

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies

Département des Sciences et Technologie

N° d'ordre :

N° de série :

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Domaine :** *Sciences et Technologies.*

**Filière :** *Hydraulique.*

**Spécialité :** *Sciences de l'eau et de l'environnement.*

**Par :**

**BENSANIA Ali**

**BOUHICHA Hicham**

**Thème**

**Essais du Bilan hydrologique d'un complexe surface  
d'eau libre – couche aquifère dans un milieu Saharien**

*Cas du lac d'El Goléa à la période 1996 -2016*

**Soutenu publiquement le :07/05/2017**

**Devant le jury :**

<b>Mr. MERCHERI Bachir</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>Mr. ACHOUR Mansour</b>	doctorant	ANRH Ghardaïa	<b>Examinateur</b>
<b>Mr. BOUBLI Salim</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Examinateur</b>
<b>Mr. OULED BELKHAIR Chikh</b>	MAA	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire : 2016/2017**

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail A ceux qui m'ont soutenu au long de mes études, qui m'ont toujours poussé vers le chemin du savoir, à ma source d'amour et d'affection, les deux êtres les plus chères au monde.*

*Mes Chers parents : DJAOUL et Om Elkhir.*

*À mes frères : Azzedinne, Abdessalam, Ishak et Yahia.*

*À ma sœur : Sara.*

*À ma grande famille : BEN SANIA*

*À mon Binôme : Hicham*

*À mes amis de l'université de GHARDAIA.*

*À tous les étudiants d'Hydraulique.*

*À tous ceux qui me sont cher(e)s.*

*BEN Sania Ali.*

---

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail A ceux qui m'ont soutenu au long de mes études, qui m'ont toujours poussé vers le chemin du savoir, à ma source d'amour et d'affection, les deux êtres les plus chères au monde.*

*Mes Chers parents*

*À mes frères*

*À mes sœurs*

*À ma grande famille*

*À mon Binôme : Ali*

*À mes amis de l'université de GHARDAIA.*

*À tous les étudiants d'Hydraulique.*

*À tous ceux qui me sont cher(e)s.*

*BOUHICHA Hicham.*

---

## *Remerciement*

*Nous remercions DIEU tout puissant qui nous a protégés le long de notre cursus d'étude.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre encadreur Monsieur OULED BELKHIR Chikh, qui nous a aidé pour faire ce travail et sa confiance et de son aide scientifique et qui par son expérience et sa compétence.*

*Nous tenons remercier vivement Monsieur le président et les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Pour finir nous remercions vont également à tous ceux qui de près ou de loin ma apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.*

---

*Table des matières*

*Introduction générale*

*Chapitre I : Cadre Physique de la région*

I.1. Introduction.....	4
I.2. Présentation de la région d'étude .....	4
I.2.1. Situation géographique de la zone d'étude .....	4
I.3. Climatologie de la région d'El-Goléa .....	5
I.3.1.. Températures .....	6
I.3.1.1.Température moyenne annuelle.....	6
I.3.1.2.Température moyenne mensuelle .....	6
I.3.1.3. Température extrême : .....	7
I.3. 2. Humidité relative .....	9
I.3. 3. Vent et Sirocco .....	10
I.3.4 La durée d'insolation .....	11
I.3.5.Précipitations .....	11
I.3.6. Synthèse climatique : .....	12
I.3. 6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnoulset Gaussen :.....	12
I.3.6.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger appliqué à El-Goléa : .....	13
I.3.7 Evaporation.....	14
I.4.Eléments socio-économiques : .....	15
I.6. Conclusion : .....	16

*Chapitre II : Cadre Géologique et Hydrogéologique*

II.1. Introduction : .....	18
II.2. Géomorphologique.....	18
II.3.Géologie .....	18
II.3.1. Albien .....	21
II.3.3. Cénomaniensupérieur .....	22
II.3.4. Turonien .....	22

---

II.5. L'hydrogéologie de la région : .....	22
II.5.1. Nappe phréatique : .....	22
I.5.2. Nappe du Continental Intercalaire .....	23
Conclusion .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

*Chapitre III : Régime pluviométrique*

III.1.Introduction .....	27
III.2. Analyse de la précipitation.....	27
III.2.1.Moyennes mensuelles des précipitations .....	28
III.2.2.Précipitation Moyenne annuelle : .....	29
III.2.3. Pluies journalières. ....	31
III.2.4. Répartition des pluies journalières durant la période 1996-2015 :.....	32
III.2.5. Précipitations maximales journalières.....	33
III.3.Analyse des données statistiques .....	34
III.4.Choix de la loi d'ajustement .....	35
III.4.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log Normal).....	35
III.4.2.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumble .....	36
III.4.3.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Pearson type III.....	37
III.5.Interprétation des graphes .....	37
III.6.Test de Khi <sup>2</sup> .....	37
III.6.1.Loi de Galton (log normal) .....	38
III.6.2.Loi Gumble .....	38
III.6.3.Loi Pearson type III.....	38
III.7. Régime pluviométrique.....	39
III. 7.1. Calcul des précipitations en fonctions de fréquences.....	39
III.7.2.Pluies de courtes durées .....	39
III.7.3.Intensités maximales de courte durée.....	40
III.7.4.Construction des courbes IDF .....	41

---

Conclusion .....	41
<b>Chapitre IV : Etude piézométrique et hydrochimique</b>	
IV.1. Introduction.....	44
IV.2 Compagnes de visite du lac d'El-Goléa .....	44
IV.3 Échantillonnage et analyse des eaux.....	46
IV.3.1 Méthode de prise d'échantillon.....	46
IV.3.1.1 Les mesures in-situ .....	47
IV.3.2 Mesures et analyses au laboratoire.....	47
IV.3.2.1 Paramètres physique .....	47
IV.3.2.1.1 Potentiel d'hydrogène (pH).....	47
IV.3.2.1.2 Conductivité.....	48
IV.3.2.1.3 Température (T) :.....	49
IV.3.2.1.4 Salinité .....	50
IV.3.2.1.5 Total des Solides dissous (TDS).....	50
IV.3.2.1.6 Turbidité (NTU).....	50
IV.3.2.2 Paramètres chimiques .....	51
IV.3.2.2.1 Indicateur de pollution ( $\text{NH}_4^+$ ).....	51
IV.4 Approche géostatistique.....	51
IV.4 .1 Présentation du logiciel (Surfer 11) .....	52
IV.4 .2 Interprétation géostatistique des résultats .....	53
IV.4 .3 Analyse des données piézométriques.....	54
IV.4 .3.1 Carte piézométrique 03 Mars et 03 Mai 2017 .....	54
IV.4.3.2 Carte de pH :.....	57
IV.4.3.3 Carte de Conductivité électrique CE et Salinité .....	58
IV.4.3.4 Carte de TDS .....	60
IV.4.3.5 Carte de turbidité :.....	61
IV.4.3.6 Carte $\text{NH}_4^+$ : .....	63

---

***Chapitre V : Etablissement du bilan hydrologique***

V.1 Introduction .....	66
V.2. Méthodologies.....	66
V.2.1. Année Hydrologique : .....	66
V.2.2 Système hydrologique étudiée .....	67
V.2.3 Eléments d'un bilan d'un complexe surface d'eau libre – couche aquifère .....	67
V.2.4 Expression générale du bilan d'eau d'une couche aquifère .....	68
V.2.5 Relation avec les couches aquifères profondes et adjacentes.....	68
V.2.6 Equilibre du bilan.....	68
V.3 Choix des périodes de références .....	68
V.4 Eléments de l'équation du bilan .....	69
V.5. Zonage du bilan hydrologique.....	70
V.6. Mesures effectuées sur terrain.....	71
V.6. Etablissement des bilans définitifs .....	73

***Conclusion générale***

***Références bibliographiques***

***Annexes***

---



**Liste des figures :**

<i>Figure I.1 Carte de situation du lac d'El Goléa (Google Earth 2016).....</i>	<i>5</i>
<i>Figure I.2 Variation de la température mensuelle moyenne (station d'El-Goléa 2000-2015). .7</i>	<i>7</i>
<i>Figure I.3 la variation mensuelle des températures moyennes extrêmes (maximas et minimas) de, El Goléa 2000-2015.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure I.4 Variation de L'humidité moyenne mensuelle et annuelle de la station d'El-Goléa dans la période 2000-2015.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure. I.5. l'insolation moyenne (station d'El-Goléa 2000-2015).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure I.9 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussens de la région d'El Goléa pondant la période de 12 ans (2001- 2012).....</i>	<i>13</i>
<i>Figure I.10 Climagramme d'Emberger pour la région d'El-Goléa pondant la période de 12 ans (2001- 2012).....</i>	<i>14</i>
<i>Figure. I.11 Evaporation moyenne d'El-Goléa 2000-2010.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure. II.1: Carte géologique du sud-Ouest Algérien (Thèse Sbaa, 2014).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure II.2. Log lithologique à partir d'un forage d'eau d'El-Goléa (Guerradi ,2012).....</i>	<i>21</i>
<i>Figure. II.3 Carte Hydrographique de l'Erg Occidentale et le sud-Ouest Algérien (Thèse Sbaa, 2014).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure III.1 Carte des précipitations (J. Dubief, 1953) .....</i>	<i>28</i>
<i>Figure III.2 la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation (station d'El-Goléa 1996-2015).....</i>	<i>29</i>
<i>Figure III.3 Histogramme représente les cumule annuelle (station d'El-Goléa 1996-2015). .30</i>	<i>30</i>
<i>Figure III.4 Graphique des cumuls pluviométriques annuels pour la série d'El-Goléa (1996-2015). .....</i>	<i>31</i>
<i>Figure III.5 Carte pluviométriques moyenne annuels (J. Dubief, 1960-1950) ... Erreur ! Signet non défini.</i>	
<i>Figure III.6 Graphique en nuances de couleurs des précipitations d'ElGoléa pour la périoded e (1996-2015).....</i>	<i>32</i>
<i>Figure III.7Ajustement graphique d'une loi de Galton (Log Normal).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure III.8Ajustement graphique d'une loi de Gumble.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure III.9Ajustement graphique d'une loi de Pearson type III.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure III. 10 Courbe IDF Intensité – Durée – Fréquence .....</i>	<i>41</i>
<i>Figure V.1 Echantillonnage du lac d'El-Goléa.....</i>	<i>45</i>

*Figure V.2 Carte de situation des points de mesure de lac d'El-Goléa... Erreur ! Signet non défini.*

*Figure IV.3 pH mètre.....48*

*FigureIV.4 conductivité mètre. ....49*

*Figure IV.5 Turbidimètre.....51*

*Figure IV.6 Menu du Logiciel Surfer 11 .....53*

*Figure IV.7 La carte piézométriqueMars-Mais2017 .....55*

*Figure IV.8 La carte de PH des eaux de Lac El-Goléa à la compagne Mais 2017 .....58*

*Figure IV.9 La carte de Conductivité et la Salinité des eaux du lac El-Goléa à la compagne Mais 2017 .....59*

*Figure IV.10 La carte de TDS des eaux du lac El-Goléa à la compagne Mai 2017 (g/l).....60*

*Figure IV.11 La carte de turbidité des eaux du lac El-Goléa à la compagne Mai 2017 (mg/l) .....62*

*Figure IV.12 La carte de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> des eaux du lac à la compagne mai 2017 (mg/l).....63*

*Figure V.1 les différents facteurs entrants dans l'établissement du bilan hydrologique .....69*

*Figure V.2 Carte de zoning du bilan hydrologique du lac d'El Goléa.....70*

*Figure V.3 coupe schématique de drain.....71*

---

**Liste des tableaux**

Tableau I.1 les coordonnées géographiques .....	4
Tableau I.2. Température moyenne (station d'El-Goléa 2000-2015). .....	7
Table I.3 Température extrême (station d'El-Goléa 2000-2015) .....	8
Table I.4 L'humidité moyenne mensuelle et annuelle (station d'El-Goléa 2000-2015).....	9
Tableau I.5 Vitesse moyenne du vent à (station d'El-Goléa 2000-2015). .....	10
Tableau. I.6. Insolation Moyenne de (station d'El-Goléa 2000-2015).....	11
Tableau. I.7. Evaporation Moyenne de la région d'El-Goléa 2000-2015. ....	15
Table III.1 Précipitations moyennes mensuelles (station d'El-Goléa 1996-2015). ....	28
Table III.2 Précipitations moyennes annuelles (station d'El-Goléa 1996-2015). ....	29
Tableau III. 3Pluies journalières maximales observées à El-Goléa (1996-2015).....	34
Tableau III.4Les paramètres de statistiques.....	35
Tableau III. 5 Test de $\chi^2$ appliqué sur la série des pluies (Galton) .....	38
Tableau III. 56 Test de $\chi^2$ appliqué sur la série des pluies (Gumble) .....	38
Tableau III. 7 Test de $\chi^2$ appliqué sur la série des pluies (Pearson type III).....	38
Tableau III. 8 Pluies journalières maximales fréquentielles.....	39
Tableau III. 9 Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour .....	40
Tableau III. 10 Intensités maximales de durée $t$ (h) et de période de retour $T$ (an) .....	40
Tableau IV.1 Classes de Le potentiel d'hydrogène PH (Rodier, 1996).....	48
Tableau IV.2 Classification de l'eau selon la conductivité électrique .....	49
Tableau V.1 Bilan hydrologique d'un complexe surface d'eau libre – couche aquifère .....	67
Tableau V.2 La surfce de Zonage du bilan hydrologiquedu lac d'El Goléa .....	70
Tableau V.3 Valeurs moyennes de l'évaporation.....	71
Tableau V.4 Evaporation des sols nus ( $E_s$ ).....	71
Tableau V.5 Débit moyen de drain $Q_d$ .....	72
Tableau V.6 variation de réserves dans lame d'eau .....	73
Tableau V.7 Bilan hydrologique dans les périodes 03/2017 à 05/2017, H, eaux- B, eaux (6 mois) et Annuel. ....	73

---

**Liste des symboles et abréviations**

%	Pourcentage
°C	Degré Celsius
μS	Micro siemens
3D	3 dimensions
an	Année
b	L'exposant climatique
CE	Conductivité électrique
cm	Centimètre
Cv	Coefficient de variation
DDL	Degrés de liberté
DW	Souterrains de la nappe phréatique
dW	Variation du niveau d'eau dans le lac
E	Est
Es	Evaporation des sols
ETP	Evapotranspiration des palmeraies
Ev	Evaporation d'eau
GPS	Global Positioning System;
h	Heure
IDF	Intensité – durée – fréquence
I <sub>max</sub>	L'intensité maximale de la pluie
j	Jour
Khi <sup>2</sup>	Khideux
Km	Kilomètre
Km <sup>2</sup>	Kilomètre carré
l	Litre
m	Mètre
Max	Maxima
min	Minima
mg	Milligramme
ml	Millilitre
mm	Millimètre
Mm <sup>3</sup>	Million de mètre cube
MNT	Modèles numériques de terrain

---

## Liste des abréviations

---

mS	Micro siemens
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	L'indicateur de pollution
NTU	Unité de Turbidité
NW	Nord - Ouest
W	Ouest
P	Pluie (mm)
P%	Pluie fréquentielle
pH	Potentiel d'Hydrogène
Pj	Pluie journalière (mm/j)
Pj%	Pluie journalière fréquentielle
Q <sub>3</sub>	Quotient pluviothermique d'Emberger;
Q <sub>d</sub>	Débite de drains de surfaces
Q <sub>s</sub>	Débite du collecteur d'assainissement
S	Sud
t	Durée de l'averse
T	Température (°C)
TDS	Total de solides dissous
T <sub>moy</sub>	Température moyenne (°C)
V <sub>moy</sub>	Vitesse moyenne (m\s)
O	West
δx	L'écart type
$\bar{x}$	Moyenne arithmétique

---

# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

Les zones humides sont définies comme étant des zones de transition entre les systèmes terrestres et les systèmes aquatiques où la nappe phréatique est proche de/ou atteint la surface du sol. Les zones humides et les lacs à travers le monde constituent des espaces multifonctionnels fragiles et diversifiés. Ils jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et accueillant une faune importante, des poissons et des oiseaux migrateurs [20].

Le lac d'El Goléa qui se trouve en plein cœur du Sahara présente une grande importance sur le plan écologique, agronomique, touristique et économique. L'intérêt écologique et touristique se résume à la présence d'une diversité importante des espèces animales et végétales. Sur le plan agronomique le lac constitue un exutoire naturel des eaux d'irrigation des palmeraies et périmètres agricoles en voisinage [15].

Hydrologiquement, Le lac est un point bas de la vallée fossile d'El Goléa, qui s'affluent sur la bordure sud-ouest de la dorsale du M'Zab. En effet, c'est un complexe surface d'eau libre-couche aquifère qui renferme d'une nappe libre alimentée par les eaux de surface, et les eaux des Oueds Atlasique (Saguer et Zergoune) drainées sous l'Erg occidentale. L'intense évaporation provoque l'abaissement du niveau d'eau dans le lac par 1 m en été, et la par la suite contribue à l'augmentation de la salinité des eaux de ce lac (plus de 70 g/l).

Le présent aucune étude n'a traité les caractéristiques hydrologiques ou hydrogéologiques du lac à part quelques observations citées dans quelques études sur la grandeur de la fluctuation du niveau d'eau [20].

Le principal objet de ce travail est d'établir des bilans hydrologiques sur le complexe Lac-nappe phréatique, notamment la quantification des apports (eaux de drainage) et les pertes (Evaporation). Cette balance va être établie sur la base des relèves piézométriques sur une période de référence: 03/2017-05/2017.

Pour atteindre cet objectif, nous avons articulés notre étude comme suit:

- Le premier chapitre comporte le cadre physique de la région en étude dont on prend une vue générale sur les limites géographiques, la climatologie, de la zone concernée.

- Le deuxième chapitre c'est une étude la géologie et l'hydrogéologie c'est-à-dire : l'étude des caractéristiques, la configuration et l'évolution des formes de terrain et de roches dans la région de Sahara et notamment la région d'El-Goléa.
- Dans le troisième chapitre on va donner une étude hydro climatologique détaillée sur la région El-Goléa à l'aide d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations Maximum journalières pour la période de fonctionnement de 1996 à 2015 (fournie par ONM station El-Goléa).
- Dans le quatrième chapitre on va présenter la partie expérimentale de notre étude ce qui est l'hydrochimie des eaux de Lac tout on basant sur les résultats d'analyse des eaux de Lac obtenus est cela après deux campagnes d'échantillonnage et de mesure, comme nous avons aussi établir des cartes piézométriques et des cartes représentant quelques paramètres qui déterminent la qualité des eaux de lac en étude.
- Dans le cinquième chapitre avons établir les bilans hydrologiques possibles du système : saisonnière haute eaux -basse eaux, et annuel, cela après déterminations et connaissances précises des apports et pertes de chaque période.



*Chapitre I : Cadre  
Physique de la région*

## I.1. Introduction

Ce chapitre comportera les données essentielles de la région de Goléa, afin d'assurer le bon déroulement de cette étude avec les différentes caractéristiques reliées spécialement à cette région. On prend une vue générale sur les limites géographique, climatologie, et en fait une étude climatique précise pour la région

## I.2. Présentation de la région d'étude

### I.2.1. Situation géographique de la zone d'étude

La région d'El Goléa se trouve au centre du Sahara Algérien, située entre les deux Sahara, septentrional et méridional. El Goléa (ancienne appellation d'El-Menia) est située, à 870 km de la mer méditerranée, elle appartient au bassin versant saharien, elle se trouve, à 270 Km chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa et 360 Km de Ain Saleh [10].

El-Menia est une daïra de wilaya de Ghardaïa, elle est limitée au nord par la commune de Hassi lefhel, à l'Est on trouve wilaya de Ouargla, au Sud on a wilaya de Tamanrasset et à l'Ouest la wilaya d'Adrar. Elle est située au lit même de l'Oued Seggueur, bordée à l'Ouest par les dernières dunes du grand erg occidental et à l'Est par falaise découpée de la Hamada. Les coordonnées LAMBERT de cette zone sont notées dans le tableau I.1:

Tableau I.1 les coordonnées géographiques

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)
La zone de lac El-Goléa	30°33	002°55.5	395
	30°33.2	002°52.6	400
	30°26	002°57	386
	30°25.5'	002°54'	380

Le lac d'El-El-Goléa se trouve à 7 km de la commune de Hassi Ghara, et 12 Km de El-Menia au Sud-Ouest, s'installe sur une falaise d'environ 20m à l'Est, le Grand Erg Occidental à l'Ouest, au nord se trouve la commune de Hassi Ghara et au sud Maroukett (zone agricole). Le point le plus bas se trouve au niveau du lac inférieur est à 364 m. le lac supérieur marqué par une altitude de 369 m. Entre ces deux lac 5 m d'altitude qui favorise un écoulement de lac supérieur vers le lac inférieur et permet l'alimentation permanente du lac[10].

L'ancienne route (piste) passe à l'ouest du lac comme elle est indiquée par la carte situation de lac Goléa au (figure. I.1) actuellement la route national N° 1 passe du coté Est du lac, 1 km d'environ. Le lac inférieur est le point le plus bas dans la région [10].

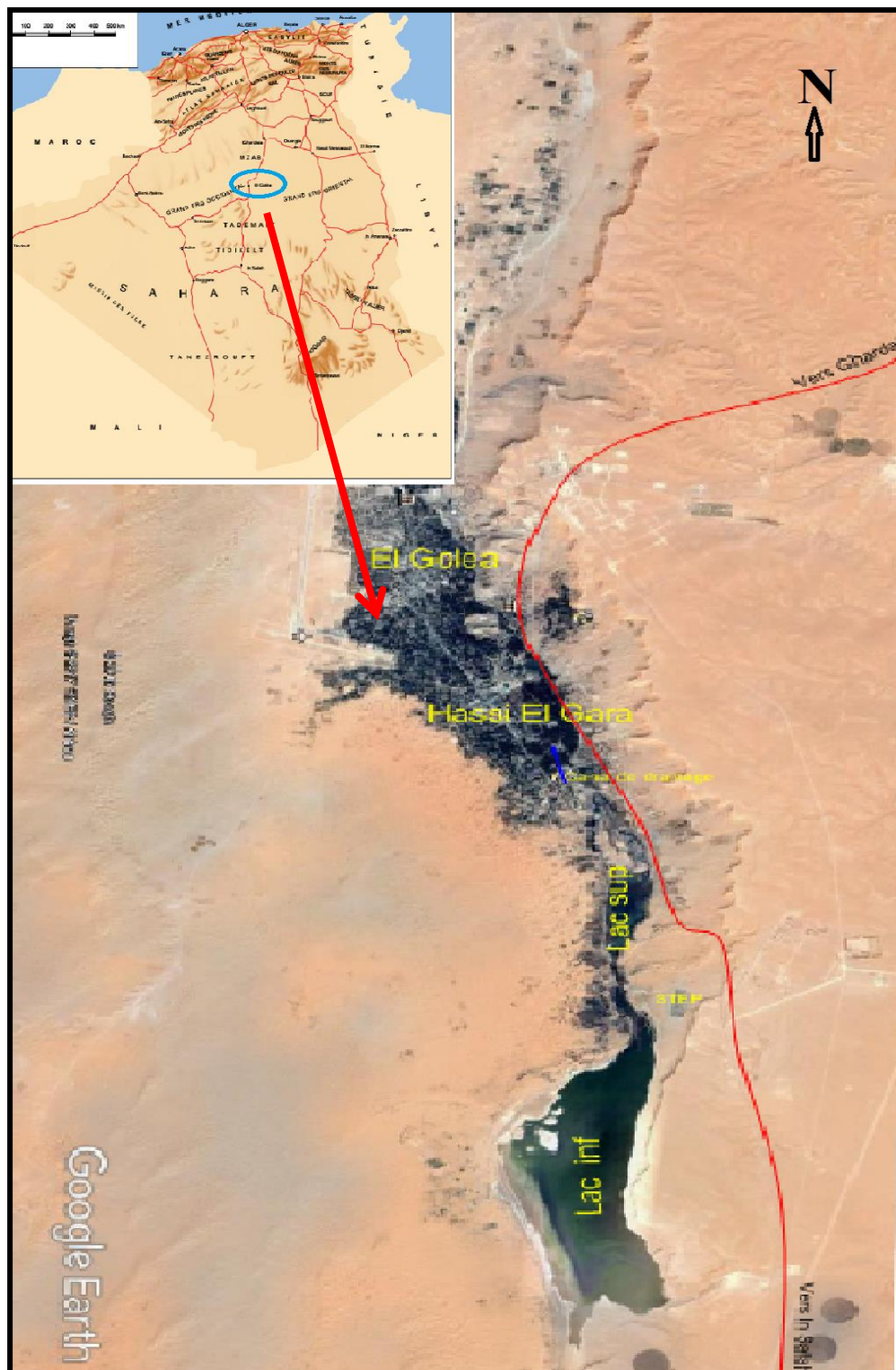


Figure 1.1 Carte de situation du lac d'El Goléa (Google Earth 2016)

### I.3. Climatologie de la région d'El-Goléa

Le Sahara est le plus grand des déserts mais également le plus extrême, il est caractérisé par une faiblesse des précipitations, une irrégularité des chutes de pluie, et des amplitudes

thermiques prononcées entre le jour et la nuit et entre les mois. L'humidité relative de l'air est très basse, très inférieure à 10% en milieu découvert, la sécheresse du climat se traduit par une rareté extrême de la végétation [11].

La région saharienne se caractérise par un climat de type aride avec de fortes amplitudes entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver. L'oasis d'El-Goléa est définie comme zone désertique où l'évaporation potentielle excède toujours la précipitation ; elle est caractérisée par son "hiver" rigoureux et froid et son "été" sec et chaud [12].

Les principaux agents température, précipitation, le vent, l'humidité, et l'insolation. Ces facteurs contrôlent le développement du lac et sa dégradation.

### **I.3.1.. Températures**

L'étude hydrogéologique d'une région donnée devrait comporter l'analyse du caractère thermique. L'évolution de la température aux cours de l'année, contrôle l'évaporation des eaux du lac, traduit un changement dans les concentrations des éléments chimiques de l'eau, cela influe sur le cycle géochimique [10].

La température est de tous les facteurs climatiques le plus important, c'est celui dont il faut examiner en tout premier lieu l'action écologique sur les êtres vivants. La température va être naturellement un facteur écologique capital agissant sur la répartition géographique des espèces[11].

La température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

#### **I.3.1.1.Température moyenne annuelle**

Dans un climat aride comme le nôtre, les valeurs de la température moyenne annuelle ne semblent guère remporter une grande signification. Seules, les températures moyennes mensuelles ainsi que les amplitudes thermiques peuvent remporter quelques indications sur l'aridité de la région, et aussi les conditions auxquelles sont soumis les différents éléments de l'écosystème.

La valeur moyenne annuelle enregistrée pour la période considérée est, 22.5 °C

#### **I.3.1.2.Température moyenne mensuelle**

Les températures mensuelles enregistrées en 2000-2016à la station météorologique El-Goléa sont notée dans (le tableau I.2).

Tableau I.2. Température moyenne (station d'El-Goléa 2000-2016).

T(C°)	Sep	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
El Goléa	29,8	24,4	16,2	11,5	9,8	12,4	17,5	21,8	27,1	31,6	34,9	34.1

Du tableau ci-dessus il ressort que, pour la station d'El-Goléa, la période chaude s'étend du mois de mai à octobre, pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle. La période froide commence du mois de novembre jusqu'au mois d'Avril.

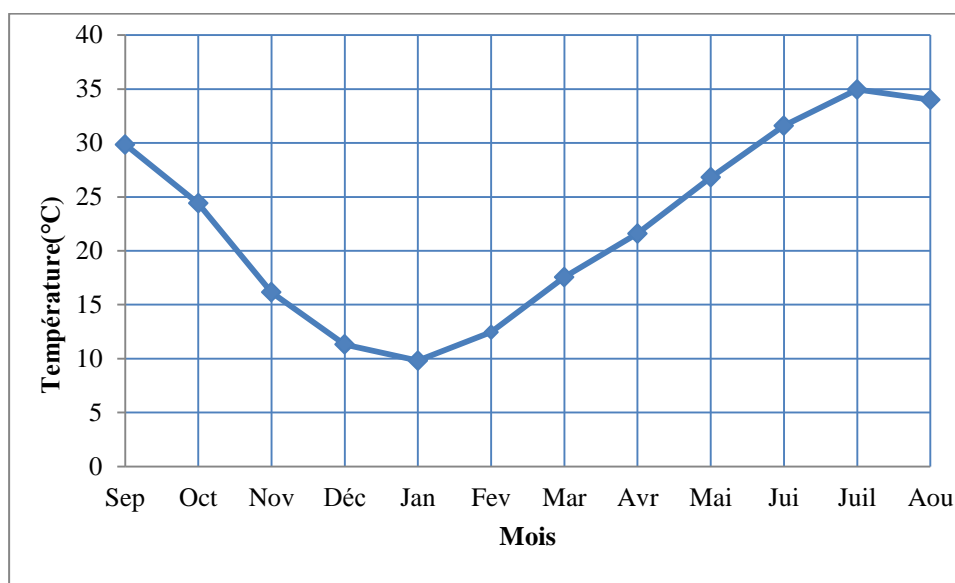


Figure I.2 Variation de la température mensuelle moyenne (station d'El-Goléa 2000-2016).

### I.3.1.3. Température extrême :

Les écarts observés dans les valeurs de la température mensuelles nous incitent à étudier la dispersion des températures extrêmes moyennes. Nous indiquons ci-dessous la moyenne mensuelle des maxima et des minima.

Table I.3 Température extrême (station d'El-Goléa 2000-2016)

Mois	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	T <sub>moy</sub> (°C)	Ecart
Sep	37,4	22,3	29,8	15.5
Oct	32,3	16,5	24,4	15.4
Nov	23,5	8,9	16,2	5.1
Déc	18,6	4,4	11,5	14.6
Jan	17	<b>2,6</b>	9,8	14.4
Fev	20,4	4,5	12,4	15.3
Mar	25,8	9,2	17,5	16.5
Avr	29,3	13,9	21,6	16
Mai	34,9	19,3	27,1	16.2
Jui	40.2	23	31,6	16.8
Juil	<b>43.3</b>	26.6	34,9	16.7
Aou	42.2	25.1	34,1	16.4
<b>Moy</b>	<b>30.4</b>	<b>14.7</b>	<b>22.55</b>	<b>15.7</b>

La figure I.3 ci-dessous, représente la variation mensuelle des températures moyennes extrêmes (maxima et minima) de, El Goléa2000-2016.

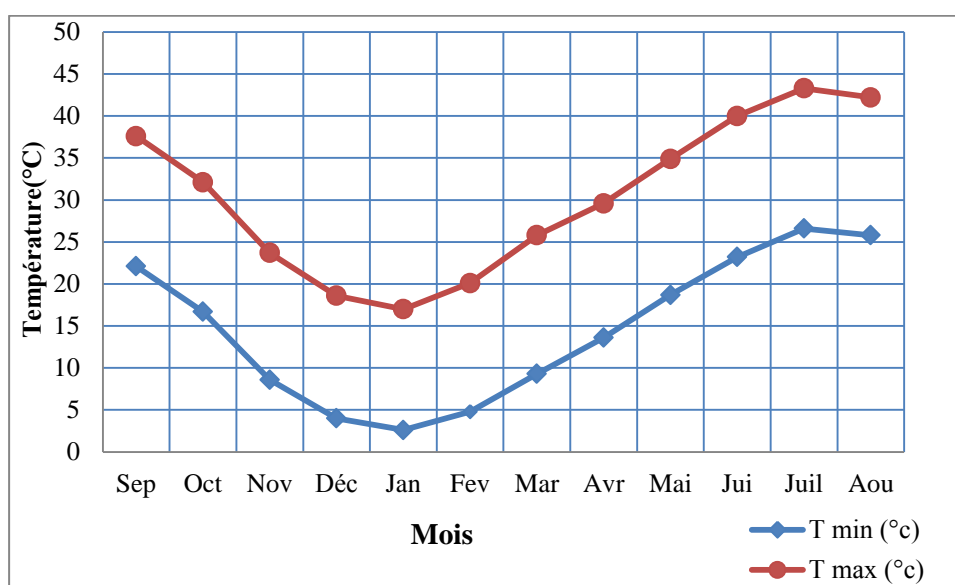


Figure I.3 la variation mensuelle des températures moyennes extrêmes (maxima et minima) de, El Goléa 2000-2016

En étudiant le tableau on constate que ;

- Les valeurs des températures maximas sont les plus élevées en mois de juillet et aout (43.3 – 42,2 °C).
- Les valeurs les plus faibles des minimas sont enregistrées en mois de décembre et janvier (4 -2.6 °C).
- La température moyenne  $\frac{M+m}{2}$  sont en générale assez élevées variant entre 9.8 à 34.95 °C.

### I.3.2. Humidité relative

L'humidité peut influencer fortement sur les fonctions vitales des espèces L'humidité relative représente le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la même température [14].

L'humidité relative de la région d'El-Goléa reflète un régime saharien très sec en été et froid en janvier. (tableau.I.4).

Table I.4 L'humidité moyenne mensuelle et annuelle (station d'El-Goléa 2000-2016)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Humidité%	37.4	43.9	47.6	54.3	55.1	44.7	37.8	34	29	24.9	22	25.9

L'humidité est régulière à cause de la situation géographique de la région, le figure. I.4 présente une variation bien régulière, un seul point extrême au mois de janvier d'ordre 55.1 %, et un point minimal au mois de juillet environ 22 %, qui est liée à la forte température et à l'absence des surfaces d'eaux dans la région sauf le lac.

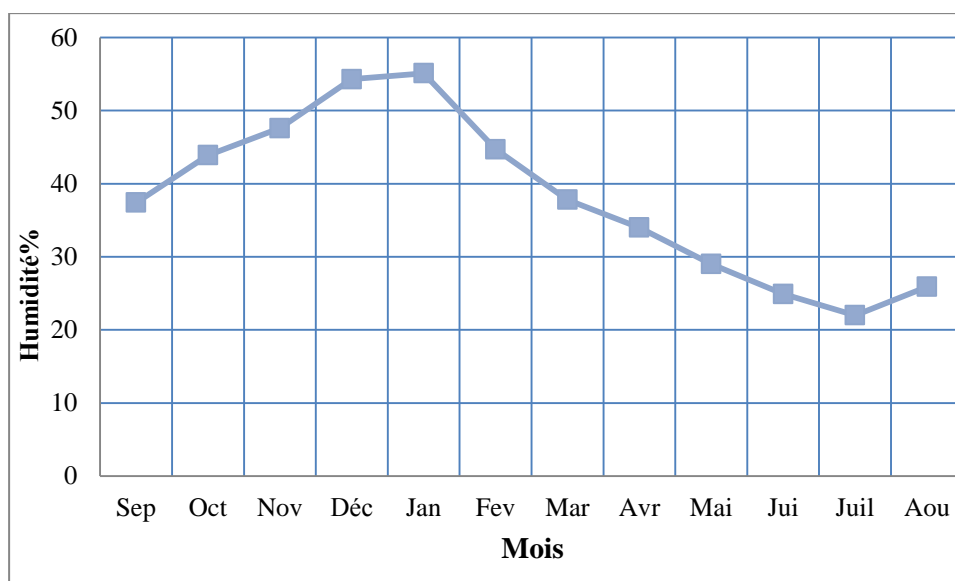


Figure I.4 Variation de L'humidité moyenne mensuelle et annuelle de la station d'El-Goléa dans la période 2000-2016

### I.3.3. Vent et Sirocco

Le vent est un des facteurs caractéristiques du climat. Il se caractérise par sa vitesse et sa direction. La région d'El-Goléa est régie d'une part, par les circulations des masses d'air propres à la méditerranée occidentale amenant l'humidité de l'Atlantique nord, et d'autre part, à l'ouverture des vents sahariens chauds (Sirocco). Le vent est un facteur secondaire, il a une action indirecte, en activant l'évaporation, il augmente la sécheresse. Les vents à El-Goléa, se manifestent tout particulièrement dans le déplacement des sables, surtout entre novembre et avril [8].

Les vents dominants soufflent du Nord-Ouest. Les vitesses moyennes mensuelles observées au niveau de la station d'El-Goléa, montrent une répartition assez régulière comprise entre 2.9 et 7.59 m/s sur toute l'année, ce qui les classe dans la catégorie des vents modérés.

Tableau I.5 Vitesse moyenne du vent à (station d'El-Goléa 2000-2016).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mat	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
V moy (m/s)	3.31	5.5	2.9	3.59	6.1	4.97	6.42	7.59	7.5	7.4	5.36	3.12

Les vitesses les plus élevées s'observent en printemps avec des pics en mois d'avril de 7.59m/s. En période sèche le sirocco prédomine, il s'agit d'un vent sec et chaud qui souffle du continent vers la méditerranée desséchant ainsi l'atmosphère.



### I.3.4 La durée d'insolation

La durée de rayonnement de solaire global est définie comme celle de l'ensemble des rayonnements solaire reçus au sol sur toute surface horizontale, que ce rayonnement soit direct ou diffusé par l'atmosphère.

La région d'El-Goléa bénéficie d'un ensoleillement important d'environ 3389 heures/an, le mois le plus ensoleillé est Juillet d'ordre 338 heures, plus de 11 heures/ jour (tableau.I.6)

Tableau. I.6. Insolation Moyenne de (station d'El-Goléa 2000-2016).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mat	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Insolation h/mois	271	256	250	235	249	245	276	296	312.5	335	338	324

Un seul mode correspond à l'évolution de l'insolation aux cours de l'année, le mois de Juillet marque la valeur le plus soleilleuse (figure.I.5). Le désert est un milieu du soleil, la surface des sols est très chaude pendant les mois d'été et la vie devient difficile, sauf à l'abri de soleil.

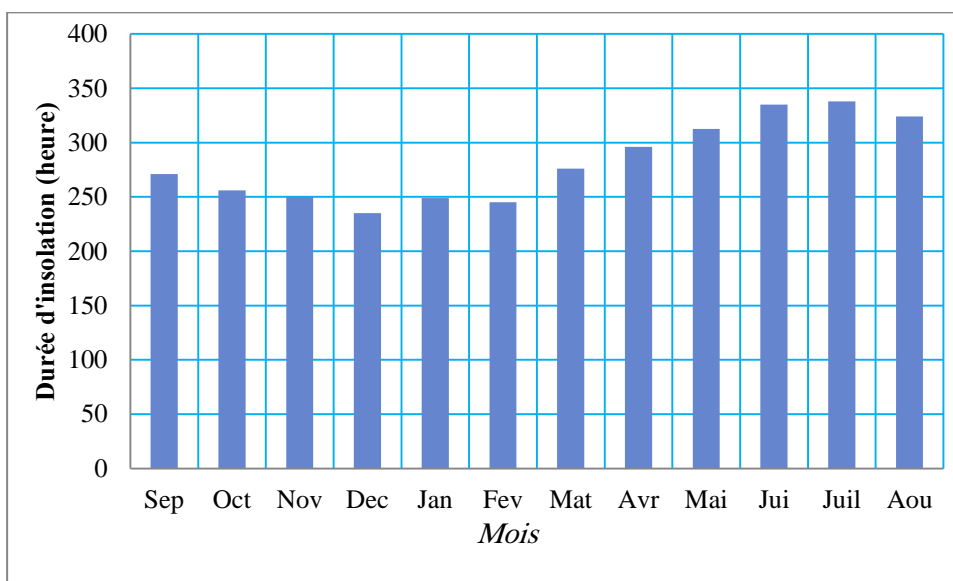


Figure. I.5. l'insolation moyenne (station d'El-Goléa 2000-2016).

### I.3.5. Précipitations

Pour la plus grande partie du monde, les précipitations représentent la source principale d'eau pour la production agricole. Les précipitations sont caractérisées par leur volume, leur intensité et leur fréquence qui varient selon les lieux, les jours, les mois et Aussi les années, souligne que la pluviométrie est un facteur écologique d'importance fondamentale pour le

fonctionnement et la répartition des écosystèmes. Les quantités pluviométriques enregistrées durant de 1996 à 2015 au niveau de la région d'El-Goléa sont placées dans le (Tableau.I.7).

TableauIII.7 Précipitations moyennes mensuelles (station d'El-Goléa 1996-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
<b>El-Goléa</b>	3.71	4.82	4.4	3.62	9.02	0.8	0.63	3.5	2.92	0.54	0	0.87

### I.3.6. Synthèse climatique :

Nous allons synthétiser les données climatiques en les représentant à travers un diagramme pluviothermique de Gaussen afin de définir la période sèche de la région d'étude et un Climagramme d'Emberger pour situer El-Goléa par rapport aux étages bioclimatiques [13].

#### I.3.6.1. Diagramme ombrothermique de Bagnoulset Gaussen :

D'après Bagnouls et Gaussen(1953), un mois est biologiquement sec, lorsque les précipitations mensuelles (P), exprimées en millimètres sont inférieures au double de la température moyenne :

- $T = \frac{M+m}{2}$  (°C) avec :.....I.1
- M : Température maximale du mois (°C).
- m : température minimale du mois (°C).

La construction du diagramme se fait en plaçant sur l'axe des abscisses les mois de l'année, et sur le premier axe des ordonnées les températures et sur le second les précipitations avec un rapport de  $P = 2T$ . La période sèche correspond à la partie pour laquelle la courbe thermique se tient au-dessus de la courbe pluviométrique.

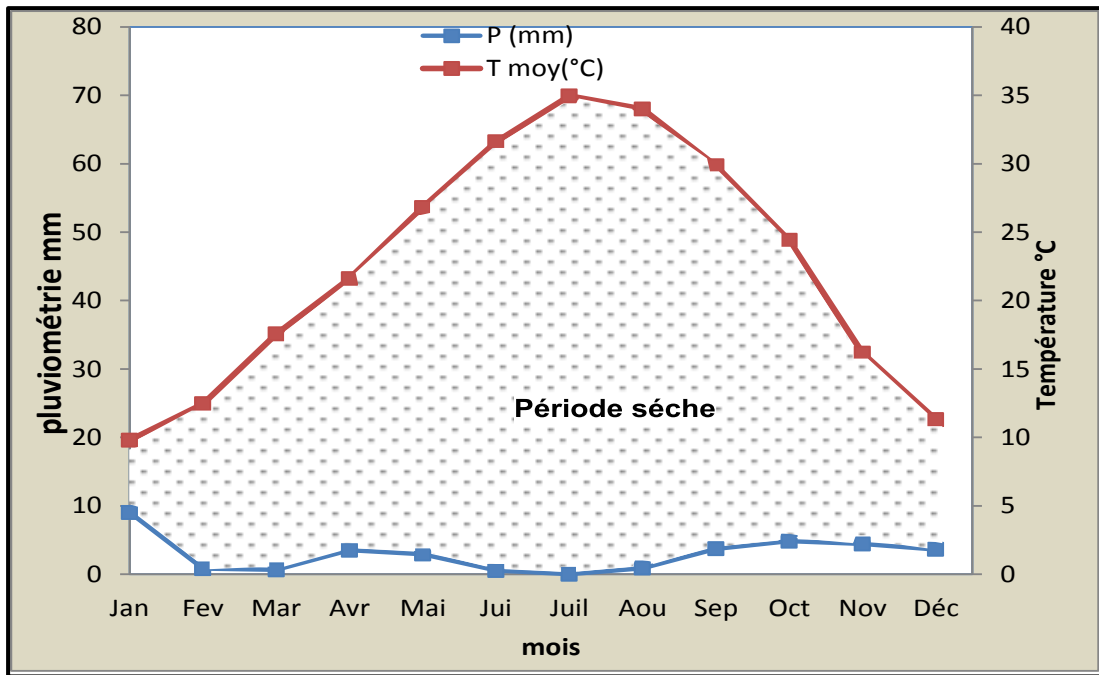


Figure I.9 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région d'El Goléa pendant la période de 17 ans (2000- 2016)

### I.3.6.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger appliqué à El-Goléa :

Le Climagramme pluviothermique permet de savoir à quel étage bioclimatique appartient la région d'étude et de donner une signification écologique des climats .Il est représenté par :

- En abscisse par la moyenne des mois les plus froids.
- En ordonnée par le quotient pluviométrique (Q3) d'Emberger.

Nous avons utilisé la formule de STEWART(1969) adoptée pour l'Algérie [11]:

$$Q3 = \frac{3.43 \times p}{M - m} \dots\dots\dots I.2$$

$$Q3 = \frac{3.43 \times 40.4}{43.3 - 2.6} = 3.4$$

- Q3 : est le quotient pluviothermique d'Emberger;
- P : est la somme des précipitations annuelles exprimées en mm ;
- M : est la moyenne des températures des maxima du mois le plus chaud en (°C) ;
- m : la moyenne des températures minima du mois le plus froid en (°C).

Le quotient Q3 de la région d'El-Goléa est égal à 3.4 calculé à partir de données climatiques obtenues durant une période s'étalant sur 17 ans de 2000 jusqu'à 2016. En rapportant cette valeur

sur le Climagramme d'Emberger, il est en découle que la région d'El-Goléa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hivers doux (Figure I.10).

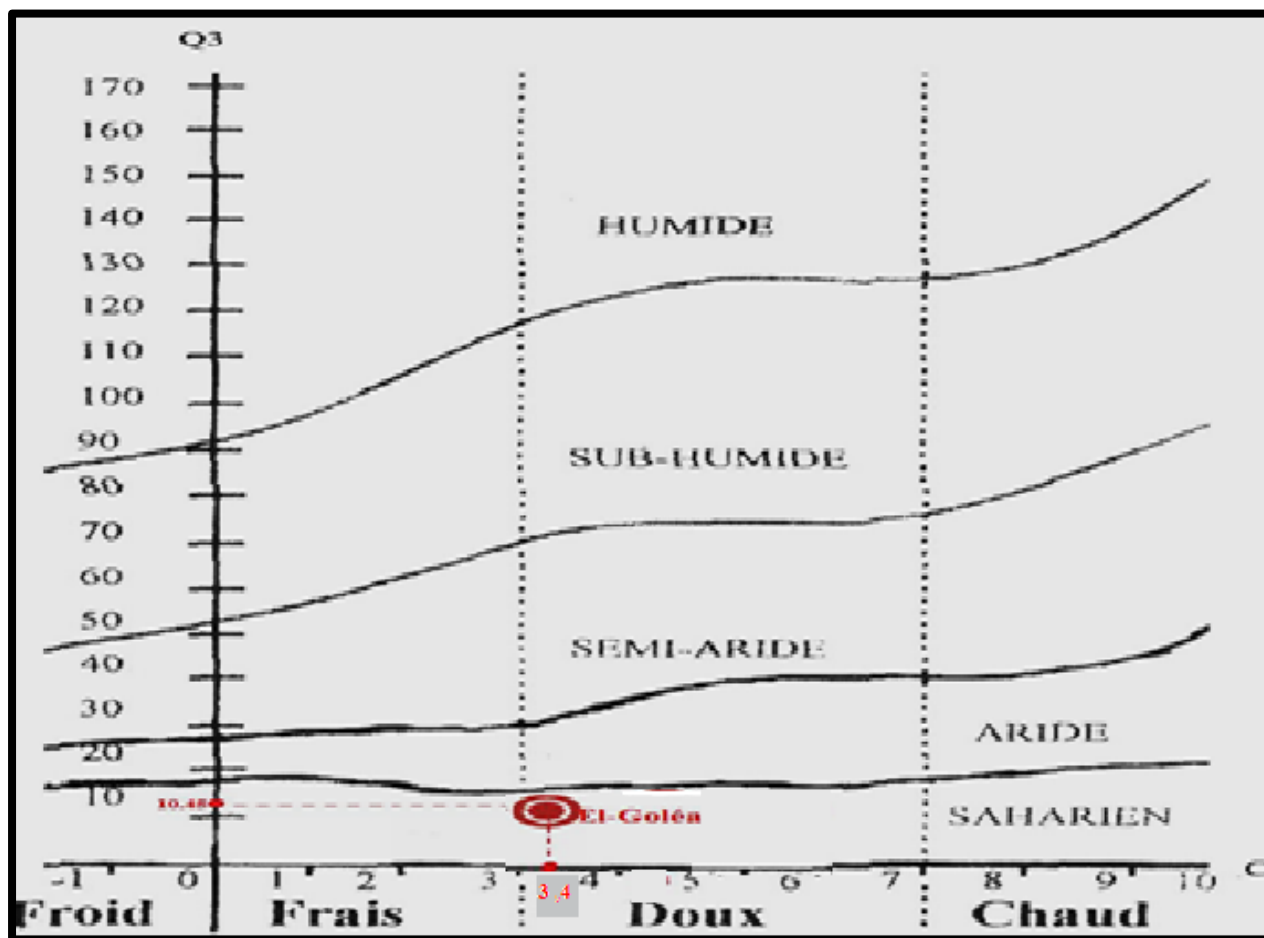


Figure I.10 Climagramme d'Emberger pour la région d'El-Goléa pendant la période de 17 ans (2000-2016).

### I.3.7 Evaporation

L'évaporation est un phénomène essentiel au cycle de l'eau, soit les précipitations, les eaux de sol, ou des eaux de surface sont contrôlés par la température, le taux d'évaporation montre une importance valeur au mois juillet d'environ 394 mm et une faible valeur aux mois de janvier d'ordre 93.7 mm (tableau. I.8).

Tableau. I.8. Evaporation Moyenne de la région d'El-Goléa 2000-2016.

Mois	Se	Oc	No	Déc	Jan	Fev	Ma	Avr	Ma	Jui	Juil	Août
Evaporation (mm)	243	172	113	97.6	93.7	118	181.5	236	286	344	394	351

Il est en relation avec la température (figure I.11), et non pas à la précipitation. Ce qui signifie la contribution importante des eaux sous terrains de la nappe phréatique et du lac qui sont très proche de la surface du sol (moins de 2 m) dans la région.

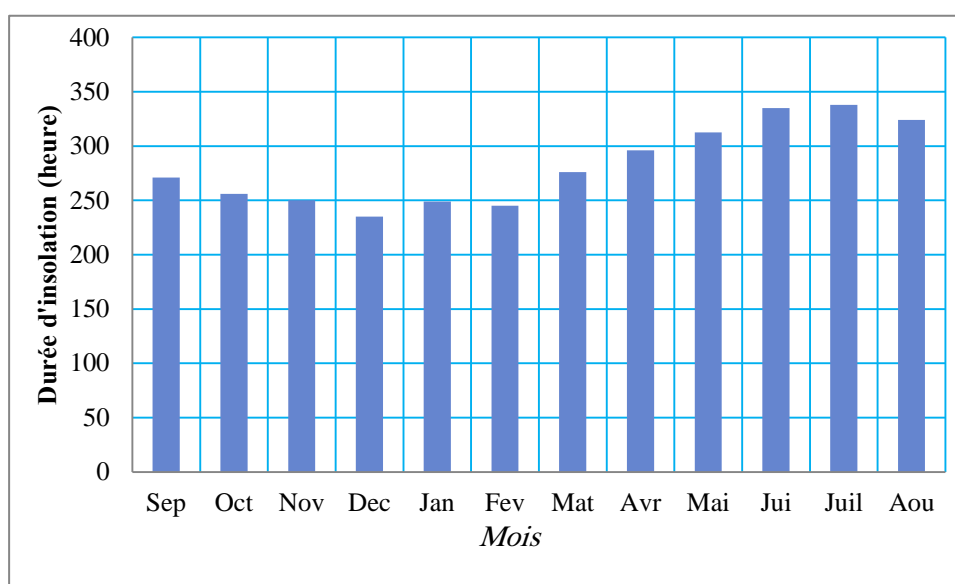


Figure. I.11 Evaporation moyenne d'El-Goléa 2000-2016.

#### I.4.Eléments socio-économiques :

La superficie de la daïra d'El Goléa est de 49000 Km<sup>2</sup> d'où la population est estimée en 2006 de 50000 habitant (d'après bureau de statistique de Daïra). Les activités agricoles à El Goléa sont caractérisées essentiellement par la culture des arbres fruitiers, céréales, de palmiers dattiers et quelques cultures légumières et maraîchères. La jeune population est de 40% de totale d'habitants, les principales activités sont: Mécanique, refroidissement, le soudeur et une partie des universitaires de divers métiers.

Les structures d'enseignement fondamental et secondaire existent et sont respectivement (29 ,08), ainsi 03 lycée (deux techniques). Avec toutes ses structures socio-économiques et éducatives, El Goléa est une ville moderne il existe malgré tous les aspects de la vie sédentaire et urbaine une grande affinité pour le Sahara tout proche. Un des aspects de cette intime relation est bien sur l'utilisation des plantes spontanée dans la médecine traditionnelle.

Contrairement aux autres régions du pays notamment au Nord où les pratiques médicales populaires se sont presque éteintes suite à l'extension de la couverture sanitaire. A El Goléa coexistent la médecine moderne et la médecine traditionnelle.

### **I.6. Conclusion :**

Les données climatiques disponibles sont ceux de la station météorologique d'El Goléa. Le climat de la région est classé saharien à hivers, avec une pluviométrie faible et aléatoire, dont la moyenne annuelle n'atteint rare 40.5 mm. La température est caractérisée par une amplitude extrême moyenne, dont l'extrême min est de 2.6 °C, et celle de max 43.3 °C. La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.5°C. Les vents dominants sont de Nord et Nord-Est, ceux venant de l'Est et du Sud-Est sont les plus dangereux car ils transportent des sables. Les vents de sable fréquents se produisent en printemps et en automne, dont la fréquence annuelle est de 45 j / an. L'évaporation est très intense et valorisée par la température importantes d'une part et par la présence de la nappe phréatique très proche au sol et le lac. La lame d'eau évaporée pendant l'année dépasse 2.6 m.

De point de vue socio-économique la région est à vocation agricole par excellence, s'ajoute le tourisme avec une importance moins.

*Chapitre II : Cadre  
Géologique*

*Et*

*Hydrogéologique*

## II.1. Introduction :

Le but de l'étude géologique est d'identifier les entités hydrogéologiques qui contribuent à l'alimentation souterraines du système étudié. Généralement, les terrains affleurant dans la région d'El-Goléa correspondent à des sols marneux, calcaires et sablonneux (Turonien) couverts d'un dépôt lacustre datant du Quaternaire. Le lit du bassin est correspond à l'étage Cénomaniens surmontés de cailloux calcaires et, en partie du côté Est, de sables éoliens. Les monticules du Turonien forment un bassin de 1600 m de largeur et 2000 m environ de longueur.

## II.2. Géomorphologique

Les monticules forment un bassin de 1600 m de largeur et 2000 m environ de longueur. Le côté Ouest du bassin supérieur est entouré de petites dunes de sables sédimentaires. Le bassin inférieur, très large, composé de dépôts salins lacustres, est bordé à l'Ouest d'immenses dunes de sable d'environ 4 mètres de hauteur faisant partie du Grand Erg Occidental. Limité à l'Est par une falaise de calcaire de 20 m de hauteur environ, il est formé au Sud par des dépôts de sables éoliens et de sédiments de calcaire et degrés. La falaise qui entoure les 2 parties du lac, à l'Est, sur une distance de 25 km environ constitue littéralement, un muséum d'histoire naturelle de la région. Des fossiles marins apparaissent visiblement et on y trouve divers coraux [1].

## II.3. Géologie

Le Sahara est, bien plus que tous les autres déserts du monde, un pays à l'échelle des phénomènes géologiques, de l'échelle locale à celle du continent : structures tectoniques, phénomènes sédimentaires, glaciations, ...etc.

Les terrains secondaires caractérisant la région d'El-Goléa, un plateau raviné au nord, et plane au sud, ces couches d'âge secondaire ont marqué par des petites falaises (figure. II.1), occupé par des oueds tels qu'Oued Seggueur et Oued Sbaa.

La région d'El-Menia formé des ensembles suivant :

- la vallée d'Oued Seggueur occupé par des Oasis.
- l'Erg Occidental à l'Ouest, des dunes sableuses d'origine éolienne.
- le Plateau de Tademaït aux Sud et à l'Est, en majorité calcaire



Le sol est de nature gréseux, entouré par des lits alluvionnaires de nature argileux à l'Est, et au sud on a un plateau de type calcaire et à l'ouest une immense dune formant l'Erg occidental.

Plusieurs coupes géologique ont été réalisé sur terrain, les affleurements sont commenciez par les argiles rouges (dit argile de El-Goléa) avec des évaporites, marqué un milieu lagunaire peu profond, puis une transgression de la mer Cénomanién

Une description d'un log lithologique d'un forage d'eau permet de dire que la formation importante est du secondaire de type calcaire à argile, et du sable vers la profondeur (figure II.2).

- A la base on a une formation gréseuse appelée Albien connu dans la région sous le non la nappe continental intercalaire.
- Au-dessus se déposé les terrains argileuses d'âge Cénomanién connu dans la région par le non des argiles d'El-Goléa.
- Au sommet se trouve le Turonien constitué des formations calcaire très dur, affleure au nord et sud Est d'El-Menia.

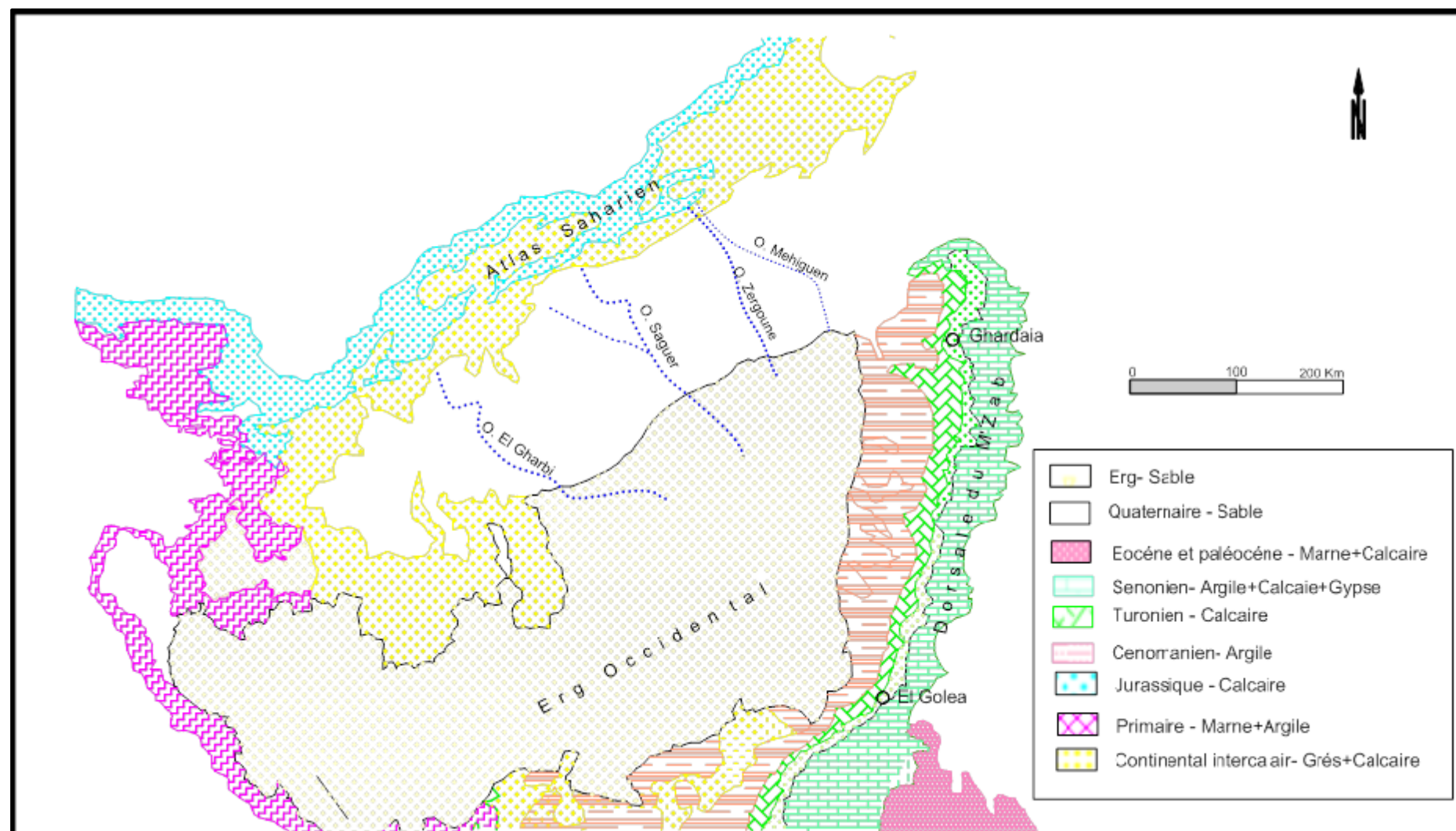


Figure. II.1: Carte géologique du sud-Ouest Algérien (21)modifié

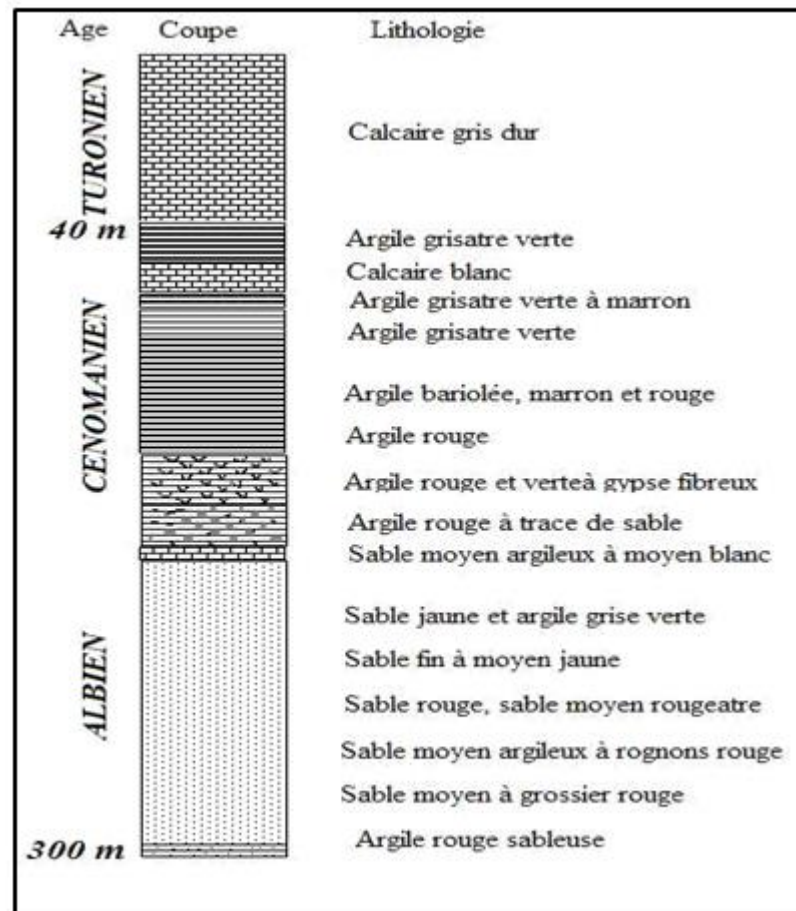


Figure II.2. Log lithologique à partir d'un forage d'eau d'El-Goléa [10].

### II.3.1. Albien

Sous les terrains qu'on rapporte au céno-manien, il y a, au Sahara, bien visible sur le bord sud de Tademaït, des formations que l'on rapporte le plus souvent à l'Albien. Pour les géologues, cet Albien serait nettement continental et, dans certains de ses formations gréseuses il témoignerait d'un climat sec[10].

### II.3.2. Céno-manien

Les géologues qui ont étudié les régions sahariennes rapprochent au Céno-manien la masse des argiles qui constituent le talus des gours d'El Goléa. La dalle supérieure du calcaire épais, qui forme les gours contient des fossiles marins ; elle serait d'âge céno-manien supérieur[10].

Au Sud-Est de Hassi Gara on a une structure tabulaire d'âge Cénomaniens d'un dépôt lagunaire, l'étude de cette série montre à la base une couche argileuse gypseuse verdâtre altérée suivie par une alternance des sédiments calcaires fins à des argiles plus importantes, environ 10 m, où se trouve un niveau d'argile gypseuse claire fibreuse d'épaisseur 50 cm, après on a une couche argileuse plus épaisse de 5 m environ, un banc calcaire se dépose, puis une argile rougeâtre versicolore alterne moins importante que la couche calcaire au niveau 20 m de la base, une surface ferrugineuse détermine un arrêt de sédimentation, ensuite vers le sommet on constate que l'argile devient sous forme de joint de quelques centimètres, le calcaire devient massif plus en plus, en fin une dalle calcaire ferrugineuse en présence des terriers.

### **II.3.3. Cénomaniens supérieurs**

Le Cénomaniens supérieur se trouve vers 10 Km au Sud-Est de Hassi Gara, ce site est marqué par une dalle calcaire à la base correspond au sommet de la coupe du Cénomaniens (figure.II.1), cette dalle est caractérisée par un niveau d'eau faible liée à la présence des terriers, aussi une sédimentation rapide indiquée par les terriers vides et les Gastéropodes. Vers le haut, on trouve des Céphalopodes, échinodermes, Huîtres, et des filons gypseux, après on a un massif calcaire, riche en fossiles Ammonites (Neolopites fossile caractéristique de Cénomaniens supérieur). Au sommet on trouve une dalle de calcaire à pecten.[10].

### **II.3.4. Turonien**

Le Turonien de El-Goléa affleure au nord vers 18Km d'un endroit nommé Ghor Ouargla, cette formation se constitue de calcaire massif et calcaire marneux de 10 m, à la base, suivie par un banc calcaire d'un mètre marqué par une surface durcie, ensuite on a un banc de calcaire marneux d'ordre 15 m, terminé par une dalle calcaire qui marque la limite du turonien inférieur au turonien supérieur, après on a une couche de calcaire marneux où on trouve quelques rudistes, au sommet et une dalle calcaire sombre [10].

## **II.5. L'hydrogéologie de la région :**

La région d'El-Goléa est parmi les zones les plus riches en eau dans le Sahara Algérie, cette ville est marquée par une nappe phréatique proche de surface environ 2 m, et une nappe aquifère de continental intercalaire.

### **II.5.1. Nappe phréatique :**

Cette nappe est superficielle, toute proche de la surface, elle se trouve dans les formations du quaternaire (grès, sable, gypse et calcaire fissuré), elle bénéficie des eaux

collectées par l'Oued Saguer et Zergoune, qui prend sa source de l'Atlas Saharien et se perd ensuite dans les dunes de l'erg occidental, son lit réapparaît au nord d'El-Goléa à la limite de l'erg et du massif calcaire du M'Zab. Au nord de l'oasis au quartier de Bel-Bachir, la nappe est à 1,40 m, elle monte progressivement vers le sud à des profondeurs de 3 m dans Hassi El Gara. Plus vers le sud, la nappe s'écoule dans les formations de calcaire fissuré du Turonien, dont la profondeur du niveau statique peut atteindre 30 m au niveau du plateau de Maroukate.

Malgré leur abondance, et quel que soit son origine, la qualité chimique de ces eaux reste médiocre du point de vue salinité et alcalinité. La teneur en NaCl dépasse 35 g/l avec un pH de 7,8 [14].

### **II.5.2. Nappe du Continental Intercalaire**

Il se représente soit par les dunes du Grand Erg Occidental, soit par les alluvions d'Oueds. Il renferme à El-Goléa une nappe phréatique importante [3].

Elle est profonde d'environ 200 m, au niveau d'El-Goléa. Elle est alimenté par des eaux de pluie qui tombe au nord, et s'infiltré avec l'aide de l'erg occidental, cette erg est une ensemble des sables dunaires très perméable d'une surface important, allons d'El-Goléa à l'Est, Bechar vers l'Ouest, Timimoune au Sud figure II.3 [10].

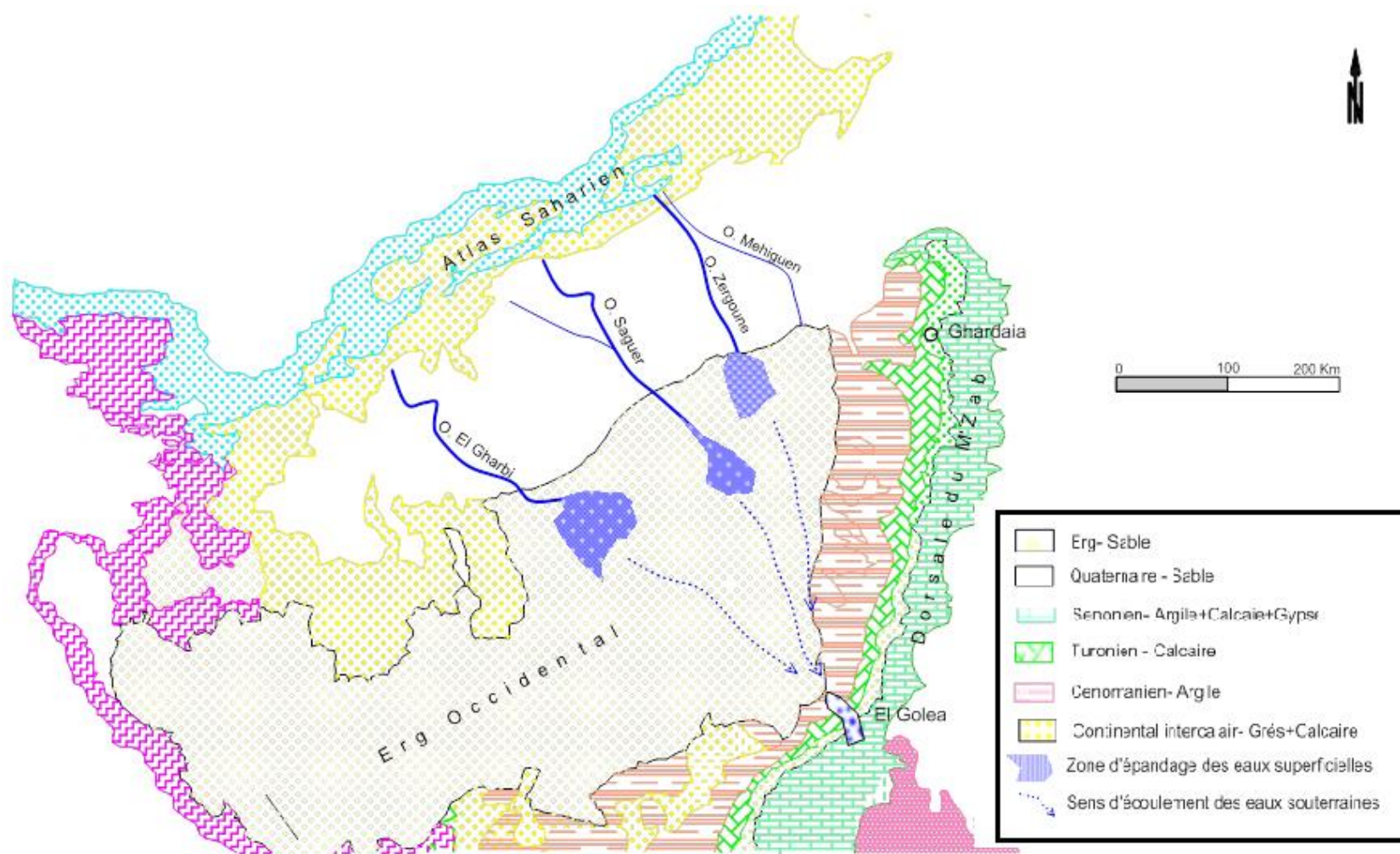


Figure. II.3 Carte Hydrographique de l'Erg Occidentale et le sud-Ouest Algérien (21) modifié

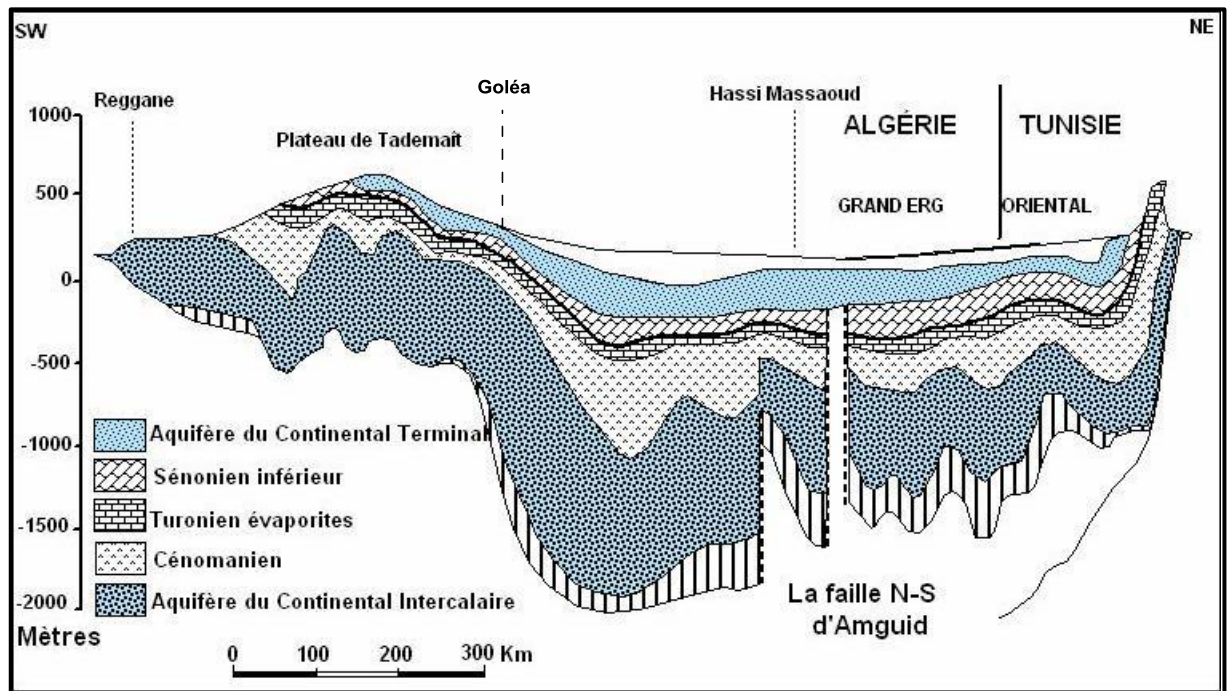


Figure.II.3. Coupe hydrogéologique à travers le bassin de Reggan à la Tunisie [10].

## II.6.Conclusion

Du point de vue de la géologie, les terrains affleurant dans la région d'El Golea correspondent aux calcaires du Turonien et sable dunaire couverts d'un dépôt lacustre datant du Quaternaire. Les bordures du bassin sont figurées comme des monticules marneux remontent à l'étage Turonien. Le lit du bassin et du Lac sont caractérisées par la présence de dépôt marneux et argileux de l'étage Cénomaniens. Le côté Ouest du bassin supérieur est entouré de petites dunes de sables sédimentaires. Le Lac inférieur est très large, composé de dépôts salins lacustres, est bordé à l'Ouest d'immenses dunes de sable.

Les ressources en eaux souterraines sont localisées dans deux niveaux aquifères différents, la nappe superficielle phréatique elle bénéficie des eaux de ruissellements et de drainage, et la nappe Albien, elle se trouve à une profondeur d'environ 70m.

*Chapitre III : Cadre*  
*Régime pluviométrique*



### III.1.Introduction

Pour l'étude statistique des précipitations en hydrologie, on dispose d'une série pluviométrique qui comporte les précipitations maximales journalières pour la période la plus longue possible. Nous prenons comme base de calcul la série pluviométrique de la station expérimentale d'El-Goléa La série à une période de fonctionnement de 1996 à 2015 qui a été fournie par l'Office Nationale de la Météorologie (station d'El-Goléa). L'analyse statistique des données pluviométriques consiste à déterminer les caractéristiques empiriques d'un échantillon d'une série d'observations de précipitations maximales journalières, de 20 années.

### III.2. Analyse de la précipitation

Selon Dubief (1953), les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme des pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares. Elles sont liées aux perturbations soudano-sahariennes ou sahariennes. Cette insuffisance de pluies sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. C'est le cas de lac El-Goléa de Menia.

La précipitation est le principe facteur du climat saharien. Une pluie peut tomber durant toute l'année, et pendant le même mois des années de sécheresse peuvent se produire. Egalement, MUTIN (1977) note que la pluviométrie à une influence importante sur la flore et sur la biologie des espèces animales. Ainsi elle agit sur la vitesse du développement des animaux, sur leur longévité et sur leur fécondité [5].

Les systèmes perturbants entraînant des précipitations sur la région sont liés, généralement, aux déplacements des fronts polaires, méditerranéens et des alizés méridionaux. Les précipitations engendrées peuvent être des importantes averses orageuses. J. Dubief (1953) a localisé notre région entre l'isohyète 40 et 30mm (Figure III.1).

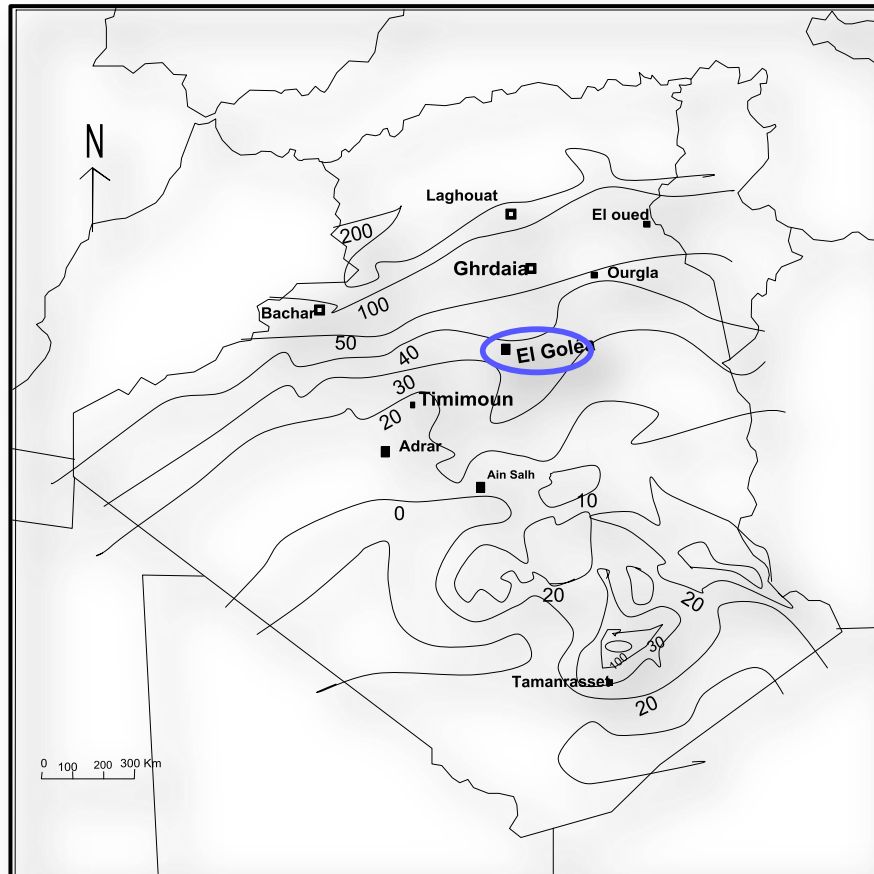


Figure III.1 Carte des précipitations[8].

### III.2.1.Moyennes mensuelles des précipitations

Le tableau III.1 et la figure III.2ci-dessous montrent la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation pour les stations d’El-Goléa.

Table III.1Précipitations moyennes mensuelles (station d’El-Goléa 1996-2015).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
El-Goléa	3.71	4.82	4.4	3.62	9.02	0.8	0.63	3.5	2.92	0.54	0	0.87

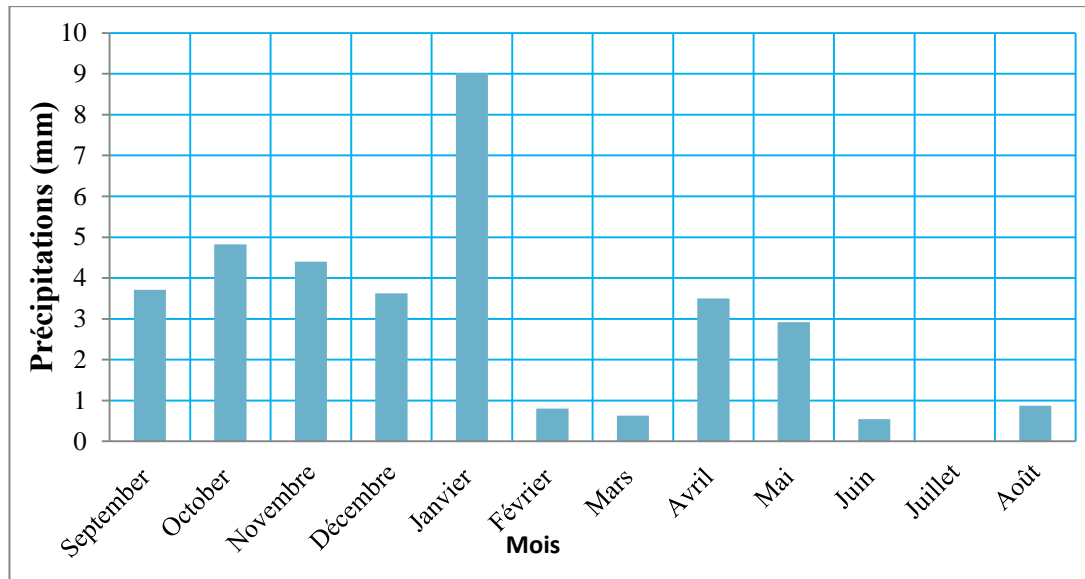


Figure III.2la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation (station d'El-Goléa 1996-2015).

La période allant du mois de septembre jusqu'au mois de janvier est la plus humidifiée de toute l'année. Les faibles hauteurs de la pluie sont enregistrées en été.

### III.2.2.Précipitation Moyenne annuelle :

Les moyenne annuelle calculée au niveau de station d'El-Goléa est de l'ordre de 40.5 mm/an.

Table III.2 Précipitations moyennes annuelles (station d'El-Goléa 1996-2015).

Station	Altitude(m)	Période	Moyenne annuelle (mm)
El-Goléa	364	1996-2015	40.5

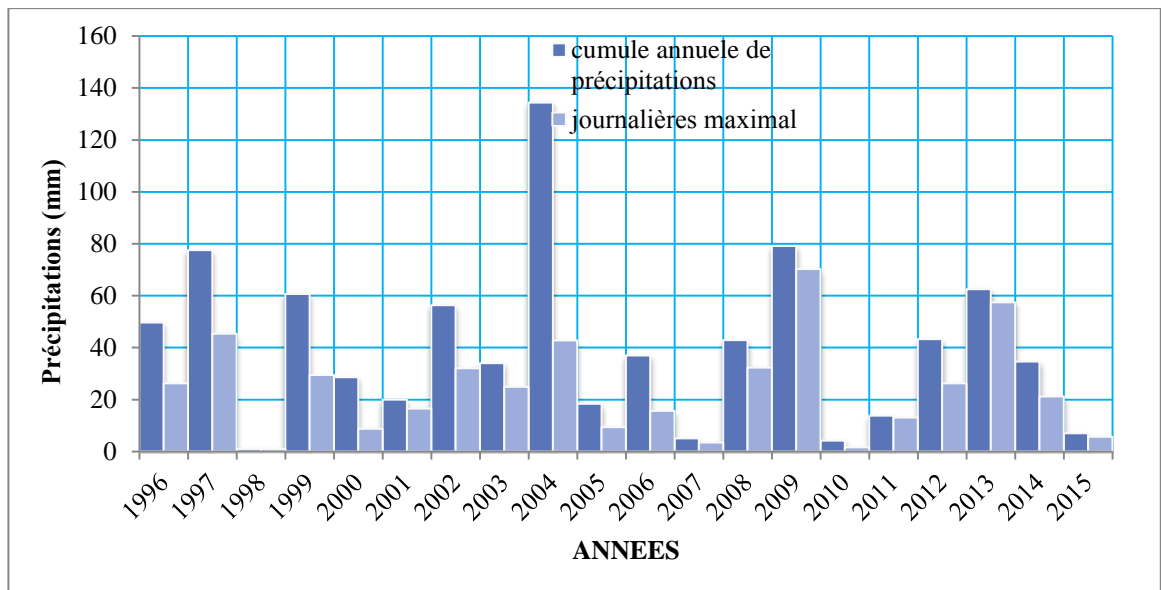


Figure III.3 Histogramme représente les cumule annuelle (station d'El-Goléa 1996-2015).

Le figure III.3représente l'Histogramme de pluies journalières maximal dans les années de notre étude avec sans cumule annuelle portent sur une période de 20ans. Les données complémentaires, recueillies dans le cadre de la présente étude, concernent une durée de 20 ans sur les périodes 1996-2015. Sur cette période de 20 ans, une pluie journalière est proche de 70,2 mm, Trois pluies journalières sont supérieures à 57,5mm et 50% des pluies journalières sans inférieur a 32 mm avec 40% sans cumulé annuelle été entre 40 mm et 80mm.

La plus forte pluie relevée à El-Goléa dans cette période a été de 70,2 mm en janvier2004, et le plus forte cumulée annuelle a été de 134,4mm 2009, et la plus faible pluie a été inférieureà1 mm du 1998.

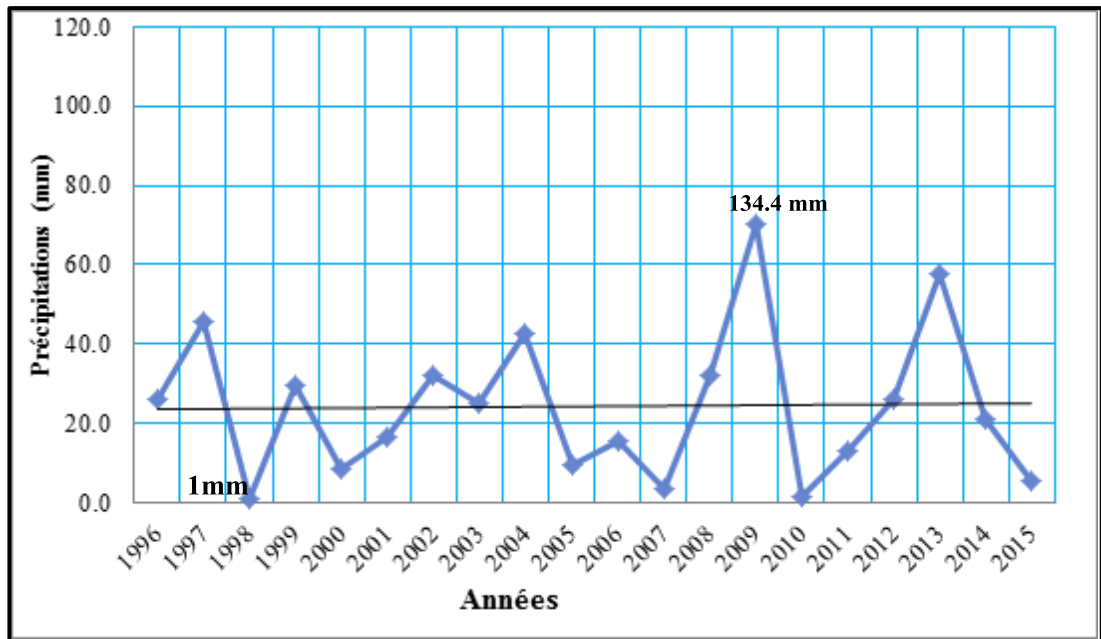


Figure III.4 Graphique des cumuls pluviométriques annuels pour la série d'El-Goléa (1996-2015).

Les pics les plus remarquables sont ceux de 2009 représentant l'année la plus pluvieuse de la série, et celui de 1998 qui représente l'année la plus sec (moins pluvieuse), les pics du graphique sont plutôt, hétérogènes à l'exception de certaines années présentant des volumes de précipitations annuels proches les uns des autres.

### III.2.3. Pluies journalières.

Il s'agit des hauteurs de pluie tombées en 24 heures, de 6 heures du matin le jour  $j$  jusqu'à 6 heures le lendemain  $j + 1$ , la hauteur étant portée au jour  $j$ . Elles peuvent être assimilées à une intensité de pluie en 24h. Plusieurs méthodes d'évaluation des crues utilisent ces hauteurs de pluie journalières qui sont donc une caractéristique importante. Une des raisons en est que ces données sont généralement plus disponibles que les intensités par intervalles de temps plus petits.

### III.2.4. Répartition des pluies journalières durant la période 1996-2015 :

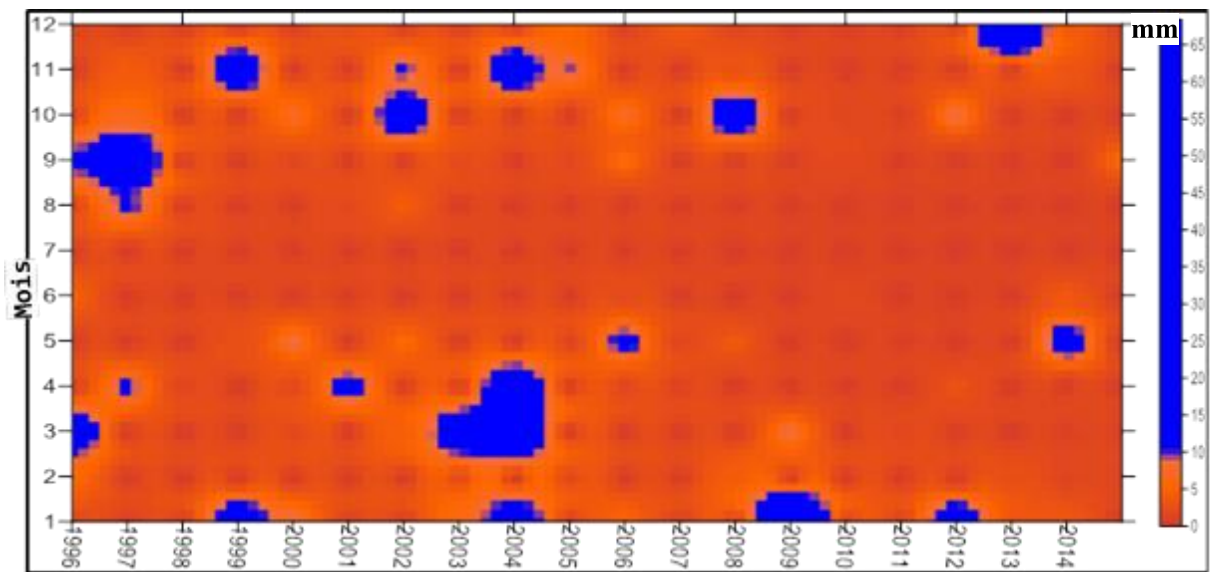


Figure III.5 Graphique en nuances de couleurs des précipitations d'ElGoléa pour la période de (1996-2015).

On distingue la « sécheresse météorologique » ou durée des périodes sans précipitations mesurables (inférieures ou égales à 0,1 mm) qui séparent les phases pluvieuses, et d'autre part la « sécheresse efficace », séparant des pluies égales ou supérieures à 5 mm en 24 heures [9].

L'utilisation du logiciel(SERFUR) est indispensable pour le traçage du graphe si dessus (Figure III.5), il correspond à la cumule mensuelle des pluies journaliers pour chaque année de la période 1996-2015. La différenciation de couleur permettra d'interpréter les phénomènes climatiques (période sèche – période humides) marquant la période étudiée.

La coloration orange indique les périodes sèches à largeurs différentes, et qui sont très abondants, souvent sont séparés par un passage humide d'une courte durée de deux ans en moyenne, Les points rouge indique la séparation entre les périodes sèches répétitifs qui sont mentionnée comme suite :

- Premier intervalle de 1997 à 2003
- Deuxième intervalle de 2005 à 2008
- Troisième intervalle l'année 2009 à 2015.

Durant ces intervalles nous remarquons qu'il y a un nombre important des mois sec avec un cumul pluviométrique très faible, ce qui assure le prolongement de la saison sèche, en créant un rétrécissement de la période humide.

Aussi, on observe sur le graphique quatre périodes à pluviométrie intenses, c'est ce qui est caractérisé par bleu foncé (cercles en bleu) :

- Première période de septembre 1997.
- Deuxième période de mars 2004.
- Troisième période de janvier 2009.
- Troisième période de décembre 2013.

Ces périodes sont considérées comme les plus humides de toute la série pluviométrique de lac El-Goléa, elles sont caractérisées par de fortes précipitations et un taux d'humidité relativement haut.

La figure mise en évidence aussi :

- la période humide (pluvieuse) est classée comme étant une cyclicité qui revient marquée des longues périodes sèches de la série chronologique.
- Les intervalles de sécheresse réapparaissent de période en période sans que la durée de persistance soit homogène.

### III.2.5. Précipitations maximales journalières

Dans les régions arides le caractère exceptionnel de certaines pluies tombées en 24h est très important à considérer puisqu'elles peuvent être à l'origine du ruissellement des Oueds (Roche, 1996). Pour cerner le phénomène sur la région du El-Goléa, on a accueilli les données pluviométrique, à partir de la station d'El-Goléa.

Les précipitations maximales journalières permettent de calculer les intensités des pluies les plus fréquentes. La série d'observation enregistrée entre 1996 jusqu'à 2015 nous a permis de déduire la pluviométrie maximale journalière qui est de 70.2 mm.

Tableau III. 3 Pluies journalières maximales observées à El-Goléa (1996-2015)

Année	P j max	Année	Pj max
1996	26.2	2006	15.7
1997	45.4	2007	3.5
1998	1.0	2008	32.3
1999	29.4	2009	70.2
2000	8.7	2010	1.6
2001	16.5	2011	13.0
2002	32.0	2012	26.3
2003	24.9	2013	57.5
2004	42.8	2014	21.2
2005	9.3	2015	5.7

### III.3. Analyse des données statistiques

La moyenne interannuelle des précipitations maximales journalières Pj max, Durant 20ans d'observations est :

n : le nombre d'années d'observations (n= 20 ans).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i \dots\dots\dots\text{III.3}$$

$$\bar{x} = 24,16 \text{ mm}$$

- L'écart type « σ Pmax, j » :

$$\delta_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots\text{III.4}$$

$$\delta_x = 18,82 \text{ mm}$$

- Coefficient de variation : « Cv » :

$$CV = \frac{\delta_x}{\bar{x}} \dots\dots\dots\text{III.5}$$

$$Cv = 0,779$$

- Exposant climatique :

Selon les études régionales la station d'El Goléa, nous avons b = 0,15



Tableau III.4 Les paramètres de statistiques.

Paramètres	Valeur
Taille de la série	20
Moyenne arithmétique	24,16
L'écart type	18,82
Coefficient de variation	0,779
L'exposant climatique	0,15
le nombre de classe	6

### III.4.Choix de la loi d'ajustement

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières aux lois théoriques Galton (Log Normal) et Gumble et Pearson type III, afin de déterminer une intensité de pluie et de période de retour. Nous disposons une série de pluies journalière de 1996 jusqu'au 2015.

L'utilisation du logiciel(HYFRAN) est indispensable pour les traçages des graphes.

#### III.4.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Galton (Log Normal).

Le tableau III.3 dans l'annexe indique tous les valeurs d'ajustement

On tracer le grave à l'aide du logiciel HYFRAN:

- a) l'axe des X : les variables réduites
- b) l'axe des Y : les valeurs théoriques

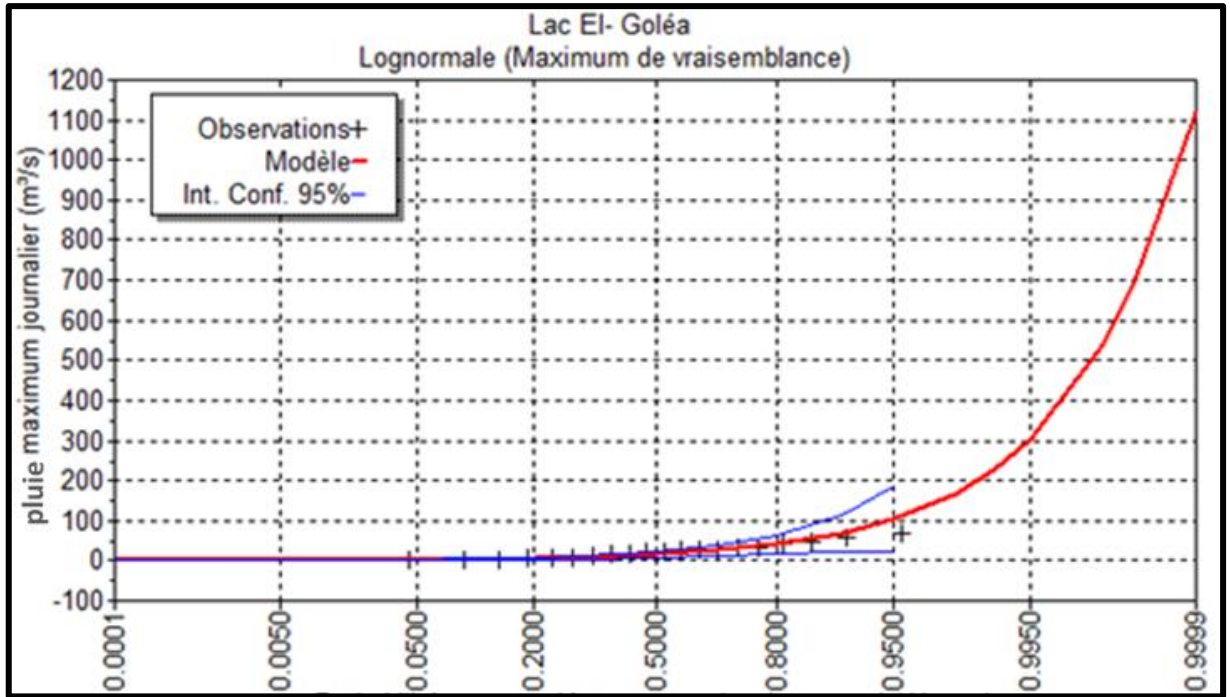


Figure III.6 Ajustement graphique d'une loi de Galton (Log Normal)

### III.4.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumble

Le tableau III.3 dans l'annexe indique tous les valeurs d'ajustement. On tracer le grave à l'aide du logiciel HYFRAN : a) l'axe des X : les variables réduites

b) l'axe des Y : les valeurs théoriques

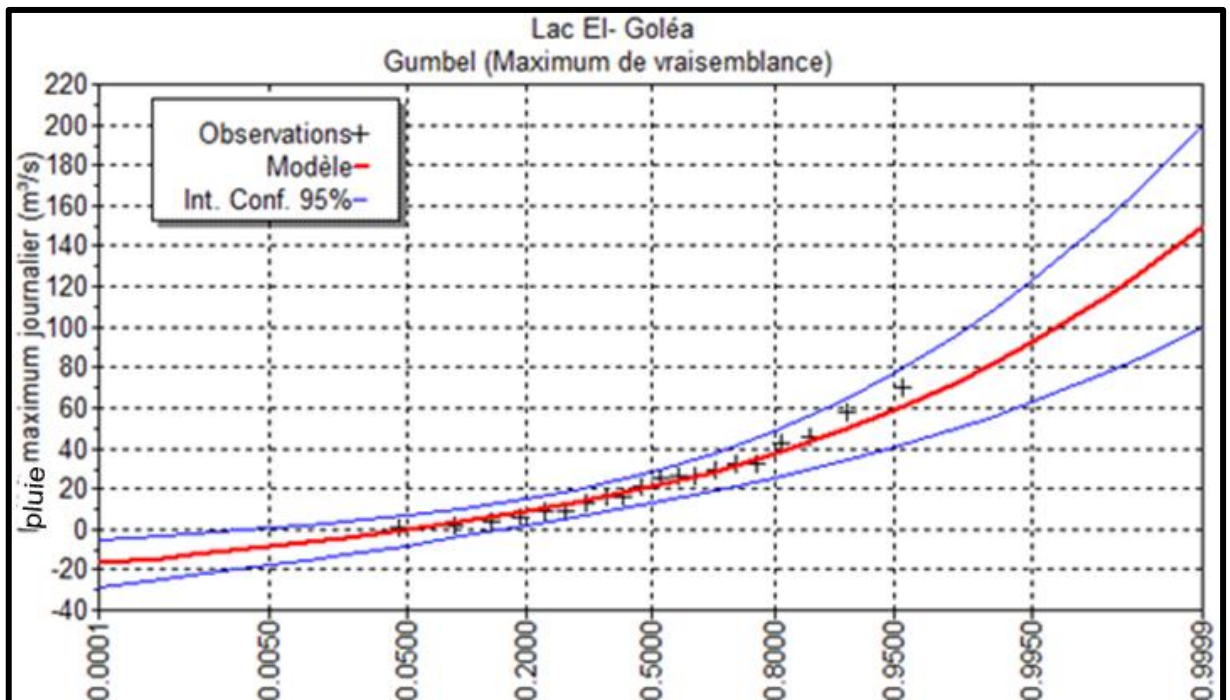


Figure III.7 Ajustement graphique d'une loi de Gumble

### III.4.3. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Pearson type III

Le tableau III.3 dans l'annexe indique tous les valeurs d'ajustement

On tracer le grave à l'aide du logiciel HYFRAN :

- l'axe des X : les variables réduites
- l'axe des Y : les valeurs théoriques

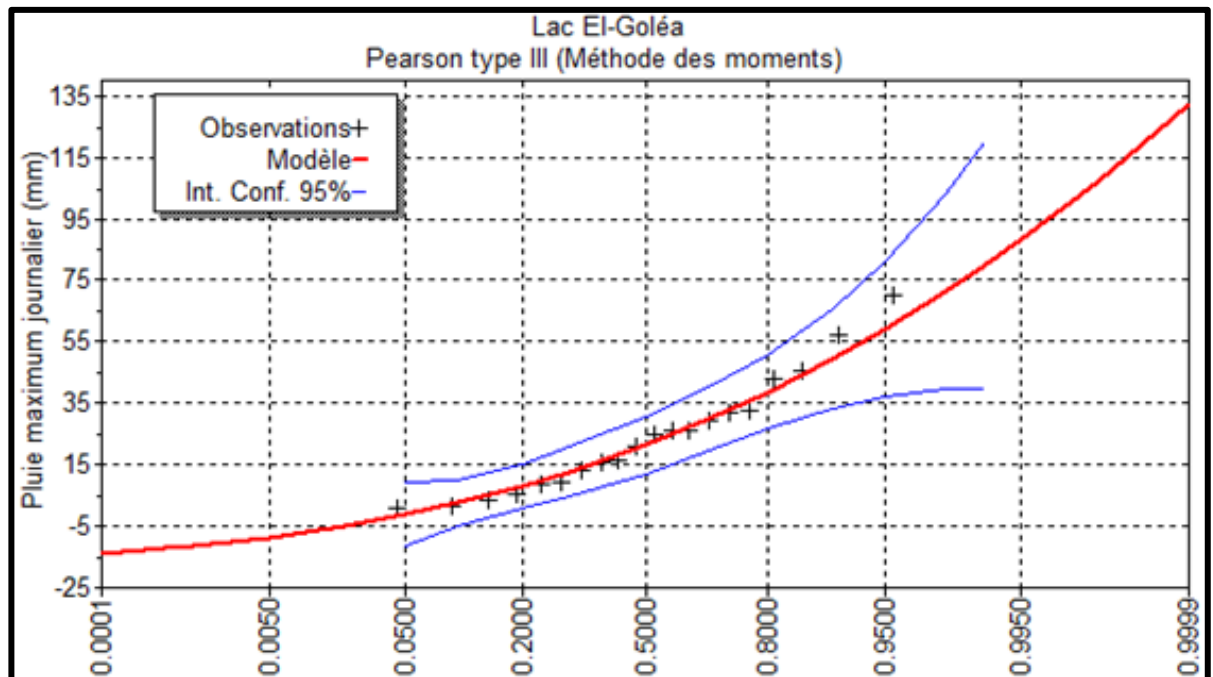


Figure III.8 Ajustement graphique d'une loi de Pearson type III

### III.5. Interprétation des graphes

La projection des données expérimentales sur les trois graphes a permis d'avoir que la loi de Gumble donne le meilleur ajustement, du moment que la donnée expérimentale est proche de la droite théorique.

### III.6. Test de Khi<sup>2</sup>

L'utilisation du logiciel (HYFRAN) est indispensable pour les tracés des tableaux des Test de Khi<sup>2</sup>.

**III.6.1.Loi de Galton (log normal)***Tableau III. 5 Test de  $\text{Khi}^2$  appliqué sur la série des pluies (Galton)*

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	6,40
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur théorique)</b>	3,84
<b>DDL</b>	3
<b>p-value</b>	00937
<b>Sigma</b>	1,1482

**III.6.2.Loi Gumble***Tableau III. 56 Test de  $\text{Khi}^2$  appliqué sur la série des pluies (Gumble)*

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	1
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur critique)</b>	3,84
<b>DDL</b>	3
<b>p-value</b>	0,8013
<b>alpha</b>	14,578

**III.6.3.Loi Pearson type III***Tableau III. 7 Test de  $\text{Khi}^2$  appliqué sur la série des pluies (Pearson type III)*

<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur observée)</b>	1.00
<b>Khi<sup>2</sup> (Valeur théorique)</b>	5,99
<b>DDL</b>	2
<b>p-value</b>	0,606
<b>Alpha</b>	0,117

D'après le test de  $\text{Khi}^2$  appliqué sur l'échantillon, on remarque que la loi de Gumble est la plus adoptée pour la série de la station d'El Goléa avec une valeur de  $\text{khi}^2$  théorique de 3.84 contre  $\text{khi}^2$  observé de 1 à une signification de 5% d'erreur.

### III.7. Régime pluviométrique

#### III. 7.1. Calcul des précipitations en fonctions de fréquences

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III. 8 Pluies journalières maximales fréquentielles

Temps de retour (an)	Fréquence au non dépassement %	P j max fréquentielle Gumble (mm)
2	0,50	21
10	0,90	48
25	0,96	59
50	0,98	72
100	0,99	82
1000	0,999	116

#### III.7.2. Pluies de courtes durées

Les pluies de courtes durées sont calculées par la relation « type Montana » établie par Body à L'ANRH :

$$P\%(t) = P_j \left[ \frac{t}{24} \right]^b \dots \dots \dots \text{III.6}$$

- $P\%(t)$  : Pluie fréquentielle de durée t.
- $P_j\%$  : Pluie journalière fréquentielle.
- T: durée de l'averse.
- b : Exposant climatique  $\rightarrow b = 0,15$  pour la station d'El Goléa

Les calculs ont donné les résultats suivants :

Tableau III. 9 Pluies de courtes durées pour différentes périodes de retour

Période de retour (an)	Durée de l'averse (heure)								
	0,25	0,5	0,75	1	2	4	6	12	24
2	10,59	11,75	12,49	13,04	14,46	16,04	17,06	18,93	21
10	24,20	26,86	28,54	29,80	33,04	36,67	38,99	43,26	48
25	29,75	33,01	35,08	36,63	40,62	45,07	47,92	53,17	59
50	36,31	40,29	42,81	44,70	49,57	55	58,48	64,89	72
100	41,35	45,88	48,76	50,91	56,45	62,64	66,60	73,90	82
1000	58,49	64,90	68,97	72,01	79,86	88,61	94,22	104,55	116

**III.7.3.Intensités maximales de courte durée**

L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée t de l'averse.

$$I_{\max} = \frac{P\%(T)}{t} \dots\dots\dots III.7$$

- $I_{\max}$  : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h).

Les calculs ont donné les résultats présentés ci-après pour les périodes de retour (2 ans, 10 ans, 25 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans) et pour des durées d'averse de 15 min jusqu'à 1 jour.

Tableau III. 10 Intensités maximales de durée t (h) et de période de retour T (an)

Période de retour (an)	Durée de l'averse (heure)								
	0,25	0,5	0,75	1	2	4	6	12	24
2	42.4	23.5	16.6	13.0	7.2	4	2.8	1.6	0.9
10	96.8	53.7	38.1	29.8	16.5	9.2	6.5	3.6	2
25	119	66	46.8	36.6	20.3	11.3	8	4.4	2.5
50	145.2	80.6	57.1	44.7	24.8	13.7	9.7	5.4	3
100	165.4	91.8	65.0	50.9	28.2	15.7	11.1	6.2	3.4
1000	234.0	129.8	92.0	72	39.9	22.2	15.7	8.7	4.8

### III.7.4. Construction des courbes IDF

Les courbes IDF représentent les relations entre les intensités, la durée et la fréquence d'apparition des pluies.

Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique au droit d'une station donnée et, d'autre part de calculer grossièrement des débits de projet, d'estimer des débits de crue, et aussi de déterminer des pluies de projet.

Elles sont établies de manière analytique (formule de Montana ou de Talbot) ou statistique (analyse fréquentielle) [15].

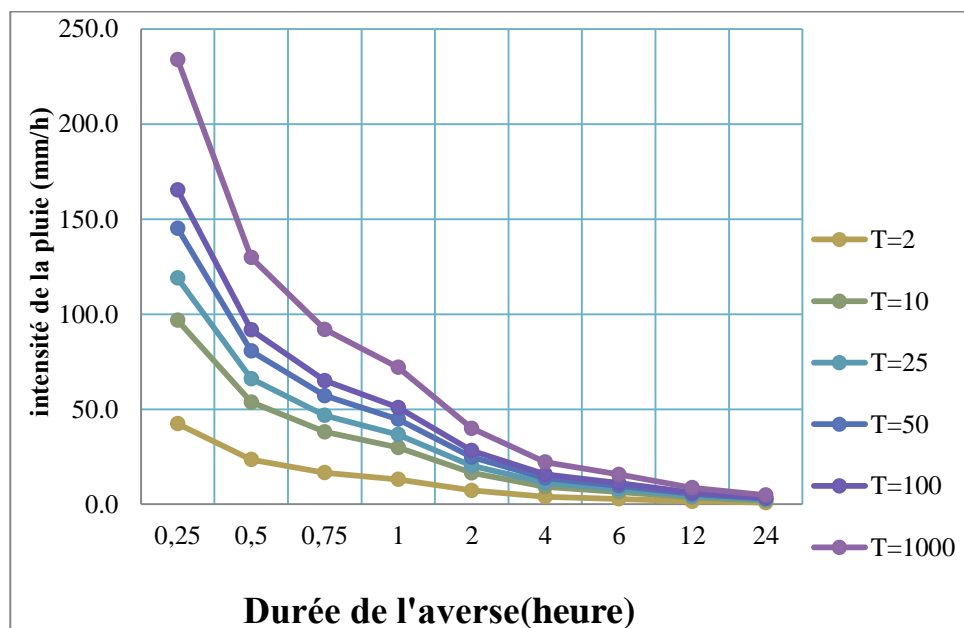


Figure III. 9 Courbe IDF Intensité – Durée – Fréquence

## Conclusion

Il ressort de divers ajustements que les pluies journalières décennales, centennales et milléniales sur la station de El-Goléa sont respectivement 48mm, 82mm et 116mm

Au cours d'une même averse, l'intensité des précipitations varie à chaque instant suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci. Plutôt que de considérer l'averse entière et son intensité moyenne, on peut s'intéresser aux intensités observées sur des intervalles de temps au cours desquels on aura enregistré la plus grande hauteur de Pluie. On peut assimiler le temps de l'averse comme un temps de concentration qui le faut prendre en considération dans le dimensionnement des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales dans les bassins versants urbains (temps de nuisance).

Vue la faible importance de la pluviométrie de la région, cette fonction qui est considérée comme APPORT est négligeable dans l'estimation du notre bilan



*Chapitre IV : Etude  
piézométrique  
et hydrochimique*

## **IV.1.Introduction**

Dans le cadre de cette étude, Nous avons effectué deux campagnes piézométriques et d'échantillonnage dans la période Mars-Mai 2017:

- Première campagne: 1 a 3 mars 2017 (piézométrique et échantillonnage).
- Deuxième campagne: 2 a 3 mai 2017 (piézométrique seulement).

Sept (07) points de mesure sont fait l'objet des campagnes de visite, dont parmi eux le puits traditionnel de Ben Dowi. Ces points représentent la partie sud du lac.

## **IV.2 Campagnes de visite du lac d'El-Goléa**

Les mesures sur terrain

Le repérage des puits par GPS,

- Prise des photos,
- Mesure du niveau statique dans les puits d'eau,
- Analyse hydrochimique des échantillons d'eaux ramenées au laboratoire,

Notamment : les sels totaux dissous (TDS), la conductivité, le Ph et la turbidité (NTU) et la teneur en  $\text{NH}_4^+$  et la température.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au niveau de laboratoire d'analyse de l'université de Ghardaïa.



*Figure V.1 Echantillonnage du lac d'El-Goléa.*



Figure IV.1 Carte de situation des points de mesure sur le Lac d'El-Goléa

## IV.3 Échantillonnage et analyse des eaux

### IV.3.1 Méthode de prise d'échantillon

Il est nécessaire de pomper suffisamment longtemps pour renouveler l'eau contenue dans le tubage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des flacons propres, rincés avec l'eau distillée puis avec l'eau à analyser.

Après la mise en flacon des échantillons, les flacons doivent être fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon. Les flacons doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes indiquant le numéro de l'échantillon.

Toutes les eaux sont susceptibles de se modifier plus ou moins rapidement par suite des réactions physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent avoir lieu dans le flacon dans le laps de temps qui sépare le prélèvement de l'analyse. Pour cela, il faut apporter les échantillons au laboratoire d'analyses dès que possible (délai inférieur à 24 heures). La température de l'échantillon ne doit jamais dépasser celle de l'eau souterraine prélevée.

Les flacons doivent être stockés à l'abri de la lumière et au frais (glacière ou réfrigérateur). Au laboratoire, les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur entre 3 et 5° C.

#### **IV.3.1.1 Les mesures in-situ**

Les mesures in-situ sur terrain sont:

- Détermination de la position géographique : La position de chaque puits ou point d'eau est déterminée à l'aide d'un GPS.
- La piézométrie : Mesurée à une sonde piézométrique lumineuse jusqu'au plan d'eau en cas des puits, et relevée la cote d'eau par GPS en cas de plan d'eau libre.
- Echantillonnage d'eau dans des flacons afin de les ramener au laboratoire d'analyse hydrochimique.

#### **IV.3.2 Mesures et analyses au laboratoire**

##### **IV.3.2.1 Paramètres physique**

###### **IV.3.2.1.1 Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de "pH" est la valeur qui détermine si une substance est acide, neutre ou de base, il est calculé à partir du nombre d'ions hydrogène présents. Le pH d'une solution aqueuse varie de 0 à 14, un pH de 7 signifie que la solution est neutre. Un pH inférieur à 7 indique que la solution est acide, et un pH supérieur à 7 indique que la solution est basique. Une solution est neutre lorsqu'il y a autant de H<sup>+</sup> que d'OH<sup>-</sup>. [5].

Le pH peut être déterminé par diverses méthodes d'analyses, telles que les indicateurs colorés, le papier-pH ou l'utilisation d'un pH-mètre [5].

Tableau IV.1 Classes de Le potentiel d'hydrogène PH [17].

<b>pH&lt;5</b>	Acidité forte: présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
<b>pH=7</b>	pH neutre
<b>7&lt;pH&lt;8</b>	Neutralité approchée: majorité des eaux de surface.
<b>5.5&lt;pH&lt;8</b>	Majorité des eaux souterraines
<b>pH&gt;8</b>	Alcalinité forte, évaporation intense

On a mesuré le pH au laboratoire et la photo suivante montre la valeur mesurée

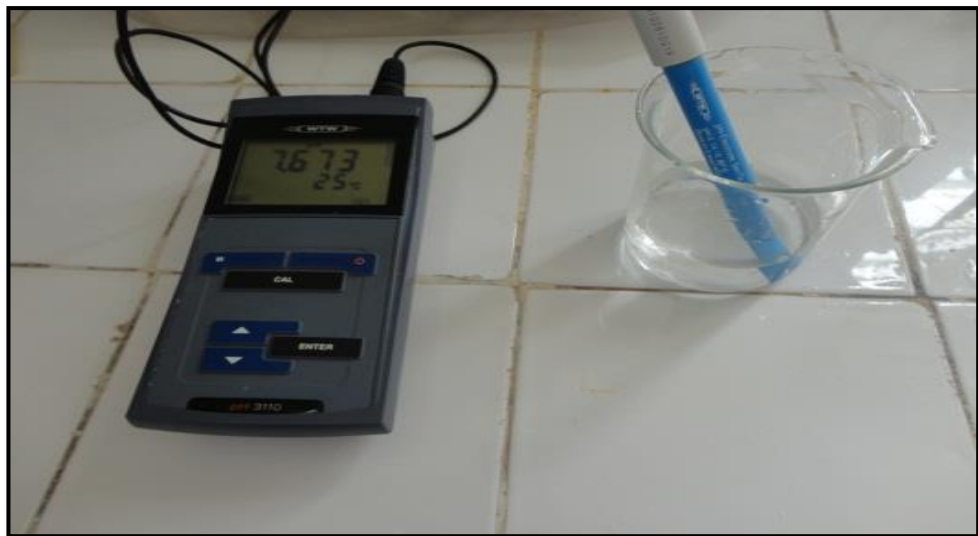


Figure IV.3 pH mètre.

#### IV.3.2.1.2 Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés d'électrons. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. [20].

La conductivité est également fonction de la température de l'eau: elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle s'exprime en micro siemens par centimètre

#### Mode opératoire

La mesure est effectuée sur le terrain par un conductimètre, que nous plongeons l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser et s'exprime en mS/cm ou  $\mu$ S/cm

Tableau IV.2 Classification de l'eau selon la conductivité électrique

Conductivité	Nature de l'eau
50 – 400 $\mu\text{s} / \text{cm}$	Eau excellent
400 – 750	Eau bonne qualité
750 – 1500	Eau de moyenne qualité
> 1500	Eau médiocre



Figure IV.4 conductivité mètre.

#### IV.3.2.1.3 Température (T) :

La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle a une influence directe sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et à une grande influence sur l'activité biologique. La température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine [19].

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. [17].

La mesure de la température est effectuée sur le terrain à l'aide d'un thermomètre portatif. Nous lirons directement la température exprimée en degré Celsius (C°).

#### IV.3.2.1.4 Salinité

La Salinité indique la teneur d'un milieu en sels caractéristiques de l'eau de mer, mais il existe des masses d'eaux continentales et des sols totalement La spectrométrie consiste donc à mesurer l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée pour en déduire sa concentration. Cette absorbance est déterminée à l'aide d'un spectromètre, réglé à la longueur d'onde spécifique [14].

#### IV.3.2.1.5 Total des Solides dissous (TDS)

Les solides dissous représentent une mesure des totaux dans une solution. La conductivité électrique est en fait une mesure de l'activité ionique d'une solution en termes de sa capacité à transmettre le courant. Dans une solution diluée, les solides dissous d'un échantillon d'eau, basé sur la valeur calculée de la conductivité électrique, peuvent être calculés en utilisant l'équation suivante :

$$\text{Solides dissous (mg/l)} = 0.5 * \text{conductivité (DS /m ou mm ho/com.)}$$

La relation ci-dessus peut également être utilisée afin de vérifier l'acceptabilité des analyses chimiques de l'eau.

#### IV.3.2.1.6 Turbidité (NTU)

Un liquide trouble s'éclaire vivement lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, c'est le phénomène dit de Tyndall due aux particules insolubles en suspension diffusant latéralement une partie des rayons lumineux.

La mesure est obtenue directement en NTU. L'appareillage utilisé est un turbidimètre et une cuve stérile.

##### **Mode opératoire :**

La mesure est effectuée sur le terrain par un turbidimètre.

On a mesuré la Turbidité au laboratoire par Turbidimètre. Montré dans la figure suivante.





Figure IV.5 Turbidimètre

### IV.3.2.2 Paramètres chimiques

#### IV.3.2.2.1 Indicateur de pollution ( $\text{NH}_4^+$ )

L'ion ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal, sa présence dans les eaux profondes résulte le plus souvent de la décomposition anaérobie de matières organiques azotées. On les trouve souvent à des teneurs variant entre 0,1 à 0,2 mg/l. [6].

#### Mode opératoire :

Prendre 50 ml d'eau à analyser directement dans le flacon à réaction, ajouter 3 ml duré actif I (solution de Phénol-Nitroprussiate), boucher et agiter pour bien homogénéiser, puis ajouter 1,5 ml du réactif ,II (solution alcaline d'hypochlorite), boucher et agiter à nouveau. Placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant 6 à 8 h à températures ambiantes. Mesurer l'absorbance à 630 nm.

### IV.4 Approche géostatistique

La géostatistique consiste à étudier les phénomènes corrélés dans l'espace, au moyen d'un outil probabiliste : "la théorie de variables régionalisées". Le but initial de la géostatistique est donc d'estimer (prédire, évaluer) la répartition de ces variables régionalisées dans un espace connu. Typiquement, on ne connaît que les mesures de la variable en certains points (stations de mesure) ou le long de lignes, mais on dispose également d'une information qualitative importante (géologie, conditions d'échantillonnage, expérience...). On cherche

alors à prévoir une quantité qui dépend, bien évidemment, de la variable en dehors des points de données. Or les variables régionalisées étudiées en géostatistique présentent très souvent un comportement irrégulier, aléatoire, rendant la prévision incertaine. C'est en étudiant ce comportement, en dégagant la structure, puis en faisant usage de celle-ci, que la géostatistique parvient à une meilleure connaissance de son phénomène.

La structure de variogramme expérimentaux (cas de la piézométrie) à montrés une absence d'auto corrélation régionale entre les différents couples de mesure. En réalité cette situation présente l'absence de structure spatiale qui ne peut être ajusté par un variogramme. Cette structure due probablement à la faible densité des et points de mesure (inférieur à 30 points). Pour cela le Krigeage ne peut être utilisé comme moyen d'interpolation. La méthode d'interpolation la plus adoptée dans ce type d'interpolation est la méthode de "Invers Distance To A Power" qui a aboutée à la cartographie par a suite.

#### **IV.4 .1 Présentation du logiciel (Surfer 11)**

Le logiciel Surfer 11, conçu par Golden Software, permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur le terrain via GPS.

Le principe de Surfer est le suivant : le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points  $x,y,z$  afin de les ordonnées suivant plusieurs méthode ( inverse distance, 3 points, krigeage etc...) . C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes : base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres...

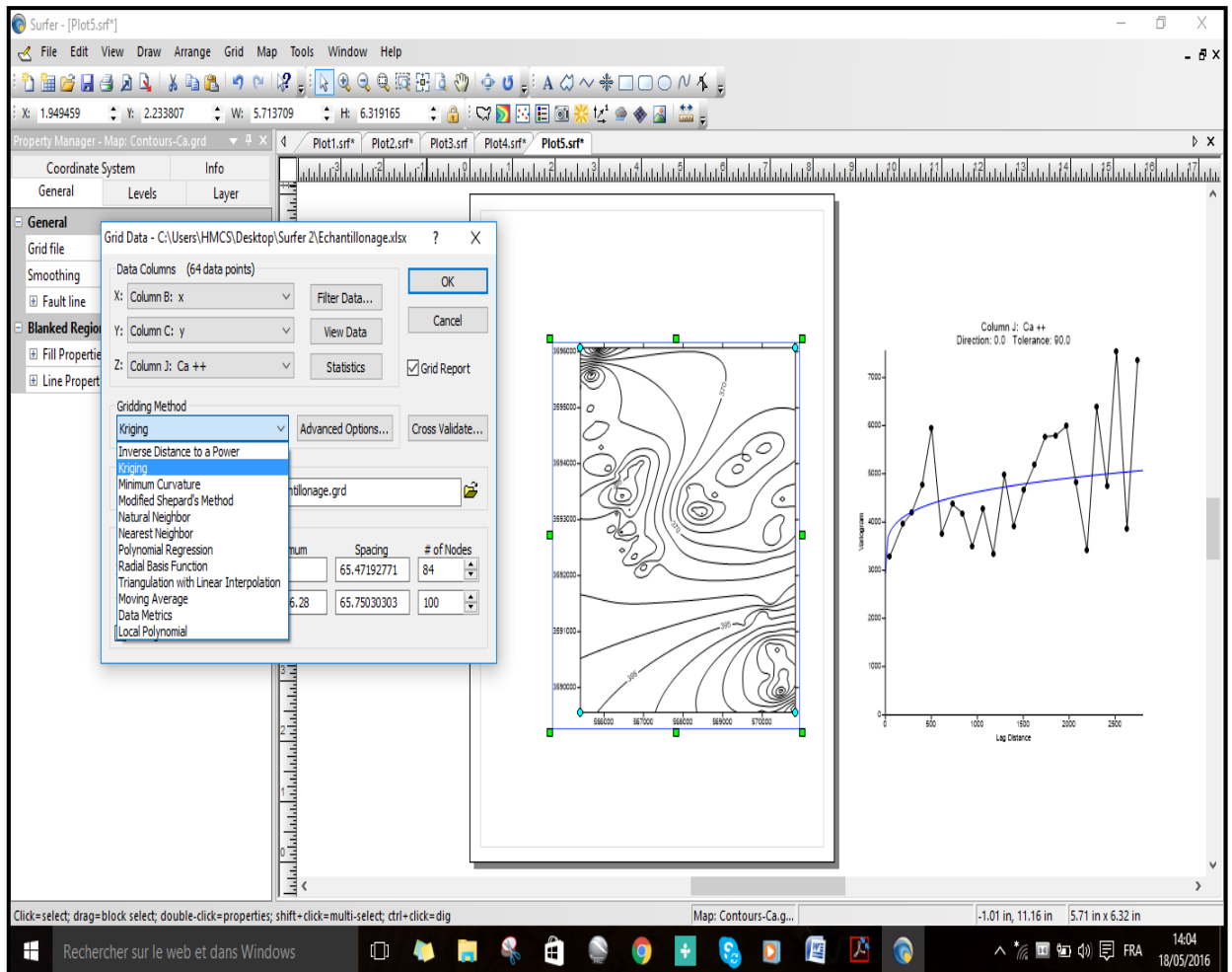


Figure IV.6 Menu du Logiciel Surfer 11

#### IV.4 .2 Interprétation géostatistique des résultats

L'interprétation des cartes via surfer pourrai se faire par plusieurs méthodes interpolations, dans notre études on utilisera le krigeage (reconnue comme étant le meilleur estimateur linéaire non-biaisé), il se base sur l'interpolation spatiale d'une variable régionalisée par calcul de l'espérance mathématique d'une variable aléatoire, utilisant l'interprétation et la modélisation du variogramme expérimental.

Le variogramme expérimental est obtenue par l'ajustement du variogramme estimé, ce dernier n'est pas prédictif et ne respecte le plus souvent pas les contraintes de krigeage, C'est pourquoi il est primordial de modélisé le variogramme estimé par une fonction continue (exponentiel, cubique, logarithmique, etc...)

**IV.4 .3 Analyse des données piézométriques**

L'utilisation du logiciel Surfer.11 nous-ont permis d'exploiter les données des campagnes piézométrique et d'échantillonnage, et de dresser des cartes qui lui correspond.

**IV.4 .3.1 Carte piézométrique 03Mars et 03 Mai 2017**

La carte réalisée à l'échelle de Lac El-Goléa pour la période Mars-Mai 2017 est présentée sur la figure IV.7.

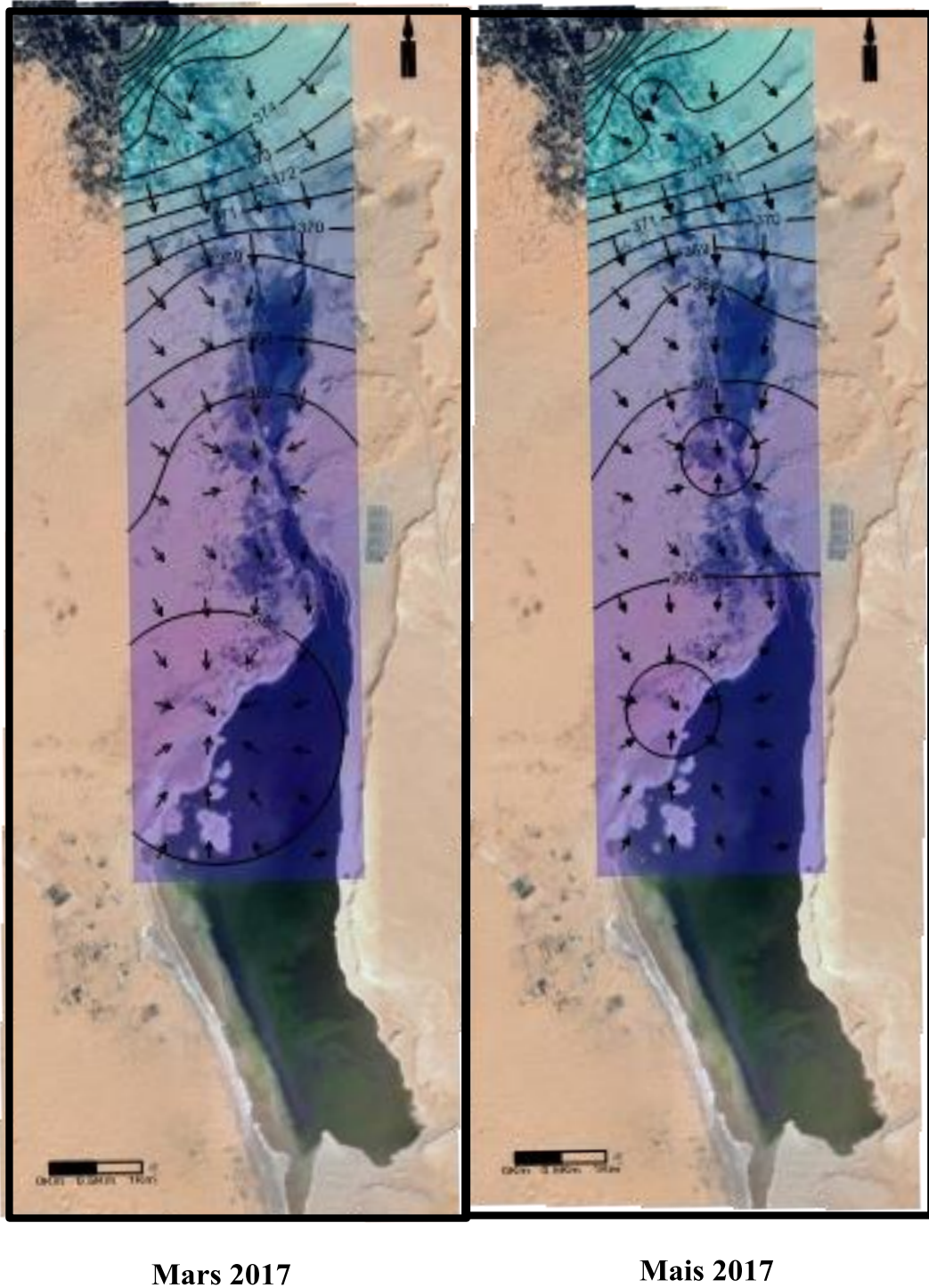


Figure IV.7 La carte piézométrique Mars-Mars 2017

Les cartes établies montrent un sens d'écoulement général de Nord vers le sud, et mis en évidence aussi:

- Sur la palmeraie et le lac supérieurs, il y a un écoulement souterrain à partir de dôme d'alimentation de la palmeraie notamment aux alentours du puits Ben Dowi. Le

graduant hydraulique varie sur cette direction de 0.5% à 1% avec une cote piézométrique maximale de 380 m.

- A la partie sud notamment sur le lac inférieur (grande lac), l'écoulement se poursuit vers la même direction en aval pour s'infiltrer dans les sable de sud. Le graduant hydraulique très faible par rapport au Nord, il est de l'ordre de 0.2 à 0.4 %, avec une cote piézométrique moyenne de 367 m.
- Il y a une légère baisse du niveau piézométrique entre la période 03/2017 et la période 05/2017 notamment sur le lac inférieur. Cette baisse d'une valeur moyenne de 60 cm, et sûrement provoquée par la forte évaporation de début de la saison estivale.
- Le dôme de recharge situé au niveau de la palmeraie Hassi El Gara est le résultat de la recharge de la nappe et le lac par les eaux de drainage en période haute eaux (période d'arrosage des jardins).
- La zone de convergence des rejets est figurée comme un cône de dépression au milieu du lac inférieur.

### IV.4.3.2 Carte de pH :

la carte de PH est présnete sur la figure IV.8 suivante:

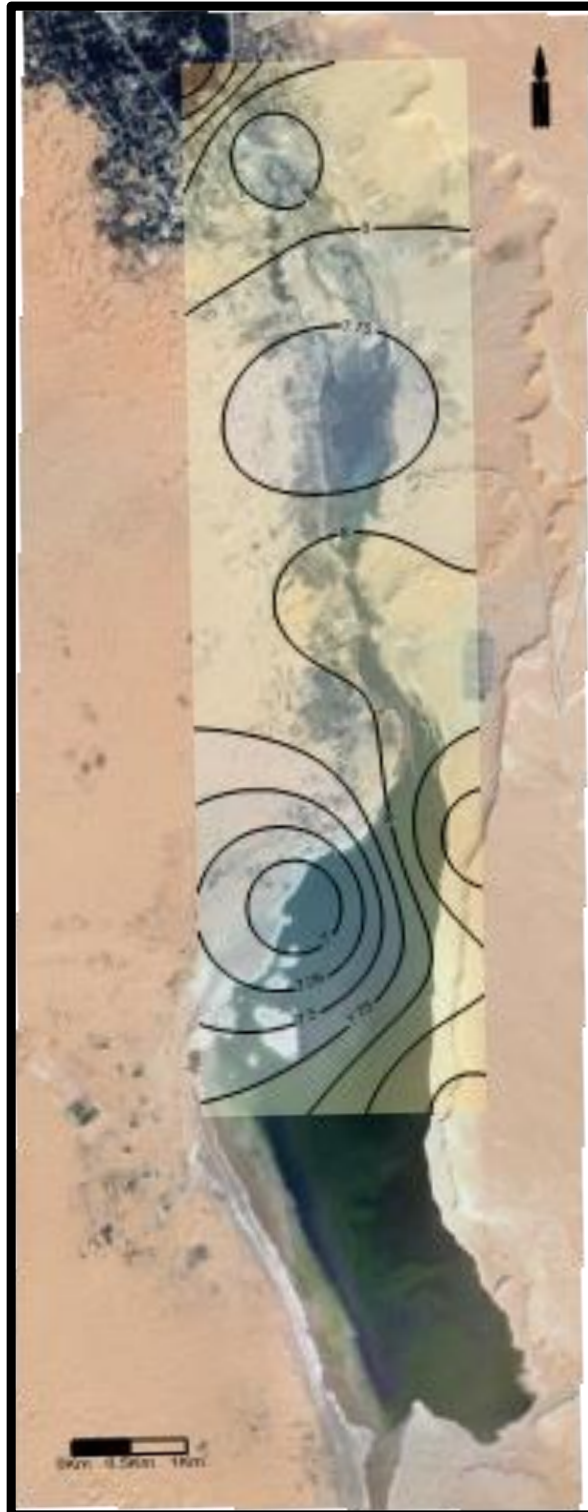


Figure IV.8 La carte de PH des eaux de Lac El-Goléa à la campagne Mais 2017

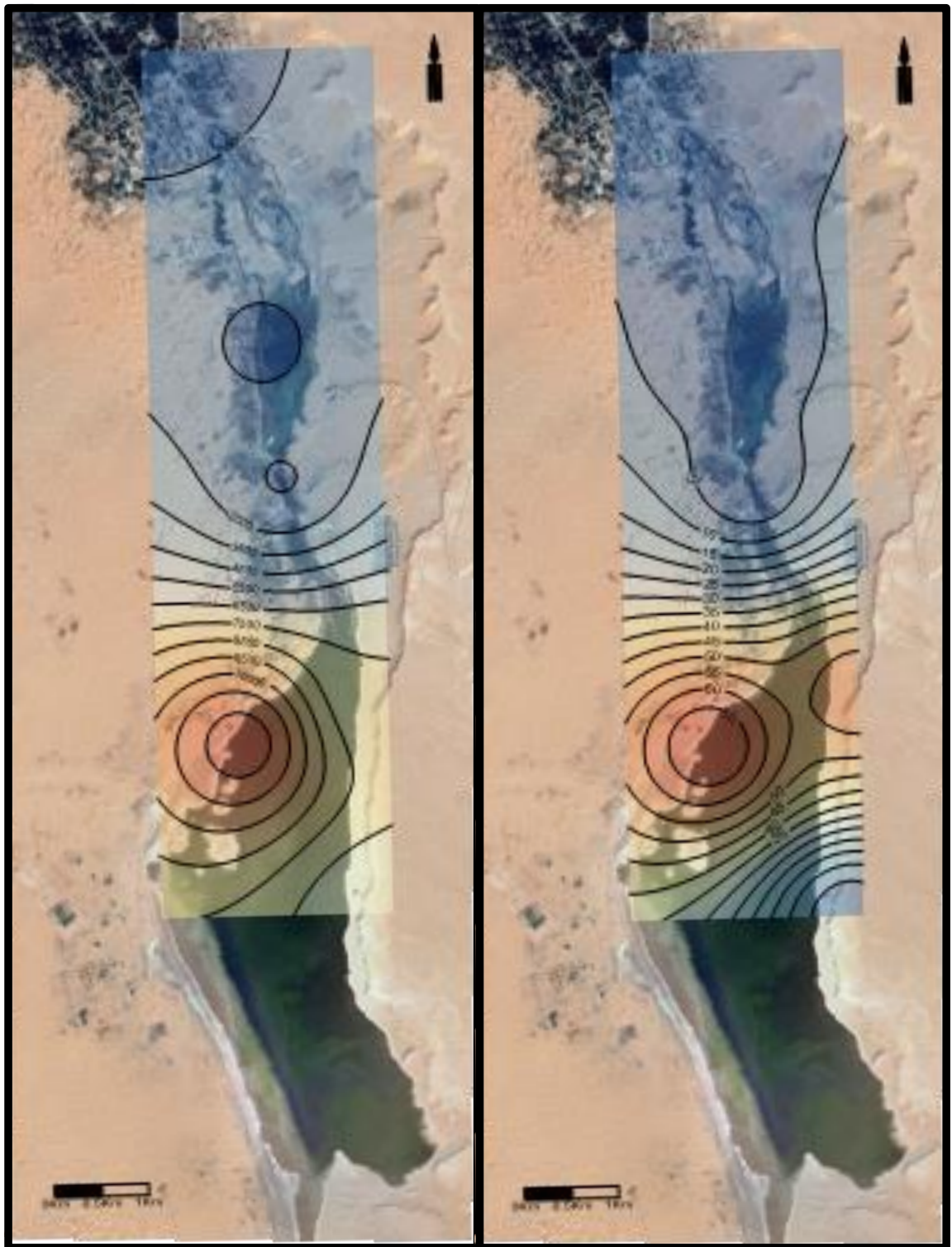
L'examen de cette carte montre que la majorité des prélèvements présente une alcalinité moyenne, notamment sur la partie Nord, ou la valeur de pH dépasse 8.2 sur la partie Sud et centrale du lac le pH varie de 7 à 7.6. Cette faible alcalinité au sud est due l'activité biologique diversifiée sur le lac inférieur.

#### IV.4.3.3 Carte de Conductivité électrique CE et Salinité

La figure IV.9 présente la carte de la CE des eaux et la salinité de lac El-Goléa.

Les deux cartes de CE et celle de la salinité présentent deux zones distinguées sur le lac, une zone à faibles valeurs du rapport CE/salinité inférieur à 2500/5 sur la partie nord (palmeraie de Hassi El Gara et le lac supérieur), et une zone à fortes valeurs de 120/70 en maximum, située au milieu du lac inférieur. On remarque aussi une augmentation des valeurs de CE/salinité avec le sens d'écoulement, ce qui explique l'effet de lessivage des sels par les eaux vers l'exutoire.





La Conductivité Mai 2017 (Um/cm)      La salinité Mai 2017 (g/l)

Figure IV.9 La carte de Conductivité et la Salinité des eaux du lac El-Goléa à la campagne  
Mai 2017

#### IV.4.3.4 Carte de TDS

La carte de TDS est présentée sur la figure IV.10.

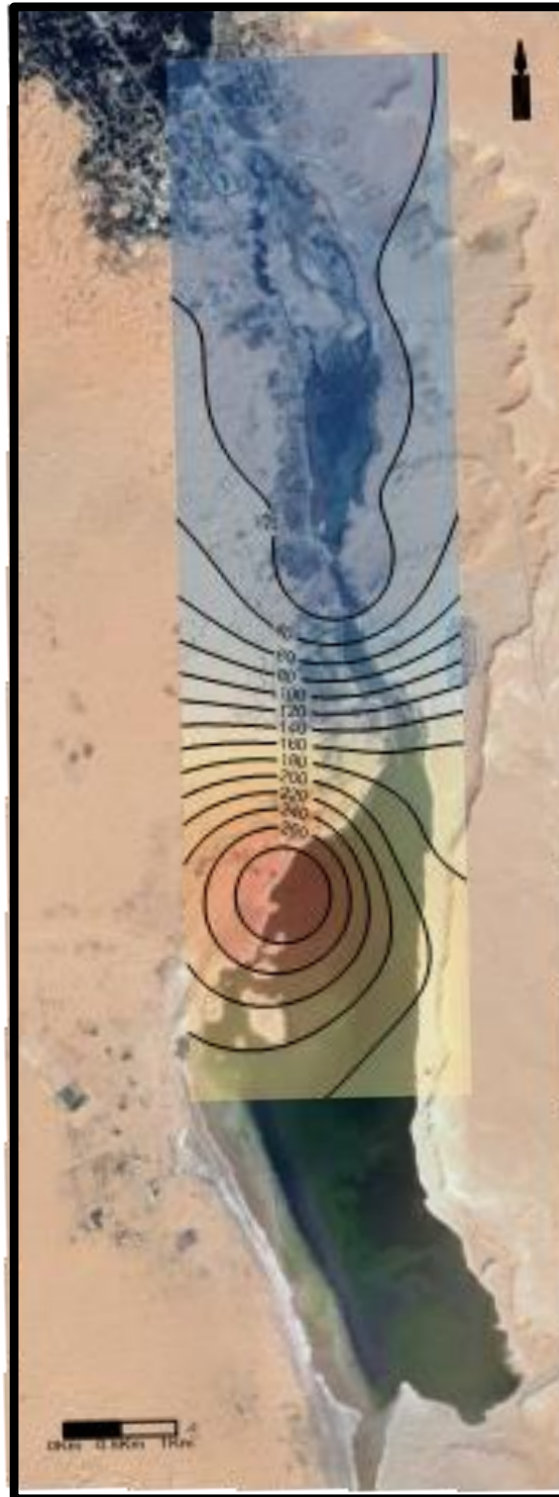


Figure IV.10 La carte de TDS des eaux du lac El-Goléa à la campagne Mai 2017.

La carte de TDS se présente de la même configuration que celle de la CE et la salinité (très forte corrélation):

- Une zone à faibles valeurs (inférieur à 2.8g/l) sur la palmeraie Hassi El Gara et le lac supérieur.
- Une zone à fortes valeurs (supérieur à 20 g/l) située sur le lac inférieur.
- Augmentation de la concertation TDS avec le sens d'écoulement des eaux (Nord-sud).

#### **IV.4.3.5 Carte de turbidité :**

La carte turbidité et celle de la salinité présentent une très forte corrélation:

- Les faibles valeurs sont situées sur la partie Nord (palmeraie et lac supérieur) avec une valeur moyenne de 15 mg/l.
- Les fortes valeurs sont observées sur le lac inférieur avec une valeur moyenne de 100 mg/l.
- L'augmentation de la turbidité est proportionnelle au sens d'écoulement des eaux.

La carte de TH est représentée sur figure.IV.11

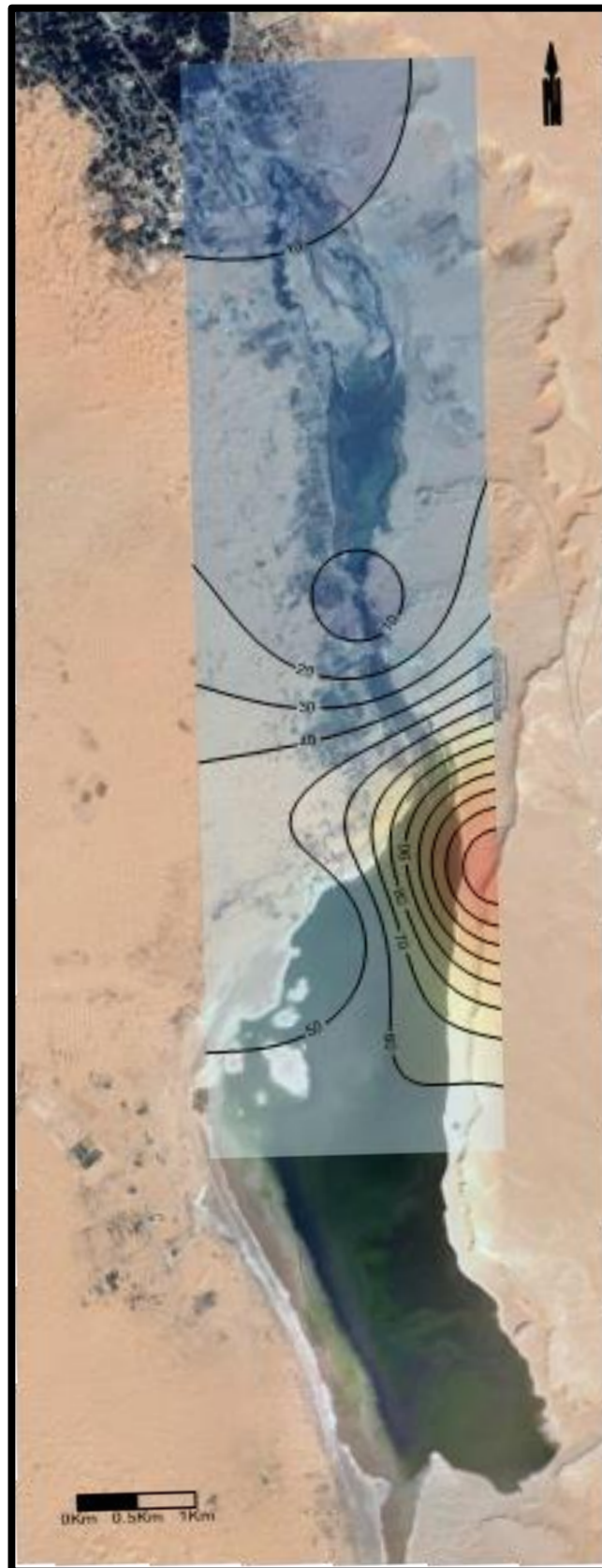


Figure IV.11 La carte de turbidité des eaux du lac El-Golía à la campagne mai 2017.

**IV.4.3.6 Carte  $\text{NH}_4^+$  :**

La carte de  $\text{NH}_4^+$  se présente sur la figure IV.12.

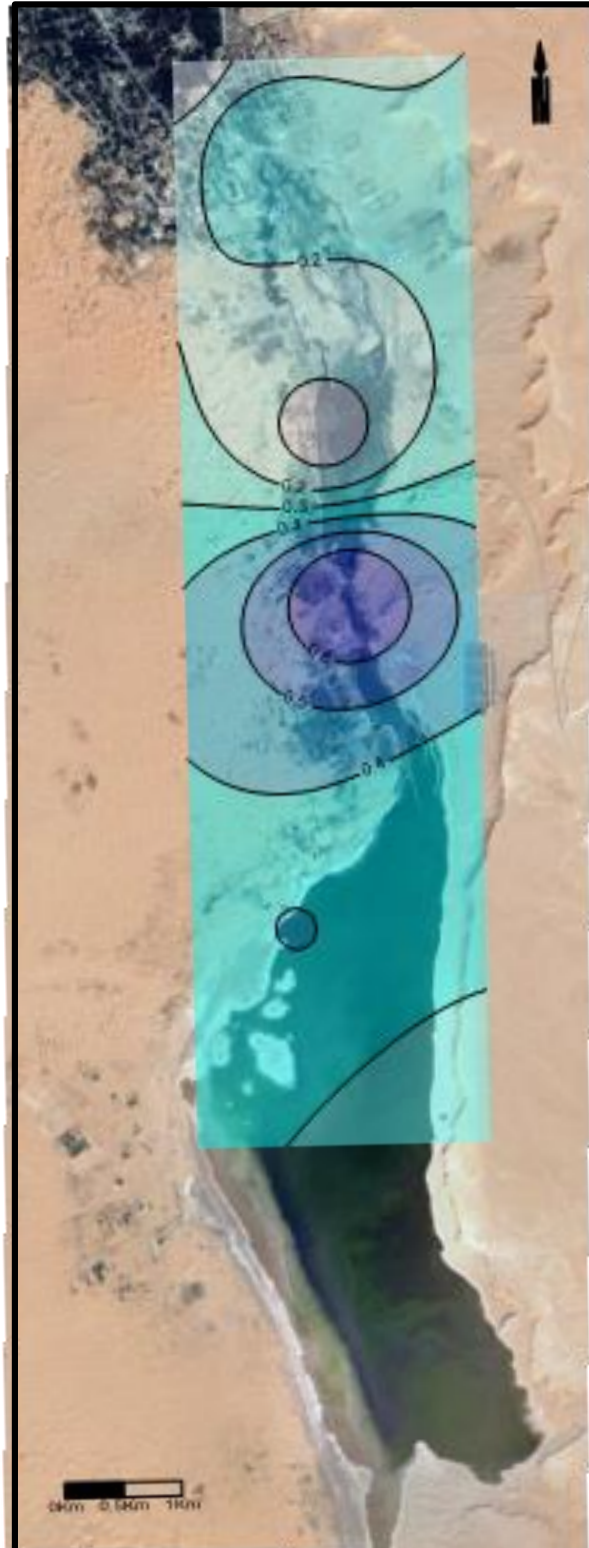


Figure IV.12 La carte de  $\text{NH}_4^+$  des eaux du lac à la compagnie mai 2017.

Le  $\text{NH}_4^+$  est un indicateur de pollution des eaux. D'après la carte au-dessus, les faibles valeurs est observées au Nord et extrême sud de la zone d'étude, avec une valeur moyenne de 0.25 mg/l. les fortes valeurs sont observée au niveau de passage du lac supérieur au lac inférieur (zone de rejet de collecteur d'assainissement), avec une valeur moyenne de 0.55 mg/l. ces forte valeur peut être expliquées par la présence de la source de pollution domestique : conduite de rejet d'assainissement

*Chapitre V :*  
*Etablissement du*  
*Bilan*  
*Hydrologique*

## V.1 Introduction

L'établissement du bilan de la nappe exige la connaissance précise de ses alimentations et de ses pertes. Or celles-ci sont multiples, directes ou indirectes, superficielles ou profondes. Le bilan hydrologique global a pour but d'établir la balance entre l'actif et le passif, les apports et les pertes et ainsi d'étudier la variation des réserves en eau. La balance est équilibrée suivant les conditions naturelles conformément au cycle de l'eau et, en l'absence de l'intervention humaine. Le bilan d'eau permet également de calculer par différence l'un des éléments, les autres étant connus[15].

Avant d'aborder l'étude du bilan il est intéressant de donner un bref rappel de la méthodologie d'établissement des bilans d'eaux et les différentes procédures à suivre.

## V.2. Méthodologies

### V.2.1. Année Hydrologique :

Tout bilan d'eau se rapporte :

1. A une période de référence bien déterminée : le bilan d'eau porte sur une période déterminée et tous les éléments doivent obligatoirement se rapporter à la même durée. La période considérée est l'année hydrologique interannuelle calculée sur une longue période (par exemple septembre 1990- octobre 1994) ou l'année hydrologique déterminée sur les saisons ou les mois ou encore sur les décades de l'année considérée (par exemple septembre 1993- octobre 1994). Nous obtenons alors le bilan d'eau sont exprimées en mètres cubes par an ou en hauteur annuelle de lame d'eau exprimée en millimètres.

2. A une unité de volume nettement délimitée : Le volume doit être délimité avec précision et correspond à un cadre naturel (bassin, versant, nappe, cuvette, Oued..). Pour les nappes libres l'unité de volume considérée n'est pas constante par suite des fluctuations de la surface piézométrique. Il en résulte que nous devons toujours tenir compte de la variation de la réserve en eaux souterraines.

L'année hydrologique d'un système aquifère libre est déterminée par l'étude statistique de la pluviométrie, les écoulements superficiels et l'étude des fluctuations piézométriques. Dans les nappes libres, la surface piézométrique subit dans les conditions naturelles, des fluctuations des niveaux en fonction du rythme des précipitations et de l'évaporation. Dans les conditions d'une région développée, la fluctuation est en relation aussi avec l'exploitation et la restitution des eaux d'irrigation et les eaux domestiques. L'année hydrologique débute avec une surface



piézométrique minimale, pour se terminer avec la surface piézométrique minimale suivante. Pour des conditions tempérées, elle s'étale d'octobre à septembre (douze mois en général). Dans les régions arides à faible pluviométrie, elle souvent plus longue [2].

### V.2.2 Système hydrologique étudiée

Le lac d'El Goléa est un point bas de la vallée fossile d'El Goléa, issu de la bordure sud-ouest du dorsale du M'Zab. Le sous-sol de la vallée constitue des argiles surmontés par une couche très fine de sable et alluvion, renfermes d'une nappe libre alimentées par les eaux de surface. En effet, c'est un complexe surface d'eau libre-couche aquifère. Il constitue l'exutoire naturel des diverses eaux à savoir:

- les eaux de la nappe phréatique,
- les eaux de drainage de l'ancienne palmeraie d'El Goléa et Hassi El Gara,
- les eaux de rejet domestique de la ville d'El Goléa et Hassi El Gara.

L'évaporation en surface est très intense, elle peut atteindre une moyenne annuelle de 2 630 mm par an. Cette intense évaporation provoque l'abaissement du niveau d'eau dans le lac par 1 m de moyenne en été, et la par la suite contribue à l'augmentation de la salinité des eaux de ce lac (plus de 70 g/l).

### V.2.3 Eléments d'un bilan d'un complexe surface d'eau libre – couche aquifère

Le tableau suivant présente les principaux éléments d'un bilan d'eau d'un lac-aquifère

Tableau V.1 Bilan hydrologique d'un complexe surface d'eau libre – couche aquifère

Apports ou entrées en mm ou m <sup>3</sup> /an	Pertes ou sorties en mm ou m <sup>3</sup> /an
Apport des drains de surfaces Q <sub>d</sub>	Evaporation directe des plans d'eau Ev
Apport du collecteur d'assainissement Q <sub>s</sub>	Evapotranspiration des palmeraies ETP
Apports souterrains de la nappe phréatique DW.	Evaporation des sols nus ou la nappe est très proche de surface Es
Variation du niveau d'eau dans le lac +/- dW	

On constate que l'apport principal au bilan les eaux souterrain de la nappe phréatique, et les sorties sont surtout l'évaporation.

### V.2.4 Expression générale du bilan d'eau d'une couche aquifère

La formule classique du bilan hydrologique, fréquemment utilisée, est

$$Q_d + Q_s + D_w = E_v + ETP + E_s \pm dW$$

### V.2.5 Relation avec les couches aquifères profondes et adjacentes

Les pertes ou apports en relation avec les couches aquifères profondes ou adjacentes doivent être prises en considération. Lorsque le bassin comporte des couches aquifères profondes, communiquant avec les nappes supérieures et la surface, il se produit une drainance vers les nappes superficielles. Cependant les phénomènes tectoniques mettent en évidence des fractures par lesquelles les eaux profondes remontent et alimentent la nappe phréatique (Ouled belkhair.2015). Il est très difficile d'évaluer les grandeurs des flux de ces communications, car elles demandent des techniques et études tel que : géophysique, géochimie et méthodes isotopiques. En l'absence de ces études on procède à l'évaluation du taux de la contribution des nappes adjacentes ou en amont par la différence des autres éléments du bilan.

### V.2.6 Equilibre du bilan

Le bilan calculé sur une période annuelle, ne s'équilibre pas en général, pour de multiples causes dont les principales sont, en dehors de l'intervention fréquente de l'homme, la variation de la réserve, les erreurs et approximations des mesures. Cette dernière cause est importante à considérer par lorsque le bilan a pour but de déterminer la variation de la réserve, les résultats numériques obtenus pour cette d'erreurs relatives aux données de base [15].

## V.3 Choix des périodes de références

Les périodes retenues ont été choisies pour des raisons de disponibilités des données de tous les paramètres entrant dans la formule de l'équation du bilan. L'ensemble des données dont nous disposons (calculs, estimations, mesures) et compte tenu du régime climatique de la région, nous avons pu établir deux types de bilans :

1. Bilan fictif de la période 03/2017-05/2017.
2. Bilan type période Haute eaux –Basse eaux.

## 3. Bilan type annuelle 2016-2017.

## V.4 Éléments de l'équation du bilan

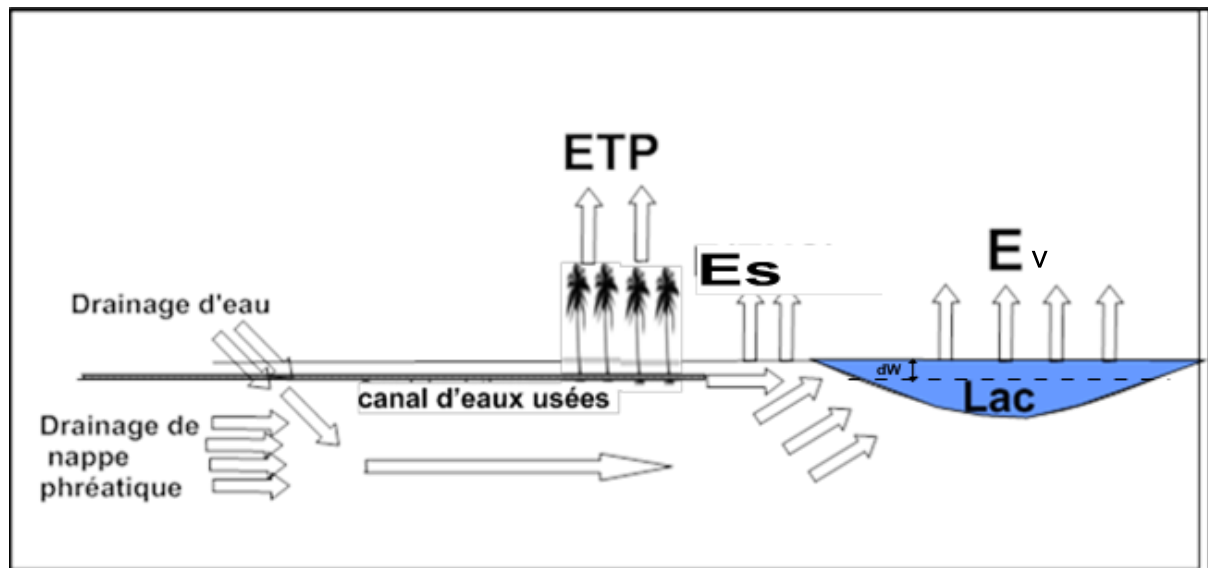


Figure V.1 les différents facteurs entrants dans l'établissement du bilan hydrologique

Les paramètres climatiques (évaporations, évapotranspiration) sont estimés pour des longues périodes (1996-2016). Pour les autres paramètres (eaux de drainage, rejet d'assainissement et variation des réserves), nous adoptons les valeurs de mesure et d'estimation ponctuelle de la période 03/2017 – 05/2017. D'après la constatation personnelle sur dans cette période, il y a une baisse d'eau de 30 cm. Vue la courte période de mesure, et afin d'améliorer la fiabilité de la grandeur d'écoulement de drain et celle de la variation de réserve dans le lac, nous avons effectué une enquête sur terrain ou près des habitants et des agriculteurs de la région. Sur la période haute eaux (Octobre-Mars) et la période basse eaux (Avril-Septembre), l'enquête a décèle les valeurs suivantes:

- Le débit de drain diminue de 50%.
- Le niveau du plan d'eau dans les deux lacs, baisse de 100 cm en moyenne.

### V.5. Zonage du bilan hydrologique

Pour identifier l'état de surface de la zone d'étude, nous avons procédé au planimétrie sur photo Google-Earth exportée au programme Autocad, ce dernier permet de mesurer les surfaces à l'échelle de calage réel. la carte de Zonage du bilan hydrologique est présente sur la figure V.2suivant :

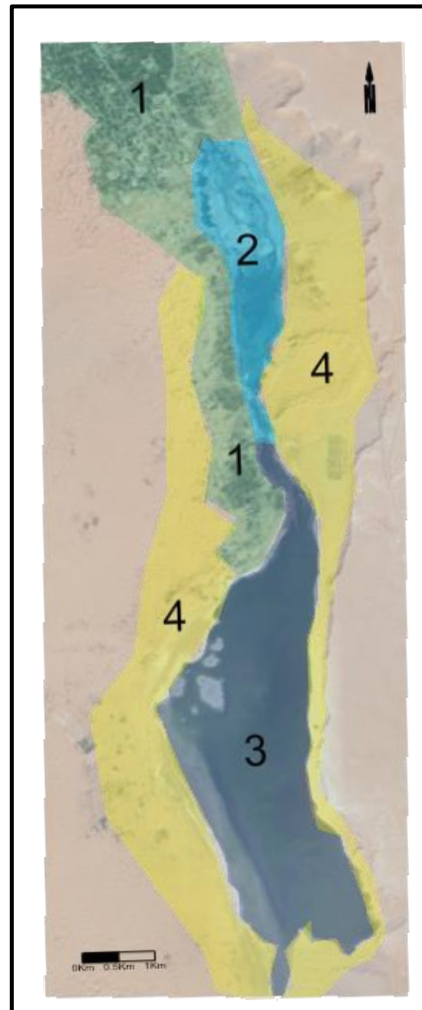


Figure V.2 Carte de zoning du bilan hydrologique du lac d'El Goléa

Tableau V.2 La surface de Zonage du bilan hydrologique du lac d'El Goléa

N°	1	2	3	4	Total
Designation	Palmeraie	Lac supérieur	Lac inférieur	Sol nue et dune de sable	
Surface Km <sup>2</sup>	4,2	2,7	10,9	17,8	35,5

## V.6. Mesures effectuées sur terrain

- **Évaporation** : Les données disponibles sont celles de la station d'El Goléa (ONM) sur la période 1996-2015;
- **Évapotranspiration potentielles** : ces sont calculés par Mr Guerradi [10].

Tableau V.3 Valeurs moyennes de l'évaporation.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Évaporation (mm/mois)	243	172	113	97,6	93,7	118	181	236	286	344	394	351
ETP (mm/mois)	179	97,5	31,2	14,6	11,5	19	46,8	79,5	148	249,4	352	308

- **Évaporation des sols nus (Es)**

D'après Mr OuledBelkhir (2015), les études isotopiques menées sur les régions arides (Arabie Saoudite, Egypte) ont montré que la grandeur de la lame d'eau évaporée à travers la zone non saturée pendant une année ne dépasse pas 5 mm (nappe proche du sol d'au moins de 3 m).

Tableau V.4 Évaporation des sols nus (Es)

Période	Lame d'eau évaporée	Volume en Hm <sup>3</sup>
03/2017-05/2017	5 mm/an	0,014 Hm <sup>3</sup> /2mois
Octobre-Mars (Haute eaux)	5 mm/an	0,0445 m <sup>3</sup> /6mois
Avril-Septembre (Basse eaux)	5 mm/an	0,0445 m <sup>3</sup> /6mois
Annuel	5 mm/an	0,089 Hm <sup>3</sup> /ans

- **Débit moyen de drain:**

$$H=2\text{m}, h=0.65\text{m}, b=3\text{m}.$$

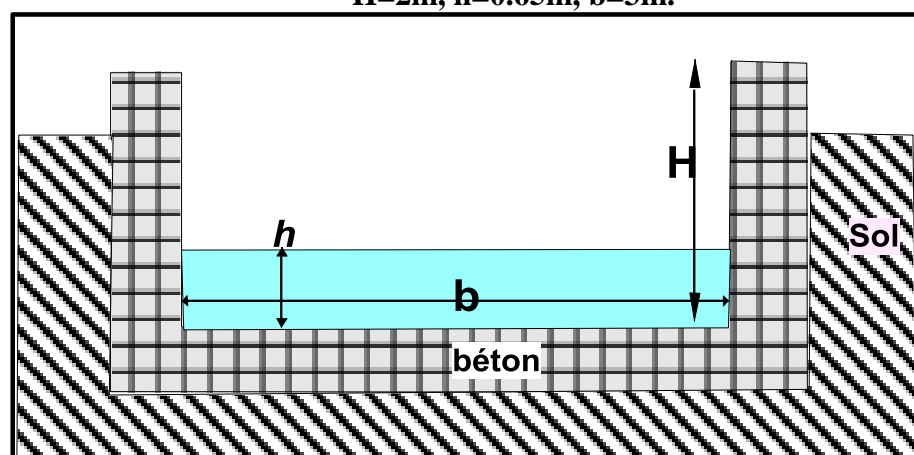


Figure V.3 coupe schématique de drain

- **Utilisation de la formule de Manning – Strickler**

$$V = K * Rh^{2/3} * i^{1/2} \dots\dots\dots V.9$$

- V : vitesse moyenne dans la section, en m/s
- Rh : rayon hydraulique, soit S / P, en m.
  - S: section mouillée
  - P : périmètre mouillé,
- S : (b\*h), P= (2h+b)
  - b : Largeur (m).
  - h : Profondeur hydraulique (m).
- i : pente hydraulique
- k : coefficient de rugosité qui varie avec la nature du fond du lit et hauteur d'eau.

Avec : K= 70, i = 0,001, la vitesse moyenne V= 1,14m/s.

Donc :

$$Q_d = V. S \dots\dots\dots V.10$$

Tableau V.5 Débit moyen de drain  $Q_d$

Période	Lame d'eaux dans le canal	Débits
03/2017-05/2017	60 cm	10,64M m <sup>3</sup> /2mois
Octobre-Mars (Haute eaux)	65 cm	34,57M m <sup>3</sup> /6mois
Avril-Septembre (Basse eaux)	35 cm	18,61Mm <sup>3</sup> /6mois
Annuel	50 cm	53.18Mm <sup>3</sup> /an

- **Débit de collecteur d'assainissement**

Le présent collecteur assaini les eaux usées d'El Goléa et celle de Hassi El Gara. La population actuelle (2016) de deux localités est estimée à 64000 Hab. sur la base de la dotation de la région 200l/j/ha, le débit de consommation est estimée à 0.150 m<sup>3</sup>/s. le débit d'assainissement engendré en aval de ces deux localités est estimées donc à **0.12 m<sup>3</sup>/s** (avec un taux de rejet de 80%).

- Variation de réserves dans le lac

Tableau V.6 variation de réserves dans lame d'eau

Période	03/2017- 05/2017	Octobre-Mars (Haute eaux)	Avril- Septembre (Basse eaux)	Annuel
Lame d'eau	-30 cm	+100 cm	-100 cm	00 cm
Volume dW x 10 <sup>6</sup>	4,02	13,6	-13,6	00

## V.6. Etablissement des bilans définitifs

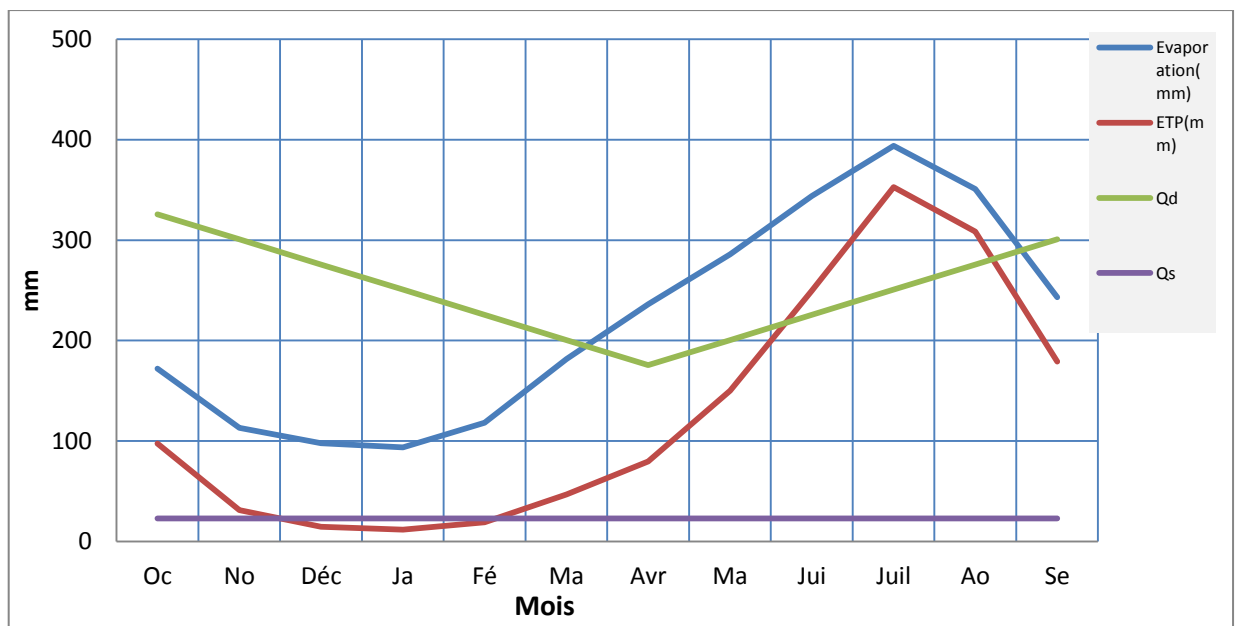
Tableau V.7 Bilan hydrologique dans les périodes 03/2017 à 05/2017, H,eaux-B,eaux (6 mois) et Annuel.

	Apports En million m <sup>3</sup>				Pertes En millions m <sup>3</sup> / an		
	03/17- 05/17	H,eaux- B,eaux ( 6 mois)	Annuel		03/17- 05/17	H,eau x- B,eaux (6 mois)	Annuel
-							
Apport des drains de surfaces Q <sub>d</sub>	10,6	26.59	53.18	Evaporation directe des plans d'eau Ev	5.67	17.88	35,76
Apport du collecteur d'assainissement Q <sub>s</sub>	0,62	1.86	3.73	Evapotranspiration des palmeraies ETP	0.53	3.22	6.45
Apports souterrains de la nappe phréatique DW.	-9.126	-20.861	-14.61	Evaporation des sols nus là-ou la nappe est très proche de la surface Es	0.014	0.044	0.089
Variation des réserves en eaux souterraines ± dw	-4.08	-13.6	0				
Total	-2.134	-7.594	42.29	Total	6.214	21.194	42.29

Elément d'équilibre  $D_w$  : est calculé par différence entre les dépenses et les apports :

$$D_w = E_v + ETP + E_s - Q_d - Q_s \pm d_w$$

Période	03/17-05/17	H,eaux-B.eaux (6 mois)	Annuel
Dw en $10^6 \text{ m}^3$	-9.126	-20.861	-14.61



Figures V.4 bilan hydrologique graphique moyen annuelle du lac d'El Goléa

### Commentaire

- Malgré la courte durée d'observation le bilan 03/2017-05/2017 reste le plus réaliste.
- La valeur négatif de l'élément apport des nappes adjacents signifier que-il un écoulement de lac vers la nappe, aussi signifier que les apports de drains et celles du collecteur d'assainissement sont dominants.
- Par le faite que l'évaporation ne prodigue pas la totalité des apports, il y a une tendance que le lac a la possibilité de se propagée vers l'aval, cette hypothèse peut être confirmée par l'apparition d'un nouveau lac récemment au sud de périmètres Chaabet El Melhe (2 Km vers le sud-est de l'ancien lac).



# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

Il faut tout d'abord rappeler l'importance du lac d'El Goléa, qui est considéré comme une richesse très rare pour toute la région. Notre objectif était au départ d'étudier et de recueillir tous les éléments qui contribuent à l'établissement et la maîtrise du bilan hydrologique de ce complexe. Ce bilan est un outil très nécessaire dans la gestion des ressources naturelles notamment l'eau.

Le climat de la région d'El Goléa est classé Hyper aride, avec une pluviométrie faible et aléatoire, dont la moyenne annuelle n'atteint rare 40.5 mm. La température est caractérisée par une amplitude journalière et saisonnière importantes, dont l'extrême min est de -1.6 °C, et celle de max 56°C. La moyenne annuelle est de l'ordre de 22°C. Les vents dominants sont de Nord et Nord-Est, ceux venant de l'Est et du Sud-Est sont les plus dangereux car ils transportent des sables. La période pluvieuse sur El Goléa va d'octobre à avril, avec quelques pluies torrentielles qui peut se produit en été. Les pluies journalières décennales, centennales et milléniales sur la station de El-Goléa sont déterminées respectivement 48mm, 82mm et 116mm. Vu la faible importance de la pluviométrie sur la région, elle est négligeable dans l'estimation du bilan.

Du point de vue de la géologie, les terrains affleurant dans la région d'El Goléa correspondent aux calcaires du Turonien et sable dunaire couverts d'un dépôt lacustre datant du Quaternaire.

Les ressources en eaux souterraines sont localisées dans deux niveaux aquifères différents, la nappe superficielle phréatique elle bénéficie des eaux de ruissellements et de drainage, et la nappe Albien, elle se trouve à une profondeur d'environ 70m.

Le bilan hydrologique établi sur le lac montre qu'il est nécessaire de prolonger la période d'observation des divers paramètres, notamment le niveau d'eau dans le lac et le débit du canal. Aussi, les résultats du bilan montrent que la fonction Apport est présentée essentiellement par l'apport de drain, et la fonction Perte est présentée par l'Evaporation. La valeur négatif de l'élément apport des nappes adjacents signifier que-il un écoulement de lac vers l'aval, phénomène prouvé par l'apparition d'un nouveau lac récemment au sud de périmètres Chaabet El Melhe (2 Km vers le sud-est de lac inférieur). Dans ce cadre, il est très intéressant d'accentuer les futures études Géologiques et hydrogéologiques, ou même isotopiques sur le phénomène d'extension du lac vers l'aval. Pour fiabiliser les mesures hydrologiques au niveau du lac, nous recommandant l'installation des échelles

hydrométriques, un est installé au niveau du canal de drainage, et les deux autres au niveau du lac.

*Références  
bibliographiques*

## Références bibliographiques

- [1] **Atlas4, (2004)**.Atlas de la zone humide Algérienne d'importance internationale .Atlas IV Direction générale des forets ,22p.
  - [2] **Benhedid.(2016)**.étude géostatistique du fonctionnement hydrodynamique de la nappe phréatique karstique du plateau de Lahsaya l'ouest de dorsal de M'zab (oued M'zab, Metlili, Sebseb, touiel) Mémoire master Univ Ghar.53p.
  - [3] **Bahmani .m, (1987)**- les ressources en eau souterraine dans les zones arides : cas ElGoléa, thèse magistère. INA. El-Harrach, Alger. 1987.
  - [4] **D.G.F, (2005)** Direction Générale des Forets, (2005).Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar « 3- Sebket El Melah (Wilaya de Ghardaïa) »,13 p.
  - [5] **Dajoz, (1971)**- Précis d'écologie. Ed .Dunod, Paris, 424 p.
  - [6] **Detay, (1993)**-Le Forage D'eau ; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. Masson. 379p.
  - [7] **Dreux,( 1980)**-Précis d'écologie. Ed. Presses Universitaires de France, Paris, 231 p.
  - [8] **Dubief, (1953)**–Essai du l'hydrologique superficielle de Saharien. 451p.
  - [9] **Dubief, (1963)** Donnée météorologique du nord de l'Algérie a l'équateur – Tome 3. Ed. Karthala, 274.
  - [10] **Guerradi, (2012)**-.Etude géochimique et minéralogique du lac d'El-Menia, Mémoire de Magister, Université de Ouargla.5p.
  - [11] **Meddour, (2013)**-Etude de région alimentaire de la foulque macroule et de quelques espèces d'Antidate an niveau de Sebka El Maleh (El –Menia W Ghardaïa),95p.
  - [12] **Mihoub, (2009)**- nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (Triticumdurum L. Var. Carioca) (dans la région d'El-Goléa). Mémo. Ing.Agro. Univ d'Ouargla, 93 p.
  - [13] **Mihoubi et al, (2010)**- Contribution à l'étude écologique de la zone humide lac El- Goléa « sbkehet El Maleh Ghardaïa.
  - [14] **OULED LAID,(2016)** -Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre :Cas lac El-Goléa (Menea, Ghardaïa ).Mémo. MasterUniv Ghar.23p.
  - [15] **Ouledbelkhire .C (2015)** –Etude Quantitatif des Ressource Hydraulique de la région de la chebkha du M'zab, Artic, journal of water and land, polonie,5p.
  - [16] **Ozenda, (1991)**- Flore du Sahara. 5ème Ed. Paris, 622 p
  - [17] **Rodier, (1996)**- L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème édition. *Dunod*. 1383 p.
  - [18] **Rouini, (2013)**- Diagnose écologique et proposition d'un plan d'Aménagement et de conservation de la Réserve Naturelle ornithologique d'El Goléa (Ghardaïa).
-

- [19] **Roux, (1987)**- Office International De L'eau: L'analyse Biologique De L'eau. *TEC & DOC*. Paris. 229p.
  - [20] **Saadali, (2007)**-Etude De La Qualité Des Eaux Des Sources Issues Du Massif Dunaire DeBouteldja (Algérie Extrême Nord Orientale). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba. 83p.
  - [21] **DRAUI, (2013)**- Faciès et évolution séquentielle du « continental intercalaire » de la cuvette de Sbaà (Sahara Occidental, Algérie) Mémoire Magister en géologie Université d'Oran.16p
-

# *Annexes*

## Annexe 1 : Paramètres physico-chimiques.

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7 (Hassi Bendawi)
Cordonnée (N)	493859.37	493704.42	492752.41	492257.84	492585.45	492056.43	491347.18
Cordonnée (E)	3372859.80	3370462.50	3375135.88	3372310.40	3376535.98	3379051.90	3379717.40
pH	8.63	8.55	8.1	6.82	7.5	7.88	9.15
CE (ms)	7540	6700	1428	13120	1318	1498	549
Turbidité (NTU)	138	56.2	6.25	40	11	6.84	1.85
T (°C)	25.3	25	25.4	25.1	25.4	25.7	25
Salinité (g/l)	59	1	0.6	70	0.5	0.7	0.1
Tds (mg/l)	176.7	191.1	5.3	300.12	4.04	3.82	1.325
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0.304	0.205	0.7	0.402	0.054	0.259	0

## Annexe 2 : Les normes OMS Paramètres physico-chimiques

Paramètres physicochimiques	Unité	Normes OMS
pH	-	6.5-8.5
Conductivité	us/cm	2800
Turbidité	NTU	5
Température	°C	≤ 25
Salinité	mg/l	5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	max 0.5



## ملخص

المهدف من هذا العمل هو القيام بدراسة بيزوميترية وهيدروكيميائية لمياه الطبقة السطحية لبحيرة المنيعية، لأجل ذلك

أجرينا مجموعة من التحاليل الفيزيو كيميائية للبحيرة.

من اجل التسيير الأمثل للمياه الجوفية للمنطقة، قمنا بدراسة التوازن المائي للبحيرة من خلال معرفة حجم المياه المكتسبة

والمفقودة ومصادر تعبئتها وإنجاز بعض التحاليل لمعرفة مدى التلوث.

**كلمات مفتاحية:** طبقة مياه جوفية، المنيعية، هيدروولوجي، التوازن المائي، البحيرة.

Le but de ce travail est de faire une étude piézométrique et hydrochimique des eaux de la nappe phréatique du lac de El Goléa pour cela on a fait quelque analyses physico-chimique du lac.

Pour une gestion optimale des eaux souterraines de la région, nous avons étudié le bilan hydrique du lac à travers les connaissances apport et perte du volume d'eau et des sources d'eau et l'achèvement de certaines analyses pour déterminer l'étendue de l'étendue de la pollution ?

**Mots-clés :** Nappe phréatique, El Goléa, hydrologique, bilan hydrique, lac.

## Summary

The aim of this work is to carry out a piezometric and hydro chemical study of the waters of the groundwater of the lake of El Goléa for which some physicochemical analyzes of the lake have been carried out.

For optimal management of the groundwater in the area, we have studied the water balance of the lake through the knowledge and loss of water volume and water sources and the completion of certain analyze to determine the extent of the extent of pollution ?

Keywords: Water table, El Goléa, hydrological, water balance, lake.