

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de TLEMCCEN
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

Présenté par

ALI BIDA Amel &DJELTI Ikram

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

En Hydrogéologie

Thème

Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe d'El
Kasdir (Chott El Gharbi- Ouest algérien).

Soutenu le 06/07/2017, devant le jury composé de :

Président	Mr BOUANANIA	Professeur	Université de Tlemcen
Encadreur	Mr BOUDJEMA.A	M.C.B	Université de Tlemcen
Co-Encadreur	M ^{me} BOUDJEMA.S	M.A.A	Université de Tlemcen
Examineur	M ^{me} MAHILL	M.A.A	Université de Tlemcen

المساهمة في الدراسة الهيدروجيوكيميائية للطبقة المائية الحرة للقصدير (الشط الغربي-الغرب الجزائري)

ملخص:

تنتمي منطقة القصدير إلى الشط الغربي، تقع في الغرب الجزائري . تتميز بمناخ جاف و وجود نوعين من التضاريس، القديمة تنتمي الى العصر الثانوي تبرز على حواف الحوض ، والحديثة تنتمي الى العصر الرباعيتملاً قيعان الوديان والمنخفضات الحالية . تتواجد موارد مياه الشط الغربي في الجزء الشمالي الغربي من ولاية النعامة على شكل منخفض طويل. الطبقات المائية السطحية للقصدير تتكون من تشكيلات الكربونية، وأحياناً من الرمال والحصى الرملي للعصر الحديث. الهدف من هذا البحث هو توضيح نوعية مياهالآبار المتواجدة في منطقة القصدير.نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيميائية اثبتت صلاحية هذه المياه من اجل الاستهلاك للشرب و الري .

انطلاقاً من مخطط شولر وبركالوف، يوجد ثلاثة انواع من التقسيمات الكيميائية: كبريتات الكالسيوم بالنسبة لغالبية الآبار(بئر 1، بئر 2، بئر 3)، وكبريتات المغنيزيوم م (بئر 5) و بيكربونات المغنيزيوم (بئر 2)، حسب بيير، المياه تنتمي الى قسم الكلوريدات وكبريتات الكالسيوم و المغنيزيوم.

الكلمات المفتاحية: القصدير، الشط الغربي، طبقة مائية سطحية، مياه الشرب، الري.

Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe d'El Kasdir (Chott El Gharbi-Ouest algérien).

Résumé :

El Kasdir est une localité appartenant au Chott El Gharbi, situé dans l'Ouest algérien. Il est caractérisé par un climat aride et par la présence de deux groupes de terrains, anciens appartenant au Secondaire et affleurant sur les bordures du bassin et récents, du Quaternaire comblant les fonds de vallées et les dépressions actuelles. Les ressources en eau du Chott El Gharbi se situe dans la partie nord-ouest de la Wilaya de Naâma et se présente sous forme d'une longue dépression. La nappe superficielle d'El Kasdir est constituée des formations carbonatées, parfois par des sables et des graviers gréseux d'âge Mio-Pliocène.

Le présent travail a pour but de donner un aperçu qualitatif des eaux des forages de la région d'El Kasdir. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré qu'elles sont bonnes pour la consommation humaine et admissible, pour l'irrigation d'après le diagramme de Riverside.

Selon le diagramme de Schöeller – Berkaloff, trois familles de faciès chimiques ont été distinguées : sulfatée calcique pour la majorité des forages (F1.F3.F4) et sulfatée Magnésienne pour les forages (F5) et bicarbonatées Magnésienne (F2). D'après Piper, les eaux ont un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

Mots clés : El Kasdir, Chott El Gharbi, nappe superficielle, eau de consommation, irrigation.

Contribution of hydrogeochemical study of the unconfined aquifer of El Kasdir (Chott El Gharbi- Algerian-west)

Abstract:

El Kasdir is a locality belonging to Chott El Gharbi, located in western Algeria. It is characterized by an arid climate and by the presence of two groups of lands, formerly belonging to the Secondary and flushing on the borders of the basin and recent, Quaternary filling the valley bottoms and the current depressions. The water resources of Chott El Gharbi are located in the northern-west part of the Wilaya of Naama and are in the form of a long depression. The surface water table of El Kasdir is composed of carbonate formations, sometimes gravel sand and gravel of Mio-Pliocene age.

The purpose of this work is to give a qualitative overview of the waters of the drilling of the El Kasdir region. The results of the physico-chemical analyzes showed that they are good for human consumption and admissible for irrigation.

According to the Schöeller - Berkloff diagram, two families of chemical facies were distinguished: sulphated calcic for the majority of drilling (F1.F3.F4), sulphate magnesium for drilling (F5) and bi-carbonate magnesium for drilling (F2). According to Piper, the waters have a chloride and sulphated calcium and magnesium facies.

Key words:El Kasdir, Chott El Gharbi, unconfined aquifer, drinking water, irrigation.

Liste des figures

N°	Titre de figure :	Page
Fig.1	Localisation du chott el Gharbi (BNEDER)	02
Fig.2	Localisation de la zone d'étude (googleearth)	03
Fig.3	Traits morphologiques en 3 D de la zone d'étude (<i>BENSAID A., 2006</i>)	04
Fig.4	Réseau hydrographique du Chott El Gharbi (MAHAMMED D.M, 2012).	06
Fig.5	Carte géologique de la région d'El Kasdir (extraite de la carte géologique du Chott El Gharbi)	09
Fig.6	Carte des épaisseurs du niveau très résistant (d'après CGG, 1973, 1974)	11
Fig.7	Variation des températures moyennes annuelles, à la station de Mécheria	13
Fig.8	Histogramme des températures moyennes mensuelles	14
Fig.9	Variations interannuelles des précipitations, à la station de Mécheria (1987-2016)	15
Fig.10	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1987-2016)	17
Fig.11	Histogramme des précipitations saisonnières, à la station de Mécheria	18
Fig.12	Histogramme de distribution de la vitesse moyenne mensuelle du vent	19
Fig.13	Histogramme des variations d'humidités moyennes mensuelles (1987-2016)	20
Fig.14	Diagramme Ombrothermique de la station de Mécheria	21
Fig.15	Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne	23
Fig.16	Abaque de l'indice d'aridité mensuel de De Martonne	24
Fig.17	Climagramme d'EMBERGER	27
Fig.18	Histogramme du pH (2016)	34
Fig.19	Histogramme de conductivité (2016)	35
Fig.20	Histogramme de minéralisation (2016)	36
Fig.21	Histogrammes des paramètres chimiques, dissous dans les eaux des forages	38
Fig.22	Le diagramme de SCHOELLER –BERKALOFF (2016)	42
Fig.23	Diagramme de Piper	43
Fig.24	Qualité des eaux d'irrigation (diagramme de Wilcox).	46

Liste des tableaux

N°	Titre du tableau :	Page
Tab.1	Besoins de production pour la zone du Chott El Gharbi	05
Tab.2	Evolution des températures moyennes annuelles de la station de Mécheria (1987-2016)	13
Tab.3	Moyennes mensuelles des températures en (°C) pour la station de Mécheria (1987 - 2016)	14
Tab.4	Moyennes annuelles des précipitations en (mm), pour la station de Mécheria (1987- 2016)	15
Tab.5	CP calculé à la station de Mécheria (1987-2016)	16
Tab.6	Les moyennes mensuelles des précipitations en (mm), à la station de Mécheria (1987 – 2016)	17
Tab.7	Valeurs des précipitations saisonnières, à la station de Mécheria	18
Tab.8	Vitesses moyennes mensuelles (km/h) du vent, à la station de Mécheria	19
Tab.9	moyennes mensuelles d'humidité relative (%), enregistrées à la station de Mécheria (1987-2016)	20
Tab.10	Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures	21
Tab.11	Classification des climats, en fonction des indices d'aridité annuelle(I)	22
Tab.12	Classification des climats, en fonction des indices d'aridité mensuels	24
Tab.13	Valeurs des indices mensuels, selon Moral à la station de Mécheria	25
Tab.14	Les types de mois, selon Moral	26
Tab.15	L'ETP calculé par la méthode de Thornthwaite	28
Tab.16	L'ETP calculé par la méthode de SERRA	29
Tab.17	L'ETP et L'ETR calculées par différentes méthodes	30
Tab.18	Qualité de l'eau, en fonction de la conductivité électrique. (<i>RODIER, 1984</i>)	34
Tab.19	Calcul de la minéralisation, à partir de la conductivité (Rodier, 2009)	35
Tab.20	Relation entre la conductivité et la minéralisation (HIDAOUI A. LOUANNAS A., 2015)	36
Tab.21	Calcul de la minéralisation	36
Tab.22	Les faciès chimiques des eaux	42
Tab.23	Valeurs du K.R (2016)	44
Tab.24	Classification des eaux d'irrigation, selon les (% Na)	45
Tab.25	Résultats du S. A. R (2016)	47
Tab.26	Classification des eaux d'irrigation d'après J. Servant,1975, (U.S.Salinity L.A.B.)	48

Abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux.

BNERDER : Bureau National d' Etudes pour le Développement Rural

Hm³: Hectomètre cube

Ha : Hectare

BI : Balance Ionique

Ca²⁺: Ion Calcium

CE: Conductivité Electrique

Cl : Chlorures

C.M.A : Concentration maximale admissible

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETPc: Evapotranspiration Potentielle corrigée

ETR : Evapotranspiration Réelle

F : forage

H₃O⁺ :Hydronium

HCO₃⁻: Ion Bicarbonates

Hr : humidité relative

K⁺ Potassium

KR: Kelly's Ratio

meq/L : milléquivalent par litre

Mg²⁺: ion Magnésium

Na⁺ : Ion Sodium

N.G. norme guide

NO₃⁻ : Nitrates

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

P : Précipitations

pH : potentiel d'Hydrogène

r : quantité en réaction

SAR : Sodium Absorption Ratio.

SO₄²⁻: Ions Sulfates

T : Température

Remerciements

Dédicaces

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviations

INTRODUCTION GENERALE 01

PARTIE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I. CADRE GEOGRAPHIQUE..... 02

2. FORMES ET RELIEFS 03

3. LES BESOINS EN EAU 05

4. LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE..... 05

II. CADRE GEOLOGIQUE..... 06

1. STRATIGRAPHIE..... 07

2. APERÇU TRUCTURAL 09

II CADRE HYDROGÉOLOGIQUE 10

1. LES FORMATIONS AQUIFERES 10

2. SYNTHÈSE DES ÉTUDES GÉOPHYSIQUES ET COUPES-LOGS RÉALISÉES
DANS LA RÉGION D'ÉTUDE 11

IV CADRE CLIMATOLOGIQUE 12

1. ÉTUDE DES PARAMÈTRES 12

1.1. Etude des températures 12

1.1.1. Températures moyennes annuelles..... 13

1.1.2. Températures moyennes mensuelles 14

1.2. Etude des précipitations 14

1.2.1. Précipitations moyennes annuelles 14

1.2.2. Coefficient pluviométrique 16

1.2.3. Précipitations moyennes mensuelles 17

1.2.4. Précipitations Saisonnières 18

1.3. Vitesse du vent 18

1.4. L'humidité relative 19

2. SYNTHÈSE CLIMATIQUE 20

2.1. Méthode graphique 20

a-	Diagramme pluvio-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN	20
2.2.	Indices climatiques	22
2.2.1.	L'indice d'aridité de De Martonne	22
a-	Indice d'aridité annuel (I)	22
b-	Indice d'aridité mensuel (i)	23
2.2.2.	Indice de Moral (Ia)	25
a-	L'indice annuel de Moral	25
b-	Indice mensuel de Moral (Im)	25
2.2.3.	Indice climatique d'EMBERGER	26
3.	EVAPOTRANSPIRATION ET DEFICIT D'ECOULEMENT	27
3.1.	L'évapotranspiration	27
3.1.1.	L'évapotranspiration potentielle (ETP)	27
a-	Formule de Thornthwaite	28
b-	Formule de SERRA	28
3.1.2.	Evapotranspiration réelle (ETR)	29
	CONCLUSION	30
PARTIE II : ÉTUDE HYDROGÉOCHIMIQUE		
I.	INTRODUCTION	32
II.	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	32
III.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	33
1.	Normes de potabilité	33
2.	Paramètres physiques	33
3.	Paramètres chimiques	38
3.1	Interprétation des histogrammes	39
IV.	REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES DE L'EAU	41
1.	Faciès chimiques et formules caractéristiques	41
1.1.	Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	41
1.2.	Diagramme de PIPER	43
V.	APTITUDES DES EAUX A L'IRRIGATION	44
1.	L'indice de Kelly's Ratio (K.R)	44
2.	Le pourcentage en sodium (% Na)	45
3.	Sodium Absorption Ratio (S.A.R)	46

VI. CONCLUSION	48
CONCLUSION GÉNÉRALE	50
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE:

L'eau a toujours constitué une problématique complexe à l'approvisionnement en eau des citoyens. De ce fait et devant la rareté des ressources en eau dans les localités au Nord de la wilaya de Naâma, au Sud de la Wilaya de Tlemcen et à l'Ouest de la Wilaya de Sidi Bel Abbès, l'État réalise un grand projet de transfert d'eau en Algérie, intitulé « *projet de transfert des eaux de la nappe du Chott El Gharbi* », après celui du transfert des eaux d'In Salah vers Tamanrasset.

Ce travail est une contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe superficielle d'El Kasdir qui fait partie du Chott El Gharbi, afin d'étudier la qualité des eaux de cette zone. Il est subdivisé en deux parties :

I- Présentation de la zone d'étude :

Cadre géographique : Concerne la situation géographique de la zone d'étude, et les aspects relief, géomorphologie et besoins en eau.

Cadre climatologique: nous présentons une étude climatologique qui permet de déterminer le climat de la zone d'étude, ainsi que les variations des températures et des précipitations dans une période donnée.

Cadre géologique : présente une synthèse géologique, afin de déterminer les formations géologiques existantes qui peuvent être aquifères.

Cadre hydrogéologique : présente une synthèse hydrogéologique pour identifier les aquifères de la région d'étude.

II- Etude hydrogéochimique :

Où nous interprétons les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de quelques forages que nous avons pu obtenir d'El Kasdir, afin de déterminer les faciès chimiques et l'aptitude des eaux de point de vue potabilité et irrigation.

Et à la fin, nous présentons une ***conclusion générale*** qui englobe les principaux résultats de cette initiation à l'étude hydrogéochimique de la nappe d'El Kasdir.

PARTIE I :
PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Cadre géographique

Cadre géologique

Cadre hydrogéologique

Cadre climatologique

I. CADRE GEOGRAPHIQUE :

Chott El Gharbi est située dans l'Ouest algérien, il concerne les trois wilayas de l'extrême nord-ouest algérien (la wilaya de Naâma, la wilaya de Tlemcen et la wilaya de Sidi Bel Abbès). Il fait partie du secteur appelé hautes plaines oranaises, il est limité (Fig.1) :

- A l'Ouest, par la frontière algéro-marocaine.
- Au Nord, par Djebel Abed et le Djebel de Ras El Ma.
- A l'Est, par le Djebel Antar, surplombant la ville de Mécheria.
- Au Sud-Est, par le Djebel Guetab et les Monts des Ksours.

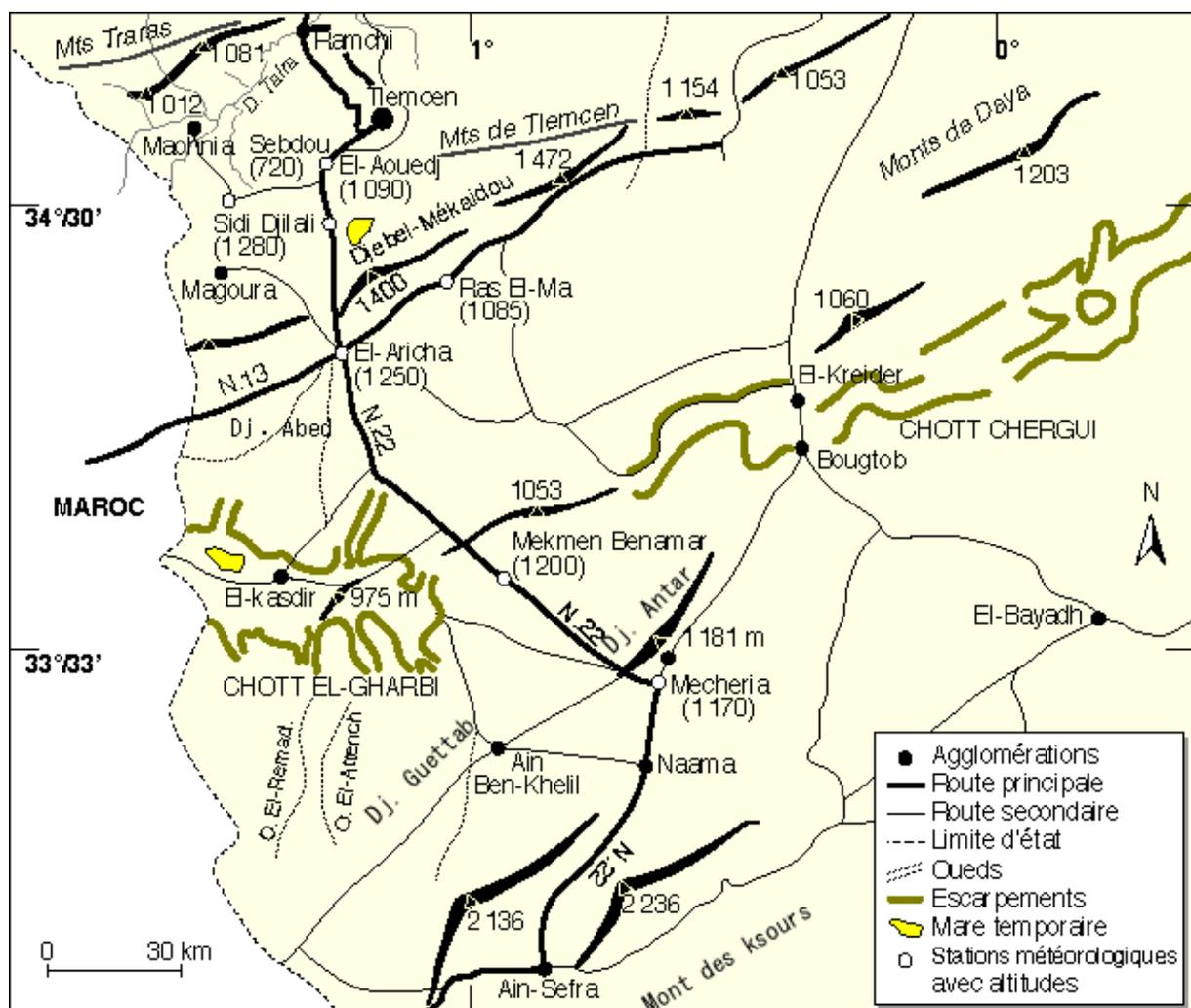


Fig.1 Localisation du chott el Gharbi (BNEDER).

Notre zone d'étude, dénommée « El Kasdir» fait partie du Chott El Gharbi, elle est limitée par les coordonnées longitude: $1^{\circ}23'11.4''\text{O}$ et $1^{\circ}10'32.16''\text{O}$, et latitude : $33^{\circ}27'42.48''\text{N}$ et $33^{\circ}41'52.8''\text{N}$, a des caractéristiques spécifiques sur le plan climatique et hydrogéologique, présentant ainsi un potentiel hydrique important ,pour cela les autorités concernées ont opté pour exploiter ses ressources pour alimenter les trois wilayas : Tlemcen, Sidi Bel Abbès, et Naâma. Elle est limitée (Fig.2) :

- A l'Ouest, par El Hamra.
- Au Nord, par Bouterkine.
- A l'Est, par Garet el Begar.
- Au Sud, par Bab Errachidia.

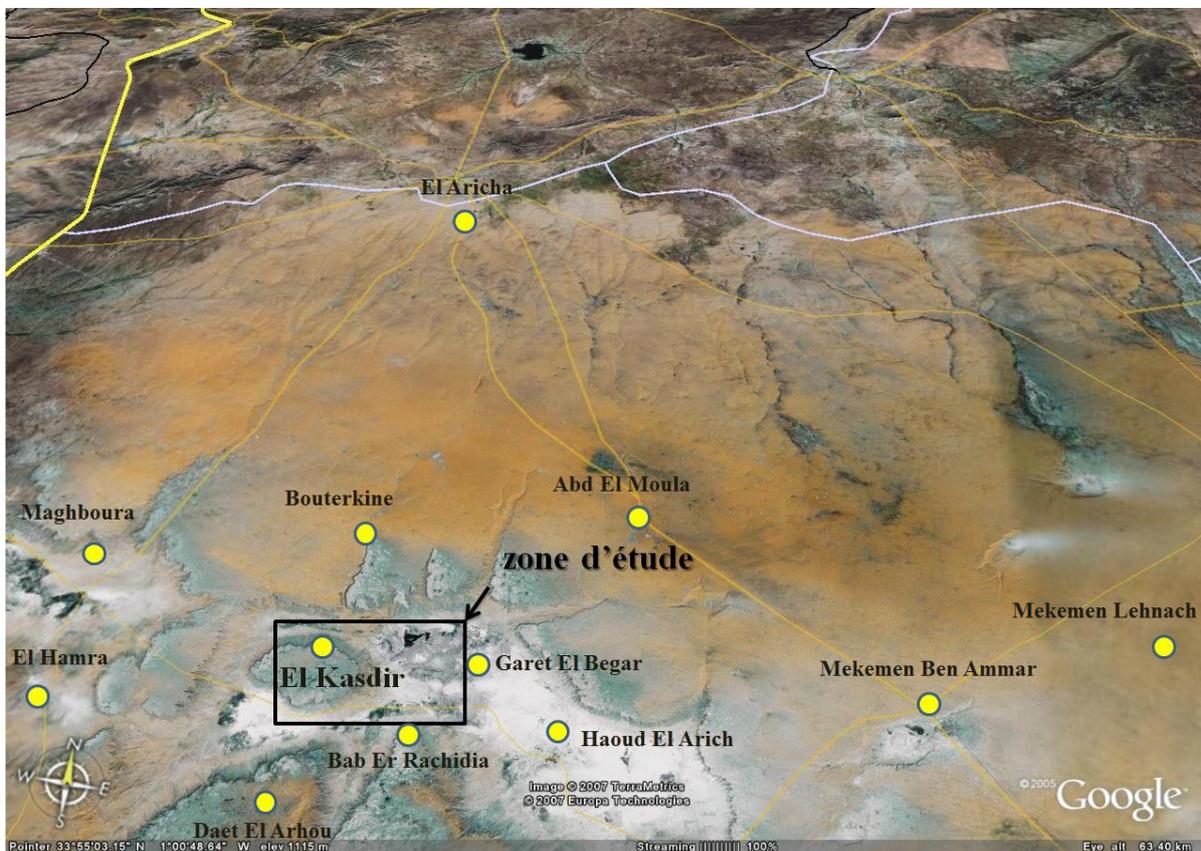


Fig.2 Localisation de la zone d'étude (google earth)

2. FORMES ET RELIEFS :

L'occupation du sol d'El Kasdir qui appartient au territoire steppique algérien, renferme trois formes géomorphologiques importantes:

2-1 Les Djebels :

Au Nord de la région d'étude s'étend les Djebels Sidi El Abed et Mekaidou qui culminent respectivement à 1500 m et 1434m. Les versants nord de ces reliefs sont beaucoup plus abrupts et fournis en végétations. Le Djebel Mekaidou, de forme arrondie a des versants qui sont affectés par un dépôt conglomératique, ses pentes ne dépassent pas les 20%. Les formations dolomitiques et marneuses sont apparues au niveau de Djebel Sidi El Abed (BOUHAFS M., 2013).

2-2 Les surfaces plus ou moins planes :

Ces surfaces correspondent aux glacis. Elles sont constituées par des dépôts alluviaux, d'âge et d'origine différents, se raccordant à des terrasses fluviatiles, parfois lacustres (BOUHAFS M., 2013).

2-3 Les dépressions :

C'est le cas du Chott-El-Gharbi qui est affecté par des dépôts fins. Il est entouré par les escarpements et les encaissements (BOUHAFS M., 2013).

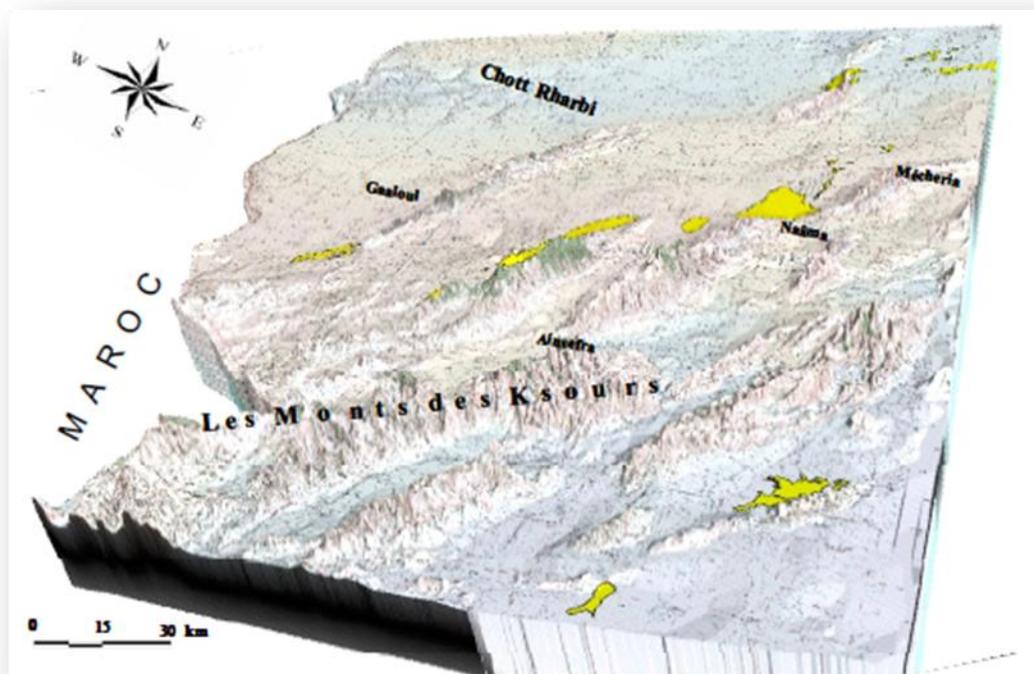


Fig.3 Traits morphologiques en 3 D de la zone d'étude (BENSAID A., 2006)

3. LES BESOINS EN EAU :

3-1 Besoins pour l'alimentation en eau potable:

Suivant les statistiques démographiques, la consommation spécifique, le rendement de distribution et celui de l'adduction du 2005 au 2015, les besoins de production de la nappe du Chott El Gharbi pour l'alimentation en eau potable sont :

Tab.1 Besoins de production pour la zone du Chott El Gharbi

Besoins	2005	2010	2015
Ouest de Sidi Bel Abbès	2968852	3135823	3346796
Nord de Naâma	312331	367259	425268
Sud de Tlemcen	4713408	5602671	6540205
Total	8120759	9261095	10498549

Source: ADE

Le projet a pour but de mobiliser 40 Hm³/an, soit 13.75 Hm³/an pour l'alimentation en eau potable des localités concernées, et 26.25 Hm³/an pour le développement territorial des trois wilayas, pour une superficie à irriguer de 6150 Ha. (ADE)

4. LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE :

Le Chott El Gharbi est alimenté en eau de ruissellement par un large réseau hydrographique (BOUHAFS M, 2013) (Fig.04) :

- Oued El- Harmel.
- Oued El –Remad.
- Oued Ber Remad.
- Oued Bouterkine.
- Oued Seheb er Hend.

Il existe des oueds qui n'aboutissent pas le Chott El Gharbi :

- Oued Mesakhksa.
- Oued Abd El – Moula.
- Oued Bou lakhsen.

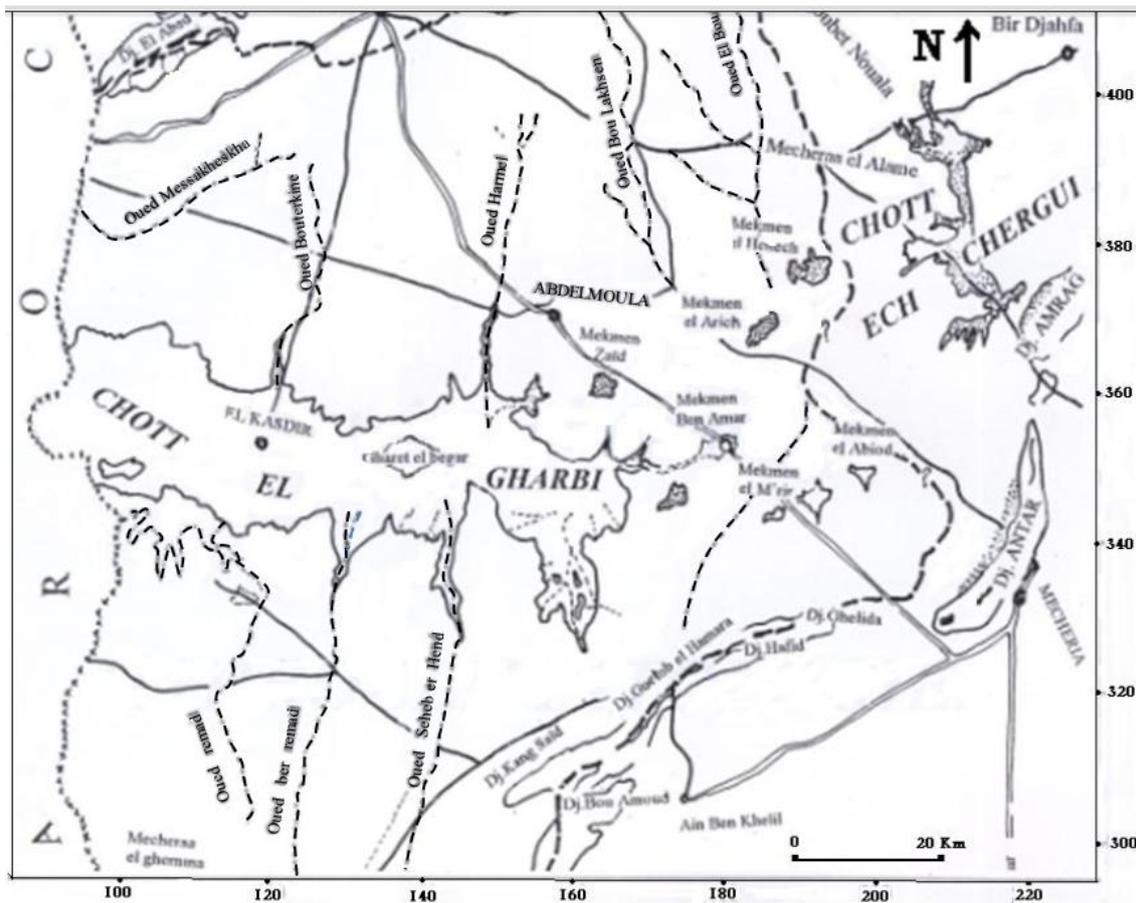


Fig.4 Réseau hydrographique du Chott El Gharbi (MAHAMMED D.M., 2012).

II. CADRE GEOLOGIQUE :

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie, car elle permet la détermination des horizons susceptibles d'être aquifères.

Notre région d'étude s'intègre dans la partie septentrionale de la plateforme saharienne, elle fait partie du bassin triasique, et est constituée de terrains continentaux épais, allant du Secondaire au Quaternaire et reposant sur un socle hercynien. Les domaines qui bordent Chott El Gharbi au Nord, sont le flanc sud des Monts de Tlemcen et de Daïa, à savoir les Hautes plaines et au Sud, l'extrémité occidentale de l'Atlas Saharien représentée par les Monts des Ksour. (MAHAMMAD D.M., 2012)

- Les Hautes Plaines Oraïses : formées de terrains jurassiques avec une altitude de 1000 à 1300 m. Le Primaire y apparaît au Horst de Rhar Roubane, et est recouvert par un Lias calcaire-dolomitique.

- Les Monts des Ksour : c'est une structure complexe de chaînons élevés, à l'exemple de Djebel Aïssa qui culmine à 2235 m au Nord-Est. Les unités masquant le socle vont du Trias au Crétacé. Le raccordement des Hautes plaines dans leur partie sud avec les Monts des Ksour se fait par l'intermédiaire de l'accident nord-atlasique. (MAHAMMAD .D.M, 2012)

1. STRATIGRAPHIE :

Cette synthèse géologique a été inspirée du travail de MAHAMMAD .D.M (2012), et à partir de la lithologie des Logs des forages analysés.

La succession litho-stratigraphique observée aussi bien sur les reliefs, qu'au centre du bassin est la suivante, avec de bas en haut :

1.1. Le Primaire : à signaler une séquence granitique développée en association avec les dépôts carbonifères acides.

1.2. Le Secondaire :

1.2.1. -Le Trias : les terrains les plus anciens qui affleurent, par endroits dans la région correspondent à des formations gypso-salines, accompagnées de basaltes.

1.2.2. -Le Jurassique et le Crétacé :

a- Versant nord du Chott El Gharbi :

- **Le Lias :** caractérisé par une sédimentation de dolomies et de calcaires gris, les affleurements du Djebel Sidi El Abed montrent un Lias carbonaté.

- **L'Aaléno-Bajo-Bathonien :** cet étage débute par des marnes bariolées dolomitiques bien réparties dans les Monts de Tlemcen, au niveau du Djebel Tenouchéfi, Djebel Sidi El Abed, ces dépôts sont souvent dolomitiques et massifs, ils deviennent calcaire-dolomitiques au Sud.

Dans la cuvette du Chott, ils se présentent sous forme d'une alternance de dolomies, grés et marnes.

- **Le Callovo -Oxfordien :** visible au Nord -Est, dans les monts de Daïa, représenté par des dolomies, d'environ 100 m d'épaisseur.

- **Le Kimméridgien-Portlandien :** présent dans les Monts de Daïa, représenté par des dolomies, d'environ 100m d'épaisseur.

- **Le Crétacé** : représenté par de puissantes formations carbonatées et gréseuses, l'ensemble affleure sur une épaisseur de 100 à 200 m.

b- Versant Sud et Sud –Est du Chott El Gharbi :

Les terrains secondaires affleurent au Sud, au Djebel Guetab El Hamra et au Djebel Hafid, ainsi que dans le Djebel Antar de Mécheria et Djebel Amrag au Nord -Est. Ils sont représentés par un faciès calcaire- dolomitique.

1.2.3. Le Jurassique inférieur et moyen : est un ensemble constant de calcaires dolomitiques et de dolomies massives, épais jusqu'à 1000 m dans l'Atlas saharien, diminue sensiblement à la périphérie des hautes plaines, pour ne pas dépasser 400 à 500 m (Kieken, 1962, in Mahammad .D.M, 2012). Le Jurassique inférieur et moyen se localise au niveau d'anticlinaux à cœur érodé comme au Nord de la région de Mécheria, où le grand anticlinal entre Djebel Er Reha et Djebel El Arar. (Mekahli 1995,1998 in Mahammad .D.M, 2012). La structure anticlinale s'ennoie progressivement sous les formations tertiaires et quaternaires, en particulier sous le Chott El Gharbi.

1.2.4. Le Jurassique supérieur : où le Callovo -Oxfordien est caractérisé par des marnes entrecoupées de bancs gréseux.

1.2.5. Le Crétacé inférieur : dans les hautes plaines steppiques, les faciès gréseux sont présents. Ils s'étalent de la fin du Jurassique jusqu'au Cénomaniens, mais en puissance réduite. L'Albien est représenté par des grès à dragées de quartz et de sables continentaux, avec une puissance de 50 à 100m.

1.2.6. Le Crétacé supérieur : le Cénomaniens est caractérisé par des marnes argileuses à versicolores à présence d'évaporites. Les conglomérats de base sénoniens sont surmontés par environ 200m d'argiles et de bancs gypseux, au sommet.

1.3. Le Tertiaire et le Quaternaire :

Au Miocène, le bassin de Chott El Gharbi commence à s'évoluer pour arriver à sa forme endoréique fermée et isolée de la mer. La subsidence, ensuite l'érosion lui ont permis d'acquérir son état actuel. Le remplissage Mio-Pliocène du Chott débute, en général par des brèches argileuses à éléments calcaires, surmontées par des marnes ou

marno-calcaires. Ce remplissage se termine par une carapace calcaire, constituant les falaises qui bordent le Chott.

Les formations quaternaires sont peu épaisses, c'est des alluvions récentes comblant le fond d'oueds ainsi que des sables, sous forme de dunes.

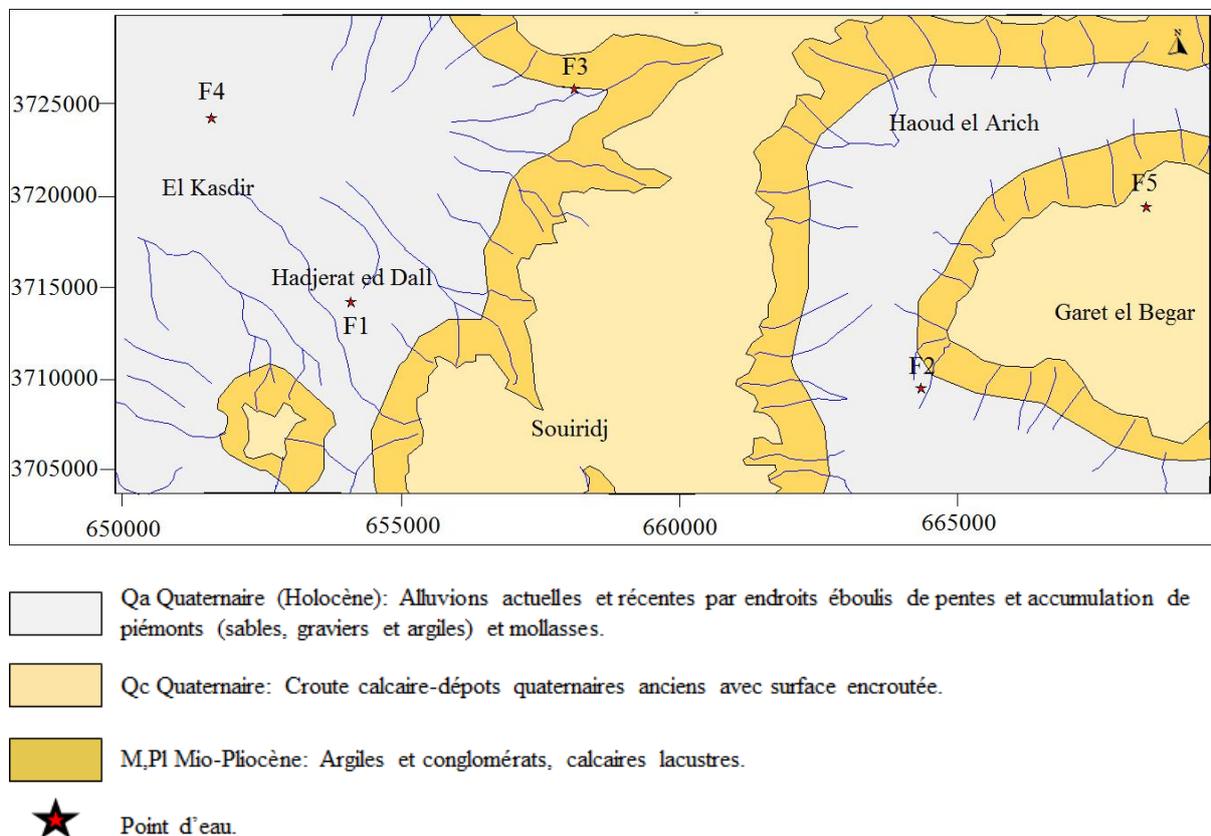


Fig.5 Carte géologique de la région d'El Kasdir (extraite de la carte géologique du Chott El Gharbi)

2. APERÇU STRUCTURAL :

Le bassin du Chott El Gharbi est bordé de part et d'autre par de grandes failles transversales dépassant les 1000 mètres (faille Nord Atlasique bordant les Monts des Ksour ainsi que celle qui borde le versant sud des Monts de Sidi El Abed).

Dans les hautes plaines et essentiellement dans le Chott, le socle est masqué par un revêtement de terrains secondaires qui sont sujettes aux déformations de la surface du socle, donnant une série d'anticlinaux se relayant avec des synclinaux, affectés par une multitude d'accidents Nord, Ouest-Sud- Est et Nord-Est, Sud-Ouest.

III. CADRE HYDROGÉOLOGIQUE :

1. LES FORMATIONS AQUIFERES :

L'analyse litho-stratigraphique des forages réalisés dans la région d'étude (fig.n° 1, 2, 3, 4,5 des forages, en annexes) nous a permis d'identifier les différentes nappes, présentées comme suit :

1.1. Nappe des alluvions Quaternaires :

Les alluvions du Quaternaire peuvent constituer des aquifères à potentiel hydrique local, lorsqu'elles occupent les dépressions. Ce sont de petits aquifères qui peuvent fonctionner de manière indépendante. L'épaisseur des niveaux sableux perméables varie entre 10 et 30m (MAHAMMED D.M., 2012). Cette ressource est généralement exploitée par des puits pour des besoins locaux. L'alimentation se fait directement par infiltration des eaux de pluie ou par ruissellement.

1.2. La nappe des calcaires lacustres du Mio-Pliocene:

Elle est captée par des puits peu profonds. Elle se trouve dans la partie septentrionale du bassin du Chott dans des passées de calcaires lacustres lenticulaires. L'étude géophysique faite par MAHAMMED .D.M, en 2012 a montré l'intérêt de cette nappe, du point de vue hydrogéologique, qui s'étale sur 5600km².

1.3. La nappe du Barrémo-Albien:

Elle est représentée par des grès continentaux, dont l'épaisseur varie entre 150-200 m au niveau de la dépression du Chott (MAHAMMED D.M., 2012). Son mur est constitué essentiellement par les marnes entrecoupées par de minces bancs gréseux du Callovo-Oxfordien. Le toit est représenté par les marnes argileuses du Cénomani.

1.4. La nappe des calcaires dolomitiques du Bajo-Bathonien :

D'une épaisseur de 100 à 200m (MAHAMMED D.M., 2012). Le mur est formé soit par des argiles gypsifères avec des venues éruptives triasiques, soit par des marno-calcaires du Lias supérieur. Ces calcaires dolomitiques affleurent également à l'Est et au Sud-Est au niveau du Djebel Antar et Djebel Amrag. Au Nord, ces formations sont rencontrées au Djebel

Ténouchefi et Djebel Sidi el Abed, ainsi que dans les Monts de Daïa. (MAHAMMED D.M., 2012)

2. SYNTHÈSE DES ÉTUDES GÉOPHYSIQUES ET COUPES-LOGS RÉALISÉES DANS LA RÉGION D'ÉTUDE:

Dans les années soixante-dix, un vaste programme de recherche des potentialités hydriques a été entrepris pour promouvoir les régions des hauts plateaux à vocation pastorale. Ainsi un certain nombre de campagnes géophysiques (Compagnie Générale de Géophysique-CGG 1973,1974) ont été exécutées, afin d'identifier les formations et de préciser les structures géologiques dans le but de réaliser des captages d'eaux profonds. Afin de préciser l'allure des différentes formations présentées précédemment, du moins celles ayant un intérêt hydrogéologique, nous présentons les résultats géophysiques menés dans notre zone d'étude.

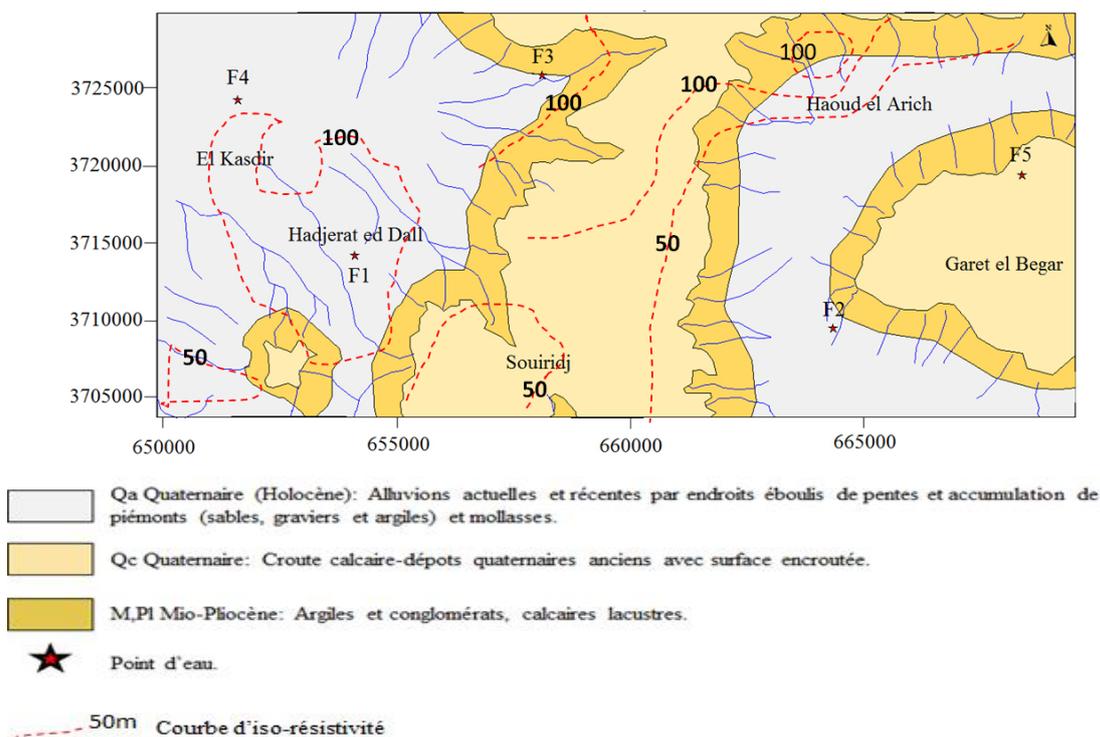


Fig.6 Carte des épaisseurs des niveaux très résistants (d'après CGG, 1973, 1974)

Les études Géophysiques portées sur la zone d'étude ont révélé que les épaisseurs des niveaux résistants (formations calcaireuses) dans la partie nord et nord-ouest sont plus importantes que dans les autres zones de la région (fig. 6).

Aussi à travers les forages réalisés dans la zones d'étude, nous pourrions distinguer que la nappe superficielle d'âge Mio-Pliocène est constituée :

- Dans la partie sud-ouest (F1) et au Sud-Est (F2), d'un ensemble calcaireux à calcaire-dolomitique, avec intercalations de graviers, de sables et d'argiles-sableuses (fig.n°1 & fig.n°2 en annexes).
- Dans la partie nord-est (F5), par un ensemble gréseux parfois sableux avec passées d'argiles, devenant vers la base et le sommet des calcaires (fig.n°5 en annexes).
- Dans les parties nord (F3) et nord-ouest (F4), par un ensemble de grès, de graviers, et de quelques passées d'argiles et de sables, devenant vers la base des calcaires friables (fig.n°3 & fig.n°4 en annexes).

IV. Cadre climatologique :

Afin de mieux caractériser le climat de la région d'El Kasdir, nous avons étudié l'évolution des paramètres climatologiques, relevés à la station météorologique de Mécheria de 1987 à 2016 (précipitations, températures, humidités et vitesses du vent) (tableaux 1, 2, 3, 4 en annexes).

-Présentation de la station météorologique de Mécheria (fig.1) :

Station : Mécheria

Type de station : météorologique

Latitudes : 33° 33' N

Longitudes : 0° 16' O

Altitudes (mètres): 1170

1. ÉTUDE DES PARAMÈTRES :

1.1. Étude des températures:

La température est un facteur très important, car elle conditionne l'évaporation et elle détermine le type du climat.

1.1.1. Températures moyennes annuelles :

Tab.2 Evolution des températures moyennes annuelles de la station de Mécheria (1987-2016)

Années	T(°C)	Années	T(°C)	Années	T(°C)
1987	17,26	1997	16,98	2007	18,83
1988	16,66	1998	17,13	2008	18,45
1989	16,28	1999	17,33	2009	19,25
1990	16,75	2000	17,34	2010	19,5
1991	15,23	2001	18,13	2011	18,89
1992	15,18	2002	17,43	2012	19,26
1993	15,73	2003	17,4	2013	18,58
1994	17,11	2004	16,84	2014	19,62
1995	16,58	2005	17,53	2015	19,03
1996	15,98	2006	18,36	2016	18,07

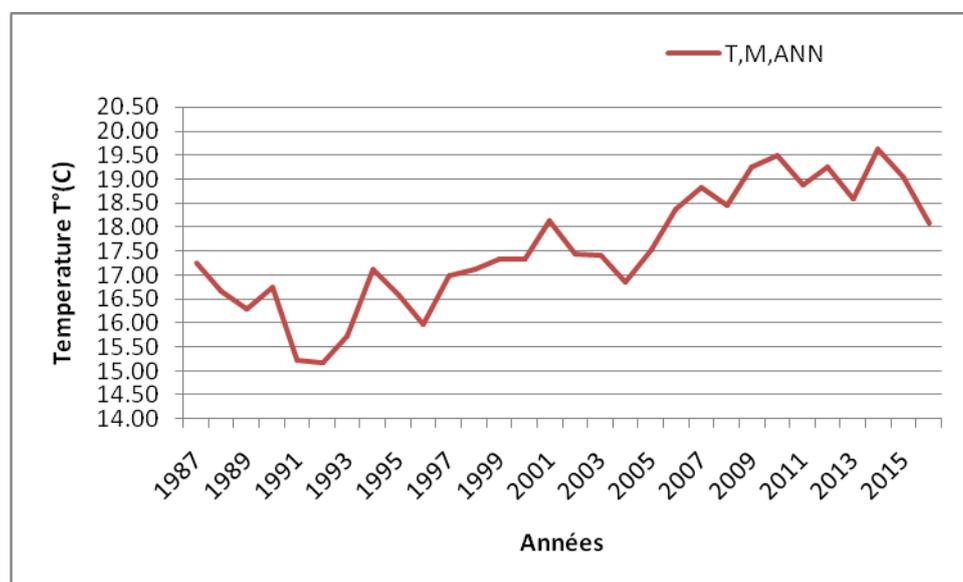


Fig.7 Variation des températures moyennes annuelles, à la station de Mécheria

D'après le schéma (Fig.7), on distingue que l'année la plus froide est celle de 1992, avec une température annuelle moyenne de 15.18 °C, et l'année 2014 est la plus chaude, où la température moyenne annuelle est de 19.62°C.

1.1.2. Températures moyennes mensuelles :

Les valeurs moyennes mensuelles des températures sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tab.3 Moyennes mensuelles des températures en (°C) pour la station de Mécheria (1987 - 2016)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Août
T°(C)	23.82	18.31	11.82	8.08	7.22	8.78	12.25	15.59	20.08	25.48	30.03	29.22

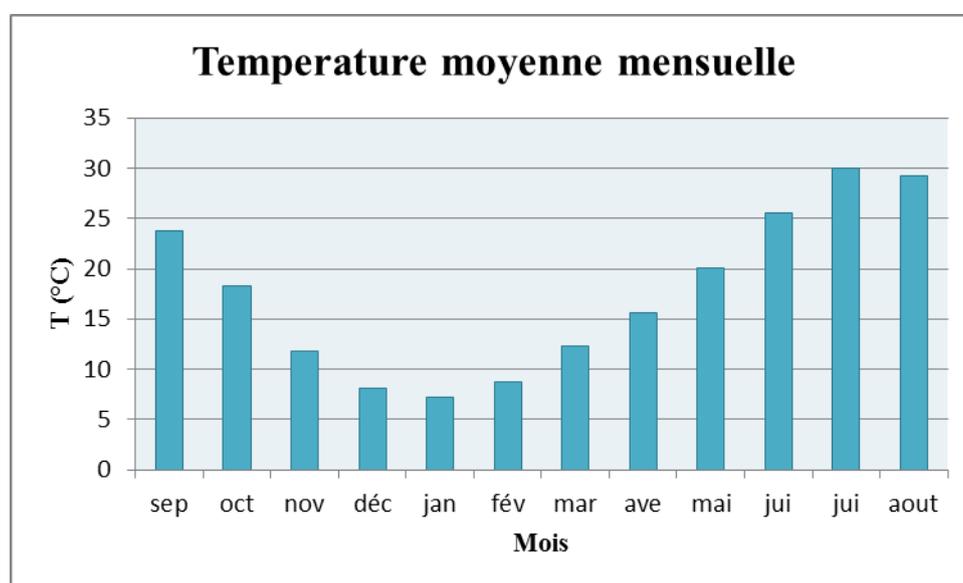


Fig.8 Histogramme des températures moyennes mensuelles

D'après l'histogramme, on distingue que :

*Janvier est le mois le plus froid, avec une valeur minimale de 7.22°C.

*Le mois le plus chaud est Juillet, avec une valeur maximale de 30.03°C.

1.2. Etude des précipitations :

1.2.1. Précipitations moyennes annuelles:

Les précipitations moyennes annuelles d'une durée de 30 ans (1987-2016) pour la station de Mécheria sont reportées dans le tableau suivant :

Tab.4 Moyennes annuelles des précipitations en (mm), pour la station de Mécheria (1987- 2016)

Années	P (mm)	Années	P (mm)	Années	P (mm)
1987	184,14	1997	151,38	2007	244,62
1988	184,39	1998	164,08	2008	468,91
1989	204,47	1999	26,42	2009	227,13
1990	383,83	2000	265,43	2010	174,06
1991	317,51	2001	98,59	2011	250,48
1992	250,93	2002	326,16	2012	297,74
1993	181,13	2003	475,01	2013	187,02
1994	338,36	2004	632,21	2014	199,67
1995	158,01	2005	168,68	2015	220,25
1996	148,09	2006	160,31	2016	228,09

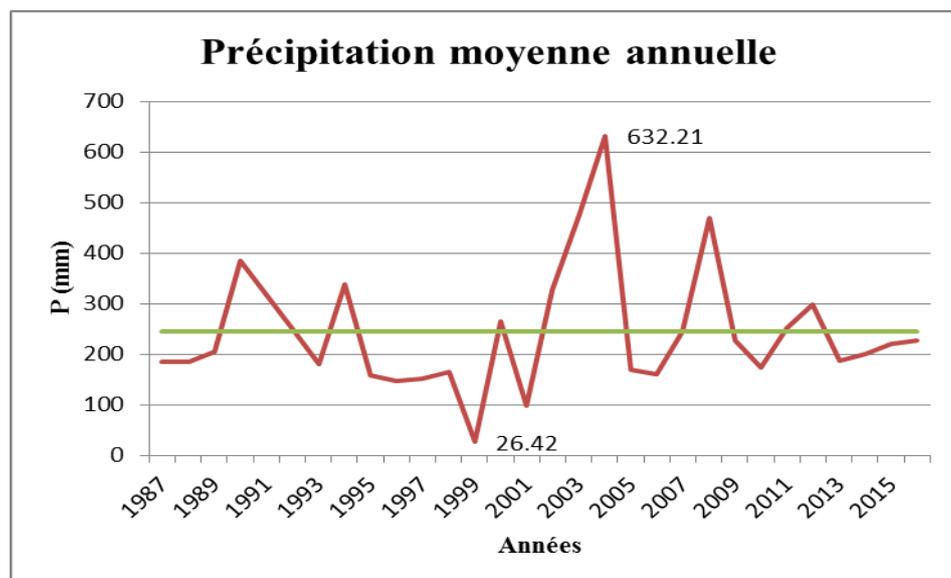


Fig.9 Variations interannuelles des précipitations, à la station de Mécheria (1987-2016)

D'après la courbe (fig.9), nous remarquons:

La moyenne interannuelle est égale à 243,9mm.

L'année 2004 est la plus arrosée, avec une précipitation de 632,21mm.

L'année 1999 est la plus sèche, avec une valeur de 26,42mm.

1.2.2. Coefficient pluviométrique :

Afin de déterminer les années excédentaires ou déficitaires, on calcul le coefficient pluviométrique, qui est le rapport entre la pluviométrie annuelle et la pluviométrie moyenne d'une série, à une station donnée.

$$CP = P / \bar{P}$$

CP: Coefficient pluviométrique

P : Pluviométrie d'une année (mm)

\bar{P} : Moyenne des précipitations (mm)

Si : **CP > 1** : l'année est **excédentaire**.

CP < 1 : l'année est **déficitaire**.

Le tableau suivant, montre les coefficients pluviométriques, calculés à la station de Mécheria, pour la période (1987 – 2016) :

Tab.5 CP calculé à la station de Mécheria (1987-2016).

Année	CP	Type de l'année	Année	CP	Type de l'année
1987	0,75	D	2002	1,34	E
1988	0,76	D	2003	1,95	E
1989	0,84	D	2004	2,59	E
1990	1,57	E	2005	0,69	D
1991	1,30	E	2006	0,66	D
1992	1,03	E	2007	1,00	E
1993	0,74	D	2008	1,92	E
1994	1,39	E	2009	0,93	D
1995	0,65	D	2010	0,71	D
1996	0,61	D	2011	1,03	E
1997	0,62	D	2012	1,22	E
1998	0,67	D	2013	0,77	D
1999	0,11	D	2014	0,82	D
2000	1,09	E	2015	0,90	D
2001	0,40	D	2016	0,94	D

Les années 1990, 1991, 1992, 1994, 2000, 2002, 2003, 2004, 2007, 2008, 2011, 2012 sont **excédentaires**. (12/30 années excédentaires).

Les années: 1987, 1988, 1989, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2005, 2006, 2009, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 sont **déficitaires**. (18/30 années déficitaires).

1.2.3. Précipitations moyennes mensuelles :

Les moyennes mensuelles des précipitations, observées durant la période (1987 – 2016) sont représentées dans le tableau ci-dessous :

**Tab.6 Les moyennes mensuelles des précipitations en (mm),
à la station de Mécheria (1987 – 2016).**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aoû
P (mm)	29.46	36.75	21.93	14.02	11.14	11.46	26.36	27.00	17.27	9.63	10.76	28.12

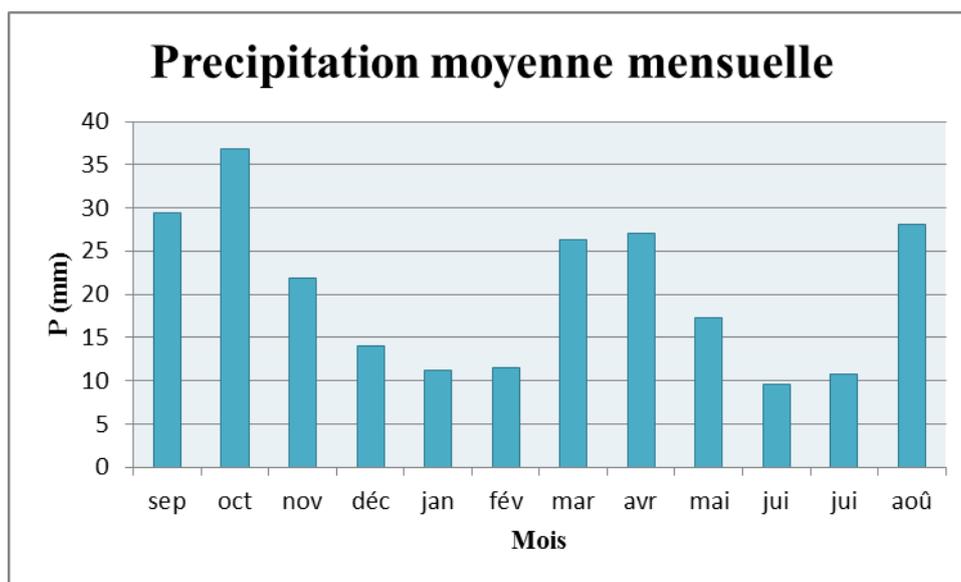


Fig.10 Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (1987-2016)

L'histogramme (fig.10) montre que :

Le mois d'Octobre correspond à la pluviométrie moyenne mensuelle maximale, avec une valeur de 36,75 mm. La valeur minimale est de 9,63 mm, enregistrée au mois de Juin.

1.2.4. Précipitations Saisonnières :

Le tab.7 et la fig.11 montrent les précipitations pendant les quatre saisons et qui sont réparties comme suit :

L'automne : Septembre, Octobre, Novembre.

L'hiver : Décembre, Janvier, Février.

Le printemps : Mars, Avril, Mai.

L'été : Juin, Juillet, Août.

Tab.7 Valeurs des précipitations saisonnières, à la station de Mécheria.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P (mm)	88,14	36,62	70,63	48,51

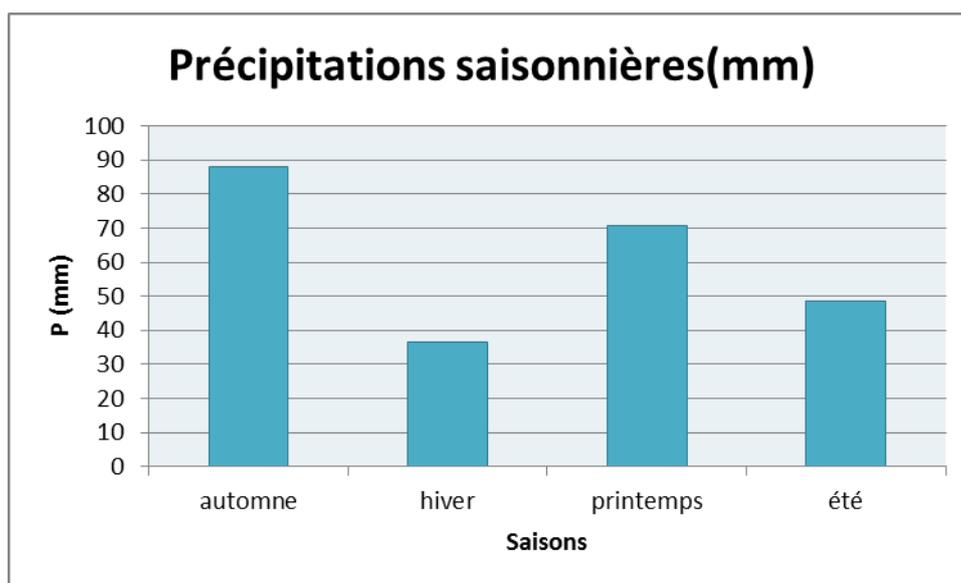


Fig.11 Histogramme des précipitations saisonnières, à la station de Mécheria

D'après l'histogramme (fig.11) :

-La saison la plus humide est l'automne (88,14mm).

-La saison la plus sèche est l'hiver (36,62mm).

1.3. Vitesse du vent:

Le vent est l'un des éléments les plus caractéristiques de la région de Mécheria, généralement fréquent durant toute l'année, il joue un rôle considérable en favorisant

l'évaporation, et il provoque le phénomène d'érosion, à partir des particules sableuses qu'il transporte.

Tab.8 Vitesses moyennes mensuelles (km/h) du vent, à la station de Mécheria

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Août
Vitesses (Km/h)	14.95	14.07	15.40	15.19	15.92	16.65	17.18	18.23	18.09	16.41	15.69	14.26

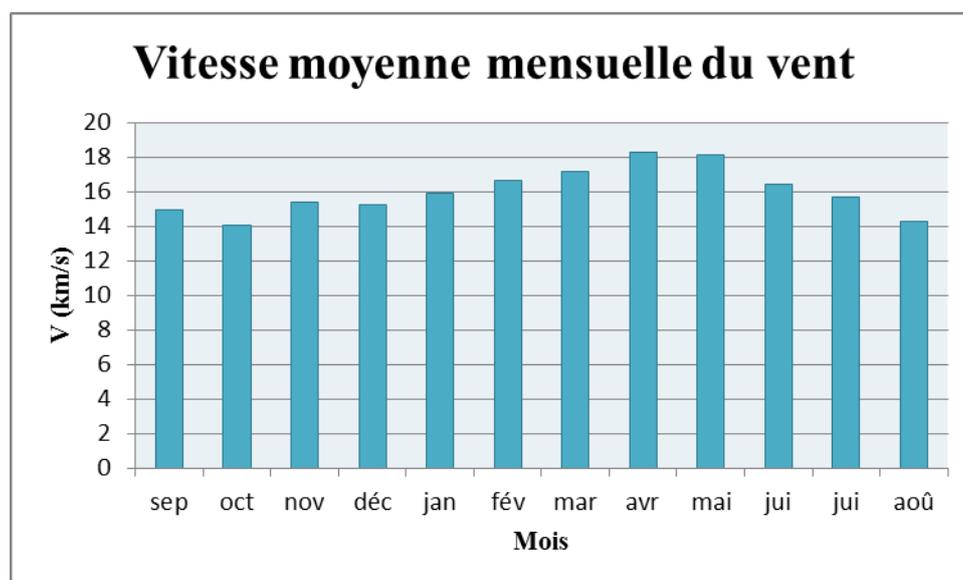


Fig.12 Histogramme de distribution de la vitesse moyenne mensuelle du vent

D'après le (Tab.8) et l'histogramme (fig.12), nous remarquons que le vent est fréquent durant toute l'année.

Les vitesses du vent s'élèvent de Janvier à Avril, avec un maximum de 18.23 km/h, enregistré au mois d'Avril, tandis que la vitesse minimale est enregistrée au mois d'Octobre (14.07 km/h).

1.4. L'humidité relative :

L'humidité relative représente le taux en (%) de vapeur qui existe réellement dans l'air et l'extrême intensité de vapeur que l'air peut porter (DJOUADI A. et OUBELAID A., 2015) Le tableau suivant donne les valeurs moyennes mensuelles d'humidité relative, mesurées sur la période (1987-2016).

**Tab.9 moyennes mensuelles d'humidité relative (%), enregistrées
à la station de Mécheria (1987-2016)**

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Août
Hr (%)	40.91	50.76	60.25	66.39	62.10	56.44	50.52	45.75	41.57	34.64	28.13	30.76

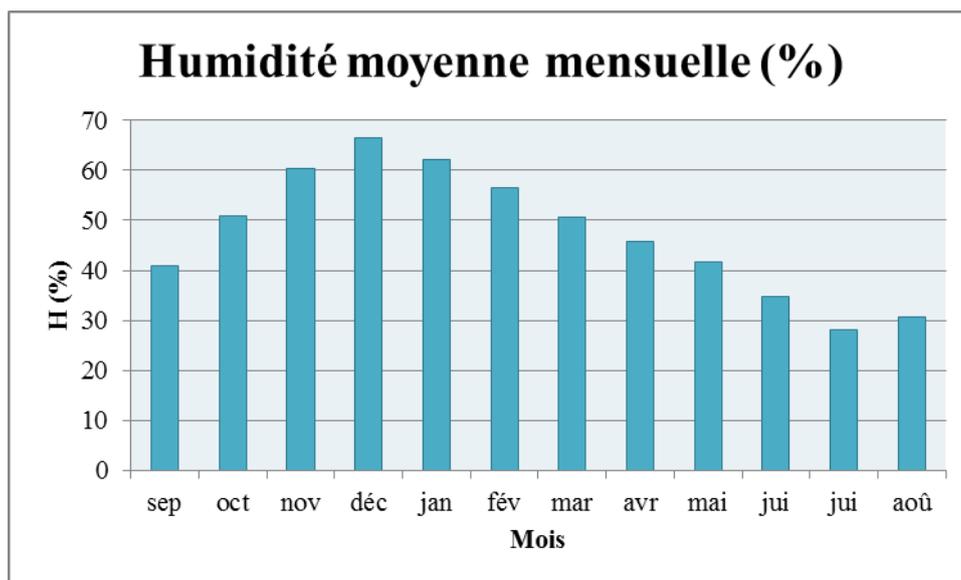


Fig.13 Histogramme des variations d'humidités moyennes mensuelles (1987-2016)

A partir de l'histogramme (fig.13), nous remarquons qu'à partir du mois de Janvier jusqu'au mois de Juillet, le taux diminue jusqu'au minimum de 28.13% (Juillet). Le taux s'élève à partir du mois d'Août, jusqu'au mois de Décembre, pour atteindre un maximum de 66.39%.

2. Synthèse climatique :

L'étude du climat est basée sur deux méthodes :

- **Méthodes graphiques (courbe de BAGNOULS et GAUSSEN) :** déterminent les périodes sèches et humides.
- **Indices climatiques :** permettent de caractériser le type du climat de la région.

2.1. Méthode graphique :

a- Diagramme pluvio-thermique de BAGNOULS et GAUSSEN:

Une période sèche est définie quand les précipitations moyennes du mois sont inférieures ou égales au double de la température moyenne du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluvio-thermique, sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations.

Sur le diagramme, sont mentionnés :

- En abscisses : les mois de l'année
- En ordonnées, à droite : les précipitations moyennes mensuelles (mm)
- En ordonnées, à gauche : les températures moyennes mensuelles (°C) à une échelle double de celle des précipitations.
- Une période est dite sèche, lorsque la courbe des températures passe au-dessus des précipitations
- Une période est dite humide, lorsque la courbe des températures passe au-dessous des précipitations.

Les valeurs des précipitations et des températures moyennes mensuelles sont marquées dans le tableau suivant :

Tab.10 Valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aoû
P	29.46	36.75	21.93	14.02	11.14	11.46	26.36	27.00	17.27	9.63	10.76	28.12
T	23.82	18.31	11.82	8.08	7.22	8.78	12.25	15.59	20.08	25.48	30.03	29.22

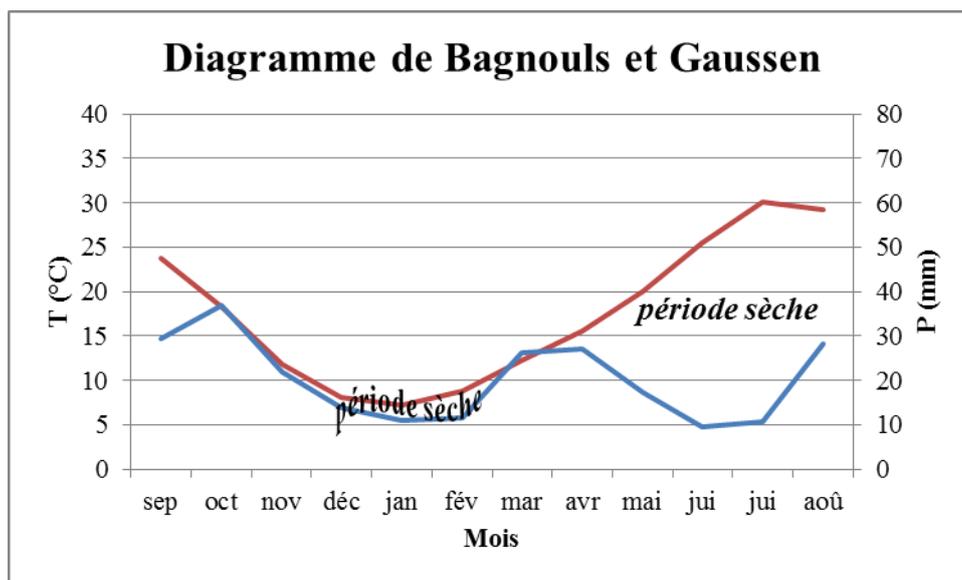


Fig.14 Diagramme Ombrothermique de la station de Mécheria

D'après le diagramme ombrothermique (fig.14), nous remarquons que la courbe des températures se situe au-dessus de celle des précipitations, ce qui indique que la région d'étude est caractérisée par une saison sèche, pendant toute l'année. À l'exception, d'une période humide qui se situe en mi-mars. (Voir fig.14)

2.2. Indices climatiques :

2.2.1. L'indice d'aridité de De Martonne :

a- Indice d'aridité annuel (I) :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes annuelles en (mm) et la température annuelle en (°C) (KOUIDRI A., RAHMOUNI A., 2016), en appliquant la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

T : Températures annuelles (°C).

Tab.11 Classification des climats, en fonction des indices d'aridité annuelle(I)

I	Type du climat
20<I	Climat humide
10<I<20	Climat semi-aride
5<I<10	Climat désertique
I<5	Climat hyperaride

Pour la station de Mécheria :

P = 243.9mm

T = 17.55°C

$$I = \frac{P}{T+10}$$

I=8.85

L'indice d'aridité de De Martonne donne **I= 8.85**

I se trouve dans l'intervalle **5<I<10**, donc le climat de la région de Mécheria est *désertique*.

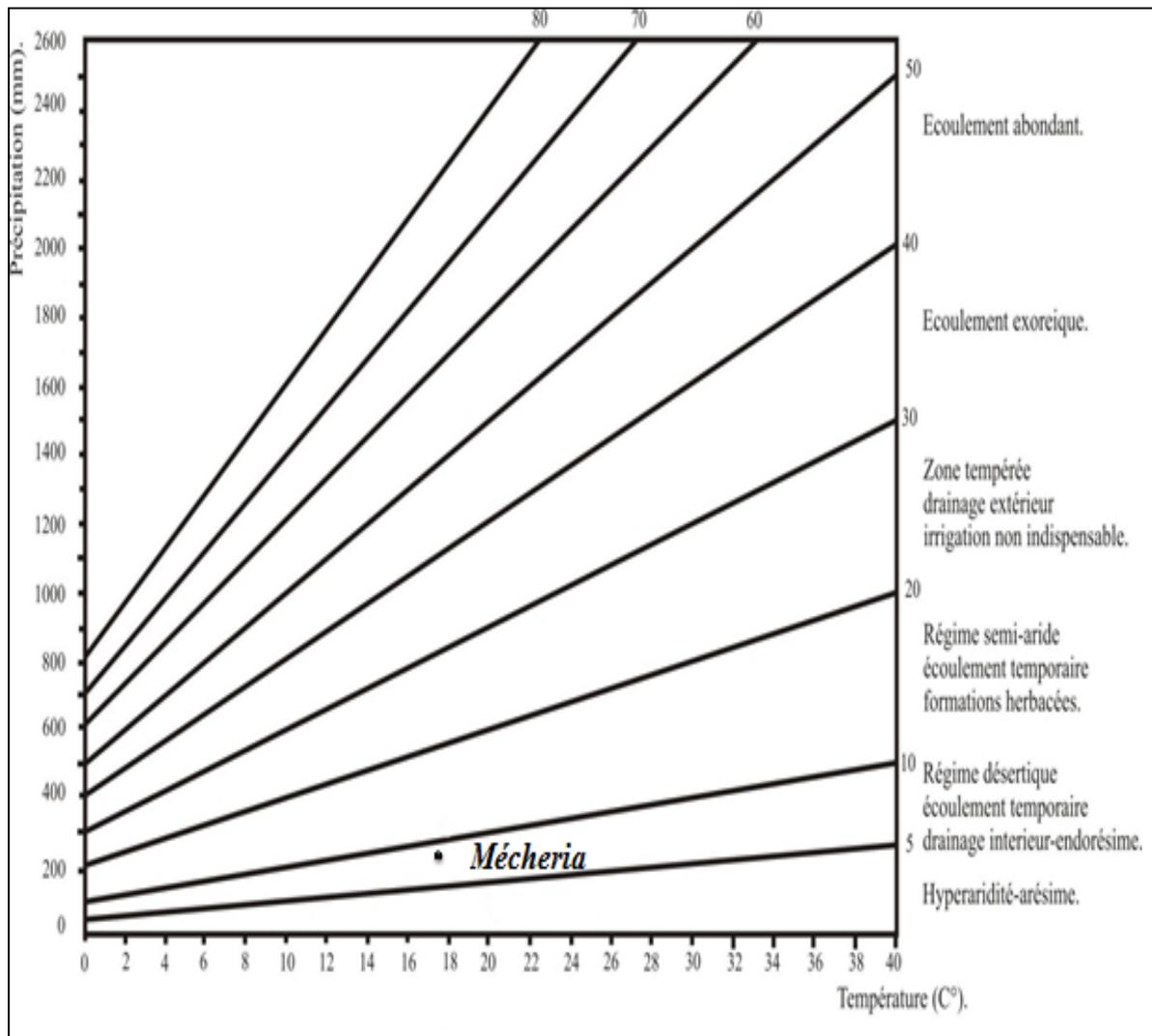


Fig.15 Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne

Les calculs sont en accord avec l'abaque de De Martonne (fig.15) de la région de Mécheria, qui appartient au régime *désertique*.

b- Indice d'aridité mensuel (i) :

$$i = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm)

T : Températures moyennes mensuelles (°C)

Les résultats d'indice d'aridité mensuel de De Martonne « i », sont reportés dans le tableau suivant :

Tab.12 l'indice d'aridité mensuel de De Martonne

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aoû
i	10,45	15,58	12,06	9,31	7,76	7,32	14,22	12,66	6,89	3,26	3,23	8,60
Climat	S-ari	S-ard	S-ard	désert	désert	désert	S-arid	S-arid	désert	hyper-	hyper-	désert

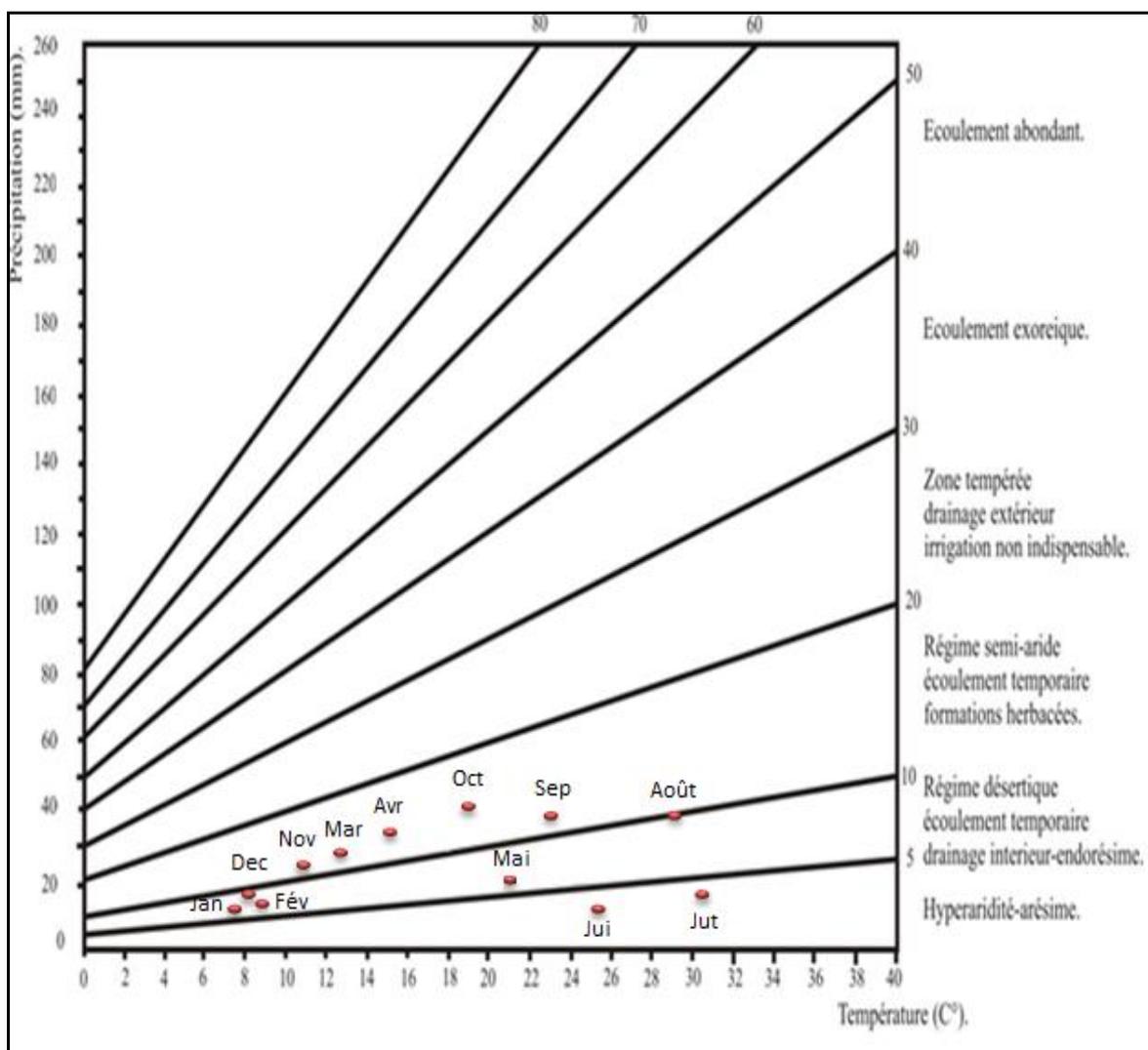


Fig.16 Abaque de l'indice d'aridité mensuel de De Martonne

En comparant les valeurs calculées de l'indice d'aridité (tab.12) avec la classification des climats, en fonction des intervalles de l'indice de De Martonne (tab.11), et l'abaque fig. 16, on remarque :

- Le climat hyper-aride : Juin, Juillet.
- Le climat désertique : Janvier, Février, Mai, Août, Décembre.
- Le climat semi-aride : Mars, Avril, Septembre, Octobre, Novembre.

2.2.2. Indice de Moral (Ia) :

a- L'indice annuel de Moral : en 1964, Moral a proposé cet indice pour classer les climats, donné par la formule suivante:

$$Ia = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Avec:

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

$$Ia = 0,73$$

Si $Ia < 1$: le climat est **sec**.

Si $Ia > 1$: le climat est **humide**.

$Ia < 1$, donc le climat de la région de Mécheria est **sec**.

b- Indice mensuel de Moral (Im) :

Exprimé par la formule suivante :

$$I_m = \frac{P}{0,1T^2 - T + 20}$$

Avec :

P : précipitation du mois considéré (mm).

T : température du même mois (°C).

Tab.13 Valeurs des indices mensuels, selon Moral à la station de Mécheria

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Aoû
Im	0,56	1,04	0,99	0,76	0,62	0,61	1,16	0,94	0,43	0,16	0,13	0,37

Les quatre types de mois, indiqués par Moral sont :

Mois pluvieux : $P > 0,1 T^2 + T + 30$.

Mois humide : $0,1T^2 + T + 30 > P \geq 0,1T^2 - T + 20$.

Mois sec : $0,1 T^2 - T + 20 > P \geq 0,05T^2 - T + 10$.

Mois aride : $P < 0,05 T^2 - T + 10$

Tab.14 Les types de mois, selon Moral

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Août
P(mm)	29,46	36,75	21,93	14,02	11,14	11,46	26,36	27,00	17,27	9,63	10,76	28,12
0,1T²+T+30	110,56	81,84	55,79	44,61	42,43	46,49	57,26	69,89	90,40	120,40	150,21	144,60
0,1T²-T+20	52,92	35,22	22,15	18,45	17,99	18,93	22,76	28,71	40,24	59,44	80,15	76,16
0,05T²-T+10	14,55	8,45	5,17	5,18	5,39	5,07	5,25	6,56	10,08	16,98	25,06	23,47
Type	sec	humide	sec	sec	sec	sec	humide	Sec	sec	aride	aride	sec

Selon Moral (tab.14), on conclut que :

- Janvier, Février, Avril, Mai, Août, Septembre, Novembre, Décembre sont des mois secs.
- Mars et Octobre sont des mois humides.
- Juin et Juillet sont des mois arides.

2.2.3. Indice climatique d'EMBERGER :

Cet indice permet de déterminer l'étage bioclimatique de la zone étudiée (DJOUADI OUBELAID, 2015), la formule d'Emberger est la suivante

$$Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Avec ;

P : pluviométrie moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des maxima des températures du mois le plus chaud (M), en (°K).

(M = 296.12°K).

m : la moyenne des minimas des températures du mois le plus froid (m), en (°K).

(m = 283.85°K).

-il existe une autre formule proposée par Stewart :

$$Q_3 = \frac{3.43 * P}{M - m} \implies Q_3 = 28.84$$

-En reportant la valeur calculée (Q3) sur le diagramme d'EMBERGER (Fig.17) qui comporte en ordonnées la valeur Q₃ et en abscisses, la moyenne des **minimas** du mois le plus froid (4.3 °C). Nous remarquons que la région appartient à un climat *aride*.

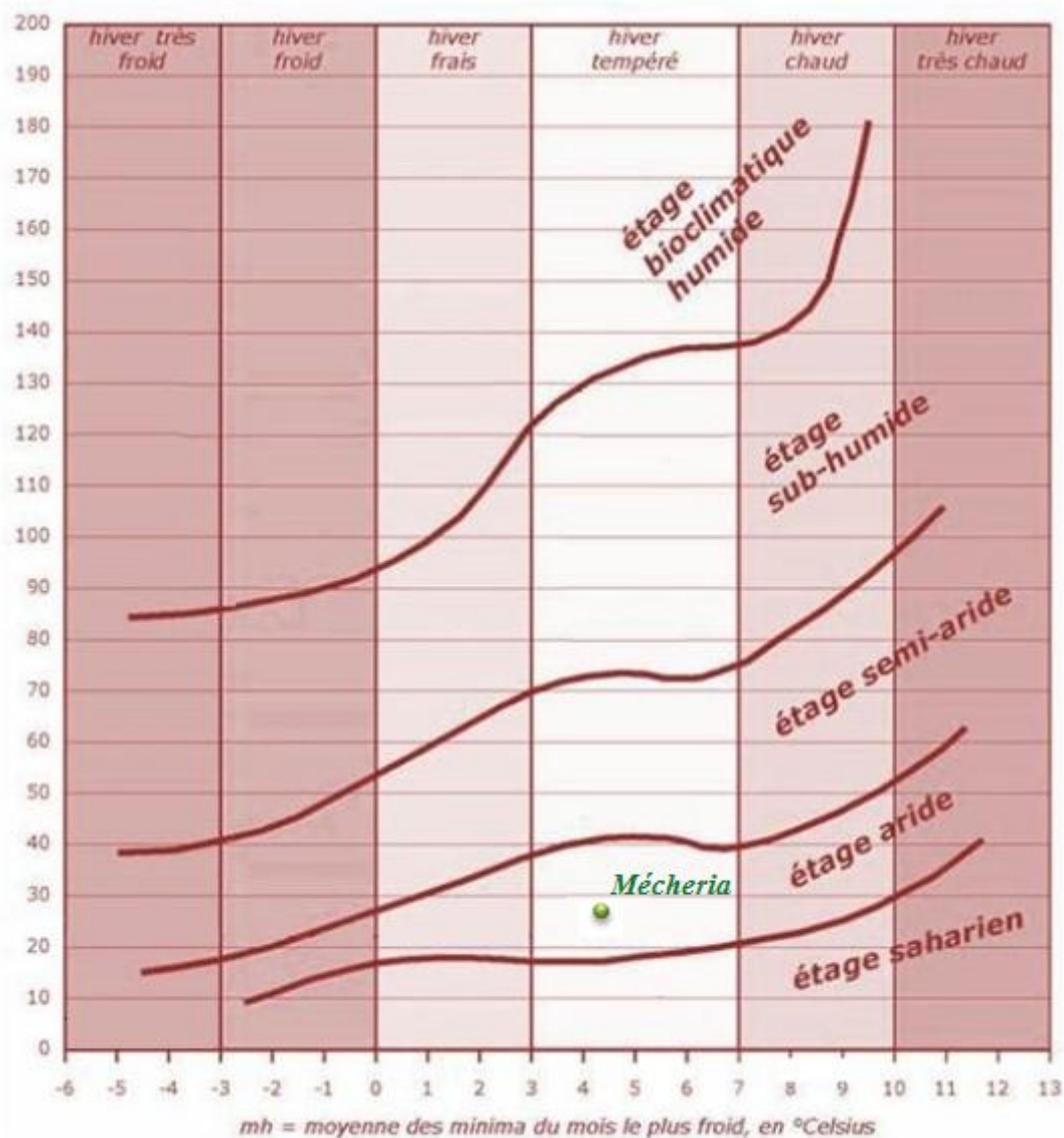


Fig.17 Climagramme d'EMBERGER

3. Evapotranspiration et déficit d'écoulement :

Le retour de l'eau à l'atmosphère se fait :

- Soit par évaporation, à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, cours d'eau, etc.).
- Soit à partir du sol, par l'intermédiaire des végétaux.

3.1. L'évapotranspiration :

3.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP):

L'évapotranspiration potentielle (exprime la hauteur de la lame d'eau ou la tranche d'eau évaporée) est la somme des quantités d'eau, pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, pendant une période bien définie.

a- Formule de Thornthwaite :

$$E.T.P (mm) = 16 (10 T / I)^a$$

T : température moyenne mensuelle en (°C).

Avec : $I = \sum i$ avec $i = (T/5)^{1,514}$

$$a = 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0.49$$

Tab.15 L'ETP calculée par la méthode de Thornthwaite

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jut	Août	annuelle
T(°C)	23,82	18,31	11,82	8,08	7,22	8,78	12,25	15,59	20,08	25,48	30,03	29,22	17,56
I	10,63	7,14	3,68	2,07	1,74	2,35	3,88	5,59	8,21	11,77	15,09	14,48	86,63
P (mm)	29,46	36,75	21,93	14,02	11,14	11,46	26,36	27,00	17,27	9,63	10,76	28,12	243,90
ETP (mm)	109,43	66,37	28,88	14,02	11,32	16,41	30,91	48,89	79,09	124,38	169,98	161,37	861,05
K	1,03	0,97	0,88	0,86	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	
ETPc (mm)	112,71	64,38	25,42	12,05	9,96	14,12	31,84	53,29	94,12	149,26	207,37	185,57	960,09

L'ETP calculée par la formule de Thornthwaite montre que les précipitations sont inférieures à l'ETP, ce qui conduit à un déficit couvrant toute l'année hydrologique.

b- Formule de SERRA :

Serra propose une formule pour le calcul de l'ETP :

$$E.T.P (mm) = 16 (10 T / I)^a$$

T : température moyenne mensuelle

Avec:

$$I = \sum i \text{ avec } i = (0.09T)^{3/2}$$

$$a = 1.6 I / 100 + 0.5$$

Tab.16 L'ETP calculée par la méthode de SERRA

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Août	annuelle
T (°C)	23,82	18,31	11,82	8,08	7,22	8,78	12,25	15,59	20,08	25,48	30,03	29,22	17,56
I	3,14	2,12	1,10	0,62	0,52	0,70	1,16	1,66	2,43	3,47	4,44	4,26	25,63
P (mm)	29,46	36,75	21,93	14,02	11,14	11,46	26,36	27,00	17,27	9,63	10,76	28,12	243,90
ETP (mm)	121,69	95,78	64,31	45,49	41,07	49,07	66,44	104,17	104,17	129,38	150,25	146,56	1118,39
K	1,03	0,97	0,88	0,86	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	
ETPc (mm)	125,34	92,91	56,60	39,13	36,14	42,20	68,43	113,55	123,96	155,26	183,31	168,54	1205,36

Aussi, on constate que l'ETP calculée par la formule de Serra est supérieure aux précipitations, ce qui conduit à un déficit couvrant toute l'année hydrologique.

3.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

L'ETR peut se calculer par différentes formules. On emploie la formule de Turc.

Formule de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}};$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm/an).

P : précipitations moyennes annuelles (mm/an).

T : Température moyenne annuelle (°C).

L : Paramètre lié à la température.

Avec :

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 1412,97$$

$$P = 243,9 \text{ mm}$$

$$T = 17,55 \text{ °C}$$

L'application de cette formule sur les paramètres climatiques de la station de Mécheria nous a donné une ETR égale à **249.13 mm**.

Cette méthode n'est pas applicable, car les précipitations sont inférieures à l'ETR.

A la lumière des résultats d'application des différentes méthodes :

- L'E.T.R calculée par la méthode de Turc dépasse de peu les précipitations.
- L'E.T.R estimée par la méthode de Thornthwaite représente la totalité des précipitations pour la station Mécheria durant la période (1987-2016).

Tab.17 L'ETP et L'ETR calculées par différentes méthodes

ETP (mm)		ETR (mm)	
Thornthwaite	Serra	Thornthwaite	Turc
960,09	1205,36	P=ETR=243.9	249.13

Les résultats obtenus du calcul de l'évapotranspiration par différentes méthodes, citées dans le tableau ci-dessus a montré une évapotranspiration supérieure aux précipitations, ce qui explique que la totalité des précipitations seront reprises par l'évapotranspiration (P=ETR), et par la suite l'infiltration et le ruissellement ne seront pas estimés par ces méthodes, pour cela, il faut appliquer d'autres méthodes qui prennent en compte les précipitations instantanées, telles que la méthode de Penman.

CONCLUSION :

El Kasdir, notre région d'étude, est limité à l'Est par Garet El Begar, au Nord par Bouterkine, au Sud par Bab Errachidia, et à l'Ouest par El Hamra.

Le bassin du Chott El Gharbi, dont El Kasdir fait partie, est bordé de part et d'autre par de grandes failles transversales ayant des rejeux dépassant les 1000 mètres (faille Nord Atlasique bordant les Monts des Ksour ainsi que celle qui borde le versant sud des Monts de Sidi El Abed).

Dans les hautes plaines et essentiellement dans le Chott, le socle est masqué par un revêtement de terrains secondaires qui sont sujets aux déformations de la surface du socle, donnant une série d'anticlinaux se relayant avec des synclinaux affectés par une multitude d'accidents Nord- Ouest, Sud- Est et Nord -Est, Sud- Ouest.

L'étude géologique nous a permis de distinguer deux groupes de terrains, à savoir :

- Des terrains anciens : qui affleurent sur les bordures du bassin versant du Chott et se composent de : Trias, Jurassique Inférieur et Moyen, Crétacé Inférieur, Crétacé Supérieur, formés essentiellement par de puissantes épaisseurs de calcaires et de dolomies ,avec passées ou intercalations de grès, de marnes, de conglomérats et de gypses.
- Des terrains récents : présentés par le Tertiaire et le Quaternaire, comblant les fonds des vallées et des dépressions actuelles, composés de brèches argileuses à éléments calcaires,

surmontées par des marnes ou marno-calcaires, ainsi que des alluvions récentes, de sable dunaire et de sédiment évaporitique (sel gemme et gypse en surface).

L'analyse lithos-stratigraphique nous a montré que El Kasdir renferme les nappes suivantes :

- Nappe des alluvions du Quaternaire,
- Nappe des calcaires lacustres du Mio-Pliocène,
- Nappe des grès du Barrémo-Albien,
- Les dolomies et calcaires du Bajo-Bathonien.

Aussi, à travers les forages réalisés dans la zone d'étude, nous avons distingué que la nappe superficielle est constituée :

- Dans la partie sud-ouest et sud-est, d'un ensemble calcaireux à calcaire-dolomitique, avec intercalations de graviers, sables et d'argiles-sableuses.
- Dans la partie nord-est, par un ensemble gréseux, parfois sableux avec passées d'argiles devenant vers la base et le sommet des calcaires.
- Dans les parties nord et nord-ouest, par un ensemble de grès, de graviers et quelques passées d'argiles, et de sables devenant vers la base des calcaires friables.

El Kasdir est caractérisé par un climat aride, avec des précipitations moyennes annuelles de 243,9mm et une température moyenne annuelle de 17.55 °C. Nous avons remarqué que le mois le plus humide est Décembre, caractérisé par une forte humidité (66.39%) et le mois le plus sec est Juillet, caractérisé par une faible humidité (28.13 %).

La méthode des courbes pluvio-thermiques a permis de définir une période relativement sèche sur toute l'année. Le bilan hydrique est déficitaire, cela est dû aux faibles précipitations et à une évapotranspiration forte, ce qui provoque une reprise totale de toutes les précipitations et engendre une période sèche couvrant toute l'année, où le ruissellement et l'infiltration seront indéterminés.

PARTIE II :
ETUDE HYDROCHIMIQUE

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE :

El Kasdir, notre région d'étude, est limité à l'Est par Garet El Begar, au Nord par Bouterkine, au Sud par Bab Errachidia, et à l'Ouest par El Hamra.

Le bassin du Chott El Gharbi, dont El Kasdir fait partie, est bordé de part et d'autre par de grandes failles transversales ayant des rejeux dépassant les 1000 mètres (faille Nord atlasique bordant les Monts des Ksours ainsi que celle qui borde le versant sud des Monts de Sidi El Abed).

Dans les hautes plaines et essentiellement dans le Chott, le socle est masqué par un revêtement de terrains secondaires qui sont sujets aux déformations de la surface du socle, donnant une série d'anticlinaux, se relayant avec des synclinaux affectés par une multitude d'accidents Nord- Ouest, Sud- Est et Nord -Est, Sud- Ouest.

L'étude géologique nous a permis de distinguer deux groupes de terrains, à savoir :

-Des terrains anciens : qui affleurent sur les bordures du bassin versant du Chott et se composent de : Trias, Jurassique Inférieur et Moyen, Crétacé Inférieur, Crétacé Supérieur, formés essentiellement par de puissantes épaisseurs de calcaires et de dolomies, avec passées ou intercalations de grès, de marnes, de conglomérats et de gypses.

-Des terrains récents : présentés par le Tertiaire et le Quaternaire, comblant les fonds des vallées et des dépressions actuelles, composés de brèches argileuses à éléments calcaires, surmontées par des marnes ou marno-calcaires, ainsi que des alluvions récentes, de sable dunaire et de sédiments évaporitiques (sel gemme et gypse en surface).

L'analyse lithos-stratigraphique nous a montré que El Kasdir renferme les nappes suivantes :

- Nappe des alluvions du Quaternaire,
- Nappe des calcaires lacustres du Mio-Pliocène,
- Nappe des grès du Barrémo-Albien,
- Les dolomies et calcaires du Bajo-Bathonien.

Aussi, à travers les forages réalisés dans la zone d'étude, nous avons distingué que la nappe superficielle est constituée :

- a) Dans la partie sud-ouest et sud-est, d'un ensemble calcaireux à calcaire-dolomitique, avec intercalations de graviers, sables et d'argiles-sableuses.
- b) Dans la partie nord-est, par un ensemble gréseux, parfois sableux avec passées d'argiles devenant vers la base et le sommet des calcaires.
- c) Dans les parties nord et nord-ouest, par un ensemble de grès, de graviers et quelques passées d'argiles, et de sables devenant vers la base des calcaires friables.

El Kasdir est caractérisé par un climat aride, avec des précipitations moyennes annuelles de 243,9mm et une température moyenne annuelle de 17.55 °C. Nous avons remarqué que le mois le plus humide est Décembre, caractérisé par une forte humidité (66.39%) et le mois le plus sec est Juillet, caractérisé par une faible humidité (28.13 %).

La méthode des courbes pluvio-thermiques a permis de définir une période relativement sèche sur toute l'année. Le bilan hydrique est déficitaire, cela est dû aux faibles précipitations et à une évapotranspiration forte, ce qui provoque une reprise totale de toutes les précipitations et engendre une période sèche couvrant toute l'année, où le ruissellement et l'infiltration seront indéterminés.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les eaux de la nappe libre d'El Kasdir sont caractérisées par :

- Une température allant de 23°C à 25°C.
- Un pH entre 7.15 et 7.72 dans l'intervalle des normes algériennes.
- Une conductivité allant entre 883 et 1177µS/cm, qui répond à la norme fixée à 2800 µS/cm.
- Deux familles de faciès chimiques : sulfatées calciques pour la majorité des forages (F1.F3.F4) et une famille des eaux sulfatées Magnésiennes pour les forages (F2.F5), déduites du diagramme de Schöeller – Berkloff. D'après Piper, les eaux ont un faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

De point de vue consommation, les eaux des forages analysées d'El Kasdir sont conformes aux normes algériennes de potabilité. L'estimation de la qualité de ces eaux à des fins d'irrigation, en utilisant quelques indices, tels que (K.R), (%Na), montre que tous les forages sont de bonne qualité. Le diagramme de Wilcox a classé les eaux de bonne qualité, Riverside

les a classé comme admissibles et conviennent pour l'irrigation des cultures tolérantes en sels, sur des sols bien drainés.

RÉFÉRENCE BIBILOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMOUSSOU E ., (2010) - Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest).

Thèse du doctorat Univ.de Bourgogne. 313p

BELKSIER M. (2009)- Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité. *Mém., Magister, Univ. Tlemcen (Algérie).* 173p

BENABADJI N. BOUAZZA M., (2000) -Quelques Modifications Climatiques Intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie Occidentale).

BENSAIDA., (2006) -Sig et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya Naama (algérien). *Thèse du Doctorat Univ. Joseph Fourier-Grenoble 1.*

BENZINEB M. Z., (2016) -Variabilité hydroclimatique et son impact sur les ressources en eau. Cas du bassin versant de l'Oued Khemis (Tafna, NW algérien). *Mém., Master, Univ. Tlemcen (Algérie).*102p

BOUGUEFDA M., (2013)- Modélisation de la nappe du crétacé inférieur de la gouttière synclinale d'EL MAADER (Monts Des Ksours-Atlas Saharien Occidental). *Mém., Magister, Univ. Tlemcen (Algérie).* 125p

BOUHAFS M. ,2013 : Inventaire floristique des espèces toxiques au sein d'un cortège halophyte dans le Chou El - Gharbi (Sud- Oranie). *Mém., Master, Univ. Tlemcen (Algérie).* 84p

BREMAUD C., (2006) -Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu. *Edit. Educagri.*

DEBBAKH A., (2012) - Qualité et dynamique des eaux des systèmes Lacustres en amont de l'Oued Righ. *Mém., Magister, Univ. Ouargla (Algérie).*

DJOUADI A., OUBELAID A. (2015) -Etude hydrochimique des eaux de la région de Gourara (Timimoune) Algérie. *Mém. Master Univ. Khemis Miliana. 11p*

EL ALAOUI ELFELS A. HAJHOUI Y., (2010)-L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc). *Mém. Fin D'étude Univ. Marrakech (Maroc)*.

EL OUMLOUKI K., (2014)-Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (Cas de périmètre Issen), Maroc. *J. Mater. Environ. Sci. 5. JMES*

GASMI A., ALLOUANI I., (2014) -Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe des grés albiens de la région de Djenien Bourezg (Monts Des Ksour – Atlas Saharien Occidental. Algérien). *Mém. Ingéniorat d'état, Univ. Tlemcen (Algérie). 104p*

HASSANI A. DJOUALIL I., (2014) -Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du Continental Intercalaire de la région de Gourara (Timimoune, Tinerkoug). *Mém. Ingéniorat d'état, Univ. Ouargla (Algérie).84p*

HIDAOUI A. LOUANNAS A., (2015) -Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat). *Mém. Master, Univ. Tlemcen (Algérie).132p*

KOUIDRI A, RAHMOUNI A.,2016- Contribution à l'étude hydrogéologique et l'évolution des facies hydrochimiques de la nappe du continental intercalaire de la région d'Adrar. *Mém., Master, Univ. Tlemcen (Algérie). 83p*

MAAMRI O., GHOUALEM E., (2014) - Utilisation des logs de forages pour la cartographie de la lithologie et la répartition spatiale du complexe terminale à travers la vallée d'Oued Righ. *Mém., Master, Univ. Ouargla (Algérie)*.

MAHAMMED D. M., (2012) : Utilisation des dispositifs de géophysique électrique nom classiques pour l'étude des couches géologiques profondes cas des chotts el Gharbi et chergui p105. *Thèse, Doctorat Univ d'Oran (Algérie). 197p*

MIMOUN S. ZOUBEIDI B., (2014)- Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien). *Mém., Master, Univ. El-Oued (Algérie).109p*

RAHMANI B., (2016)-Approche hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines dans une zone semi-aride. Cas de la nappe Mio-Plio-Quaternaire du synclinal de Djelfa (Algérie centrale). *Mém., Magister, Univ. Larbi Tebessi (Algérie)*.

RODIER J., (1984) -L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} éd. Dunod, Paris. 1365p

RODIER J., (1996) -L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Dunod, Paris. 1383p

RODIER J., (2009) -L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 9^{ème} éd. Dunod, Paris. 1579p

SARI H., (2014) -Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source «Attar » (Tlemcen). *Mém., Master, Univ. Tlemcen (Algérie)*. 92p

Sites web:

www.memoireonline.com

fr.tutiempo.net

Annexes :

Tableau1 : Températures moyennes mensuelles (°C) (1987 à 2016).

Années	Jan	Fév	Mar	Ave	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
1987	6.9	8.4	12.5	17.7	18.7	24.8	26.6	29	24.4	18.1	10.3	9.7
1988	7.9	8.3	11.5	15.2	18.7	22.3	28.9	29.2	23.1	17.4	11.5	5.9
1989	4.8	7.7	11.7	12.2	18.6	19.6	28.4	27.2	23.7	18.6	12.6	10.3
1990	4.9	11.2	13.1	12.9	16.2	26.2	28.6	27.4	24.9	17.6	11	7
1991	5.9	6.1	9.2	12.3	15.5	23.3	28.6	27.8	23.1	14.2	10.1	6.6
1992	4.9	7.9	8.5	13.3	17.7	19.7	25.7	27.2	23.9	15.8	10.2	7.4
1993	5.5	6.2	10	12.9	17.9	24.8	28.9	27.9	21.7	16.1	10	6.9
1994	6.9	9.6	11.2	12.5	20.7	25.8	29.9	29.6	22.4	16.5	12	8.2
1995	7.1	10.9	10.4	11.6	20.8	23.2	28.2	27.6	20.3	16.9	12.9	9.1
1996	8.2	4.9	10.1	14	19.8	22.2	27.4	27.9	20.6	16	12.1	8.5
1997	7.8	11	12.2	14.3	19	24.8	28.2	25.8	22.5	17.6	12.2	8.4
1998	7.7	9.5	12.6	14.9	17.2	25.9	30.3	28.1	25.2	15.6	12.5	6.1
1999	6.4	5.7	11	16.7	22.7	25.9	29.3	29.8	23.9	19.9	9.5	7.2
2000	5	10	13.4	15	20	26.2	29.8	28.4	23.6	15.1	12	9.6
2001	8.5	8.7	15.9	16.6	18.5	27.5	30	29.3	23.7	21	9.5	8.3
2002	7.6	10.5	13	14.6	19.1	26.4	28.8	26.7	22.8	18.2	11.9	9.5
2003	6.4	7.4	13.1	15.3	19.7	27.5	31	28.6	23.5	18.2	10.7	7.4
2004	7.7	10.2	12.3	14.6	15.2	25.2	28.8	28.8	23.4	19.8	9.8	6.3
2005	4.5	5.2	12.9	16	23.7	25.9	30.5	28.5	21.7	18.3	16.7	6.4
2006	4.3	6.8	12.9	17.7	21.7	26	31.9	30.6	24.1	22.3	14.3	7.7
2007	9.6	12.6	11.9	15.4	21.4	27.9	32.3	30.3	26.3	18.1	12.2	7.9
2008	9	11.4	13.5	18.6	20.9	26.7	32.4	32.1	24.6	16.4	9.3	6.5
2009	6.9	9.5	14.1	14.4	23.7	28.7	33	31.4	21.7	20.6	15	12
2010	10.4	12.7	14.8	18.8	20	26.5	32.9	30.7	24.9	18.6	12.9	10.8
2011	9.5	8.5	12.3	19.5	21.5	25.9	31.1	32.1	27.6	18.6	12.3	7.8
2012	7.2	5.7	13.3	14.7	24.6	30.5	33.3	33	25.7	20.3	13.3	9.5
2013	8.2	8.4	13.9	17.7	19.4	26.4	31.1	30.1	24.8	23.4	11.8	7.7
2014	9.2	11	12.1	20	23.7	26.2	31.3	31.8	26.9	21.7	14	7.5
2015	7.5	7.1	13	21.2	24.9	26.3	32.6	30.7	25.5	19	11.2	9.3
2016	10.3	10.2	11.1	17.2	20.8	26.3	31	28.9	24	19.4	10.8	6.8

(fr.tutiempo.net)

Tableau2 : Précipitations moyennes mensuelles en mm (1987 à 2016).

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
1987	13.45	19.81	2.29	41.92	6.35	5.59	18.28	0	5.08	26.93	37.83	6.61
1988	24.13	27.42	10.16	5.33	10.42	10.16	0.25	26.16	28.45	10.66	30.23	1.02
1989	12.19	6.11	68.07	16.25	5.33	29.21	0	32.25	20.58	12.2	2.03	0.25
1990	47	0	2.54	35.05	84.09	1.02	0.5	1.27	182.89	6.1	17.02	6.35
1991	3.05	21.35	115.32	9.9	34.55	22.6	2.54	5.08	18.03	59.94	0.76	24.39
1992	1.53	11.18	49.27	133.85	14.22	4.07	19.3	0	9.9	0	5.08	2.53
1993	2.03	27.18	31	11.44	28.96	6.1	1.02	0	2.03	8.13	49.02	14.22
1994	12.96	13.97	59.94	7.11	4.06	3.05	5.09	182.12	26.16	10.68	9.15	4.07
1995	0.25	2.03	48.01	12.44	5.08	9.15	0	8.64	23.12	36.07	4.07	9.15
1996	15.25	0.25	36.84	16.25	0	32.26	4.06	2.03	12.95	4.06	1.02	23.12
1997	17.27	0	0	43.17	15.5	0	0	11.17	6.11	17.27	20.07	20.82
1998	4.07	8.63	7.11	13.97	21.08	9.15	0	5.08	73.91	18.03	0	3.05
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	4.07	6.35
2000	0	0	0	4.57	11.18	4.07	0	127.51	13.2	98.04	4.83	2.03
2001	9.92	3.05	5.08	11.93	3.05	4.06	2.03	1.02	3.06	10.16	8.14	37.09
2002	0	0.76	103.13	42.17	36.57	0	4.32	19.07	5.08	51.05	40.63	23.38
2003	35.3	24.64	19.05	101.36	22.85	0.51	11.18	13.2	5.09	177.3	36.58	27.95
2004	3.05	14.23	6.1	23.38	46.99	10.16	209.04	208.02	19.3	14.47	65.02	12.45
2005	3.05	3.05	25.9	0	3.05	15.25	2.04	0.51	82.8	21.09	2.03	9.91
2006	18.29	24.13	4.06	38.1	21.34	2.04	5.59	4.07	0	0	22.11	20.58
2007	3.05	3.3	10.16	65.03	15.23	0	1.02	23.11	12.71	95.76	8.13	7.12
2008	7.11	16.01	12.95	0	26.94	27.43	12.2	12.96	40.89	258.32	28.96	25.14
2009	26.19	10.92	54.37	22.36	8.89	1.02	8.14	12.95	64.26	0	1.02	17.01
2010	7.11	28.21	26.17	12.2	13.22	2.03	3.06	12.96	38.6	20.33	4.07	6.1
2011	5.6	6.61	12.7	49.28	18.79	64.25	6.1	1.02	12.19	28.2	33.28	12.46
2012	14.99	6.1	42.92	35.06	1.02	6.09	0	3.56	22.86	43.19	112.04	9.91
2013	11.18	12.2	15	32.77	7.12	2.04	6.1	9.91	53.09	7.12	7.12	23.37
2014	22.1	23.87	1.27	11.18	32.26	5.08	1.02	4.07	12.96	7.11	60.46	18.29
2015	12.95	11.7	6.1	0	6.1	10.67	0	113.8	21.59	31.25	6.09	0
2016	1.02	17.01	15.24	13.98	13.97	1.78	0.00	2.03	67.05	12.95	37.08	45.98

(fr.tutiempo.net)

Tableau3 : Vitesses moyennes mensuelles du vent (Km/h) (1987 à 2016):

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
1987	23	20.9	17.1	17.9	19.1	18.8	20.1	15.5	15.8	17.1	19.2	16.9
1988	18.6	14.2	15.9	16.8	38.5	19.1	14.1	16	15	13.8	14.4	12.6
1989	10.5	19	15	19.8	15.8	17.6	11	13.3	17.6	12	17.9	15.8
1990	16.4	12.7	13.2	16.9	14.9	18	17.2	14.9	13.7	14.8	14.3	14.3
1991	12.3	13.1	20.4	15.6	16	15.8	15.2	13.2	13.8	12.6	12.8	12.7
1992	15.8	9.4	16.8	19.4	15.4	17.6	16.5	12.1	11.1	13.1	10.1	13.7
1993	8.2	11	11	8.7	12.1	11.9	13	6.6	4.8	7	4.9	3
1994	8.4	5.4	7.5	9.7	9.7	6.8	6.7	7.6	8.6	8.8	5.3	5.7
1995	7.3	6.7	8	7.4	7.4	9.4	9.3	7.2	6.6	5.6	12	13.5
1996	16.3	18.2	13.8	16.6	8.2	8.6	11.2	9.1	9.6	6.4	15.1	20
1997	17.9	5.3	9.2	15.6	18.6	20.5	18.4	17.1	17.6	14.1	20.9	18.4
1998	14.8	13.1	12.1	17	16.8	12.7	12.7	13.1	15.4	10.5	12.8	9.8
1999	13.6	14.2	14.2	10.8	14.9	14.2	12.1	11.4	12.3	15.4	17.8	17.9
2000	12.1	14	18.1	25	14	13.8	16.4	12.9	11.6	10.8	11.9	15.5
2001	15	12.5	16	12.5	15.3	14.4	14.8	15.2	18.4	17.2	16.8	15.6
2002	13.9	15.1	16.5	22.5	19	17.1	17.7	19	17.9	16.1	20.4	19.2
2003	23.2	18.8	15.8	20.5	17.9	17.8	17.2	15.9	16.5	18.5	14.9	19.3
2004	14.8	17.6	19.4	18.6	21.4	17.8	17.8	17.6	16.2	15.5	14	19.3
2005	13.1	17.1	18.2	19.7	18.8	18.8	18	17.8	14.6	11.1	16	14.4
2006	17.3	18.8	18.4	22.9	22.3	24.1	15	14.2	16	17.6	18.8	17.6
2007	14	22.4	23.3	24.7	19.9	20.4	18.4	18.7	23.3	17.3	13.1	14.6
2008	14.8	17.5	19.2	22	22	16.5	17.5	14.6	18.5	18.6	16.7	19.1
2009	25	19.5	22.3	20.4	22.3	15.8	17.7	18.4	12	10.8	16.1	21.1
2010	22.1	25.2	22.4	19.3	21	18	16.2	15.1	16.9	17.4	19.4	21.4
2011	15.8	19.2	20.7	21.7	20.7	12.9	16.9	16.5	14.9	13.9	19.6	11.4
2012	13.9	20.2	20.1	23.4	17.1	16.4	20.3	16	16	17	18.2	11.8
2013	23	23.4	26.1	17.5	16.8	17.7	19.3	17.4	15.4	18.3	15.3	16.2
2014	20.2	22.5	22.7	18.4	18	21.4	16.5	16.9	21.9	18.8	19.1	17.4
2015	16.5	25	18.7	21.4	24.4	17.9	12.4	7.8	20	18.4	15.1	13.4
2016	19.7	27.5	23.2	24.3	24.5	20.4	21.2	16.6	16.4	13.5	19.2	14.1

(fr.tutiempo.net)

Tableau4 : Humidités relatives moyennes (%) (1987 à 2016).

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
1987	50.4	61.3	44.4	31.1	37.1	28.2	33.7	22.7	32.5	41.9	56.9	63
1988	60.3	57.1	41.6	40.7	38.5	36.6	24.5	20.5	29.5	46.5	65.9	61
1989	64.8	53.1	43	49.9	34.8	42	22.3	28.5	35	44.8	52.7	60.3
1990	77.5	33.9	43.7	49.2	56.7	27.4	24.9	27.9	33.2	45	59.9	63.1
1991	58.1	63.2	62.9	51.6	44.9	36.4	32.1	29.2	39.7	59.9	55.3	68.9
1992	59.4	51.6	62.4	46.8	46.4	37.3	30.8	25.8	30.1	45	55.1	62.3
1993	50.9	61.3	56.6	42.8	40.7	29.5	23.8	24.4	35.3	46.6	72.6	68.5
1994	63.5	50.6	59.9	45	33.9	25.9	23.8	22.4	40.9	62.3	63.7	54.8
1995	51.9	47.5	65.5	50.8	32.5	37.4	24.2	27.5	43.6	53.7	49	68
1996	69.7	64.1	64.3	54.3	32	46.6	32.9	30	44.4	48.7	54.9	68.7
1997	69	50.7	34.6	54.8	43.3	32.2	27.7	41	54.4	60	59.6	62.3
1998	68.6	64.6	43.2	45.8	52.4	30.4	25.2	34.2	39.6	54.5	51.2	68.8
1999	74	68.1	60.8	42.4	36.2	39.7	30.9	34.2	47.4	55.7	66.8	66.9
2000	64.9	46.3	43.2	41.6	42.8	37.5	32.1	25.2	43.8	61.8	64.5	67.7
2001	66.7	55.3	43.4	46.1	51	28.3	28.3	38.2	45	38.3	61.3	65.5
2002	54.8	43.6	46.1	43.2	34.1	22.7	23.4	33.2	34.7	45.2	60	65.2
2003	61.3	60.2	51.5	43.3	37.3	27.5	21.5	25.2	39.4	60.1	68.1	69.5
2004	66.9	56.1	47.3	48.8	57.3	34.6	32.2	37.3	40.6	42.7	68.1	73
2005	60	54.3	49.8	43.3	32.3	35.7	26	37	53.4	61.9	58	76.8
2006	81.3	73.7	54.8	48.7	52.5	37.5	25.9	27.7	39	38.2	53.6	71.2
2007	48.5	51.4	41.8	47.9	36.2	26.5	21.4	25.7	30	50.1	54.2	64
2008	60.5	50.7	44.7	30.5	34.7	34.7	22.7	24.1	41.5	66.3	66.6	71.9
2009	71.6	58.2	51.9	46.8	30.7	28	20.1	26.8	53.9	44.5	43.8	52.9
2010	53.4	53.4	44.4	41.2	37.8	30.4	25.3	36.2	47.9	50	55.5	51.9
2011	54.1	51.9	49.2	40.3	42.7	44.9	36.1	33.8	38.7	54.7	62.5	70.6
2012	63	63.2	52.2	58.1	40.7	38.6	37.3	39.5	45.3	58.4	71.6	69.3
2013	68.4	61.3	57.4	51.9	51.6	40.2	31.3	33.4	38.7	35.3	53.9	61.1
2014	56.2	56.2	53.2	40.6	48.7	41.9	40.7	34.9	37.8	39.5	66.6	73.7
2015	60.6	70.2	49.6	45.7	44.1	42.8	24.5	33.1	39.3	55	66.7	63.6
2016	52.7	60.1	52.3	49.2	43.1	37.8	38.2	43.1	52.6	56.3	68.8	87.1

(fr.tutiempo.net)

Tableau5 : Les normes algériennes de potabilité.

Groupe de paramètres	Paramètres	Les Normes algériennes		
		Unités	N.G	C.M.A
Physiques	pH	-	6,5-8,5	-
	T	C°	<25	-
	Conductivité	μS/cm a 20C°	-	2800
	Résidu sec à 100°C	mg /l	500	2000
Chimiques	Ca ²⁺	mg/L	75	200
	Mg ²⁺	mg/L	50	150
	K ⁺	mg/L	-	20
	Na ⁺	mg/L	-	200
	SO ₄ ²⁻	mg/L	200	400
	Cl ⁻	mg/L	200	500
	HCO ₃ ⁻	-	-	-

Tableau6 : Les analyses physico-chimiques des forages implantés à El Kasdir (2016).

N° Forage	T °C	CE (μS/cm)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	pH
F1	25	883	110	53	39	2	79	315	201	14	7.15
F2		893	73	70	64	2	66	252	277	10	7.42
F3		901	109	53	44	2	66	281	237	7	7.21
F4	23	1177	113	60	83	2	150	309	208	10	7.41
F5	25	920	91	52	74	3	99	300	188	3	7.72

Tableau7 : Calcul de la balance ionique

N° Forage	Ca ²⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ²⁻ (meq/L)	HCO ₃ ⁻ (meq/L)	NO ₃ ⁻ (meq/L)	BI	Interprétation
F1	5.5	4.417	1.7	0.05	2.23	6.563	3.295	0.23	2.6912	acceptable
F2	3.65	5.833	2.78	0.05	1.86	5.25	4.541	0.16	2.0962	acceptable
F3	5.45	4.417	1.91	0.05	1.86	5.854	3.885	0.11	0.5077	bonne analyse
F4	5.65	5	3.61	0.05	4.23	6.438	3.41	0.16	0.2663	bonne analyse
F5	4.55	4.333	3.22	0.08	2.79	6.25	3.082	0.05	0.0352	bonne analyse

تنتمي منطقة القصدير إلى الشط الغربي، تقع في الغرب الجزائري . تتميز بمناخ جاف و وجود نوعين من التضاريس، القديمة تنتمي إلى العصر الثانوي تبرز على حواف الحوض ، والحديثة تنتمي إلى العصر الرباعيتملاً قيعان الوديان والمنخفضات الحالية . تتواجد موارد مياه الشط الغربي في الجزء الشمالي الغربي من ولاية النعامة على شكل منخفض طويل. الطبقات المائية السطحية للقصدير تتكون من تشكيلات الكربونية، وأحياناً من الرمال والحصى الرملي للعصر الحديث. الهدف من هذا البحث هو توضيح نوعية مياهالابار المتواجدة في منطقة القصدير.نتائج التحليل الفيزيائية و الكيميائية اثبتت صلاحية هذه المياه من أجل الاستهلاك للشرب و الري .

انطلاقاً من مخطط شولر وبركالوف، يوجد نوعين من التقسيمات الكيميائية: كبريتات الكالسيوم بالنسبة لغالبية الابار(بئر 1، بئر 2، بئر 3)،وكبريتات المغنيزيوم (بئر 5) و بيكربونات المغنيزيوم(بئر2). حسب ببير، المياه تنتمي إلى قسم الكلوريدات وكبريتات الكالسيوم و المغنيزيوم. الكلمات المفتاحية: القصدير، الشط الغربي، طبقة مائية سطحية، مياه الشرب، الري.

Contribution à l'étude hydrogéochimique de la nappe d'El Kasdir (Chott El Gharbi- Ouest algérien).

Résumé :

El Kasdir est une localité appartenant au Chott El Gharbi, situé dans l'Ouest algérien. Il est caractérisé par un climat aride et par la présence de deux groupes de terrains, anciens appartenant au Secondaire et affleurant sur les bordures du bassin et récents, du Quaternaire comblant les fonds de vallées et les dépressions actuelles. Les ressources en eau du Chott El Gharbi se situe dans la partie nord-ouest de la Wilaya de Naâma et se présente sous forme d'une longue dépression. La nappe superficielle d'El Kasdir est constituée des formations carbonatées, parfois par des sables et des graviers gréseux d'âge Mio-Pliocène.

Le présent travail a pour but de donner un aperçu qualitatif des eaux des forages de la région d'El Kasdir. Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré qu'elles sont bonnes pour la consommation humaine et admissibles, pour l'irrigation d'après le diagramme de Riverside.

Selon le diagramme de Schöeller – Berkloff, deux familles de faciès chimiques ont été distinguées : sulfatée calcique pour la majorité des forages (F1.F3.F4) et sulfatée Magnésienne pour les forages (F5) et bicarbonatéesMagnésienne (F2). D'après Piper, les eaux ont un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

Mots clés : El Kasdir, Chott El Gharbi, nappe superficielle, eau de consommation, irrigation.

Contribution of hydrogeochemical study of the unconfined aquifer of El Kasdir (Chott El Gharbi-Algerian-west)

Abstract:

El Kasdir is a locality belonging to Chott El Gharbi, located in western Algeria. It is characterized by an arid climate and by the presence of two groups of lands, formerly belonging to the Secondary and flushing on the borders of the basin and recent, Quaternary filling the valley bottoms and the current depressions. The water resources of Chott El Gharbi are located in the northern-west part of the Wilaya of Naama and are in the form of a long depression. The surface water table of El Kasdir is composed of carbonate formations, sometimes gravel sand and gravel of Mio-Pliocene age.

The purpose of this work is to give a qualitative overview of the waters of the drilling of the El Kasdir region. The results of the physico-chemical analyzes showed that they are good for human consumption and admissible for irrigation.

According to the Schöeller - Berkloff diagram, two families of chemical facies were distinguished: sulphated calcic for the majority of drilling (F1.F3.F4),sulphate magnesium for drilling (F5) and bicarbonate magnesium for drilling (F2). According to Piper, the waters have a chloride and sulphated calcium and magnesium facies.

Key words: El Kasdir, Chott El Gharbi, unconfined aquifer, drinking water, irrigation.