monts des Ziban, les argiles sableuses sont en contact avec les calcaires de l'Eocène inférieure et les échanges entre les aquifères de

sables et de calcaires fissurés, notamment là où l'épaisseur d'argile est faible peut être possible (Mimeche, 1998 in par Rechachi, 2009).

### 3.2. Les formations aquifères captives

#### - La Nappe des calcaires

Le réservoir est constitué essentiellement de calcaire blanc fissuré à silex noirs de l'Eocène inférieur associé aux roches carbonatées du Sénonien supérieur (Moumi et Abed, 2000).

Son toit est constitué par des formations argilo-sableuses du Miopliocène au Nord et des marnes à gypses de l'Eocène moyen au Sud contribuant à sa mise en charge (Mimeche, 1998)

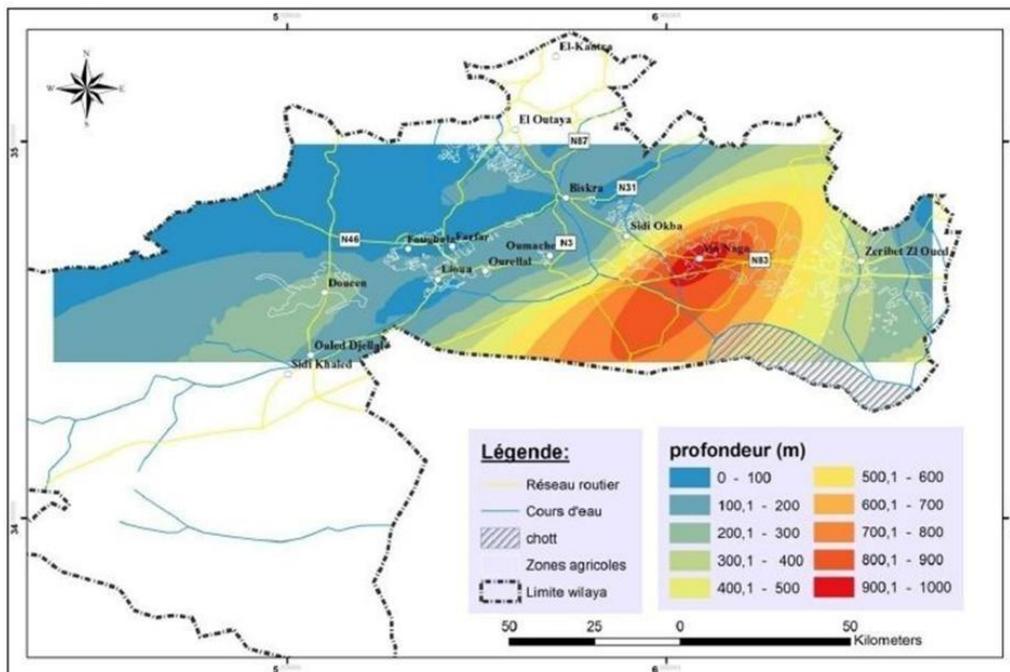


Figure 07 : Carte du toit de la nappe des calcaires de l'éocène inférieur (Sengouga, 2012).

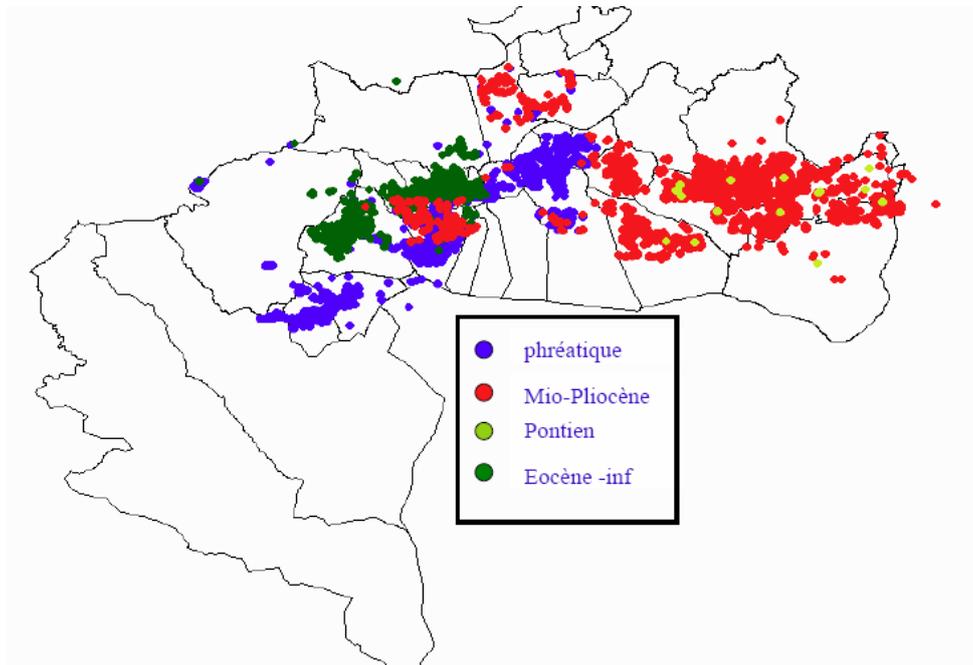
#### - La nappe du continental intercalaire CI

La nappe du Continental Intercalaire généralement appelée « nappe albienne » Elle est constituée de grès et d'argiles. Est peu exploitée dans la région à Ouled Djellal et Sidi Khaled ; cette nappe a une épaisseur de 500 m environ, son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur qui dépasse les 2000 m et de sa température haute.

## 4. La répartition spatiale des ressources souterraines en eau captant les nappes et leurs profondeurs du substratum

Selon ANRH (2008), la wilaya de Biskra est composée actuellement de 12 daïras regroupant 33 communes principalement à vocation agricole, ce qui explique la prédominance des quantités d'eau destinées à l'irrigation. Ceci est particulièrement important pour les Daïras de Tolga, de Zribet El Oued, D'Ourelal, d'Ouled Djellal et de Sidi Okba. Selon ce découpage la répartition du nombre des foarges recencés peut être comme suit :

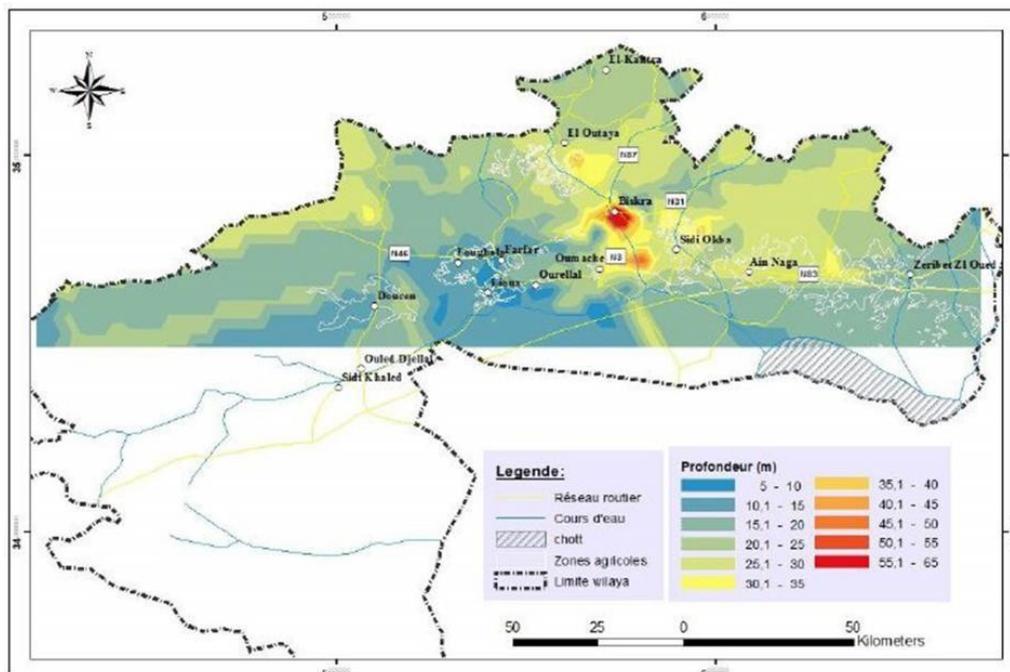
- Zone I avec 298 points d'eau, soit 03% du nombre total.
- Zone II avec 3942 forages, soit 40%.
- Zone III avec 5375 forages, soit 54%.
- Zone IV avec 293 points d'eau, soit 03% du nombre total.



**Figure 08: Répartition des points d'eaux dans la région de Biskra (ANRH, 2011).**

#### 4.1. La nappe phréatique du quaternaire

Selon Sengouga (2012), la répartition spatiale des points captant la nappe phréatique. Sont largement concentrés au centre de la Wilaya, il est attribuée d'une part aux besoins de satisfaire la demande en alimentation en eau potable et à l'activité agricole d'autre part. Les autres forages sont dispersés entre l'extrême Ouest et le Nord et sortent de la limite de la Wilaya. les profondeurs les plus fortes sont de l'ordre de 65m et sont localisées dans la ville Biskra par contre dans les autres régions telles que Lioua et Ourellal les profondeurs sont de plus en plus faibles et elles peuvent atteindre 5 à 10 m.



**Figure 09 : Carte des profondeurs du substratum de la nappe phréatique (Sengouga, 2012).**

#### 4.2.La nappe des sables du Miopliocène

Les ressources d'eaux sont concentrées entre l'Est et l'Ouest de wilaya vers les zones frontalières.

Les numéraux des forages indique sur la (figure10)

La profondeur du substratum se divise de deux zones :

La première zone caractérisé à limites de wilaya à l'Est jusqu'un l'Ouest. Leurs profondeurs ne dépassent pas les 200m.

La deuxième zone concrétisée par deux sources présente des profondeurs qui avoisinent les 700m (Sengouga, 2012).

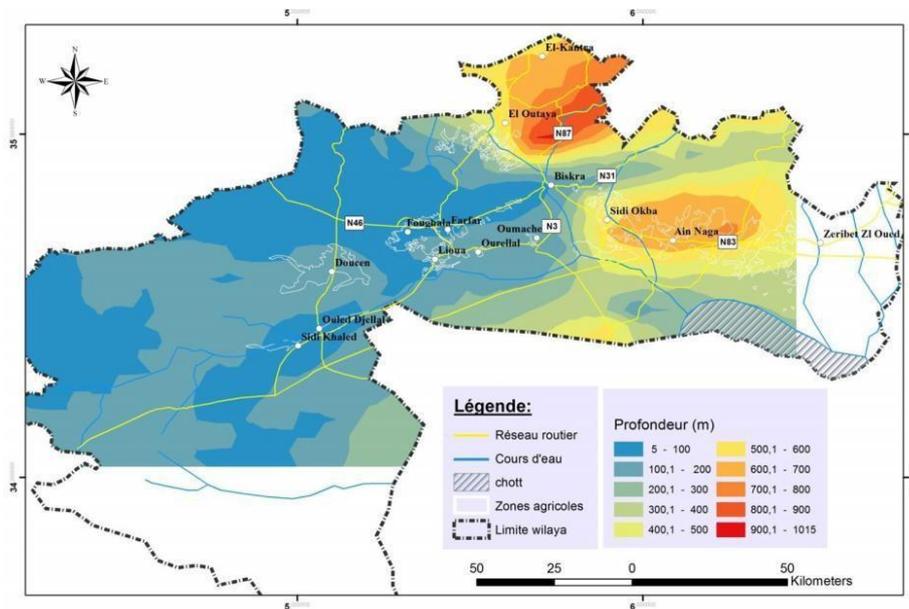


Figure 10 : Carte des profondeurs du substratum de la nappe des sables (Sengouga, 2012).

### 4.3. La Nappe des calcaires

La répartition spatiale des points captant la nappe l’Eocène inférieur, sont concentrés au niveau central de la zone d’étude D’autres points d’eau sont éparpillés entre les agglomérations El Outaya, Zribet El Oued et Ouled Djellal. Les profondeurs du substratum de la nappe l’Eocène inférieur, est caractérisée par des valeurs de profondeurs plus faibles dans la zone Nord-Ouest, inférieures à 200m, et 300m et 1200m pour les restes zones.

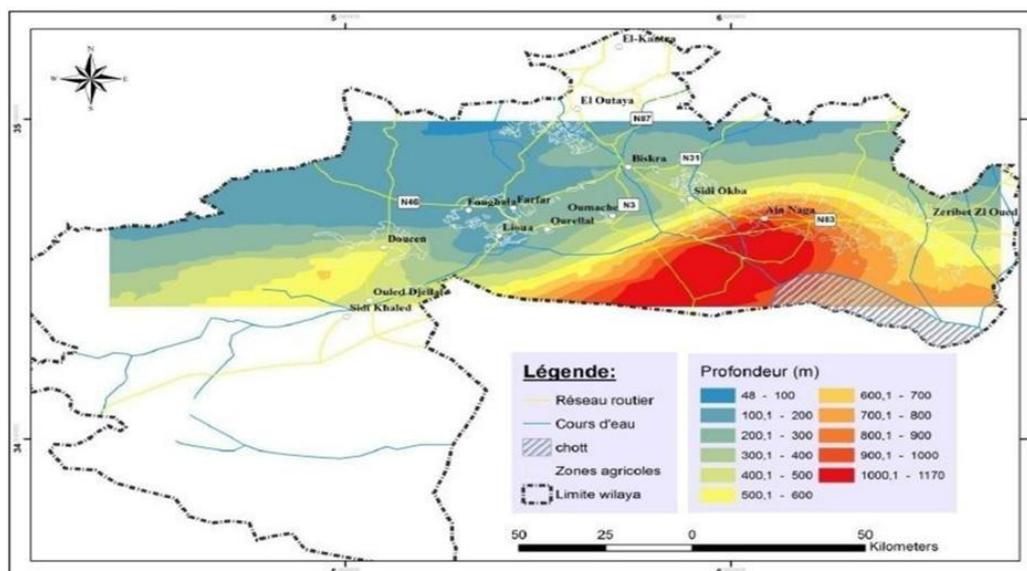


Figure 11 : Carte du toit de la nappe des calcaires de l’écène inférieur (Sengouga, 2012).

# **Partie 2**

## **Méthodologie et résultats**

# **Chapitre 03**

## ***Matériels et Méthodes***

### Objectif de travail

L'objectif de ce travail est de prévenir les problèmes relatifs à la qualité des eaux d'irrigation, en présentant une analyse préventive des problèmes pédologiques et agronomiques (salinité, toxicité ...etc).

### 1. méthodes d'échantillonnage

#### 1.1. Choix de la zone d'étude

Nous avons choisi la zone d'étude pour les raisons suivant :

- C'est une zone agricole,
- Contient un grand nombre des forages.

#### 1.2. Points d'échantillonnage

Nous avons choisi 31 forages pour la réalisation de ce travail, les coordonnées géographiques de la situation des forages sont prises à l'aide d'une GPS (tableau02).

L'échantillonnage des eaux d'irrigation (figure11) a été fait durant la période entre le 15/12/2022 et le 30/12/2022. Les échantillons prélèvement sont conservés dans des bouteilles en plastiques propres étiquetés et fermés hermétiquement.



Figure 12: Prélèvement d'un échantillon d'eau.

**Tableau 01 : Cordonnées géographiques, situation, profondeur et la température eaux des forages étudiant.**

Nom de l'agriculteur	Situation	N	E	Profondeur	Température
Zaki Hamlaoui	Marmoutha	34°-44'-9082	5°-23'-4654	530 m	27° C
Shel Ali	Oum alsouad	34°-35'-1747	5°-21'-4209	100 m	24°C
Houfaf Meloud	Gharbia bordj ben azouz	34°-43'-5915	5°-20'-8817	400 m	27° C
Koudjil	Ferfar	34°-43'-4387	5°-24-6254	577 m	27° C
Hani Faiz	Bordj ben Azouz	34°-43'-9173'	5°-20'-8068	400 m	25° C
Bittam	Bordj ben Azouz	34°-43'-8530'	5°-20'-8068	179 m	27° C
Twaheri Djamel	Bordj ben Azouz	34°-43'-6893	5°-20'-8222	350 m	28° C
Cheteh Yamina	Magtoupha	34°-44'-7544	5°-23'-3079	370 m	28° C
Karbaai Yahia	Zegag al ramel	34°-43'-0461	5°-22'-5055	181m	/
Al tayeb	Magtoupha	34°44'-6669'	5°-23'-2964	220 m	/
Fartasse	Magtoupha	34°-44-6725	5°23'-2954'	315 m	/
Achouri	Magtoupha	34°-45-0772	5°-23-5702	370 m	27° C
Mourad Belkahla	Tolga	34°-44'-8969	5°23'-4390	240 m	27° C
Hamed Wahab	Magtoupha	34°-44'-8966	5°23'2964	440 m	
Chatoui khalil	Zegag al r'mel	34°43-0418	5°22'-5596	200m	22°C
Shel mouhamed	Lioua	34°36'-4458	5°24'2117	50m	23°C
Maameri moustapha	Tolga	34°44'34-910	5°24'-04-206	40m	24°C
Boukhalfa mohamed	Tolga	34°43-6178	5°20'-7992	30m	23°C
Tizi	Al req	34°37-0586	5°24-7771	30m	22°C
Koudjil A	Ferfar	34°-43-4989	5°-24-5732	25m	24°C
Koudjil B	Ferfar	34°-431294	5°-24'-7320	25m	24°C
Koudjil C	Ferfar	34°43'-1149	5°-24'-7185	35m	23°C
Koudjil D	Ferfar	34°43'-4487	5°24'-0883	35m	24°C
Shel A	Oum al souad	34°43-5840	5°24-6799	30m	22°C
Shel B	Oum al souad	34°364244	5°242024	105m	24°C
Mourad Belkahla	Tolga	34°-44'-8969	5°23'-4390	240 m	27° C
Hamed Wahab	Magtoupha	34°-44'-8966	5°23'2964	440 m	28°C
Omar	Sidi rouagh	34°44'35-244	5°24'03-374	40m	22°C
Haif	Bordj ben Azouz	34°41'58-068	5°21'33-577	30m	22°C
Ziouchi	Bordj ben Azouz	34°43'44-999	5°20'50-747	40m	23°C
Mouhamed	Tolga	34°43'44-815	5°20'50-554	40m	23°C
Saleh chourek	Tolga	34°43'47-657	5°20'-49-812	40m	23°C
Issam dorouaze	Tolga	34°43'52-317	5°20'51-804	30m	23°C

## 2 Méthode d'étude

### 2.1 Analyse physico-chimiques des eaux

Les analyses des eaux d'irrigation ont été réalisées au niveau du laboratoire d'analyse du centre de recherche scientifique et technique sur les régions aride (CRSTRA), Biskra et du laboratoire d'analyse de l'institut technique de développement et l'agronomie saharienne (ITIDAS). Les éléments analysés sont les anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), les cations ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), la conductivité électrique (CE) et le potentiel hydrogène (pH).

#### 2.1.1. Ph

Le (pH) mesure l'acidité et la basicité d'eau, et c'est le cologarithme de la concentration en hydrogène. Elle est mesurée à l'aide d'un pH mètre électronique relié à une électrode.

#### 2.1.2. Conductivité électrique

La conductivité détermine l'ensemble des minéraux présents dans l'eau. La mesure est effectuée par un conductimètre à électrode. La conductivité est exprimée en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ou  $\text{dS}/\text{m}$ .

#### 2.1.3. Les cations

##### Calcium $\text{Ca}^{2+}$ et Magnésium $\text{Mg}^{2+}$

Les cations  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ , sont dosés par la complexométrie avec l'EDTA.

##### Dosage de sodium ( $\text{Na}^+$ ) et potassium ( $\text{K}^+$ )

Les cations  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ , sont dosés par photomètre à flamme.

#### 2.1.4. Les anions

##### Les carbonates et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

Les carbonates et bicarbonates sont déterminés par la méthode titrimétrique: un aliquote de l'eau est titré avec un acide ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{HCl}$ ) à faible concentration (0.1N) en présence successivement de phénolphthaléine (indicateurs des carbonates) et du méthyle orange (indicateur des bicarbonates).

##### Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Le chlorure est largement répandu dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ( $\text{NaCl}$ ) et de potassium ( $\text{KCl}$ ), Le dosage des chlorures est fait par la méthode volumétrique de Mohr où les chlorures sont totalement précipités par le nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ) en présence de chromate de potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent.



### 3.2. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (figure 13) permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés, et on obtient un point triple soulignant la prédominance des compositions chimiques des eaux (d'un 1<sup>er</sup> triangle pour les cations et d'un 2<sup>ème</sup> triangle pour les anions). Ces deux points triples ce définie par un point critique représentant la nature chimique de l'échantillon considéré.

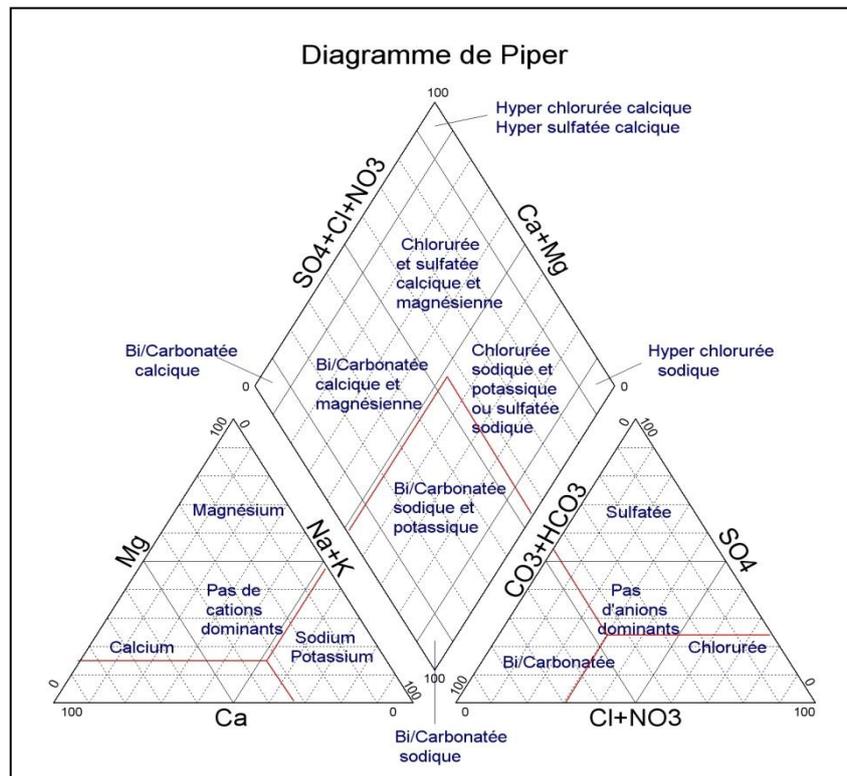


Figure 14: Diagramme de Piper

### 3.3. Diagramme de Riverside

Le diagramme de Riverside (figure14), permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation.

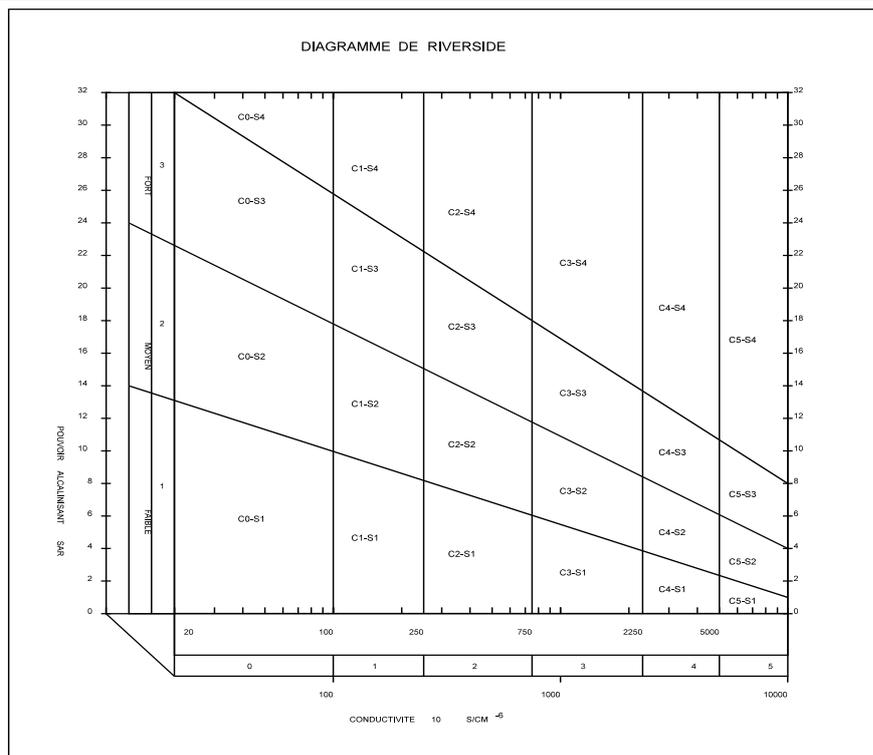


Figure 15 : Diagramme Riverside

### 3.4. Diagramme de Stabler :

Le diagramme de Stabler, est très utile pour l'étude des équilibres carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. Il est classement séparément les anions et les cations par ordre décroissant.

# **Chapitre 04**

## **Résultats et discussion**

## 1. Introduction

L'étude de la nature chimique des eaux d'irrigation est très importante ainsi que leurs classifications par des diagrammes (Piper, Schoeller, Welcox et Riverside) pour évaluer leur aptitude à l'irrigation des cultures.

L'objectif principal de ce chapitre, est l'illustration et l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation étudiées dans ce travail.

## 2. caractérisation physiques-chimiques des eaux d'irrigation

### 2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs de pH mesurées (annexe 01) varient entre 6.45 et 10.8, avec une moyenne de 7,175, donc elles sont généralement neutres. Le coefficient de variation est de 10.84%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont homogènes.

Les valeurs de pH les plus élevées sont enregistrées au Nord Ouest de la zone d'étude (figure 14), et les plus faibles à l'Est de la zone d'étude ; au milieu et au Sud.

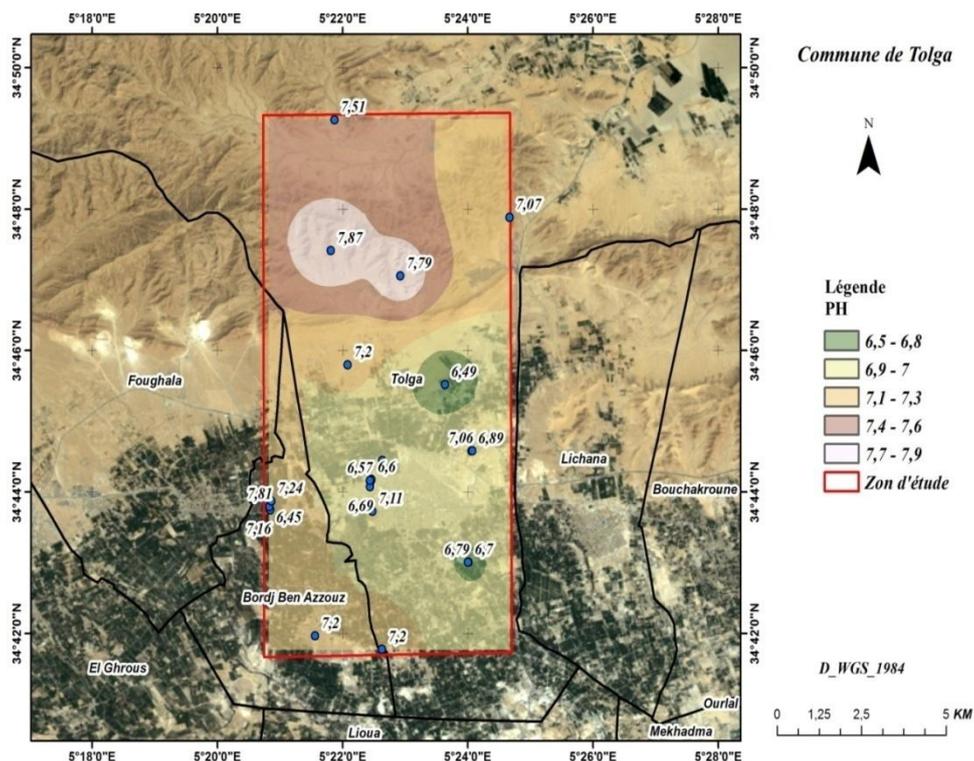


Figure 16 : Répartition spatiale du pH dans la zone d'étude.



### 2.3. Les cations

#### 2.3.1. Le calcium

La concentration en calcium dans les échantillons d'eau d'irrigation varie entre 8.6 et 37.8 meq/l. La valeur moyenne est de 24,374meq/l, donc la majorité des échantillons dépassant 20 méq/l fixé comme valeurs maximale admissible pour l'irrigation par Ayers et Westcot (1994).

Le coefficient de variation est de 36.60%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont hétérogènes.

En outre, les concentrations les plus élevées en calcium sont enregistrés à l'Est de la zone d'étude au milieu et au Sud (figure 16), par contre les plus faibles sont enregistrés de la Nord Ouest et au Sud Ouest de la zone d'étude.

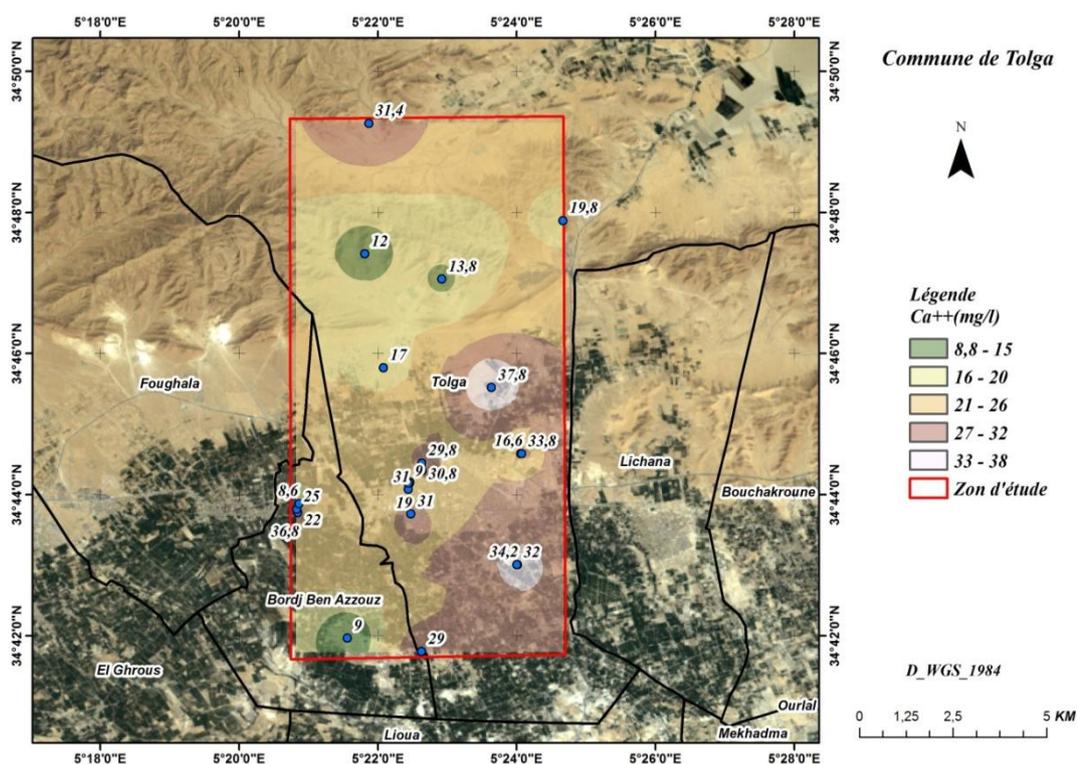


Figure 18: La répartition spatiale du calcium.

2.3.2. Le sodium

La teneur en sodium des eaux d'irrigation varie entre 5.19 et 253.76meq/l et la valeur moyenne est de 39.89meq/l, donc la majorité des échantillons ne pas dépassant 40 méq/l fixé comme valeurs maximale admissible pour l'irrigation par Ayers et Westcot (1994). En outre le coefficient de variation est de 139.18%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont très hétérogènes.

En outre, les concentrations les plus élevées en sodium sont enregistrés dans le Sud Ouest de la zone d'étude (figure 17), par contre les plus faibles sont enregistrés de la Nord et au Sud Est de la zone d'étude.

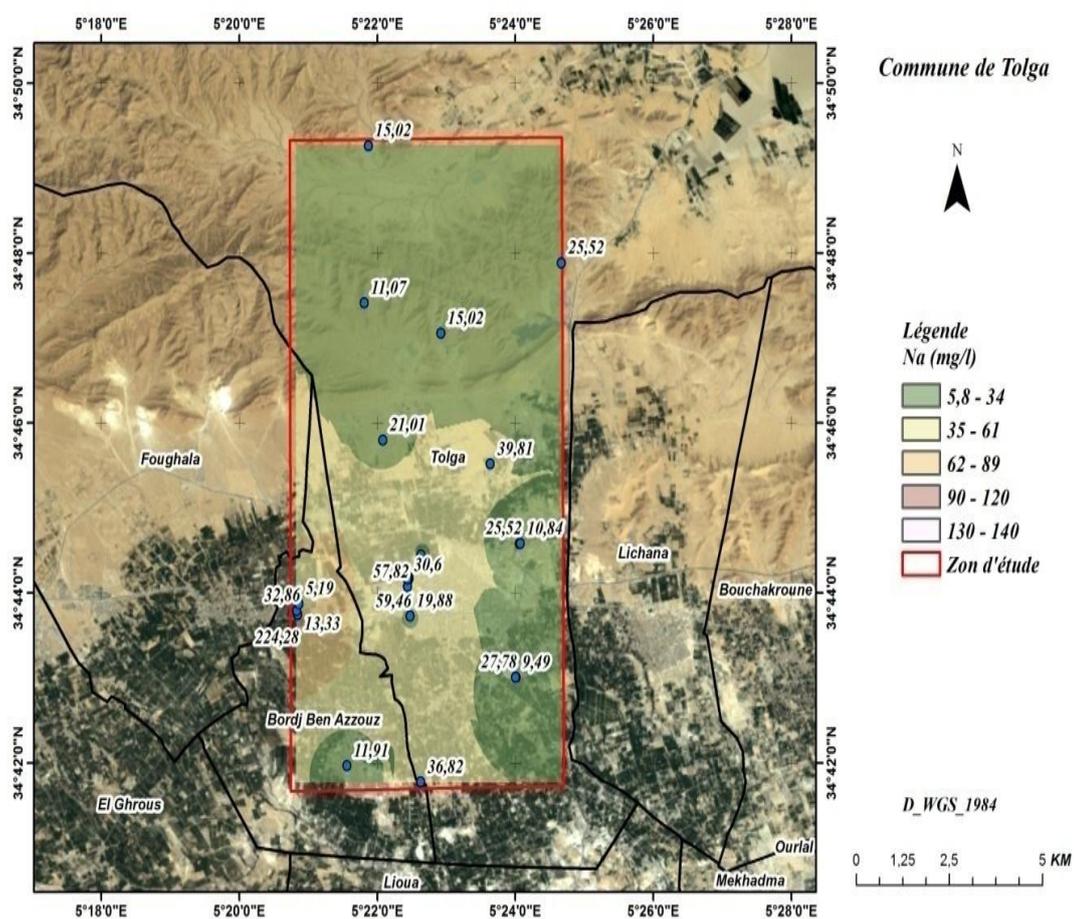


Figure 19 : La répartition spatiale du sodium dans la zone d'étude.

### 2.3.3. Le potassium

La concentration en potassium dans les eaux d'irrigation, varie entre 0.0068 et 0.553 méq/l. La valeur moyenne est de 0.25 méq/l, donc selon les normes proposées par le FAO (1996), les valeurs obtenus dépassent les valeurs admissibles pour l'irrigation (2mg/l = 0.051meq/l).

Le coefficient de variation est de 58.66%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont très hétérogènes.

En outre, les concentrations les plus faibles en potassium sont enregistrées à l'Est de la zone d'étude au milieu et au Sud Oust (figure 18).

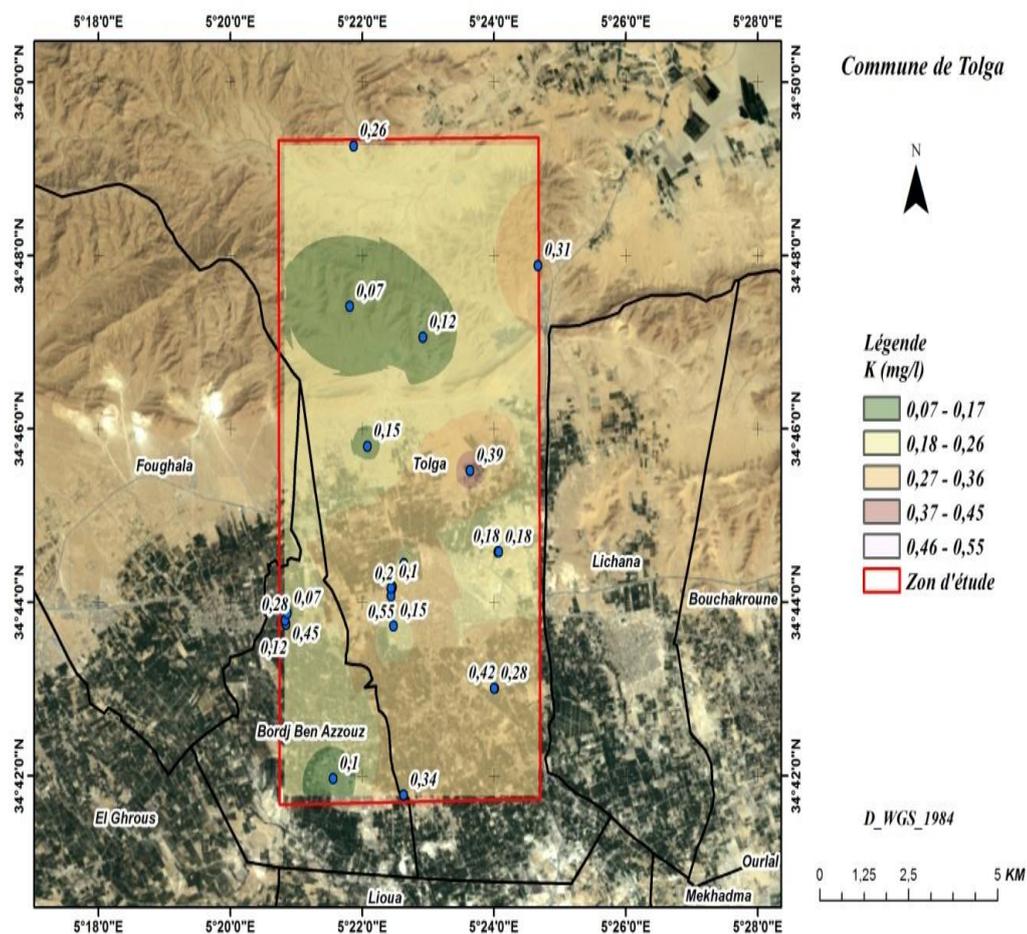


Figure20 : Répartition spatiale en potassium dans la zone d'étude.

2.3.4. Le magnésium

Les teneurs en magnésium dans les eaux d’irrigation varient entre 2.8 et 48.6 meq/l avec une moyenne de 16.97meq/l. selon F.A.O (1996), la majorité des résultats obtenus sont supérieures à la limite normale qui est 60.75 mg/l (60.75 mg/l = 5 meq/l).

Le coefficient de variation est de 70.50%, donc les échantillons d’eaux d’irrigation sont très hétérogènes.

En outre, les concentrations les plus faibles en magnésium sont enregistrés au Nord de la et au Sud Ouest de la zone d’étude.(figure 19)

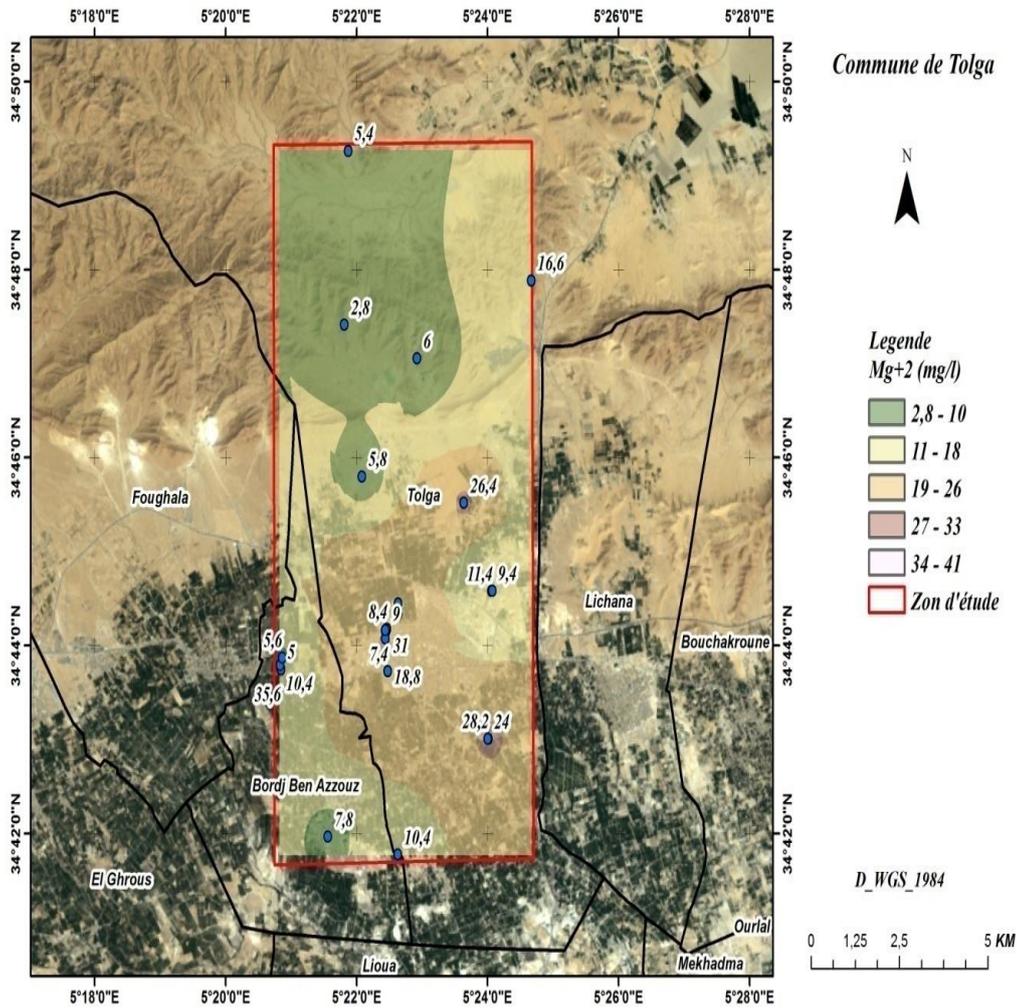


Figure 21: Répartition spatiale des teneurs en magnésium (mg/l) dans la zone d’étude.

## 2.4. Les anions

### 2.4.1. Le chlorure

Selon l'annexe 01, la teneur des chlorures varie de 6 et 87.4 meq/l, avec une moyenne de 20.73 meq/l. D'après les normes proposées de la F.A.O (1996), la majorité des concentrations en chlorures dans l'eau d'irrigation n'atteignent pas la valeur maximale admissible qui est de 1065 mg/l (1065mg/l = 30 meq/l).

Le coefficient de variation est de 84.46%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont très hétérogènes.

En outre, les concentrations les plus faibles en chlorures sont enregistrées dans plusieurs parties de la zone (figure 20),

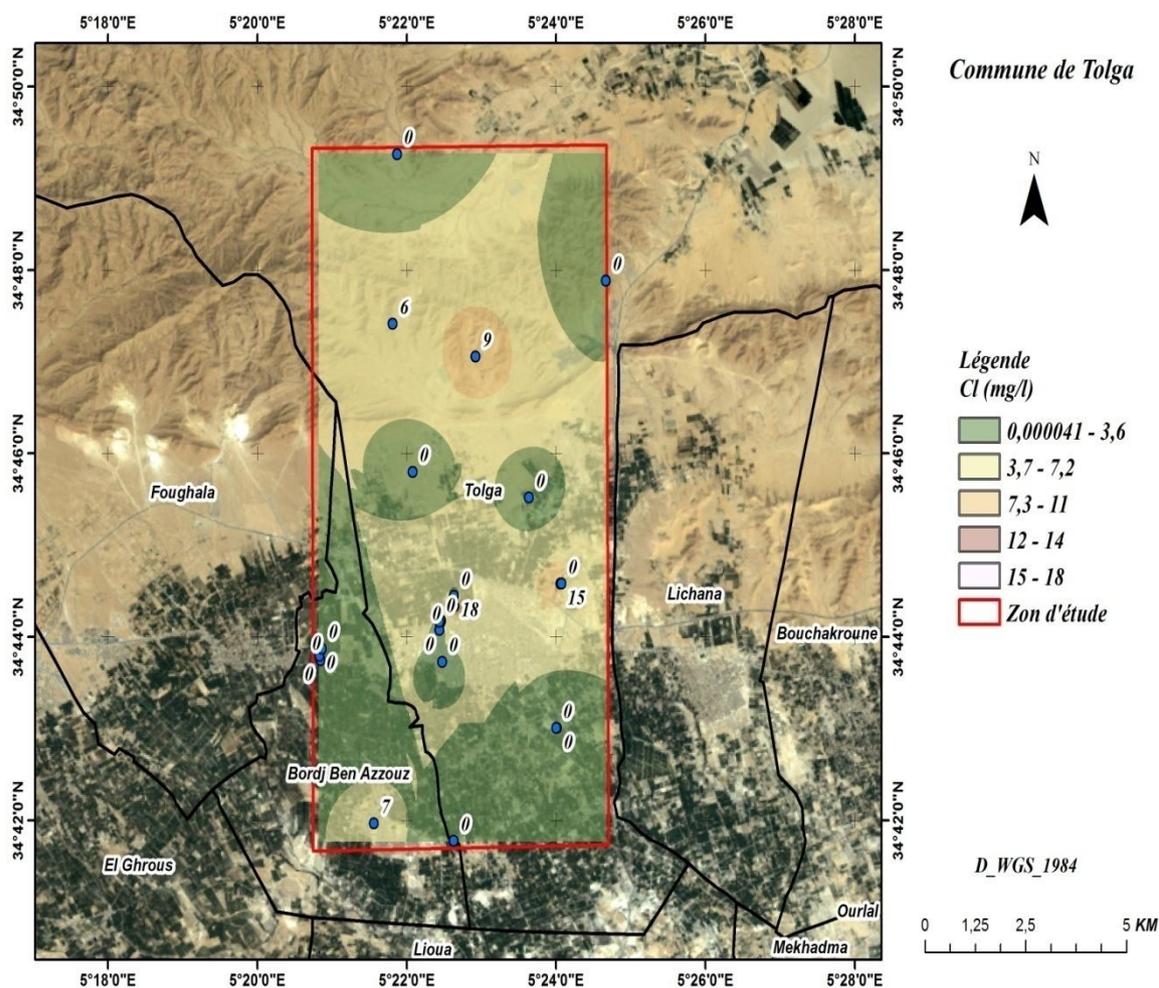


Figure 22 : Répartition spatiale des teneurs en chlorures (mg/l) dans la zone d'étude.

### 2.4.2. Les bicarbonate

Les résultats obtenus montrent que, les eaux de cette région présentent des concentrations en un bicarbonate variant entre de 11.4 et 48 méq/l, avec une moyenne de 24,31méq/l.

D'après les normes proposées par Ayers et Westcot (1994) et F.A.O (1996), la concentration des bicarbonates dans l'eau d'irrigation pour tous les échantillons dépasse la valeur maximale admissible qui est respectivement 10 méq/l et 610 mg/l.

Le coefficient de variation est de 43.01%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont hétérogènes.

En outre, les concentrations les plus faibles en bicarbonates sont enregistrées surtout dans le nord de la zone d'étude (figure 21), et quelques parties du milieu, au sud Ouest de la zone d'étude

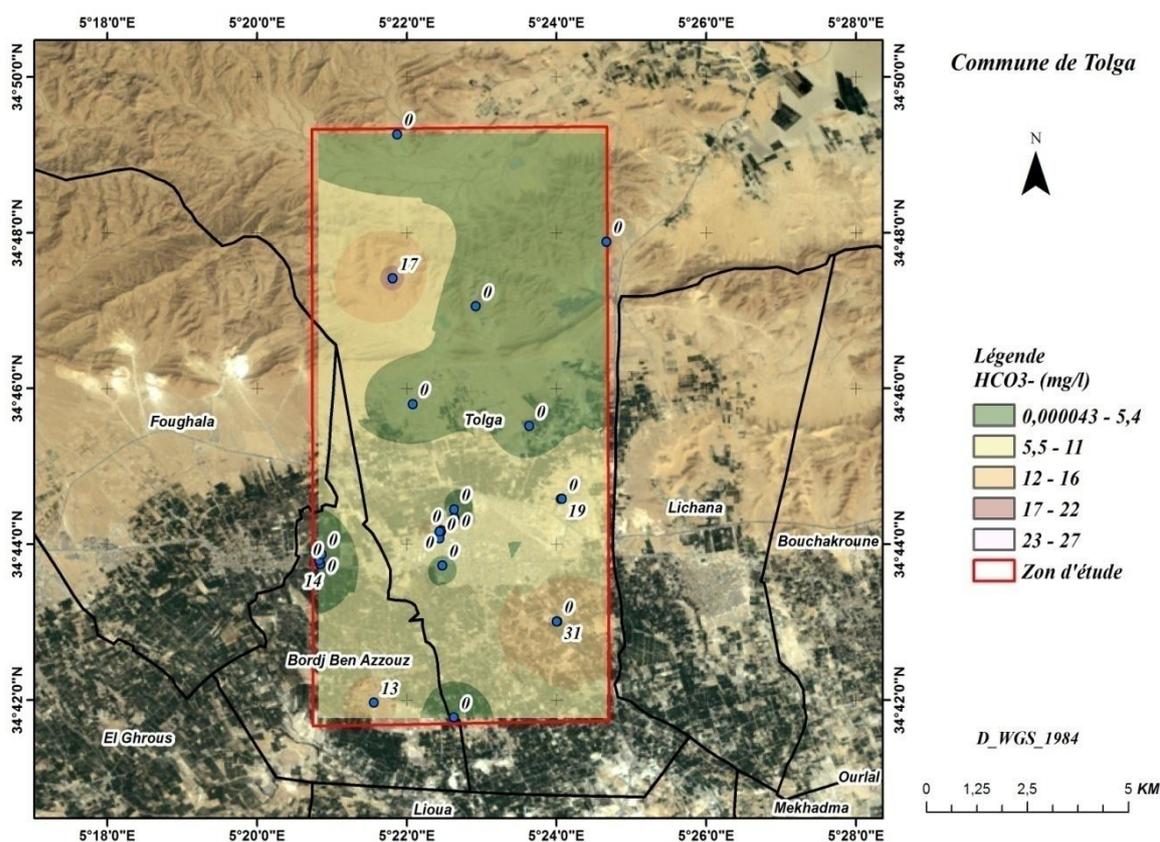


Figure 23: Répartition spatiale des teneurs en bicarbonates (mg/l) dans la zone d'étude.

### 2.4.3. Les carbonate

Pour les carbonates, elles sont variées entre 14.2 et 84 méq/l, avec une moyenne de 41,348meq/l donc ces valeurs supérieures à la valeur maximale admissible fixée par FAO (1996) avec 3 mg/l.

Le coefficient de variation est de 46,87%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont hétérogènes.

#### 2.4.4. Les sulfate

D'après l'annexe 01, les résultats obtenus montre que les eaux d'irrigations présentent un taux en sulfate varie entre 8.73 et 90.30 méq/l avec une moyenne de 35.82 méq/l. D'après les résultats obtenus, la majorité des échantillons présentent des valeurs supérieures à la valeur admissible fixé par Ayers et Westcot (1994) et F.A.O (1996), avec 20 méq/l (20 méq/l = 960 mg/l).

En outre, le coefficient de variation est de 54.73%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont très hétérogènes.

#### 2.4.5. Les nitrate

La teneur en nitrates varie de 0.23 à 28.53 mg/l avec une moyenne de 3.82 mg/l. Donc, on remarque que la majorité des échantillons d'eau d'irrigation ayant des valeurs inférieures à la valeur admissible fixé par la F.A.O (1996), avec 10 mg/l.

En outre, le coefficient de variation est de 140.96%, donc les échantillons d'eaux d'irrigation sont très hétérogènes.

### 3. Etude de la corrélation entre les variables

L'étude de corrélation (tableau 04) entre les variables est illustrée par la matrice des corrélations de Pearson et de Spearman. C'est dernière ce permet de constater que la conductivité électrique des eaux dans la région de Tolga est largement influencée par le magnésium ( $r = 0,844$ ), les chlorures ( $r = 0,796$ ), le potassium ( $r = 0,684$ ), les sulfates ( $r = 0,679$ ), le calcium ( $r = 0,678$ ), le sodium ( $r = 0,626$ ), et à un degré moindre les nitrates ( $r = 0,393$ ).

Aussi, le pH est négativement corrélé avec les éléments chimiques.

Les relations les plus significatives entre les cations et anions se distinguent par le magnésium et le carbonate ( $r = 0,941$ ), le magnésium et les chlorures ( $r = 0,904$ ), le sodium et les chlorures ( $r = 0,886$ ), le calcium et le carbonate ( $r = 0,866$ ), le potassium avec le magnésium

( $r = 0.861$ ), le chlorure avec les carbonates ( $r = 0.843$ ), le potassium avec les carbonates ( $r = 0.836$ ), le potassium avec les chlorures ( $r = 0,801$ ).

Nous remarquons que les nitrates ne sont corrélés à aucun élément chimique ceci est lié à son origine qui est différente des autres ions (exogène au milieu hydrogéologique).

**Tableau 02 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux**

Variables	CE	pH	Ca <sup>2+</sup> méq/l	Na meq/l	K+meq/l	Mg <sup>2+</sup> méq/l	Cl méq/l	HCO <sub>3</sub> méq/l	CO <sub>3</sub> méq/l	SO <sub>4</sub> meq / l	N-NO <sub>3</sub> meq/l
CE	<b>1.00</b>	0,240	<b>0,678</b>	<b>0,626</b>	<b>0,684</b>	<b>0,844</b>	<b>0,796</b>	<b>0,568</b>	<b>0,853</b>	<b>0,679</b>	<b>0,393</b>
pH	0,240	<b>1.00</b>	-0,166	-0,198	-0,409	-0,256	-0,238	-0,165	-0,241	-0,140	-0,178
Ca <sup>2+</sup> méq/l	<b>0,678</b>	-0,166	<b>1.00</b>	0,353	<b>0,615</b>	<b>0,647</b>	<b>0,566</b>	<b>0,476</b>	<b>0,866</b>	<b>0,645</b>	0,254
Na <sup>+</sup> meq/l	<b>0,626</b>	-0,198	0,353	<b>1.00</b>	<b>0,637</b>	<b>0,717</b>	<b>0,886</b>	0,230	<b>0,626</b>	<b>0,377</b>	<b>0,736</b>
K+meq/l	<b>0,684</b>	<b>-0,409</b>	<b>0,615</b>	<b>0,637</b>	<b>1.00</b>	<b>0,861</b>	<b>0,801</b>	<b>0,536</b>	<b>0,836</b>	<b>0,719</b>	<b>0,465</b>
Mg <sup>2+</sup> méq/l	<b>0,844</b>	-0,256	<b>0,647</b>	<b>0,717</b>	<b>0,861</b>	<b>1.00</b>	<b>0,904</b>	<b>0,675</b>	<b>0,941</b>	<b>0,737</b>	<b>0,428</b>
Cl <sup>-</sup> méq/l	<b>0,796</b>	-0,238	<b>0,566</b>	<b>0,886</b>	<b>0,801</b>	<b>0,904</b>	<b>1.00</b>	<b>0,410</b>	<b>0,843</b>	<b>0,524</b>	<b>0,703</b>
HCO <sub>3</sub> méq/l	<b>0,568</b>	-0,165	<b>0,476</b>	0,230	<b>0,536</b>	<b>0,675</b>	<b>0,410</b>	<b>1.00</b>	<b>0,653</b>	<b>0,672</b>	-0,232
CO <sub>3</sub> méq/l	<b>0,853</b>	-0,241	<b>0,866</b>	<b>0,626</b>	<b>0,836</b>	<b>0,941</b>	<b>0,843</b>	<b>0,653</b>	<b>1.00</b>	<b>0,768</b>	<b>0,393</b>
SO <sub>4</sub> meq / l	<b>0,679</b>	-0,140	<b>0,645</b>	<b>0,377</b>	<b>0,719</b>	<b>0,737</b>	<b>0,524</b>	<b>0,672</b>	<b>0,768</b>	<b>1.00</b>	0,030
N-NO <sub>3</sub> meq/l	<b>0,393</b>	-0,178	0,254	<b>0,736</b>	<b>0,465</b>	<b>0,428</b>	<b>0,703</b>	-0,232	<b>0,393</b>	0,030	<b>1.00</b>

### 3. Classification des eaux d'irrigation

#### 3.1. Classification des eaux souterraines selon Riverside

Pour arriver à ressentir la qualité des eaux d'irrigations, nous utilisons la classification proposons par le laboratoire américain Riverside (U.S.S.L. de Riverside, 1954). Les résultats obtenus montrent que les échantillons d'eau d'irrigation sont classés comme suit (figure 22):

C3S1, C3S2 : Qualité moyenne à médiocre. En générale a utilisé avec précaution, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse. La classe (C3-S1, C3-S2) représentée par 12.90% des

points d'eau échantillonnés.

C4S1 : Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds utilisables avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse. .

C4S2, C4S3 : Qualité mauvaise. A n'utiliser, avec beaucoup de précautions, que dans les sols légers et bien drainés et lessivés et pour des plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables. . La classe (C4-S1, C4-S2, C4-S3) représentée par 51.62% des points d'eau échantillonnés.

C5S1, C5S3, C5S4 : Eau déconseillée pour l'irrigation. La classe (C5-S1, C5-S2, C5-S3) représentée par 35.48% des points d'eau échantillonnés.

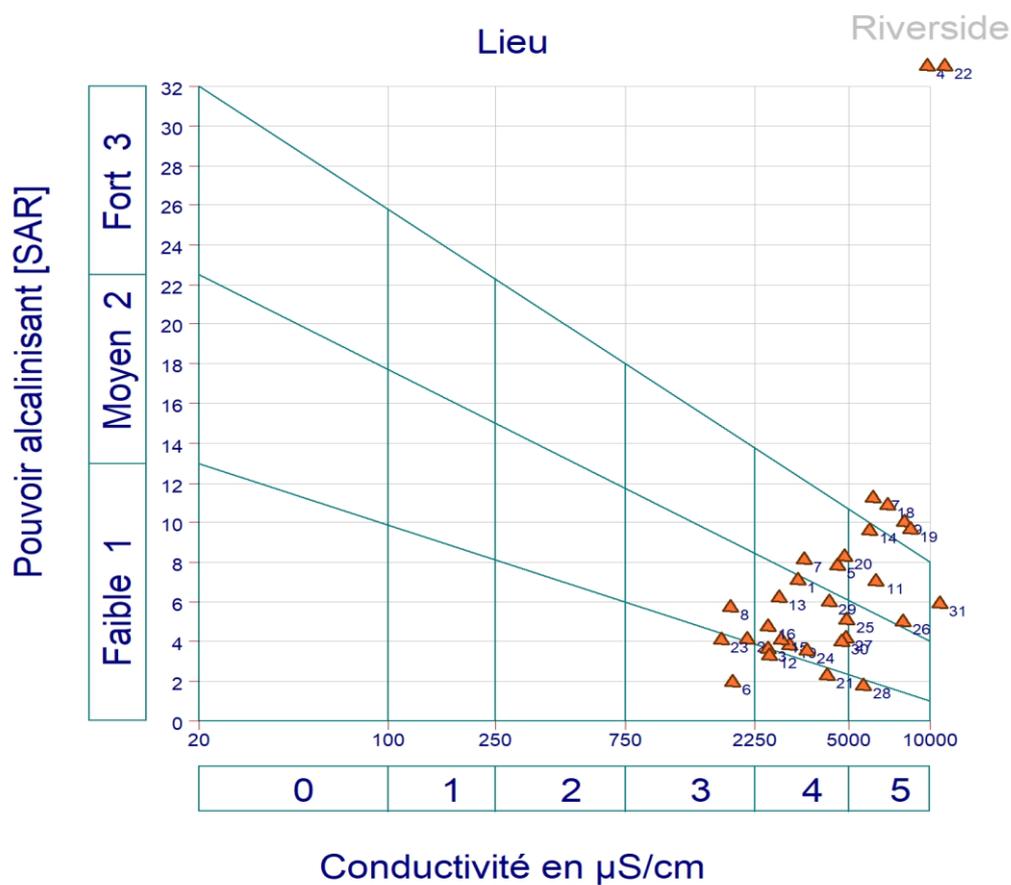


Figure 24: Diagramme de Riverside des eaux des forages

### Classification des eaux souterraines selon Welcox

Selon la figure 23, la majorité des eaux d'irrigation étudiées sont mauvaises à médiocres.

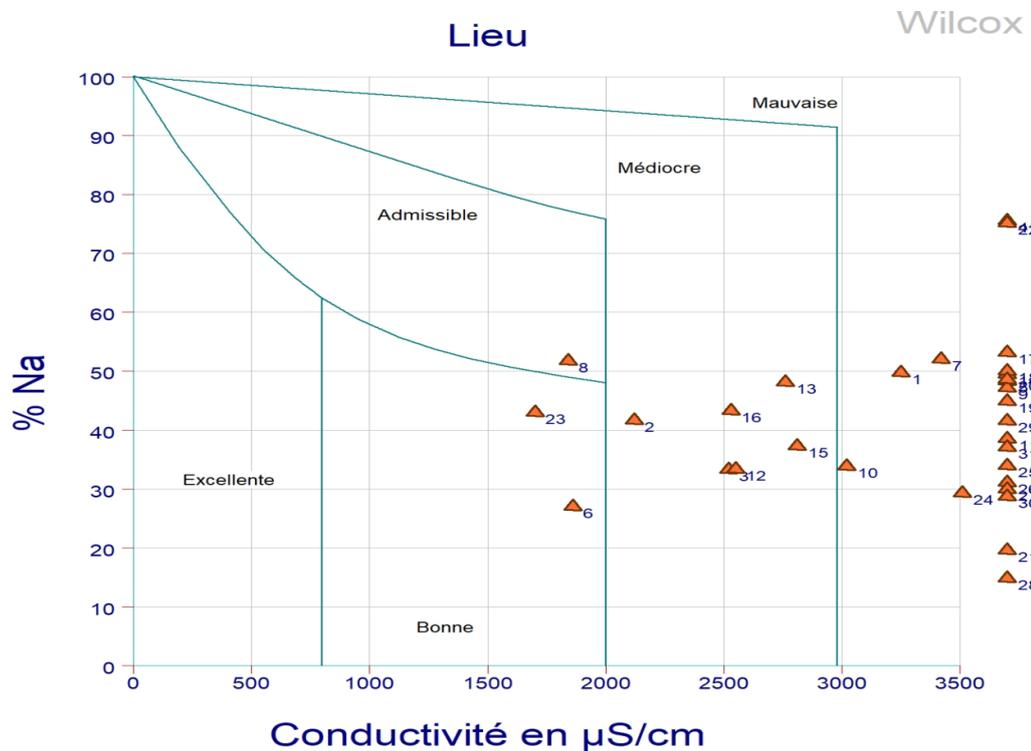


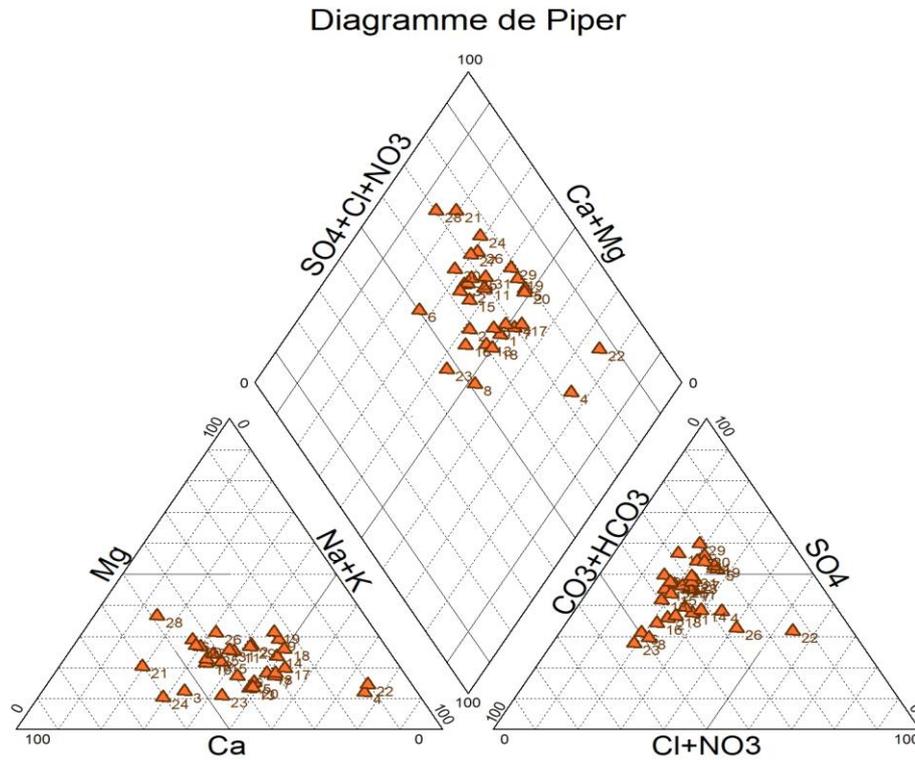
Figure 25: Classification des eaux souterraines selon Welcox

### 5. Classification des eaux souterraines selon PIPER

Les analyses chimiques des eaux étudiées d'après le diagramme de Piper de figure 24 montre que les eaux d'irrigation présentent 2 faciès hydro chimiques :

- chloruré et sulfaté calcique et magnésien, avec un taux de 93.54 %.
- chloruré sodique et potassique, avec un taux de 6.45%.

Avec la dominance du sodium, et pas de cations dominants à partir le triangle des cations. Pour les anions pas d'anions dominants pour la majorité des points d'eau.



**Figure26 : Représentation des résultats sur le diagramme de Piper**

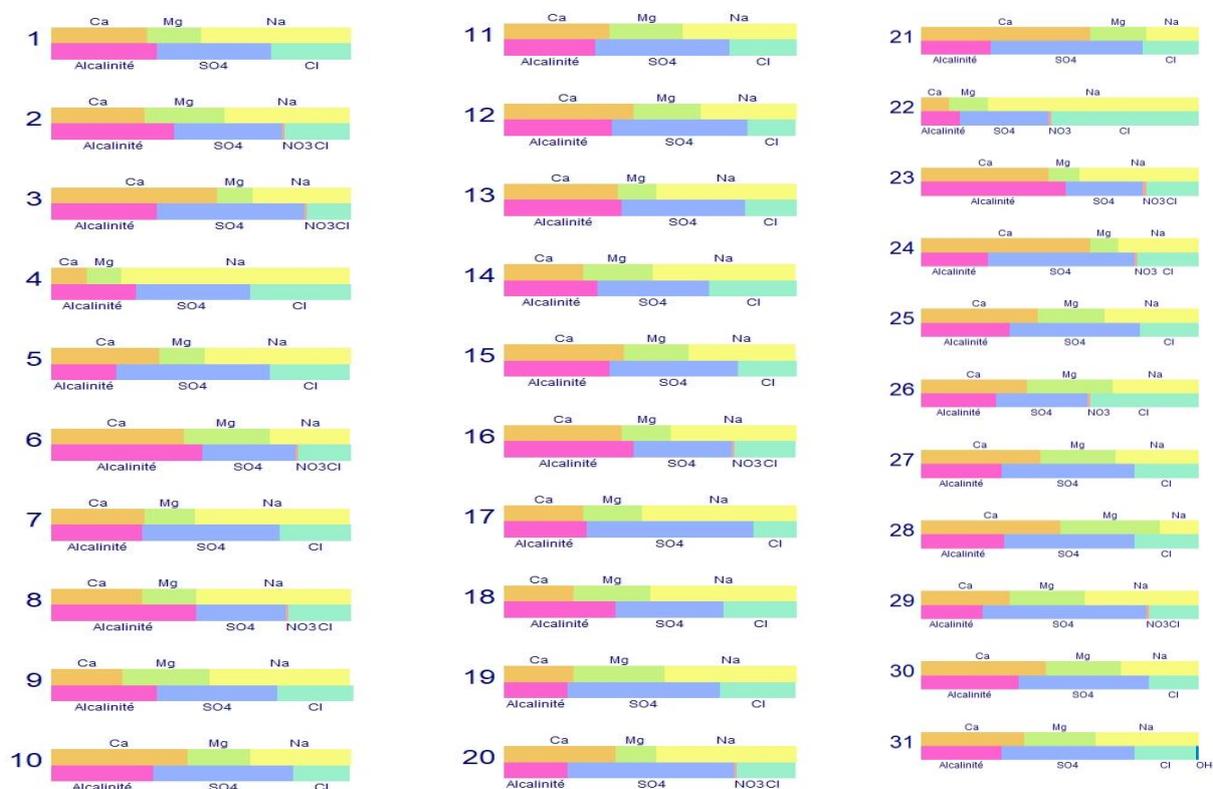
## 6. Classification des eaux souterraines selon Stabler

Le diagramme de Stabler, est très utile pour l'étude des équilibres carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant (Figure 25). Les résultats obtenus permettent de distinguer trois faciès chimiques:

Sulfaté-Sodique (54,83 %), les ions Sulfaté-Calcique (41,93%) et les ions Chloruré-Sodique (3,22%).

**Tableau 03: Classification des faciès chimiques des eaux d'après la formule caractéristique de Stabler**

Type	Sous-type	Groupe	Formule caractéristique	Echantillons
SULFATE	41,93%	Ca	1 rCa>rNa>rMg>rK rSO <sub>4</sub> >rCl>rHCO <sub>3</sub> >rNO <sub>3</sub>	F3 F6 F10 F12 F15 F16 F24 F25 F26 F27 F28 F30 F31
SULFATE	54,83%	Na	2 rNa>rCa>rMg>rK rSO <sub>4</sub> >rCl>rHCO <sub>3</sub> >rNO <sub>3</sub>	F1 F2 F4 F5 F7 F8 F9 F11 F13 F14 F17 F18 F19 F20 F21 F23 F29
CHLORURE	3,22%	Na	3 rNa>rCa>rMg>rK rCl>rSO <sub>4</sub> >rHCO <sub>3</sub> >rNO <sub>3</sub>	F22



**Figure 27: Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de STABLER.**

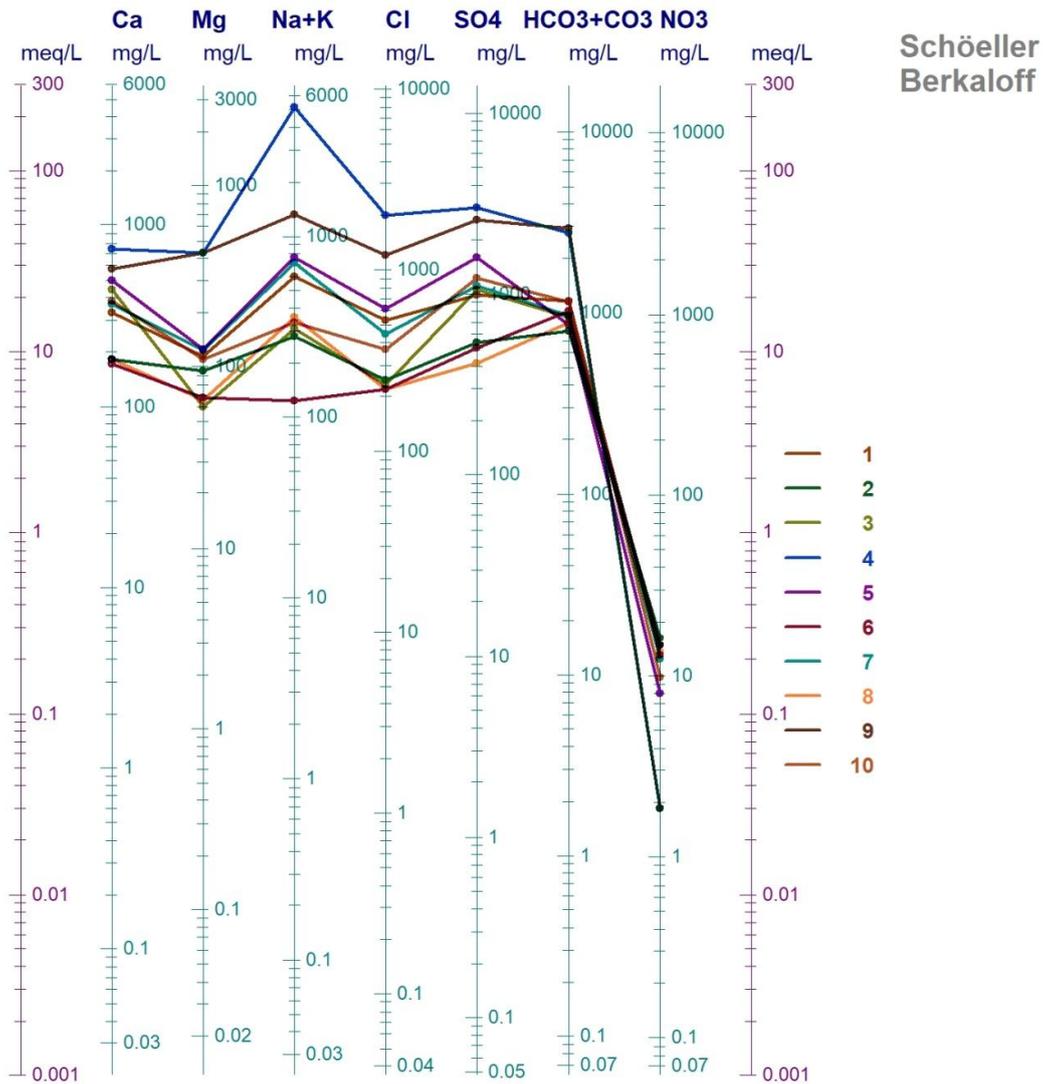
**7. Classification des eaux souterraines selon Diagramme de Schoeler Berkaloff**

Ce digramme 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 : Na + K sur Mg<sup>2+</sup> ; Ca<sup>++</sup> ;

Les sulfates sur les chlorures

- ✓ sulfaté sodique et potassique.



**Figure 28: Représentation des résultats d’analyses sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff**

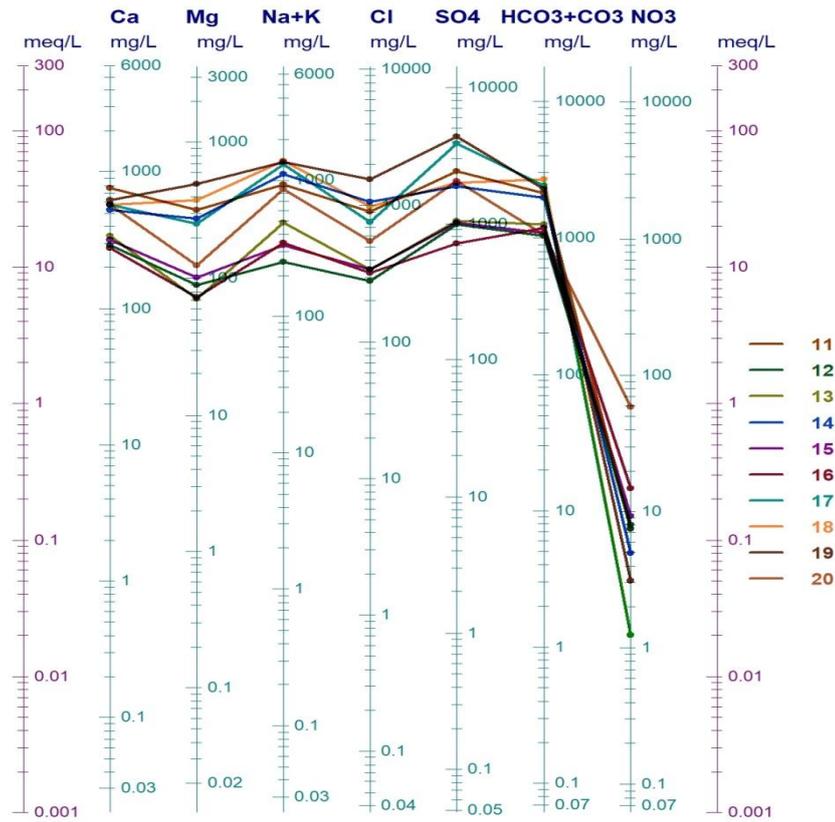


Figure 29: Représentation des résultats d’analyses sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

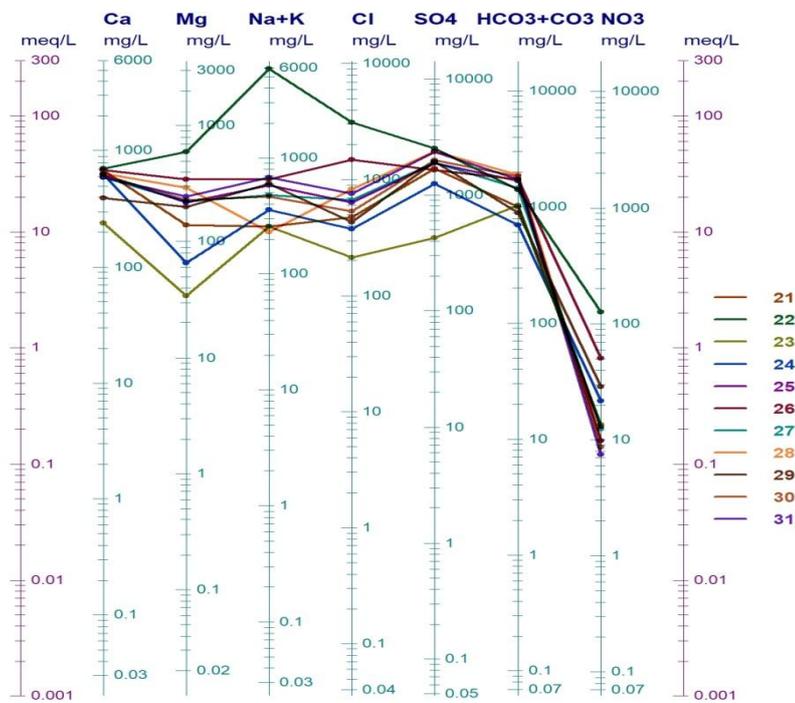


Figure 30: Représentation des résultats d’analyses sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

# **Conclusions**

Notre étude à pour objectif de caractériser physico chimiquement les eaux souterraine de la région de Tolga.

Les résultats obtenus indiquent que la température de l'eau d'irrigation varie entre 23 et 25°C pour 80% des échantillons. Le pH est neutre à légèrement alcalin, la conductivité électrique sont généralement très salées et supérieure à la valeur maximale admissible par FAO(1996).

Concernant le faciès chimique et en commençant par les cations ; la teneur en calcium pour 61.29% des échantillons dépassent la valeur maximale admissible fixée par 20 méq/l selon AYERS et WESTCOT (1994). Pour du magnésium, presque tous les échantillons (96.77%) dépassent aussi, les niveaux normaux proposés par F.A.O(1996). Et pour la teneur du sodium 77.41% ne dépasse pas la valeur maximale admissible fixée par 40 méq/l. En outre, pour le potassium tous les échantillons sont supérieurs aux niveaux normaux fixés par 2mg/l par F.A.O (1996).

Pour les anions, les sulfates avec 80.64% des échantillons dépassent la valeur maximale admissible fixée par Ayers et Westcot (1994) avec 20 méq /l. La concentration des chlorures n'atteignent pas la valeur maximale admissible fixée par FAO(1996) avec 30 meq/l.

D'autre part, l'analyse par le diagramme de Piper, de Schoeller Berkaloff , et de Stabler résultant que les eaux d'irrigation salés avec certaine sodicité. Sachent que deux faciès chimiques signifiant un type :

- chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- chloruré sodique et potassique.

Le diagramme de wilcoxet et le diagramme de Riverside et les analyses physico-chimiques 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, les échantillons d'eaux d'irrigation étudiées sont classés comme des eaux d'irrigation moyennes à médiocres (C3S1, C3S1), et médiocre à mauvaise qualité d'irrigation C4-S1, C4-S2, C4-S3, aussi des eaux déconseillées pour l'irrigation C5-S1, C5-S1, C5-S3, C5-S4.

# **Bibliographie**

1. **AUBERT G, 1976.** Les sols sodiques en Afrique du nord. Annales de l'Institut National Agronomique, vol, n1, p185-195.
2. Ben aichi. S,2019 :Enquête sur la filière tomate dans la région des Ziban comparaison entre deux systèmes de culture (le tunnel et le canarien). Mémoire de master option production végétale université du Biskra
3. **Benblidia, 2011.**L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique.
4. Benziouche S et Chehat F., 2010- La Conduite du Palmier Dattier Dans les Palmeraies des Zibans (Algérie) Quelques éléments d'analyse. Ed European Journal of Scientific Research Vol.42. No.4. Pp.644-660.
5. **Bleu, P. (2008).** Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée.
6. Boukhelouf. w ,2018 : la biodiversité des arthropodes (coleopteres) dans le vignoble et oliveraie au ziban mémoire de magister option agriculture et environnement en zones arides université de Biskra P 98.
7. **Boutouga F., 2012-** Ressources et Essai de Gestion des eaux dans le Zab Est de Biskra. Mém.Magister. Université d'Annaba. 132p.
8. **Brinis N., 2011-** Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride cas de l'aquifère d'El-Outaya région nord-ouest de Biskra. Algérie. Thèse doctorat. Université de Biskra.230p.
9. **Chabour N- 2006 :** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie .thèse doctorat en géologie. Université de Constantine.176p.
10. **Chebbah M., 2007-** Lithostratigraphie, Sédimentologie et modèles les de Bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'accident Sud Atlasique (Ziban, Algérie).thèse doctorat d'état.417 p.
11. DJABARA, M. (2007). Les principales contraintes du développement d'une agriculture irriguée classée en grande hydraulique en Algérie. Actes du Séminaire : Modernisation de l'Agriculture Irriguée, Rabat, du 19 au 23 avril 2004, Projet INCOWADEMED. 13 pages
12. Durand J.H., 1983. Les sols irrigables : Étude pédologique. Paris, Presse Universitaire de France, 339p
13. **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).
14. **Eress, (1972).** Etude des ressource en eau du sahara septentrional.par UNESCO. Utilisation des modèles pour l'établissement des programme d'exploitation .Vol5.nappe du continental intercalaire Vol.2.nappe du complexe terminal.vol3.

15. Etude nationale. Algérie. Version finale. Plan bleu. Centre d'activités Régionales. PNUE/PAM.
16. **FAO ,(2006)**. Food Alimentation Organisation La qualité de l'eau en agriculture. Bull. d'irrigation et drainage n°29 , 176 p.
17. **Hamel A. 2009-** hydrogéologie des systèmes aquifères en pays montagneux a climat semi - aride. Cas de la vallée d'oued el Abiod (Aurès). Mém. Magister. Université de Constantine.179p.
18. HANNACHI et BEKKARI (1994); CHABOUR (2006); BELGUEDJ *et al.* (2008).
19. <https://fr-fr.topographic-map.com/map-2189rr/Biskra/>
20. <https://www.aniref.dz/DocumentsPDF/monographies/MONOGRAPHIE%20WILAY A%20BISKRA.pd>
21. <https://www.ou-et-quand.net/partir/quand/afrique/algerie/biskra/#meteo>
22. [https://www.persee.fr/docAsPDF/medit\\_0025-8296\\_2002\\_num\\_99\\_3\\_3264.pdf](https://www.persee.fr/docAsPDF/medit_0025-8296_2002_num_99_3_3264.pdf)
23. [https://www.persee.fr/docAsPDF/medit\\_0025-8296\\_2002\\_num\\_99\\_3\\_3264.pdf](https://www.persee.fr/docAsPDF/medit_0025-8296_2002_num_99_3_3264.pdf)
24. [https://www.riob.org/sites/default/files/IMG/pdf/ANRH-ALGER\\_biskra.pdf](https://www.riob.org/sites/default/files/IMG/pdf/ANRH-ALGER_biskra.pdf)
25. Khechai S., (2001): Contribution à l'étude du comportement hydrophysique des sols du périmètre irrigué de l'ITDAS, dans la pleine de l'Outaya (Biskra). Thès. Mag. Univ. Batna,178 p.
26. **Messahel1 M; Benhafid M.S et Cherif M ,2003**. Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie.
27. **Sedrati N., 2011-**Origines et caracteristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de biskra-sud est algerien. Thèse Doctorat. Université de Annaba.252p.
28. TOUTAIN G. ,1979. Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Edition la maison neuve, Paris, 276p.

# **Annexes**

## Annexe 01

## 1. Statistiques descriptive (Données quantitatives)

Nous avons calculons les paramètres physiques-chimique des eaux des forages qui permet l'interprétation pour les résultats d'échantillons.

a- Les formules statistiques descriptives :

La moyenne arithmétique (X)	• $\bar{x} = \sum n_i \cdot x_i / N$
La médiane	• $\bar{x} = \sum n_i \cdot x_i / N =$
Le maximum et le minimum	• ils représentent la plus grande et la plus petite valeur de l'échantillon.
La variance	• $V = (\sum (x - \mu)^2) / N$
Ecart-type ( $\sigma$ ):	• $\sqrt{\text{La variance}}$
Coefficient de variation (CV)	• $(\text{Écart-type} / \text{Moyenne}) * 100$

Si le coefficient de variation est inférieur ou égal à 15 %, les unités statistiques forment un groupe homogène quant à la variable étudiée. Si le coefficient de variation est supérieur à 15 %, le groupe est hétérogène.

A l'aide de Microsoft Excel (XLSTART) nous avons obtenu les tableaux suivants :

**Tableau 01 :** Statistiques élémentaires des variables hydro-chimiques des eaux souterraines dans la région de Tolga.

Statistique	CE dS/m	pH	Ca <sup>2+</sup> méq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Mg <sup>2+</sup> méq/l	Cl <sup>-</sup> méq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> méq/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> meq/l	N.NO <sub>3</sub> (mg/l)
Nb. d'observations	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Minimum	1,7	6,45	8,6	5,195	0,068	2,8	6	11,4	14,2	8,734	0,236
Maximum	11,3	10,8	37,8	253,76	0,553	48,6	87,4	48	84	90,301	28,537
Médiane	4,52	7,11	28,8	24,958	0,23	11,4	15,2	19,4	39,4	35,394	2,308
Moyenne	4,95	7,175	24,374	39,899	0,254	16,974	20,735	24,31	41,348	35,827	3,828
Variance (n-1)	7,15	0,605	79,629	3083,6	0,022	143,23	306,76	109,35	375,61	384,57	29,118
Ecart-type (n-1)	2,674	0,778	8,923	55,53	0,149	11,968	17,514	10,457	19,381	19,61	5,396
Coefficient de variation CV(%)	54,02	10,843	36,609	139,18	58,661	70,508	84,466	43,015	46,873	54,735	140,96

**Tableau 02\_:** Les normes des eaux d'irrigation fixée par la FAO (1996).

Paramètre de l'eau	Symbole	Unité	Valeur maximale admissible
Conductivité électrique	CE	dS/m	3
Total des sels dissous	TDS	mg/l	2000
Calcium	Ca <sup>++</sup>	mg/l	400
Magnésium	Mg <sup>++</sup>	mg/l	60,75
Sodium	Na <sup>+</sup>	mg/l	920
Carbonates	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	mg/l	3
Bicarbonates	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	610
Chlore	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1065
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	960
Nitrates	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	10
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	5
Phosphate	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2
Potassium	K <sup>+</sup>	mg/l	2
Acidité	pH	-	6 – 8,5
Coefficient d'absorption du sodium	SAR	-	15
Bor	B	mg/l	2

**Tableau 03 :** Classification de l'eau d'irrigation basée sur la CE, selon U.S.S.L. de Riverside, (1954)

Classe de salinité	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	Danger
C1	100/250	Faible
C2	250/750	Moyen
C3	750/2250	Fort
C4	2250/5000	Très fort
C5	>5000	Excessif

**Tableau04 :** Barème de qualité pour l'eau d'irrigation par rapport le CE selon (AUBERT, 1978)

CE	Interprétation
< 0.6	No salé
0.6-1.2	Peu salé
1.2-2.4	salé
2.6-6	Très salé
>6	Extrêmement salé

**Tableau 05 :** Températures moyennes dans la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021)

Mois	T° Moyen
jan	5,89
fév	12,96
mar	17,32
avr	21,49
mai	26,27
jui	35,65
jul	37,22
aout	34,26
sep	28,89
oct	23,91
nov	17,32
déc	12,39

**Tableau 06 :** Précipitations moyennes dans la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021)

<b>Mois</b>	<b>P(mm)</b>
<b>Jan</b>	15,44
<b>Fév</b>	7,23
<b>Mar</b>	25,79
<b>Avr</b>	18,73
<b>Mai</b>	12,1
<b>Jui</b>	0
<b>Jul</b>	0,92
<b>Aout</b>	1
<b>Sep</b>	23,29
<b>Oct</b>	26,81
<b>Nov</b>	15,54
<b>Déc</b>	12,15

**Tableau 07 : l'humidité moyenne dans la région de Biskra durant la période 2020-2021, (O.N.M., 2021).**

<b>Mois</b>	<b>H(%)</b>
<b>jan</b>	55,54
<b>fév</b>	48,95
<b>mar</b>	48,85
<b>avr</b>	39,04
<b>mai</b>	33,05
<b>jui</b>	33,05
<b>jul</b>	28,03
<b>aout</b>	25,18
<b>sep</b>	28,45
<b>oct</b>	39,6
<b>nov</b>	46,2
<b>déc</b>	59,04

## Résumé

Ce travail vise à évaluer les eaux souterraines de la région de Tolga. Un échantillonnage a été effectué sur 31 forages. Les analyses physico-chimiques réalisés sont (CE, pH, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>). Les résultats obtenus montrent que les eaux d'irrigation sont classées selon le diagramme de Riverside, dans huit classes : C3S1, C3S2, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C5-S1, C5-S1, C5-S3, C5-S4. Et selon le diagramme de Piper les eaux d'irrigation étudiées sont classé dans le faciès sulfaté calcique et magnésien avec un taux de 93.54 %. Et le faciès chloruré sodique et potassique avec un taux de 6.45%.

**Mots clés :** Tolga, qualité, eaux d'irrigation.

## الملخص:

يهدف هذا العمل إلى تقييم المياه الجوفية في منطقة تولغا. تم أخذ العينات من 31 بئراً. التحليلات الفيزيائية والكيميائية التي تم إجراؤها هي (EC ، pH ، Ca ، Mg ، Na ، K ، Cl ، SO<sub>4</sub> ، NO<sub>3</sub> ، HCO<sub>3</sub> ، CO<sub>3</sub>). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مياه الري مصنفة وفقاً لمخطط ريفرسايد ، في ثماني فئات: C3S1 ، C3S2 ، C4-S1 ، C4-S2 ، C4-S3 ، C5-S1 ، C5-S1 ، C5-S3 ، C5-S4. وبحسب مخطط بايبر فإن مياه الري المدروسة مصنفة في سحنات الكالسيوم وكبريتات المغنيسيوم بنسبة 93.54%. وسحنات الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم بنسبة 6.45%.

**الكلمات المفتاحية:** طولقة ، جودة ، مياه ري.

## Abstract

This work aims to assess groundwater in the Tolga region. Sampling was carried out on 31 boreholes. The physico-chemical analyzes carried out are (EC, pH, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>). The results obtained show that irrigation water is classified according to the Riverside diagram, in eight classes: C3S1, C3S2, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C5-S1, C5-S1, C5-S3, C5-S4. And according to Piper's diagram, the irrigation waters studied are classified in the calcium and magnesium sulfate facies with a rate of 93.54%. And the sodium and potassium chloride facies with a rate of 6.45%.

**Keywords:** Tolga, quality, irrigation water.