

Université KASDI MERBAH Ouargla



**Faculté des hydrocarbures, énergies renouvelables et science de la
terre et de l'univers**

Département des Sciences de la terre et de l'univers

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en géologie

Option : hydrogéologie

Présenté Par :

SAIDAT Abdellatif & ZAAKIR Younes & CHAICH Ibrahim

-THEME-

**Application de la télédétection pour l'étude de
l'évolution spatio-temporelle de sebkhat OUM RANEB**

Soutenu le : 18/06/2022

Devant la commission d'examen :

Jury :

Président	Houari Mennad	MCA	Univ Ouargla
Examineur	Laouini Hamza	MCA	Univ Ouargla
Encadreur	Zeddouri Aziez	PRO	Univ Ouargla

Promotion : juin 2022

Remerciement

*Avant tout, moi remercions Dieu (Allah), de nous 'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science. Nos sincères remerciements et nos profondes gratitude s'adressent à nos promotrices **zeddouri azeiz** professeur au département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté **HERSTU**, Université **KASDI Merbah Ouargla**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour leur patience, encouragements, orientations et conseils précieux.*

*Moi tenons également à remercier, Dr. Houari Mennad docteur au département des Sciences de la Terre et l'Univers, Faculté **HERSTU**, et Dr. Laouini Hamza de nous avoir fait l'honneur de faire partie du jury de ce travail, qu'elle trouve nos vifs remerciements*

moi tenons également à exprimer nos vifs remerciements

- A tout le corps enseignant de l'Université **KASDI MERBAH**, Faculté **HERSTU** particulièrement*

ceux du département des Sciences de la Terre et de l'Univers.

- A Tous les amis et les étudiants, en particulier les amis de notre promotion.*

*Enfin, moi sommes reconnaissants envers tous les membres de familles **SAIDAT ET ZAAKIR ET CHAICH** qui nous ont soutenu tout au long de ces études, Ainsi que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, qu'ils soient assurés de notre profonde gratitude.*

RÉSUMÉ

Le sabkhat d'Oum Raneb est inscrit sur la liste des zones humides du monde par l'UNESCO. Le but de cette étude est de mesurer le niveau d'eau et de connaître son impact sur l'environnement et la salinité. Pour faire cette étude, nous avons utilisé plusieurs méthodes, dont le calcul du volume d'eau entrante et évaporée et le suivi de l'évolution de la zone du lac avec images satellitaires.

Nous en concluons que le niveau d'eau a tendance à diminuer avec le passage des années

Mots clés : zone sèche télédétection, cartes, sabkhat oum raneb.

ABSTRACT

The sabkhat of Oum Raneb is included in the list of wetlands in the world by UNESCO. The purpose of this study is to measure the water level and know its impact on the environment and salinity. To carry out this study, we used several methods, including the calculation of the volume of incoming and evaporated water and the monitoring of the evolution of the lake area with satellite images.

We conclude that the water level tends to decrease with the passage of years

Keywords: dry zone : remote sensing, maps, sabkhat of oum raneb.

الملخص

تعتبر سبخة أم الراناب مدرجة في قائمة مناطق الرطبة في العالم من طرف منظمة اليونسكو. الهدف من هذه الدراسة قياس منسوب المياه ومعرفة تأثيرها على البيئة وعلى الملوحة وللقيام بهذه الدراسة استعملنا عدة طرق منها حساب حجم المياه الواردة والمتبخرة ومتابعة تطور مساحة البحيرة بصور الأقمار الصناعية.

ومنه نستنتج ان منسوب المياه يتجه نحو النقصان مع مرور السنوات

الكلمات الرئيسية: منطقة جافة، الاستشعار عن بعد، الخرائط ، سبخة أم الراناب .

Liste des figures

Chapitre I

Fig. I. 01: Situation géographique de la région d'ouargla	4
Fig. I. 02: Localisation de la zone d'étude (la ville d'Ouargla et ses alentours)	6
Fig. I. 03: <i>Le découpage de l'espace saharien (Brule et al, 2003).</i>	7
Fig. I 05: Coupe géologique NO-ES de l'Algérie. (WEC 2007).....	8
Fig. I. 06: Carte géologique locale (BG, 2004)	8
Fig. I. 07: Coupes géologiques de la cuvette d'Ouargla	12
Fig. I. 08: Géomorphologie schématique Ouest-Est de la cuvette d'Ouargla, Lelievre, 1969	13

Chapitre II

Fig. II. 01: Températures de la région de l'Ouargla (1996-2018).....	16
Fig. II. 02: Précipitation de la région d'Ouargla (1996-2018).....	17
Fig. II. 03: Courbe ombrothermique de la région d'Ouargla (1996-2018)	18
Fig. II 04: Humidité de l'air moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (1996-2018).....	19
Fig. II. 05: Vitesse moyenne mensuelle du vent de la région d'Ouargla (1996-2018).....	20
Fig. II. 06: Insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (1996-2018).....	21
Fig. II 07: Evaporation moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2018)	21
Fig. II 08: Histogramme de variation de l'évaporation mesurée et évapotranspiration potentielle estimée	25
Fig.II. 09: le drain de Sebkhet Oum Raneb	28

Chapitre III

Fig III 01: <i>Les étapes de la télédétection (d'après TONON M, 2009)</i>	32
---	----

Chapitre IV

Fig. IV.01: classes des sols janvier 2020	40
Fig. IV.02: classes des sols mars 2020.....	41
Fig. IV.03: classes des sols juillet 2020	42
Fig. IV.04: classes des sols septembre 2020	43

Liste des tableaux

Chapitre I

tableau I 01:Dairas, communes et localités de la région d'Ouargla	5
---	---

Chapitre II

Tableau II 01:Moyenne mensuelle de la température dans la période (1996-2018)	15
Tableau II 02: précipitation de la d'Ouargla (1996-2018)	16
Tableau II 03: L'humidité d'Ouargla (1996-2018)	18
Tableau II 04: Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent dans la période (1996-2018)	19
Tableau II 05: Insolation mensuelle dans la période (1996-2018)	20
Tableau II 06: Evaporation moyenne mensuelle dans la période (1996-2018)	21
Tableau II 07 :Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (période 1996-2018)	23
Tableau II 08: Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (période 1996-2018)	24
Tableau II 09:présente ETR (Thornthwaite et Turc) période (1996-2018)	26
Tableau II 10: présente le volume de pluie sur le lac sur la période (1996-2018)	27
Tableau II 11: Volume d'eau de bilan hydrique (2020)	28

Liste d'abréviations et symboles

ETP : Evapotranspiration Potentiel

ETR : Evapotranspiration Réelle

ONA : Office National d'Assainissement

ONM : Office National Météorologique

NDWI : l'indice de l'eau

IDL : Interactive Data Langage

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I	3
Introduction :	4
Situation géographique :	4
Démographie :	5
Présentation de site d'étude (Chotts Oum Raneb)	5
Cadre géologique régional	6
La plate-forme saharienne.....	6
Géologie locale de la région d'Ouargla	8
Litho-stratigraphie Aptien	9
Géomorphologie.....	12
Les plateaux ou hamadas	12
Chapitre II :	14
Introduction :	15
Facteurs climatiques :.....	15
Température :	15
Précipitation :	16
Diagramme ombrothermique :	17
L'humidité de l'air :	18
Le vent :	19
L'insolation :	20
Evaporation :	21

Bilan hydrologique.....	22
L'évapotranspiration potentielle (ETP) :	22
Formule de Thornthwaite (1948) :	22
Formule de Turc (1962) :	23
Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	25
Formule de Turc	25
Évapotranspiration réelle par la formule de Thornthwaite	26
Estimation des réserves facilement utilisables	26
Calcul de l'infiltration	26
Le Ruissellement (R) :	27
Précipitation :	27
Drainage	27
Volume d'eau de bilan hydrique (2020)	28
Conclusion :	29
Chapitre III	30
Introduction :	31
Généralité Sur La Télédétection	31
Définition	31
Principe de base.....	31
Le rayonnement électromagnétique	32
Les données satellitaires (LANDSAT 8) :	33
Logicielle utilisée :	33
Prétraitement des images satellitaires	34
Correction géométrique :	34
Calibration radiométrique :	34

Darks substruction :.....	34
Flaash atmosphérique correction :	35
Spear Pan Sharpening:	35
Traitements des images satellitaires	35
<i>Les classifications d'image multi spectrale.....</i>	36
Classification non supervisée	36
Classification supervisée	36
Cartographie de classification	37
<i>Indice de l'eau NDWI :.....</i>	37
<i>Chapitre IV.....</i>	38
<i>Introduction :</i>	39
Les images satellitaires Landsat 8 :.....	39
Interprétation des images :	39
<i>Conclusion générale</i>	50
<i>Références bibliographiques</i>	51

Introduction Général

Introduction générale

Les zones humides de la wilaya d'Ouargla (sud-est de l'Algérie) représentent les plans d'eau dans les dépressions sous forme de chotts et de sebkhas (zones humides et salées), leur présence est nécessaire pour les zones sèches et arides et ce en créant un climat approprié pour maintenir l'écosystème dans l'oasis.

Ces dernières sont exposées à des facteurs qui affectent la quantité et la qualité de l'eau disponible, notamment les facteurs climatiques, urbains et agricoles.

La Sebkha d'Oum Raneb est inscrite sur la liste des zones humides d'importance internationale (sites Ramsar). Le site est une masse d'eau permanente alimentée par les eaux usées de la ville de Ouargla et les villes de Sidi Khouiled, Ain Elbeida, Bour El haicha et Bamendil. Le lac est entourée par des dunes de sable. C'est un important refuge pour les oiseaux d'eau migrateurs et hivernants qui traversent le désert sur les voies de migration Afrique-Eurasie. Le flamant rose *Phoenicopus roseus* et l'échasse blanche *Himantopus himantopus* s'y reproduisent ; le canard siffleur, le tadorne casarca, la foulque macroule, l'ibis falcinelle, l'avocette élégante, le héron cendré et le gravelot à collier interrompu sont également présents dans le site. La pollution par les eaux usées est une préoccupation pour l'avenir et une étude est en cours pour examiner la possibilité d'installer une station d'épuration des eaux (d'après le site internet Ramsar).

Les autorités algériennes sont tenu a préservé ce lac et lui assuré une protection contre la pollution et le tenir comme étant une zone humide.

Sebkha Oum Raneb est alimenté en partie par les eaux de drainage des oasis : l'excès d'eau d'irrigation est drainé par le canal collecteur et pompé vers la sebkha.

Le système de drainage et pompage rencontre parfois des problèmes de bouchage des drains et des pannes dans le système de pompage ce qui menace la pérennité de la zone humide d'Oum Raneb.

Le système de drainage n'a pas un mécanisme de suivi des débits entrant dans la sebkha ou des mesures du plan d'eau du lac.

L'objectif de notre étude est de suivi la surface d'eau de la sebkha en utilisant les techniques de la télédétection.

Pour atteindre cet objectif, nous avons développé les chapitres suivants :

Chapitre I- Description de la zone d'étude Cadre Physique : est consacré à la présentation des caractéristiques naturelles de la région d'Ouargla (situation géographique et géomorphologie et géologique).

Chapitre II-- Climatologie de la région d'étude : dans ce chapitre ; nous avons présenté les principaux paramètres climatiques de la région d'étude et étudié le bilan hydrique (les eaux entrantes et les eaux sortantes)

Chapitre III--- Matériels et méthodes : nous présentons les différentes méthodes de traitements des images satellitaires, et les outils informatiques utilisés pour le traitement des résultats.

Une synthèse portant sur la télédétection, sa définition, son principe et ses bases physique, sur le satellite Landsat 8. Elle comporte également les principales techniques de télédétection et leurs domaines d'application.

Chapitre IV Résultats et discussion : est consacrée à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus, à travers la création de la composition colorée et la classification non-supervisée et l'indice NDWI.

Une conclusion générale synthétise les résultats de cette étude.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Dans ce chapitre nous avons présenté la situation géographique avec l'évolution démographique et la zone d'étude. La wilaya d'Ouargla située à 800 Km au Sud-est d'Alger, la plus importante des dix wilayas du Sahara algérien sur le plan économique en raison de la présence de gisements pétrolier et d'importantes ressources en eaux souterraines.

Situation géographique :

La wilaya d'Ouargla limitée :

- Au Nord par les Wilayas de Djelfa, d'El-Oued et de Biskra,
- A l'Est par la Tunisie,
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Illizi,
- A l'Ouest par la Wilaya de Ghardaïa (Figure.01).

La Wilaya couvre une superficie de 163.323 Km². Elle comporte actuellement 21 communes regroupées en 05 daïras comme le montre le tableau ci-après.

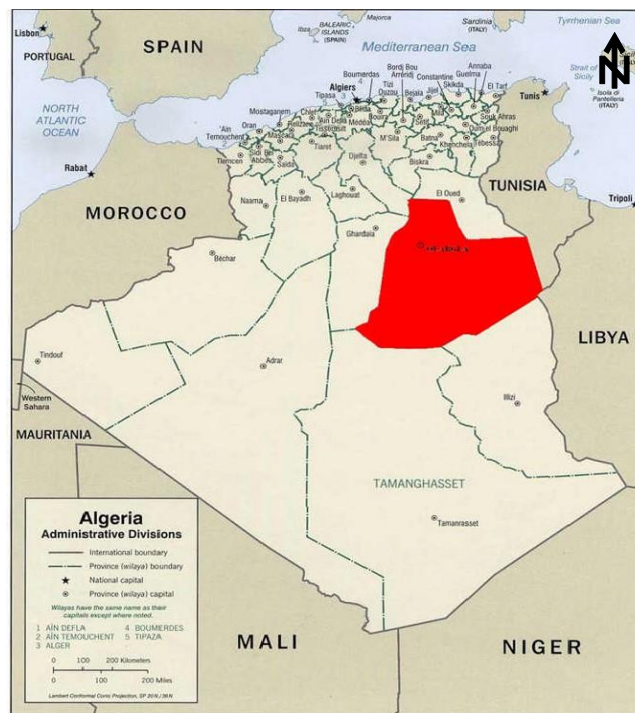


Fig.I.01: Situation géographique de la région d'Ouargla

Notre région d'étude est la cuvette de Ouargla qui s'étend sur une superficie de 99 000 hectares. Ces coordonnées géographiques sont :

- Altitude moyenne : 157 m
- 32° de l'attitude Nord
- 5°20'' de Longitude Ouest.

Tableau I. 01:Dairas, communes et localités de la région d'Ouargla

Daira	Communes
Ouargla	Ouargla ; Rouissat
N'Goussa	N'Goussa
Sidi Khouiled	Sidi Khouiled, AïnBeïda,Hassi Ben Abdellah
Hassi Messaoud	Hassi Messoud
El Borma	El Borma

Démographie :

D'après les statistiques de 2020, la wilaya d'Ouargla compte 368 458 habitants, soit une densité de 2,3 habitants par km², et taux d'accroissement 2,69 %

Présentation de site d'étude (Chotts Oum Raneb)

La sebkha d'Oum Raneb est une zone humide située dans une cuvette située à environ 8.25km au Nord-Est de la ville de Ouargla (Fig.I.02). Il est localisé entre l'agglomération de Sidi-Khouiled (chef-lieu de la commune) au Sud et l'agglomération d'Oum-Raneb au Nord. Le chott est allongé selon une direction Nord-Sud. Sa superficie varie de 900 à 1400 hectares en fonction du niveau de l'eau.

Le chott est entouré par des formations dunaires au Nord, à l'Est et au Sud. La sebkha d'Oum Raneb est alimentée par les eaux usées de la ville d'Ouargla et les eaux de drainage agricole depuis

1983. C'est un site très pauvre en végétation. Il est alimenté par deux principales canalisations qui collectent les eaux usées depuis une station de pompage située au Nord-Est du Chott Ain-Beida

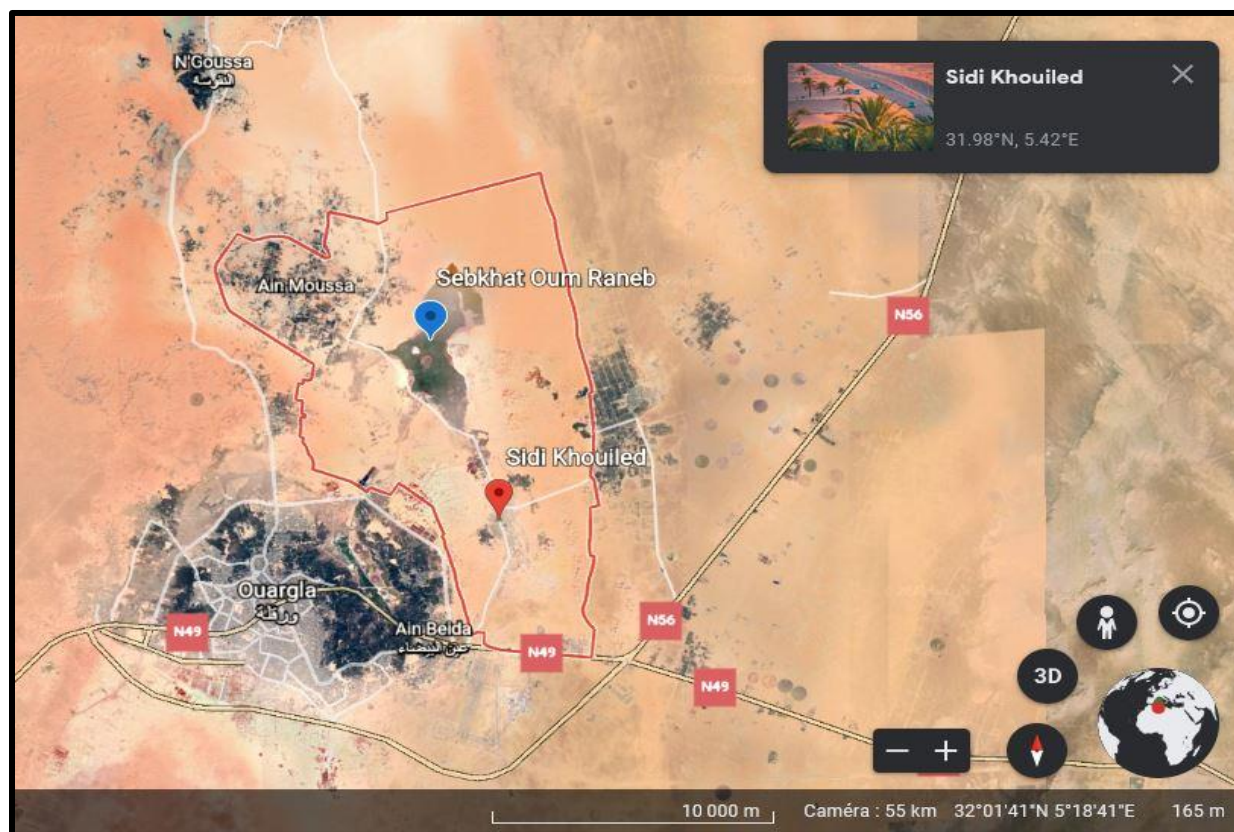


Fig I. 1: Localisation de la zone d'étude (la ville d'Ouargla et ses alentours)

Cadre géologique régional

La plate-forme saharienne

La cuvette d'Ouargla se trouve dans le Bas-Sahara (Fig. 2), qui fait partie de la plate-forme saharienne. Cette dernière, avec l'Atlas saharien et l'Atlas tellien, forment les principales unités géo-structurales de l'Algérie.

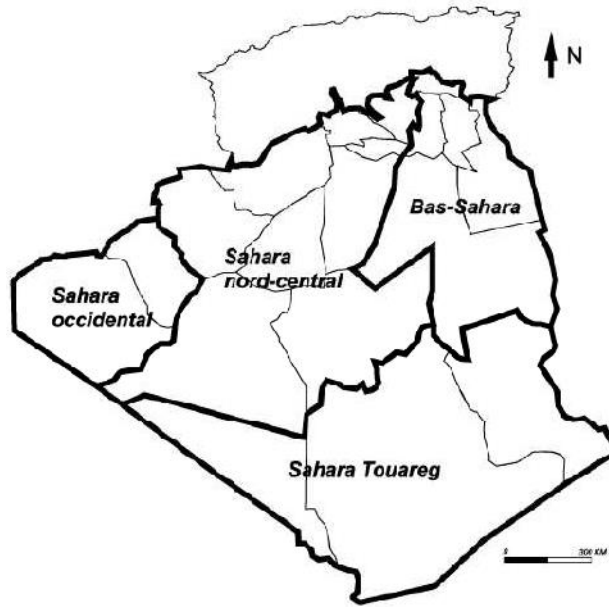


Fig. I. 2 : Le découpage de l'espace saharien (Brule et al, 2003).

La géologie de la plate-forme saharienne a été connue grâce aux études de terrains aux niveaux des affleurements, mais surtout grâce aux forages de pétrole et de gaz.

Le bouclier précambrien constitue le socle (substratum) de la plate-forme saharienne, il est composé de roches éruptives et métamorphiques, qui affleurent dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et Occidental (Massif de Eglab) (UNESCO, 1972). [1]

Ailleurs, le socle il est surmonté par une couverture sédimentaire (Fig.3) d'âge paléozoïque, mésozoïque et cénozoïque. Les dépôts d'âge paléozoïque sont plus ou moins plissés, les terrains mésozoïque et cénozoïque y sont subhorizontaux.

L'épaisseur totale de la couverture varie de 400 m dans les parties Sud et Ouest de la dépression, à 6000 m dans la partie Nord (Aliev, 1972) [2], formant ainsi un grand bassin dissymétrique.

Les données de la sismique montrent que la dépression est affectée par les failles hercyniennes du Hoggar (Aliev, 1972 ; Fabre, 1976) [3] du Cambrien jusqu'au Sénonien Inférieur (Fig. I. 1.). Ces failles sont orientées Sud-Est Nord-Ouest et traversent la région de Ouargla par l'Est. Elles seraient à l'origine de communications inter aquifères dans cette zone (Guendouz et al, 1992 ; 2003) [4] [5].

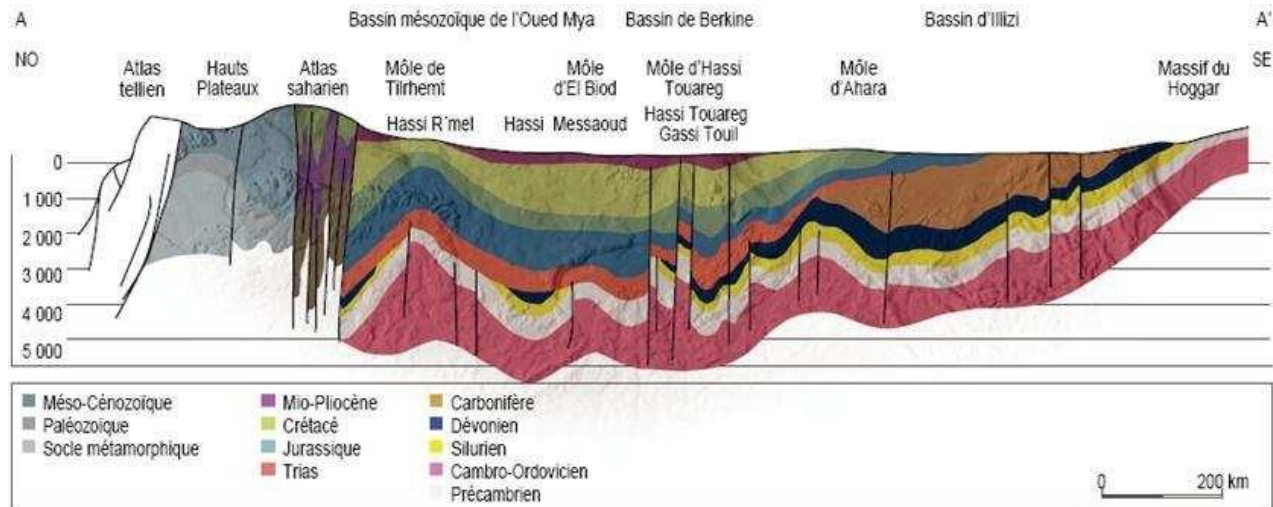


Fig. I 2: Coupe géologique NO-ES de l'Algérie. (WEC 2007)

Géologie locale de la région d'Ouargla

Sur la région d'Ouargla seuls les terrains du MOI-pliocène affleurent (fig.6), ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaire. A partir des données de forages pétroliers et celles des forages hydrauliques, nous avons établi des coupes géologiques et un log synthétique des formations lithologiques. La description des différentes formations a peut-être effectué.

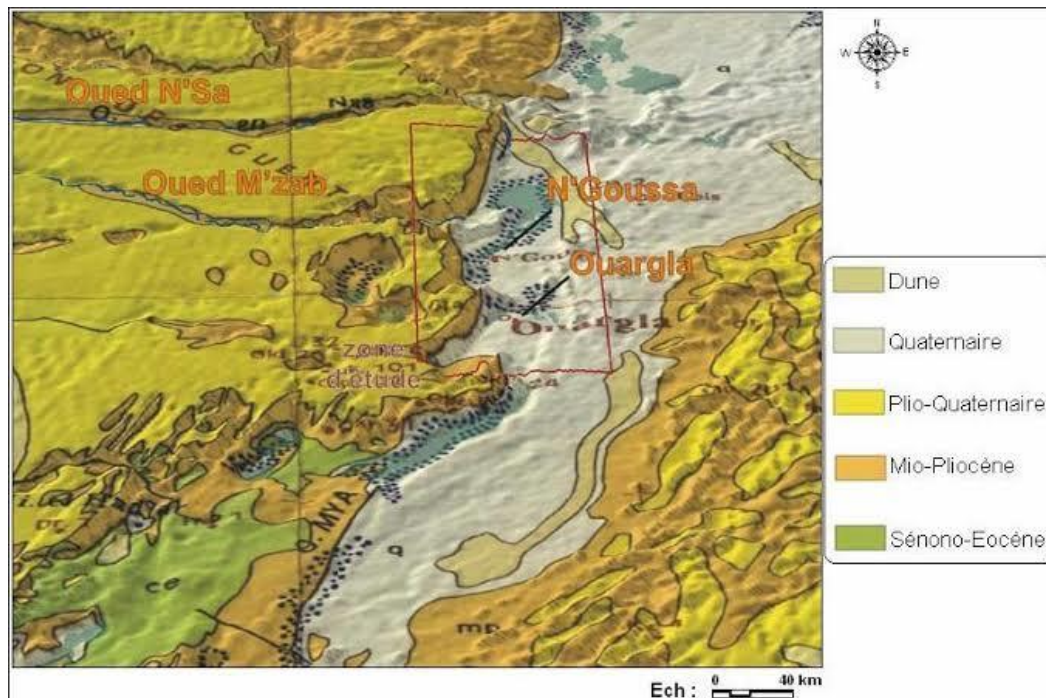


Fig. I. 3: Carte géologique locale (BG, 2004)

Litho-stratigraphie

Aptien

Il est constitué par la "barre aptienne " dans la région d'Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, gris verte, brunes ou blanches, et dolomies cristallines, son épaisseur est variable, elle est comprise entre 20 et 26 m. L'aptien est considéré comme imperméable dans son ensemble.

Albien

Sur la région d'Ouargla, l'Albien correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire ; Ce sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (417- 432 m). Les éléments détritiques (non argileux) sont largement prépondérants (70 à 90%) et sont représentés par des grès fins avec des passées de grès moyens et parfois d'intercalations de sables grossiers à limons argileux ou souvent carbonatés. On note des passées d'argiles brun-rougeâtre, elles sont même politiques et sableuses sur les puits les plus septentrionaux. Dans son ensemble, L'Albien correspond à un horizon aquifère.

Vraconien

L'intercalation Albo-varconienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès Albien et les argiles Cénomaniennes, Il est formé de :

- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont inférieures à 100 m mais supérieures à 50 m sur Haoud-Berkaoui, sauf quelques exceptions locales en particulier dans deux puits de Haoud-Berkaoui.

- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

Cénomaniens

Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) :

- La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtre ou gris-verdâtre, son épaisseur varie entre 65 et 80 m. On note aussi quelques passées de calcaires dolomitiques en particulier à la partie médiane de la série.

- La série supérieure est formée d'une alternance d'argiles et de marnes dolomitiques grises, parfois d'argiles salifères, de bancs d'anhydrite, de quelques intercalations dolomitiques, et de passée de sel gemme, son épaisseur est de l'ordre de 70 m

Turonien

Il se présente sous forme d'une dalle ayant une épaisseur régulière "barre turonienne", il est de l'ordre de 73 m. Il s'agit d'une série essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique

Sénonien lagunaire

Le Sénonien lagunaire y est particulièrement épais, son épaisseur est supérieure à 400 m. Il est formé par :

- Sénonien salifère : ayant une épaisseur moyenne de 200 m ; au niveau du forage 621J10, elle diminue jusqu'à 100 m.
- Sénonien anhydritique : son épaisseur moyenne atteint 300 m.
- Sénonien carbonaté : Son épaisseur moyenne est de 150 m excepté pour le forage 581J10 où elle est de 100 m

Sénonien et Eocène

Le Sénono-Eocène est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 à 200 m. Il s'agit des calcaires dolomitiques cristallins ou microcristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux.

Mio-Pliocène

Le Mio-Pliocène correspond au Continental Terminal. C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénonien et l'Eocène. On distingue quatre niveaux différents dans le Mio-Pliocène à Ouargla.

- A la base, un dépôt argileux peu épais recouvrant dans la partie centrale de la cuvette, et suivant une bande Nord-Sud, le Sénonien et l'Eocène.
- Deuxième niveau : C'est un dépôt grés-sableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais et le plus constant; le deuxième niveau est le principal horizon aquifère du Mio-Pliocène.
- Troisième niveau : C'est une formation argilo-sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche apparaît que dans certains endroits.
- Quatrième niveau : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène. On ne peut le distinguer que lorsqu'il repose sur le niveau 3 ; d'ailleurs les niveaux 2 et 4 sont confondus. Il est très épais

dans la zone des chotts, le sommet du niveau 4 affleurant sur de grandes surfaces ; le niveau 4 est souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux.

Quaternaire

À la base du quaternaire, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Ce niveau met en charge les aquifères du Mio-Pliocène à Ouargla. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et des produits de remaniement des terrains Mio-Pliocène. Les nappes phréatiques sont généralement contenues dans ce dernier niveau. Les sondages superficiels (profondeur moins de 30 m) effectuées dans différente localité de la cuvette (*Fig.*), ont permis de rencontrer les ensembles suivants :

- Sur le plateau, le sol est constitué d'un matériau meuble exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du Mio-Pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région ; jusqu'à 8 m de profondeur il ne présente aucun niveau d'encroûtement ; entre 25 et 75 cm de profondeur, il s'agit d'un sol sableux à graviers.
 - Sur les chotts et les terrains intermédiaires, l'horizon de surface est une croûte gypseuse épaisse ou polygonale, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de sebkhas associées à une végétation gypso halophiles. De 15 à 20 cm d'épaisseur on trouve un encroûtement gypseux pulvérulent, homogène de couleur jaune rougeâtre très claire. En dessous, on trouve un encroûtement gypseux induré de 40 cm d'épaisseur. En dessous un tuf présente un teneur de gypse décroissante.
 - Les Sebkhas sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.
 - Les dunes sont de sable éolien d'origine gréseux provenant de Hamada Mio-Pliocène. Il existe dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhas, et sur les versants rocheux. D'après la carte géologique réalisée par (G. Busson,) le relief d'Ouargla est constitué de roche sédimentaires et alluvions et colluvions dérivées de ces roches :
- ♣ Marne jaunâtres, plus ou moins gréseuses, salées ou gypseuses ;
 - ♣ Calcaires ocre, gréseux ou marneux ;
 - ♣ Argiles sableuses rouges à ocres salées et gypseuses ;
 - ♣ Grés, sables et conglomérats ;

- ♣ Calcaires lacustres ;
- ♣ Sables récents du quaternaire.

Géomorphologie

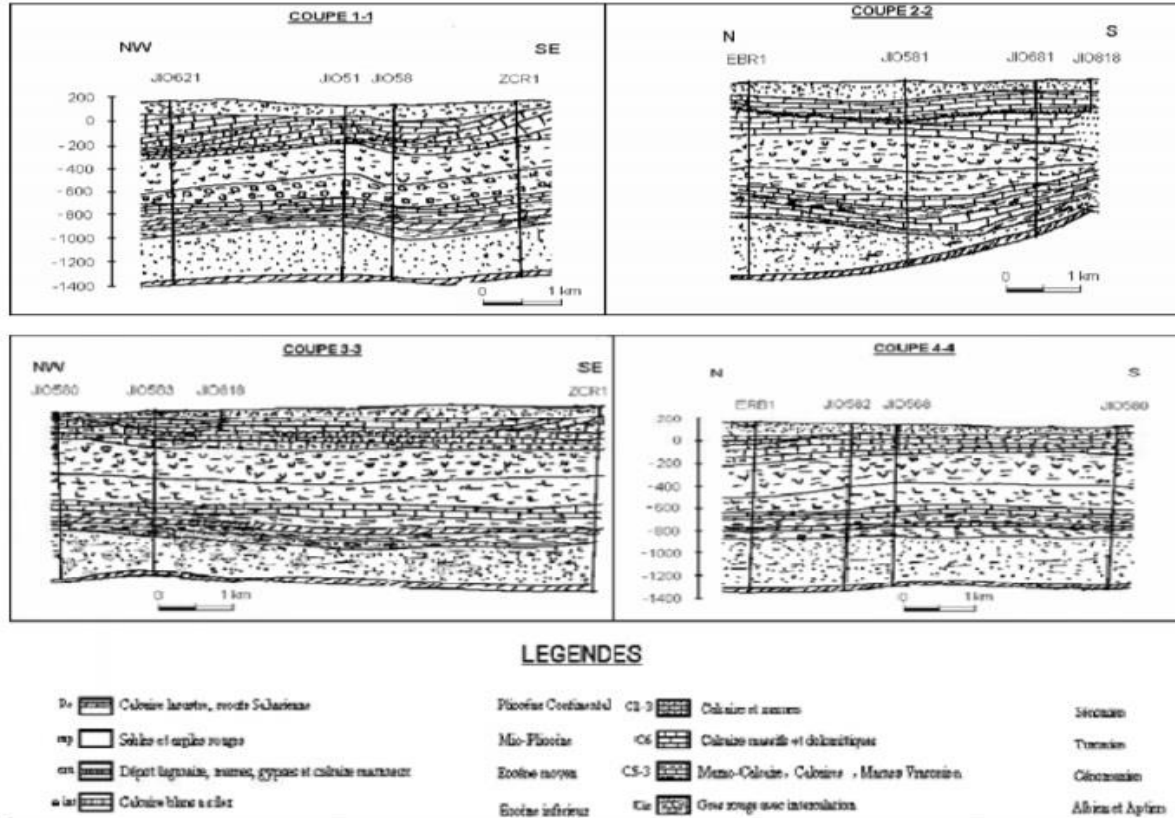


Fig. I. 4.: Coupes géologiques de la cuvette d'Ouargla

Les principaux ensembles paysagés (Fig. 8) de la cuvette d'Ouargla sont les hamadas, les glacis, les sebkhas et chotts, et les dunes de sable. Le relief d'Ouargla est constitué de roches sédimentaires et des alluvions et colluvions issus de ces dernières (G. Busson, 1969) [6].

Les plateaux ou hamadas

A l'ouest de Ouargla, la vallée d'Oued Mya est bordée par le plateau de la Hamada Pliocène de 200 à 250m d'altitude à faible pendage dans la direction Est. Sa fin est marquée par la dépression ovale de la sebkha Mellal (30 Km de long, de 6 à 10 11 Km de large, 80 à 90 m de profondeur). Fortement érodée, elle nous offre un beau paysage de buttes témoins (Goures).

Les glacis

Le versant Ouest de la cuvette, présente quatre niveaux étagés de glacis. Le plus ancien est marqué par une couverture très caractéristique formée d'une croûte gypso-calcaire, épaisse de 1,5 m ; son altitude s'abaisse de 225m à l'Ouest, à 200m à l'Est. Le deuxième glacis, à une altitude de 180m, est caractérisé par l'affleurement du substrat gréseux de Mio-Pliocène. Le troisième à 160m d'altitude est souvent recouvert de sable et de graviers gréseux plus ou moins encrustés de gypse. Ce dernier a été fortement démantelé par le dernier glacis qui est à 140m d'altitude sur lequel sont installées quelques palmerais de Ba-Mendil (Hamid Aissa, 2009) [7].

Les chotts et les sebkhas

Installés dans les plus basses altitudes, ils sont constitués de sols gypseux en surface et forment des grandes zones d'épandage de matériel alluvial, sableux le plus souvent (Dutil, 1971). Les grands chotts se trouvent dans le Sahara septentrional, particulièrement dans le Bas-Sahara, où ils s'allongent dans de larges vallées fossiles (Oued Rhir, souf, Mya, igharghar).

Dunes

Ce sont des dépôts actuels constitués des sables éoliens d'origine gréseuse issus de la Hamada mio-pliocène. Ils occupent les talwegs, les bordures des sebkhas et les versants rocheux.

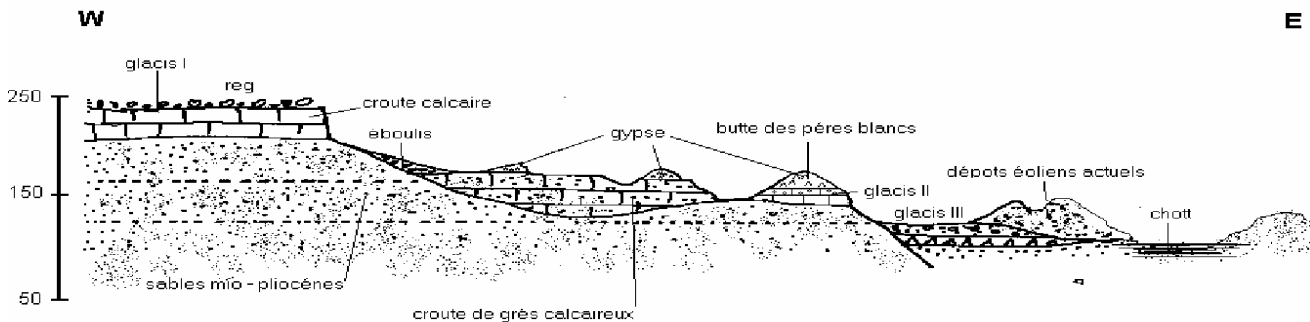


Fig. I. 5: Géomorphologie schématique Ouest-Est de la cuvette d'Ouargla, Lelievre, 1969

Chapitre II :

Climatologie

Introduction :

La région d'Ouargla est caractérisée par un climat contrasté, caractérisé par des précipitations rares et irrégulières et des températures élevées, une luminosité intense ainsi qu'une forte évaporation due à la sécheresse de l'air. Le contraste de température est important entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver. (NAJL, 2015) [8].

Facteurs climatiques :

Température :

La température est l'un des facteurs qui caractérise le climat de la région. Les résultats enregistrés au niveau des stations montrent bien que l'année est divisée en deux périodes ou saisons, l'une chaude et l'autre froide. (Hadj Kouider M, 2019) [9].

Tableau II 01: Moyenne mensuelle de la température dans la période (1996-2018)

Mois	janv	Fevr	mars	avr	Mai	juin	juil	aout	Sept	octo	nov	Dec	moy
Tempé maxi(°C)	19	21	26	31	36	41	44	43	38	32	24	20	31
Tempé mini(°C)	5	6	10	15	20	25	28	27	23	17	10	6	16
Tempé moy(°C)	12	14	18	23	28	33	36	35	31	25	17	13	24

Dans la région d'Ouargla, les températures sont en moyennes très élevées, le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 12°C et le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne de 36°C. La température moyenne maximale est de 33.83°C et la température moyenne minimale a atteint 17.33°C (Fig. II. 01)

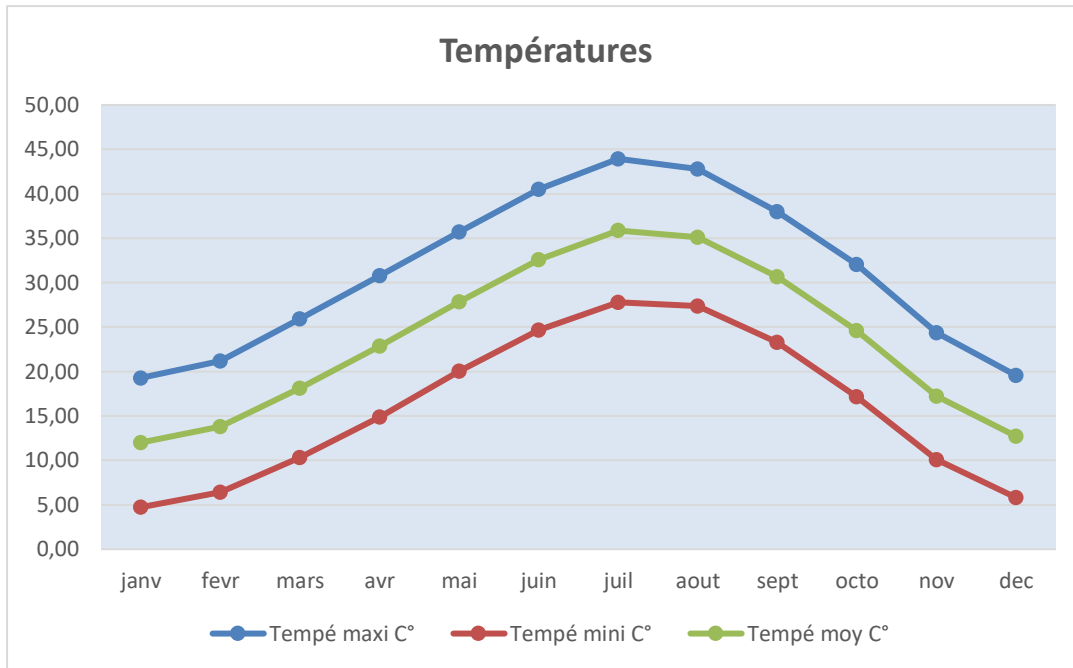


Fig. II. 02: Températures de la région de l'Ouargla (1996-2018)

Précipitation :

Les précipitations sont les eaux qui tombent sur la surface de la Terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) ou déposée (rosée, gelée, givre, ...). (André Musy, 2005) [10].

La précipitation est un paramètre climatique très important pour la recharge des aquifères car lorsqu'il y a une forte précipitation et des conditions favorables de topographie, nature du sol, couvert végétal...l'eau s'infiltrer participe donc à la recharge de l'aquifère. Cependant, lorsqu' il y a une faible précipitation, la recharge de l'aquifère sera faible.

Les précipitations dans la région d'Ouargla sont rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Leurs répartitions sont marquées par une période de sécheresse étalée sur toute l'année, le total annuel de la précipitation est 38.07 mm/an. (Tableau II. 02)

Tableau II 02: précipitation de la d'Ouargla (1996-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P (mm)	3.91	6.19	5.04	2.78	7.01	2.36	4.25	1.56	3.38	0.4	0.21	0.97	38.07

La fig. (II. 4) qui représente les précipitations moyennes mensuelles de la région d'Ouargla pour la période (1996-2018) montre que Janvier est le mois le plus pluvieux 7,01 mm, et Juillet est le mois le plus sec 0,21 MM.

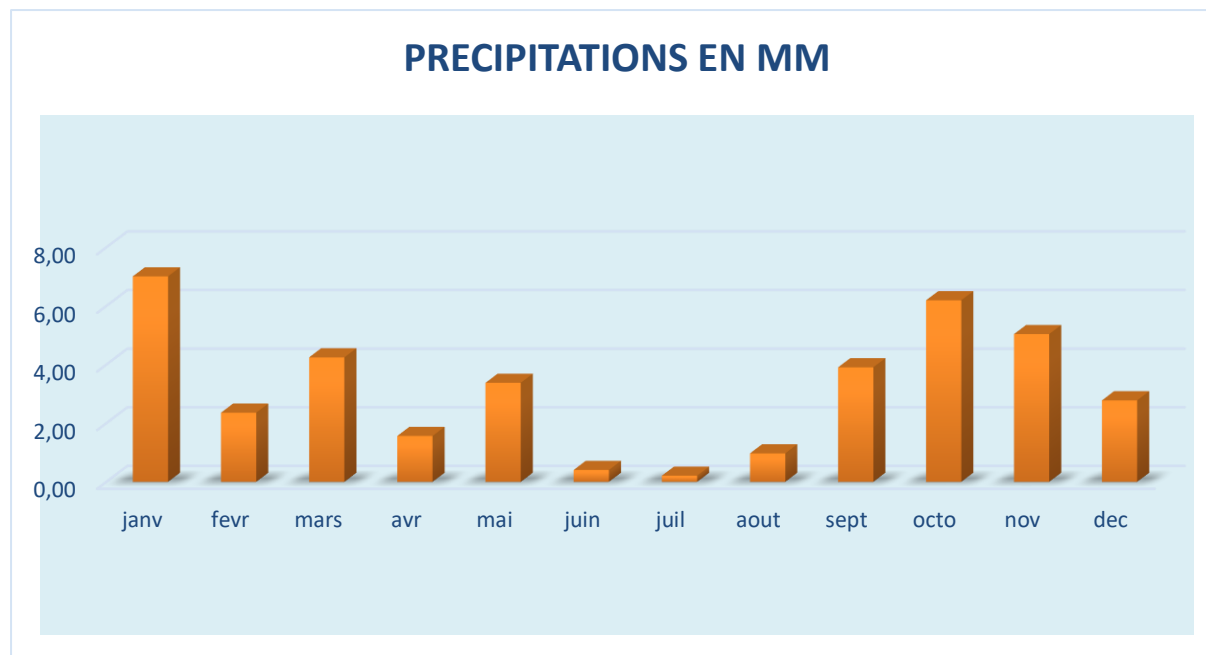


Fig. II. 03: Précipitation de la région d'Ouargla (1996-2018)

Diagramme ombrothermique :

On peut l'appeler aussi la courbe pluviothermique selon la relation $P \text{ (mm)} = 2T \text{ (°C)}$ qui est la combinaison des facteurs thermique et pluviométrique. Il permet de déterminer les saisons sèche et humide.

D'après le diagramme établis (Fig. II.3), on observe que la zone d'étude connaît une très faible précipitation durant les années et que la saison sèche étend sur toute l'année.

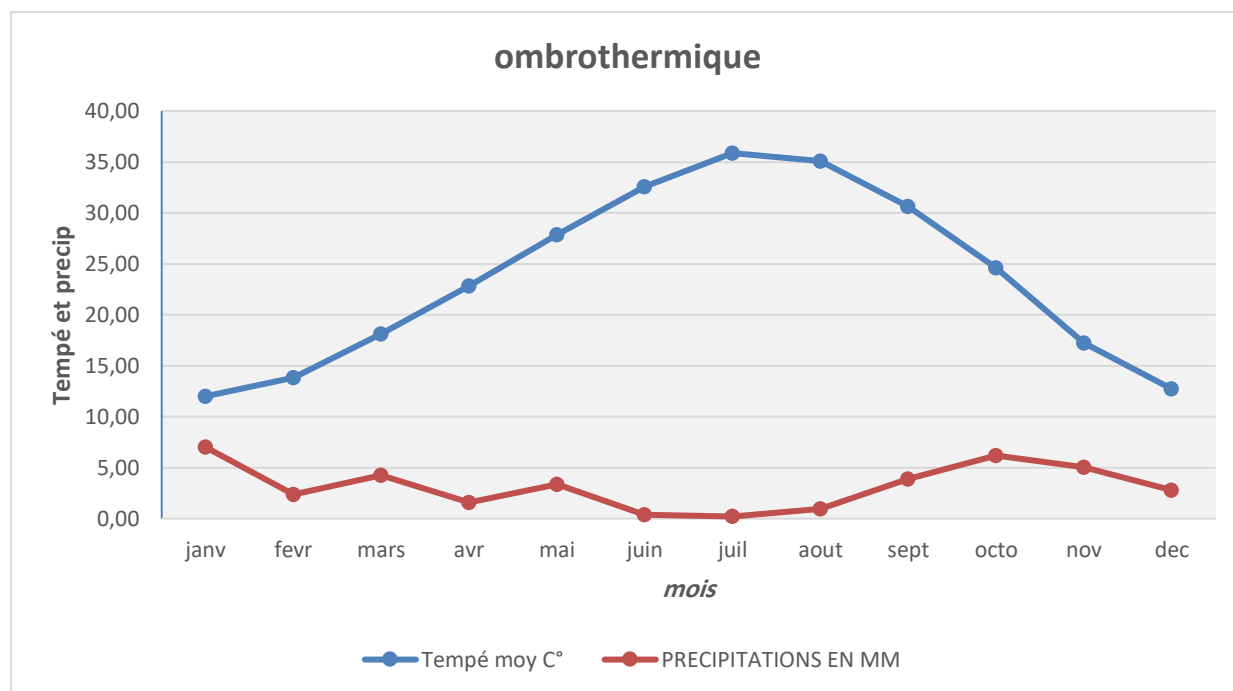


Fig. II.05: Courbe ombrothermique de la région d'Ouargla (1996-2018)

L'humidité de l'air :

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative. L'humidité relative joue un rôle sur la formation du brouillard et la rosée. L'humidité est généralement mesurée par un appareil appelé hygromètre. (GLOBE, 2014) [11].

Tableau II 03: L'humidité d'Ouargla (1996-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
L'humidité de l'air (%)	38.7	46	54.6	60.11	59.1	51.6	44.2	37.9	33.7	28.5	25.2	29	42,36

Dans la région de Ouargla, l'humidité de l'air est faible la moyenne annuelle est de 42,36%. Elle varie entre 25,2% en Juillet à 60,11% en Décembre.

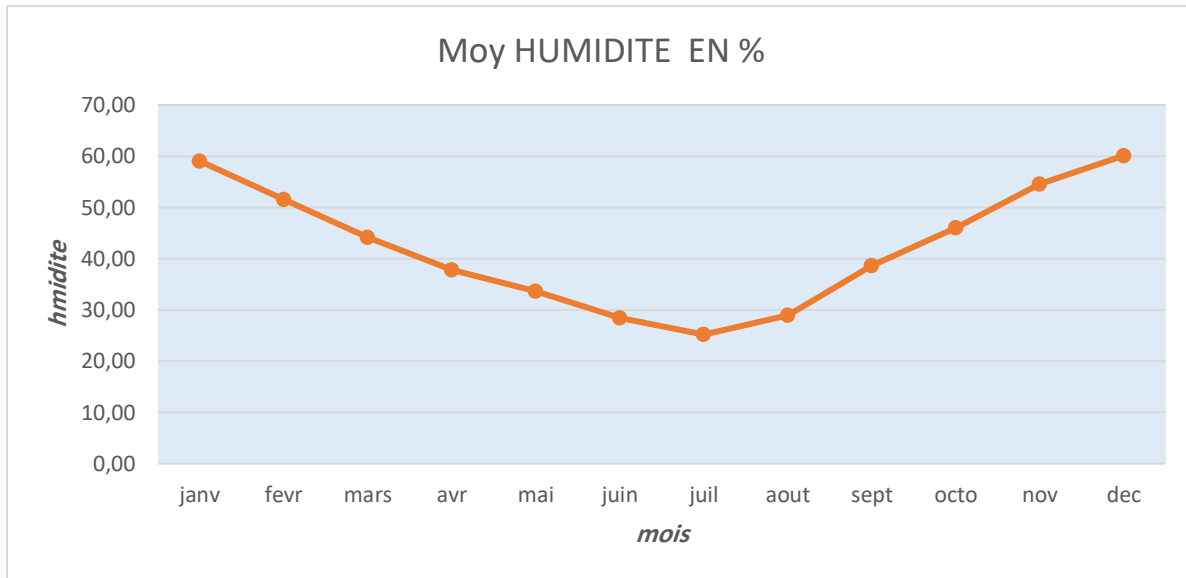


Fig. II 06: Humidité de l'air moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (1996-2018)

Le vent :

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît de la différence de pression entre deux masses d'air. Le vent se déplace des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions).

Nous pouvons dire que le vent c'est le paramètre climatique le plus régulier dans la région de Ouargla. Il est déterminé par sa direction et sa vitesse. (GLOBE, 2014) [12].

Tableau II 04: Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent dans la période (1996-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Le vent (Km/h)	38.0	32.1	24.4	19.59	25.2	21.2	26.0	30.8	35.7	40.5	43.94	42.8	31.68

Ouargla en générale est caractérisée par des vents fréquents qui soufflent durant toute l'année avec des vitesses qui varient d'un mois à un autre. La vitesse du vent enregistrée est de 19,59 Km/h en Décembre et elle est maximale de 43,94 Km/h en Juillet. La vitesse moyenne annuelle est de 31,68 Km/h.

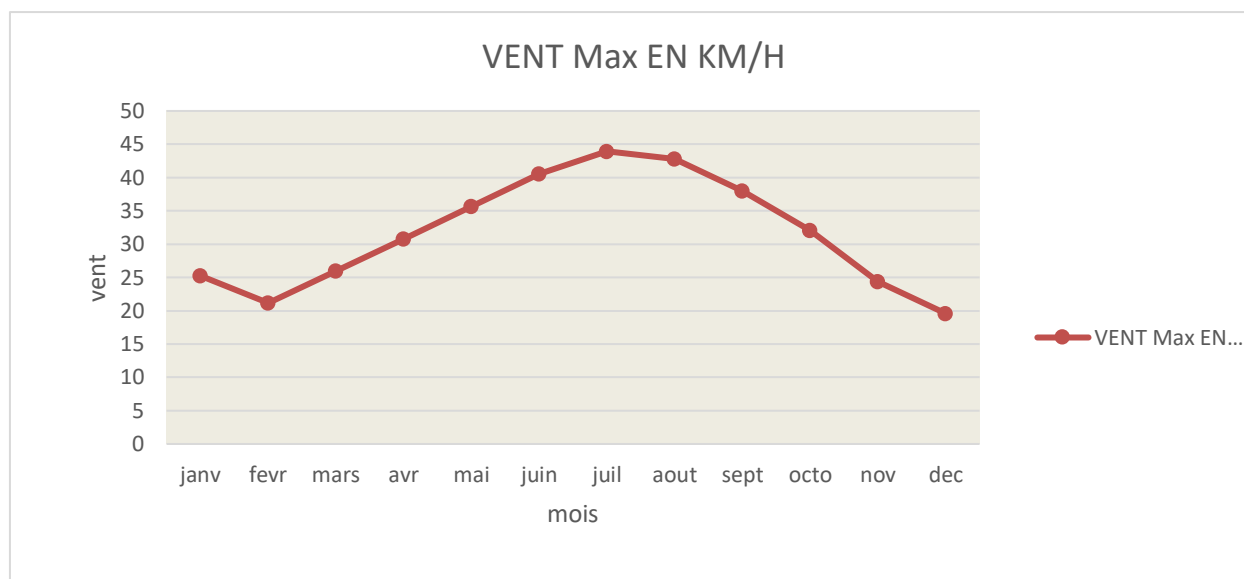


Fig. II. 07: Vitesse moyenne mensuelle du vent de la région d'Ouargla (1996-2018)

L'insolation :

L'insolation signifie la quantité d'énergie solaire reçue, mais aussi peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée d'exposition d'un site au Soleil. La wilaya d'Ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte.

Tableau II 05: Insolation mensuelle dans la période (1996-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Insolation (h)	253	252	231	206	235	238	272	281	297	272	315	314	264.3

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation durant la journée où on enregistre une moyenne annuelle de 264,30 h. La durée d'insolation maximale est de 315 h au mois d'aout et un minimale de 206,97 h au mois de Décembre

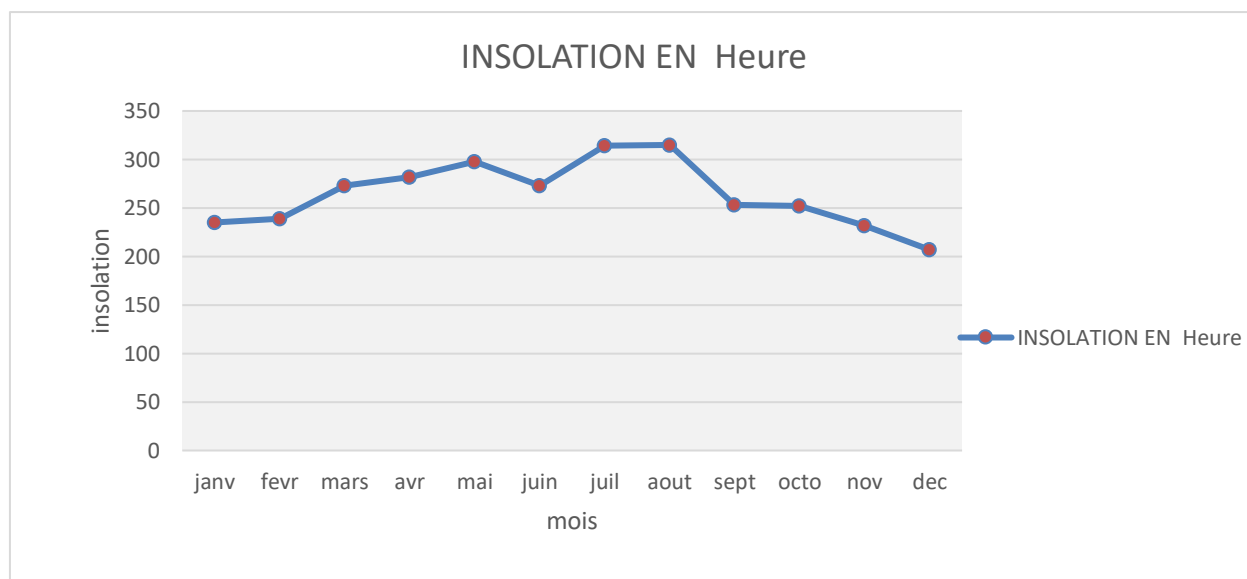


Fig. II. 08:Insolation moyenne mensuelle de la région d'Ouargla (1996-2018)

Evaporation :

L'évaporation est un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux vers l'atmosphère. Il est le seul mécanisme de perte des eaux au Sahara, ou dans les bassins arides fermés.

Tableau II 06: Evaporation moyenne mensuelle dans la période (1996-2018)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Evaporation (mm)	301	223	131	93	95	129	202	261	337	397	459	418	3051

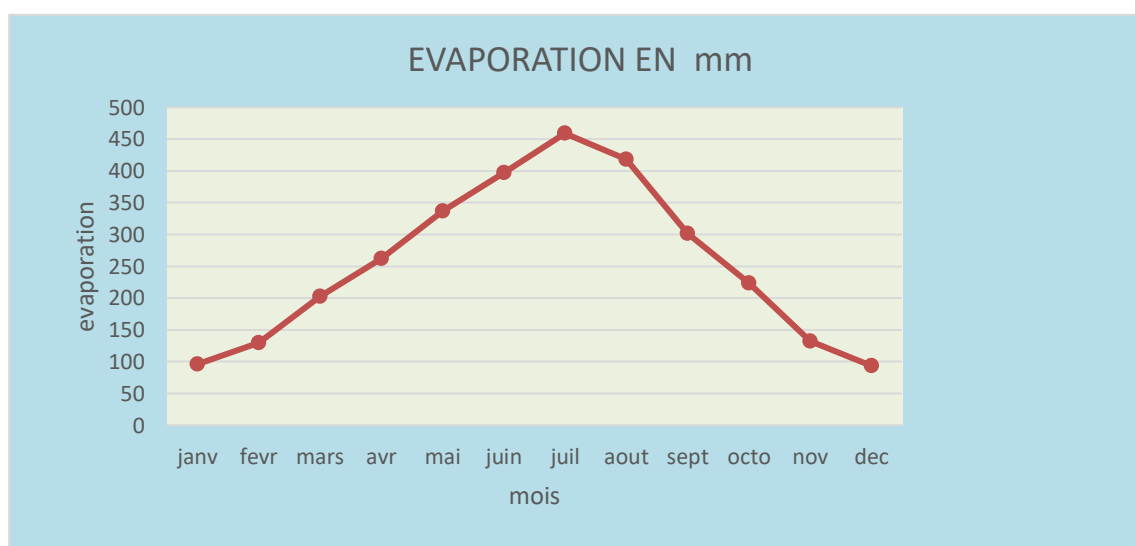


Fig. II 09:Evaporation moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2018)

L'évaporation est très importante sur tout pendant les mois chauds où on note un maximum de 459 mm au mois de Juillet, un minimum de 93 mm au mois de Décembre. Le taux annuel est de 3051mm/an.

Bilan hydrologique

Un système hydraulique est défini un volume d'eau que l'on veut étudier. Ce système peut être un lac, une rivière, un aquifère, un bassin versant etc. l'équation de base dans un système hydrogéologique s'écrit :

Somme des entrées - somme des sorties = différence de stocks

- **Entrées** : précipitation, drainage
- **Sorties** : évaporation, transpiration, ruissellement de surface, ruissellement souterrain, pompage.
- **Variation des stocks** : variation du débit ou de la hauteur d'une rivière ou bien d'un lac, changement de l'humidité du sol, stockage dans la dépression occasionnelles, Le calcul du bilan hydrologique est une fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que : les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. L'évapotranspiration réelle peut ainsi être calculée en faisant le bilan sur un long terme des entrées et sorties d'eau sur des unités hydrologiques ou hydrogéologiques bien circonscrites. Si, sur l'ensemble du bassin, on connaît bien les précipitations, grâce à des réseaux de pluviomètres et les débits des cours d'eau grâce à des seuils de mesure.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée, et pendant une période donnée. Pour l'estimation de l'ETP dans notre région d'étude, nous avons fait recours aux formules de Thornthwaite et de Turc. (Fekhar. H et Chaba. H, 2018).

Formule de Thornthwaite (1948) :

L'évapotranspiration potentielle a été calculée par la formule de Thornthwaite (1948), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station.

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 16 \times \left(\frac{10T}{I} \right)^a \times K$$

ETP : évapotranspiration potentielle du mois en (mm)

T : température moyenne mensuelle de la période en (°C).

I : indice thermique annuelle qui représente la somme des indices mensuelle **i**.

k : coefficient d'ajustement mensuelle lié à la latitude.

a : fonction complexe de l'indice.

$$a = \left(\frac{1,6}{100} \right) \times I + 0,5$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ Avec: } i = (T \div 5)^{1,5}$$

Tableau II 07 : Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (période 1996-2018)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P (mm)	3.9	6.2	5.0	2.8	7.0	2.4	4.3	1.6	3.4	0.4	0.2	1.0	38.1
T Moy (°C)	30.7	24.6	17.2	12.7	12.0	13.8	18.1	22.8	27.9	32.6	35.9	35.1	23.6
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
I	15.2	10.9	6.4	4.1	3.7	4.6	6.9	9.8	13.2	16.6	19.2	18.6	129.1
ETP (mm)	150.9	81.0	28.9	12.5	11.6	16.2	39.4	75.9	139.0	209.2	271.7	240.4	1276.6

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle que nous avons calculés par la formule de Thornthwaite sont représentés dans le (tableau II. 07). On remarque une augmentation de l'ETP à partir du mois de Mai pour atteindre un maximum de 271.7mm en Juillet.

Le taux d'évapotranspiration potentielle annuel estimé par la formule de Thornthwaite est de 1276.6 mm/an.

Formule de Turc (1962) :

La formule de Turc ne nécessite que la connaissance des températures de l'air et de la radiation globale ou de la durée d'insolation. Cette formule est la suivante :

$$ETP = 0,4 \times \left(\frac{T}{T + 15} \right) \times [Ig + 50] \times k$$

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm).

T : température moyenne mensuelle de l'air (en °C).

Ig : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm²/jour)

K : un coefficient égal à 1 si l'humidité relative "Hr" est supérieure ou égal à 50 %.

Sinon : $K = 1 + \frac{50 - Hr}{70}$

Si la radiation globale "Ig" n'est pas mesurée, on pourra l'évaluer à partir de la durée d'insolation "h" par la formule :

$$Ig = IgA \times \left[0,18 + 0,62 \times \left(\frac{h}{H} \right) \right] \times$$

IgA : radiation globale théorique (en cal/cm²/jour) ;

H : durée astronomique du jour (en heure).

Tableau II 08: Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (période 1996-2018)

	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév
T Moy (°C)	30.7	24.6	17.2	12.7	12.0	13.8
IgA (cal/cm2/jour)	839,22	700,77	562,32	499,48	541,02	664,56
h (heure/ jr)	8,40	8,14	7,70	6,58	7,55	8,57
H (heure/ jr)	12,20	11,20	10,40	9,90	10,20	10,90
Ig (cal/cm2/jr)	509,31	441,91	359,34	295,73	345,67	443,57
ETP (mm)	150.2	122.2	87.5	63.4	70.4	87.5
Hr (%)	40,77	48,51	57,51	63,35	62,41	54,09
ETP corrigé (mm)	174.0	128.7	87.5	63.4	70.4	94.6
	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
T Moy (°C)	22.8	27.9	32.6	35.9	35.1	23.6
IgA (cal/cm2/jour)	937,2	1011,75	1035,18	1017,07	948,71	/
h (heure/ jr)	9,43	9,57	9,14	10,20	10,20	
H (heure/ jr)	12,80	13,60	14,10	13,90	13,20	/
Ig (cal/cm2/jr)	596,78	623,52	602,37	645,80	625,29	
ETP (mm)	156.1	175.1	178.7	196.0	188.6	150.2
Hr (%)	40,01	35,42	30,04	26,85	30,26	44,83
ETP corrigé (mm)	182.5	215.7	233.1	264.7	246.3	1896.1

Les résultats de l'évapotranspiration potentielle que nous avons calculés par les formules de Turc sont représentés dans le (tableau II.08). On remarque une augmentation de l'ETP à partir du mois de Mars pour atteindre un maximum de 264,65 mm en Juillet. Le taux d'évapotranspiration potentielle annuelle estimé par la formule de Turc est de 1896,14 mm/an. La comparaison des résultats de l'estimation de l'ETP obtenus par les formules de Thornthwaite et de Turc qui sont respectivement de 1276.60 mm/an et 1896.14mm/an avec l'évaporation mesurée à la station qui est de 3172,74 mm/an, donc on remarque que la formule de Turc est la plus acceptable.

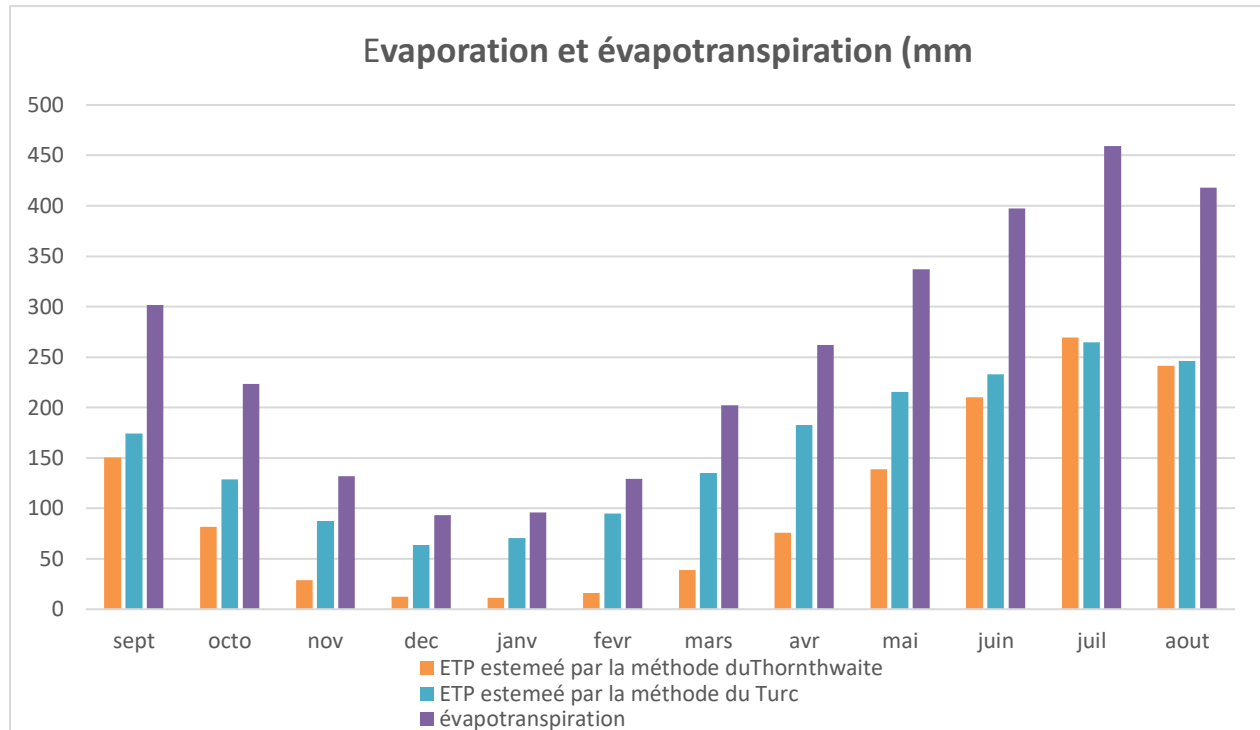


Fig. II 010: Histogramme de variation de l'évaporation mesurée et évapotranspiration potentielle estimée selon les méthodes de Turc et Thornthwaite

Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Les pertes d'eau d'un sol atteignent l'ETP si elles sont supérieures ou égales au stock d'eau de la RFU. En cas d'insuffisance elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée l'évapotranspiration réelle (Castany, année). Cette estimation se fera à partir des formules de Turc, de Coutagne et de Thornthwaite.

Formule de Turc

$$\text{ETP (mm/mois)} = 16 (10T / I)^{0.5}$$

$$i = (T/5)^{1.514}$$

Cette formule permet d'évaluer directement l'ETR annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^3 \text{ (facteur qui tient compte des échanges de chaleur).}$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm,

T : Température moyenne annuelle en °C.

Évapotranspiration réelle par la formule de Thornthwaite

Pour l'établissement du bilan mensuel on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne par la méthode de C.W. Thornthwaite. Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

- La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement.
- Le calcul de l'ETR peut s'effectuer suivant deux cas :
 - 1er cas : $P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$ on a alors un excédent.
 - 2ème cas : $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$.

Sur le tableau suivant (Tab. 9 figurent les valeurs de l'ETR en (mm) et en (%) d'après les deux méthodes ; Turc et Thornthwaite d'où on remarque une différence nettement distincte.

Tableau II 09:présente ETR (Thornthwaite et Turc) période (1996-2018)

Méthode	ETR (mm)
Thornthwaite	38,07
Turc	465,12

Estimation des réserves facilement utilisables

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- Le climat de la région.
- Le type de la couverture végétale.

Ricard (1974), dans son travail a calculé la RFU, en tenant compte du coefficient de rétention (CR). Cette dernière est égale à 0 mm

Calcul de l'infiltration

D'après le bilan hydrologique l'infiltration efficace peut être calculée comme suit :

$$P = ETR + R + I \text{ Alors : } I = P - R - ETR$$

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \text{ (mm/an)}$$

$$I = 0$$

Le Ruissellement (R) :

Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre ». La part des précipitations qui va ruisselée dépend de l'intensité de la pluie, de la pente du terrain et de l'humidité initiale du sol ainsi que de la couverture végétale. Le ruissellement peut être déterminé avec précision à partir de la formule de Tixeront-Bercallof

Si : $P < 600 \text{ mm}$: $R = P^3 / 3 \text{ (ETP)}^2$

$P > 600 \text{ mm}$: $R = P^3 / 3$

Pour notre région d'étude les précipitations annuelles sont toujours inférieures 600 ce qui implique l'application de la première formule

Précipitation :

Pour calculer la quantité de pluie tombant sur le lac sur la période (1996-2018), on multiplie le total annuel de la précipitation (P en m) par la superficie (S en m^2) du lac :

$$V = S \times P_{\text{moy}}$$

$$V = 215,476 \times 10^3 \text{ m}^3$$

V : volume de pluies

S : surface de lac

P_{moy} : précipitation

Tableau II 10: présente le volume de pluie sur le lac sur la période (1996-2018)

Station/Paramètre	v (mm)	I (mm)	R(mm)
Oum Raneb	$215,476 \times 10^3 \text{ m}^3$	O	o

Drainage

Le drainage de surface est la suppression ordonnée des excès d'eau à la surface du sol grâce à des canaux naturels améliorés, à des fossés creusés et au modelage du terrain. Fossé ouvert : Canal creusé pour recueillir l'excès d'eau et l'acheminer vers une sortie d'évacuation sécuritaire (lacs, chott)



Fig. II. 011: le drain de Sebket Oum Raneb

La tranchée responsable de l'alimentation du lac Oum Raneb, sa longueur est d'environ 4,78 km (Fig. II. 12) de la pente raide à une sortie d'évacuation, et la quantité d'eau pompée dans le lac est estimée à environ 200 l/s (2020) chaque semaine (ONA).

Volume d'eau de bilan hydrique (2020)

Somme des entrées - somme des sorties = différence de stocks

Alors :

$$V_{SEBKHA} = V_d + V_p - ETP_C$$

Tableau II 11: Volume d'eau de bilan hydrique (2020)

Station/Paramètre	V_{SEBKHA}
Oum Raneb	360718141.93 L/S

V_d = volume de drainage annuelle

V_p = volume de précipitation annuelle

ETP_C = évapotranspiration potentielle corrige

V_{SEBKHA} = volume d'eau entrées dans lac annuelle

Conclusion :

Le climat de la région d'Ouargla est un climat aride caractérisé par une faible précipitation de moyenne annuelle de 38.07 mm/an pour la période (1996-2018). Les températures dans notre région d'étude sont trop élevées, les valeurs moyennes annuelles varient de 12,01 °C en Janvier et atteignent une moyenne maximale de 35,87 °C en Juillet, le mois le plus chaud. Une forte évaporation créée dans la période d'été atteint jusqu'à 459 mm et le taux annuel est de 3259 mm/an. L'évapotranspiration potentielle a été estimée par les formules de Thornthwaite et Turc, elle est respectivement de 1276,60 mm/an et de 1896,14 mm/an. Cependant, on remarque que l'ETP obtenue par la méthode de Turc reflète mieux les conditions qui règnent dans la région d'étude. L'évapotranspiration réelle a été estimée par les formules de Thornthwaite et Turc, elle est respectivement de 38.07mm/an et de 465,12 mm/an, et RFU égal 0 alors infiltration et ruissèlement nulle. Et la quantité d'eau pompée dans le lac est estimée à environ 200 l/s (2020) chaque semaine (ONA). La quantité de pluie tombant sur le lac sur la période (1996-2018) $215,476 \times 10^3 \text{ m}^3$. Alor après la calcule la différence entre l eaux entre et l eaux sorte la volume

De Sebkhath est 360718141.93 L/S

Chapitre III

Matériels et méthodes

Introduction :

Nous présentons les différentes méthodes des traitements sur les images satellitaires, et les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.

Une synthèse portant sur la télédétection, sa définition, son principe et ses bases physique, sur le satellite Landsat 8. Elle comporte également les principales techniques de télédétection et leurs domaines d'application.

Généralité Sur La Télédétection

Définition

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation des objets à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates formes aéroportées, spatiales, terrestre ou maritime. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition de l'information à distance sans contacts directs avec l'objet détecté (Bonn et Rochon, 1992) [13].

La télédétection est le plus souvent appliquée à l'observation de la Terre, mais peut aussi concerner d'autres planètes, étoiles, galaxies...

Principe de base

Dans la plupart des cas, la télédétection implique une interaction entre l'énergie incidente et les cibles. L'obtention d'une information relative à la nature de la surface terrestre passe par les étapes suivantes (*Fig.II.01*) :

Source d'énergie ou d'illumination (A) : À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une source d'énergie pour illuminer la cible.

Rayonnement et atmosphère (B) : Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'atmosphère. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur.

Interaction avec la cible (C) : Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la surface de celle-ci. La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface.

Enregistrement de l'énergie par le capteur (D) : Une fois l'énergie diffusée ou émise par la cible, elle doit être captée à distance (par un capteur qui n'est pas en contact avec la cible) Pour être enfin enregistrée.

Transmission, réception et traitement (E) : L'énergie enregistrée par le capteur est Transmise, souvent par moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en images (numériques ou photographiques).

Interprétation et analyse (F) : Une interprétation visuelle et/ou numérique de l'image traitée est ensuite nécessaire pour extraire l'information que l'on désire obtenir sur la cible.

Application (G) : La dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image pour mieux comprendre la cible, pour nous en faire découvrir de nouveaux aspects ou pour aider à résoudre un problème particulier.

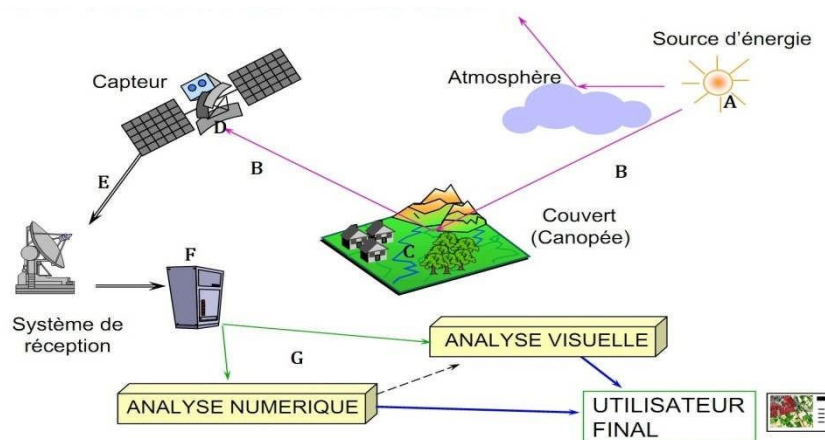


Fig. III.01: Les étapes de la télédétection (d'après TONON M, 2009)

Le rayonnement électromagnétique

En télédétection, on utilise les propriétés physiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques pour acquérir de l'information sur la nature de ces objets. Cette information est portée à l'aide d'un rayonnement électromagnétique. Le système d'observation reçoit ce rayonnement et le traduit en éléments compréhensibles par l'utilisateur comme des données chiffrées.

Les données satellitaires (LANDSAT 8) :

Landsat 8 fournit des images à résolution moyenne, allant de 15 mètres à 100 mètres, de la surface terrestre et des régions polaires. Il fonctionne dans les spectres visibles, proche infrarouge, infrarouge à ondes courtes et infrarouge thermique. Landsat 8 capture plus de 700 scènes par jour, soit une augmentation par rapport aux 250 scènes quotidiennes de Landsat 8. Les capteurs OLI et TIRS voient une performance radiométrique signal sur bruit (SNR) améliorée, permettant une quantification sur 12 bits des données permettant davantage de bits pour une meilleure caractérisation de la couverture terrestre.

Logicielle utilisée :

ENVI 5.3 : ENVI est un logiciel complet de traitement d'images de télédétection, optiques et radar. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques et radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la modélisation de données topographiques sont aussi disponibles. Le logiciel ENVI est conçu en langage IDL (Interactive Data Language) et offre donc des moyens de programmation évoluée. Il a été conçu et développé par ITT Visual Information Solutions. ENVI permet d'extraire rapidement l'information pertinente des images géospatiales. L'ensemble de ses outils et modules spécialisés permettent de lire, explorer, analyser les données et de partager l'information. (Midekor et al., 2013) [14].

ArcGis 10.3 :

ArcGis Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géo-traitement.

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments.

Prétraitement des images satellitaires

Avant d'utiliser les images satellitaires brutes on doit passer par plusieurs étapes de corrections. On cite les étapes les plus importantes :

Correction géométrique :

Les images acquises par les systèmes d'observation de la Terre ne peuvent être directement superposées à des cartes parce qu'elles sont affectées de déformations géométriques. Ces déformations sont dues à des erreurs de positionnement du satellite sur son orbite, au fait que la Terre tourne sur son axe durant l'enregistrement de l'image, aux effets du relief terrestre, etc. Elles sont encore amplifiées par le fait que certains satellites prennent des images en oblique. Certaines déformations, comme l'effet de rotation de la Terre ou l'effet de visée oblique, sont prévisibles et il est possible d'en calculer l'effet, et donc d'appliquer des corrections systématiques. Les satellites ont également à leur bord des systèmes sophistiqués permettant d'enregistrer de très faibles mouvements affectant le satellite. Ces informations sont principalement utilisées pour corriger (quand c'est nécessaire) la position du satellite, mais ils peuvent également servir à corriger géométriquement les images (<https://eo.belspo.be/fr/corrections-geometriques-et-radiometriques>) [15].

Calibration radiométrique :

L'opération la plus importante d'une calibration est de déterminer la relation entre la radiance enregistrée par le capteur et celle de la scène d'origine et de corriger les données pour toutes les anomalies du capteur. D'où le rôle de la calibration radiométrique.

La calibration radiométrique est destinée à corriger les données de certains défauts dus aux capteurs et à convertir le signal reçu en une valeur à signification physique qui est la radiance.

D'après le groupe de travail de la calibration et la validation du comité international CEOS (Committee on Earth Observation Satellites), la calibration radiométrique est définie comme : « le processus définissant de façon quantitative la réponse du système à un signal d'entrée connu et contrôlé ». (H. Hadjit, A.Oukebdane)

Darks subtraction :

La soustraction du cadre sombre est un moyen de réduire le bruit de l'image dans les photographies prises avec de longs temps d'exposition, à une sensibilité élevée du capteur ISO ou à des températures élevées. Il tire parti de deux composants de bruit d'image qui restent les mêmes

d'une prise de vue à l'autre, le bruit de courant d'obscurité et le bruit à motif fixe. Le bruit du capteur d'image inclut les pixels chauds, qui s'allument plus intensément que les pixels environnants. La technique fonctionne en prenant une photo avec l'obturateur fermé et en la soustrayant électroniquement de la photo originale présentant le bruit. (RawPedia. Récupéré le 22/02/2020)

Flaash atmosphérique correction :

FLAASH est un outil de correction atmosphérique de premier principe qui corrige les longueurs d'onde dans les régions visible à travers le proche infrarouge et l'infrarouge à ondes courtes, jusqu'à 3 μm . (Pour les régions thermiques, utilisez l'option Toolbox Correction radiométrique > Correction atmosphérique thermique) FLAASH fonctionne avec la plupart des capteurs hyperspectraux et multispectraux. La récupération de la vapeur d'eau et des aérosols n'est possible que lorsque l'image contient des bandes dans des positions de longueur d'onde appropriées. FLAASH peut corriger les images collectées dans des géométries verticales (nadir) ou obliques. (<https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/flaash.html>) [16].

Spear Pan Sharpening:

Pan Sharpening est une méthode de fusion d'images dans laquelle des données panchromatiques haute résolution sont fusionnées avec des données multispectrales de résolution inférieure pour créer un ensemble de données hautes résolutions colorisées. Le produit résultant ne doit servir que d'aide à l'analyse littérale et non à une analyse spectrale ultérieure (<https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/spearpansharpening.html>) [17].

Traitements des images satellitaires

Les données acquises par télédétection nécessitent donc une série de traitements afin qu'elles soient les plus représentatives possible de la réalité. Donc après plusieurs traitements de la composition colorée on trouve seul la composition colorée à partir des bandes spectrales MIR, PIR et ROUGE est la plus représentative car les caractéristiques spécifiques de ces bandes permettent une bonne visualisation des différents aspects du paysage surtout pour la distinction des zones humides. (Laouini, 2012) [18].

Analyse visuelle de l'image Landsat 8 (composition colorée) a été réalisée à partir d'une composition colorée pour déterminer les états de surface. On utilise habituellement cette combinaison comme première image pour permettre la visualisation des différents aspects du paysage : dunes, sebkhas, lacs, et végétations, en affectant :
- Le Moyen Infrarouge de la bande 5 (**MIR**) au canal **Rouge**.

- Le Proche Infrarouge de la bande 4 (**PIR**) au canal **Vert**.
- La couleur rouge de la bande 3 (**Rouge**) au canal **Bleu**.

Elle a servi à identifier les zones humides dans un climat hyperaride, grâce à la photo-interprétation après rehaussement et filtrage des images.

Les classifications d'image multi spectrale

Les méthodes de classification appliquée dans l'étude sont supervisées et non supervisées.

Classification non supervisée a été réalisée avec la méthode Iso Data appliqué aux six bandes spectrales (hors thermique). Cette classification ne demande aucune connaissance a priori du nombre de classes précis ou de leurs caractéristiques de l'utilisateur (Pony O. et al. 2000) [19].

La méthode de classification non supervisées ou les données sont classées en fonction de leurs caractéristiques, sans aucune information précédente sur la nature des données à classer. L'utilisateur peut intervenir pour fixer le nombre de classes souhaité, un seuil minimum avec le choix du nombre d'itérations. Cette méthode de classification par Iso Data est utilisée à partir des six bandes spectrales hors thermique (bande 6).

Classification supervisée s'effectue par une démarche différente de celle de non supervisée, et oblige à définir les classes thématiques en premier lieu. L'extraction statistique de ces classes permette de leur affecter des pixels de l'image (Caloz et Pointet. 2003) [20]. Dans cette classification les données sont classées vis à vis de zones d'apprentissage choisies par l'utilisateur. La méthode utilisée dans cette étude est une procédure supervisée, appelée classification par maximum de vraisemblance (Richards and Xiuping, 1999) [21].

Une matrice de confusion a été effectuée pour évaluer la qualité de la classification. Elle est obtenue en comparaison avec les données classées (la classification) et les données de références (échantillons acquis sur le terrain) pour vérification qui sont différentes de celles ayant servi à réaliser la classification. (Girard et Girard, 1999) [22].

Cartographie de classification

Après les différents traitements d'images, des cartes de différentes classifications sont été réalisés avec des coordonnées UTM et géographiques et une légende représentant les différentes classes des zones humides et l'occupation du sol des terrains étudiés par les couleurs différentes.

Indice de l'eau NDWI :

Suivant le même principe que le NDWI, l'indice de teneur en eau par différence normalisée ('Normalised Difference Water Index', NDWI) utilise la bande proche infrarouge et une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde ('Short-Wave Infrared', SWIR) (Gao, 1996). Au lieu de la bande rouge, où la réflectance est affectée par la chlorophylle, le NDWI utilise une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (entre 1500 et 1750 nm), où l'eau possède un pic d'absorption. La bande du proche infrarouge ('near-infrared', NIR) est la même que celle du NDWI car l'eau n'absorbe pas dans cette région du spectre électromagnétique.

L'indice NDWI se calcule selon l'équation suivante :

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Chapitre IV

Résultats et discussion

Introduction :

La présentation des cartes de satellite fait ressortir visuellement une nette évolution des états de surface dans la région qui nous intéresse dans notre travail. On remarque notamment une augmentation ou/et la diminution de la surface de plan d'eau dans le temps. Mais cela reste visuelle et sans aucune quantification, ni dans le temps ni dans l'espace. C'est pourquoi on fait appel à d'autres techniques pour estimer la surface de plan d'eau déterminé leurs évolutions.

Les images satellitaires Landsat 8 :

Les images satellites sont téléchargées en format brut à partir du site Internet de l'USGS (U.S Geological Survey). L'adresse Internet pour le téléchargement est la suivante : <http://glovis.usgs.gov/>. Les images sont produites à partir des bandes spectrales du visible et de l'infrarouge du satellite Landsat-8 qui ont une résolution de 30 mètres. 04 scènes ont été choisies pour suivre l'évolution de la surface de l'eau au niveau de sebkhat Oum Raneb. Les images choisies sont acquises en Janvier, Mars, Juillet et Septembre 2020.

Interprétation des images :

On remarque que la formation colorée de sabkhat oum raneb est constituée de bandes

Spectres MIR, PIR et RED, car ils sont les plus représentatifs de la zone d'étude et proches des vraies couleurs.

Ainsi nous pouvons clairement distinguer les différentes configurations suivantes :

- L'eau est clair en couleur bleu.
- Sebkha humides colorée en vert
- Sebkha sèche colorée en jaune
- Dune1 colorée en orange
- Dune2 colorée en rouge

Cette composition colorée présente une zone humide assez importante dans le désert.

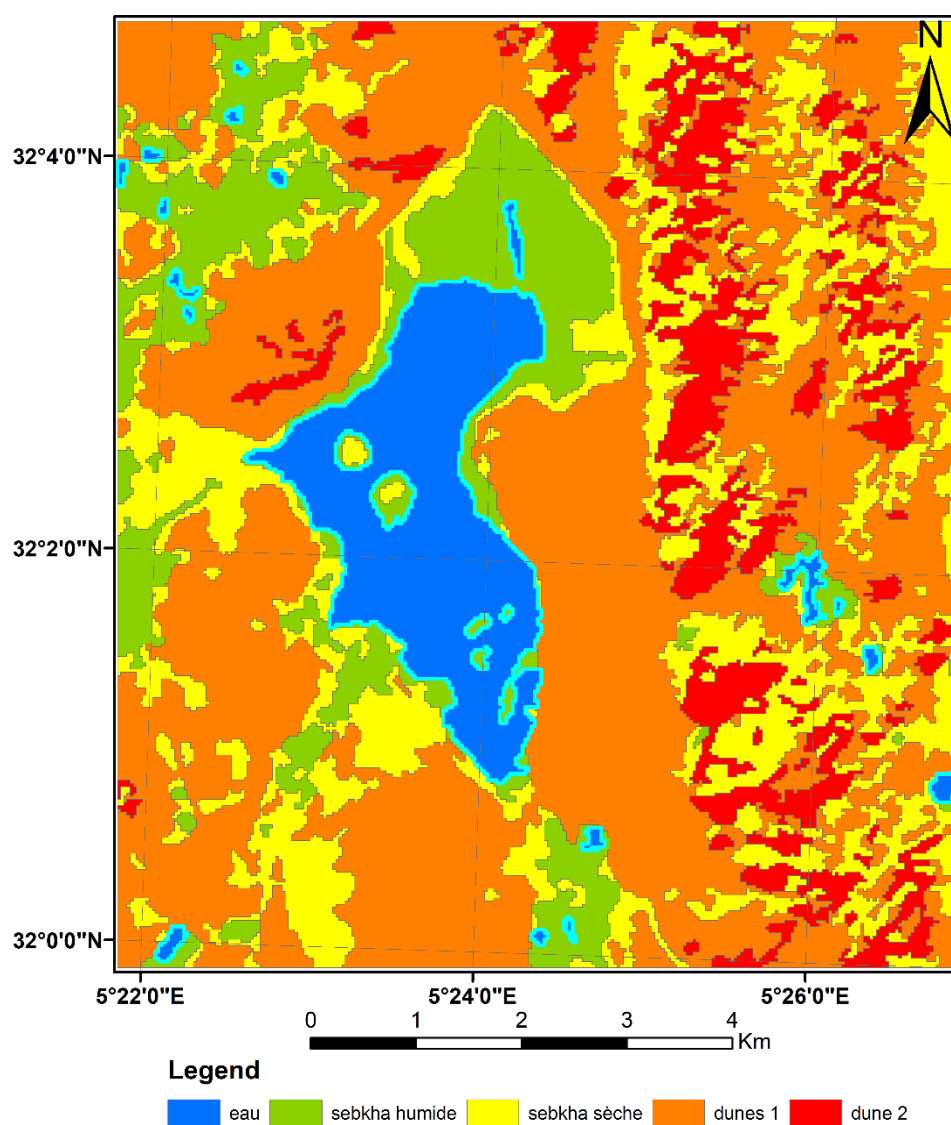


Fig. IV.01: CLASSES DES SOLS JANVIER 2020

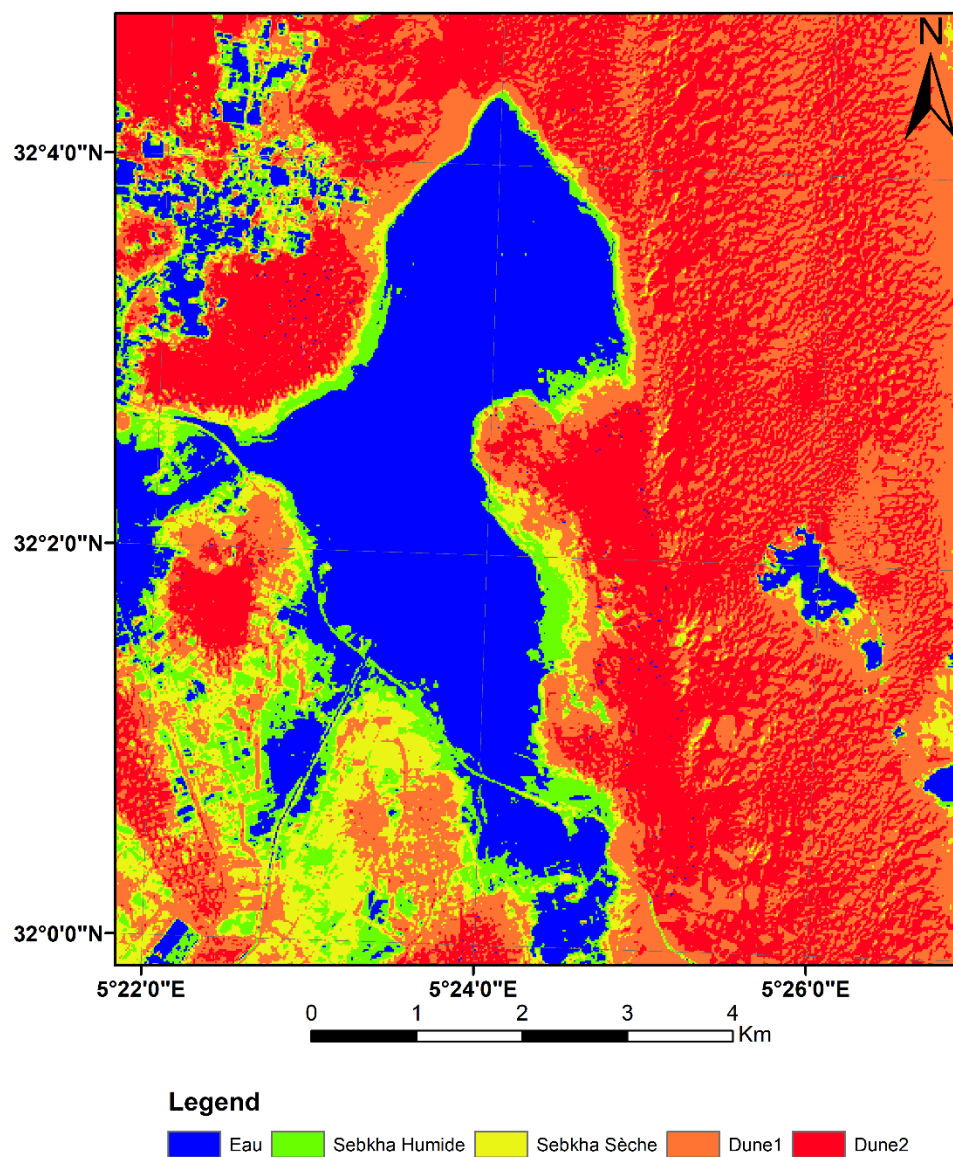


Fig. IV.02: CLASSES DES SOLS MARS 2020

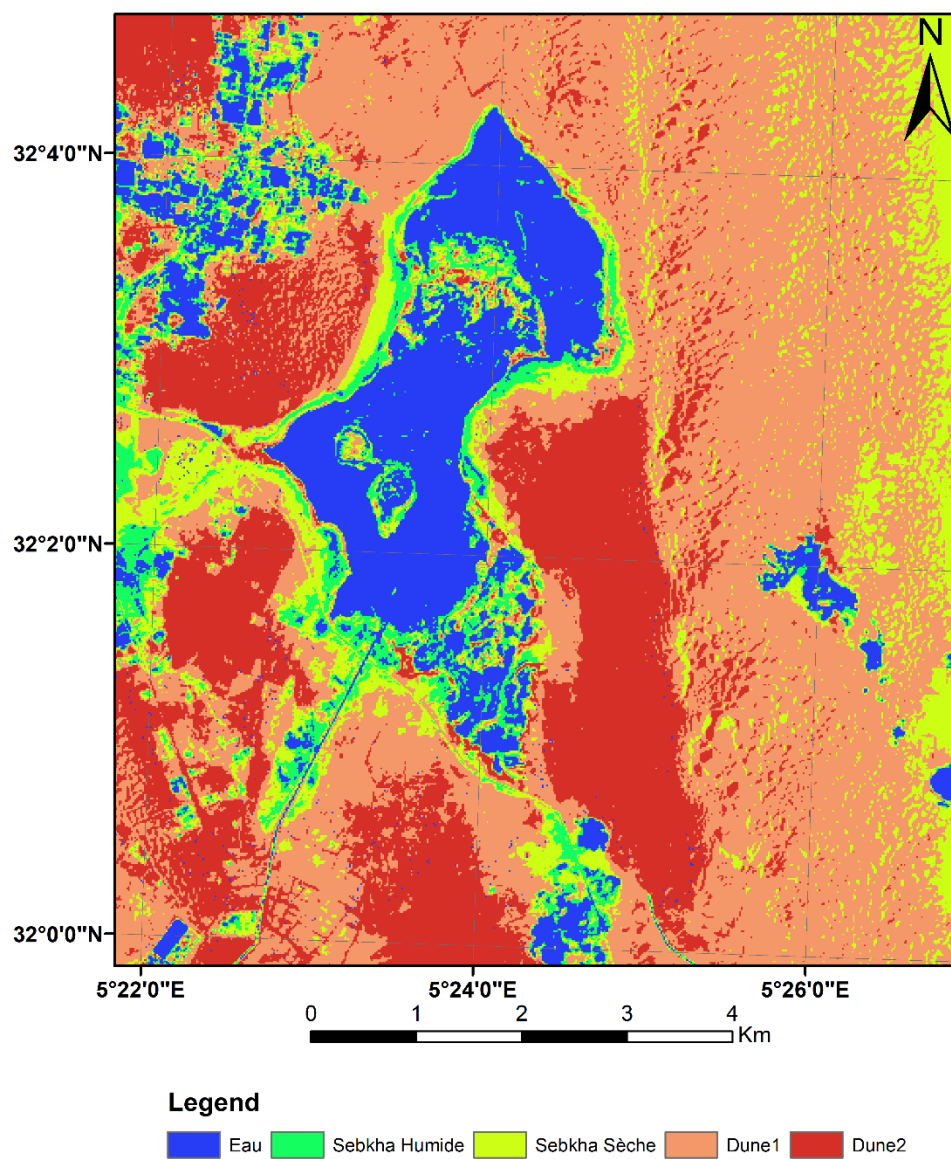


Fig. IV.03: CLASSES DES SOLS JUILLET 2020

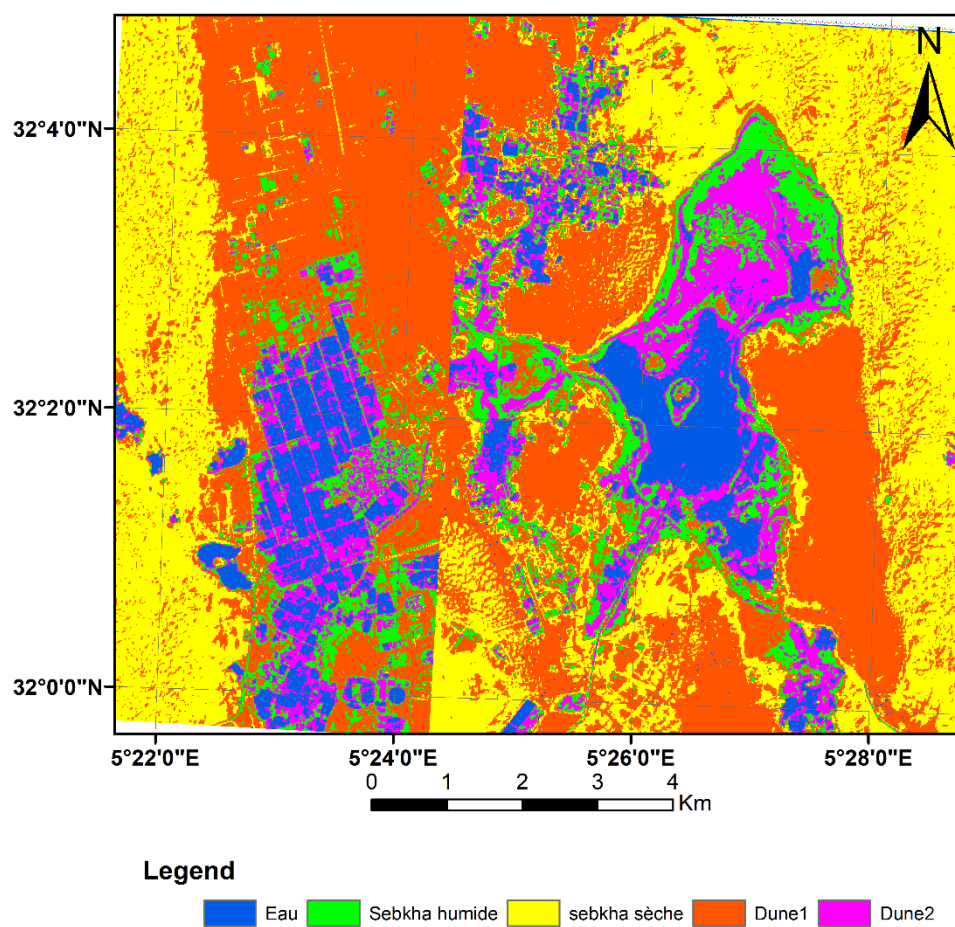


Fig. IV.04: CLASSES DES SOLS SEPTEMBRE 2020

Conclusion générale

Conclusion générale

La région d'Ouargla est une cuvette du bas Sahara située dans la partie basse au Nord-Est du grand erg oriental. Cette région désertique est caractérisée par un climat hyperaride, marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures trop élevées d'autre part.

Cette situation climatique n'a pas empêché l'existence des zones humides dans la région à l'instar des lacs et sebkhas. C'est l'exemple du sebkhat Oum Raneb qui constitue un agréable lac connu surtout par le passage des oiseaux migrateurs notamment le fameux flamant rose.

Le bilan hydrique naturel du lac est négatif, mais, compensé par le retour des eaux de drainage qui assurent un remplissage permanent de la surface de sebkha.

Ce mémoire a permis de délimiter la surface exacte de l'eau

La télédétection est un outil très performant pour le suivi des variations de la surface de l'eau dans les zones humides. Dans ce travail ont essayé de retracer la surface en utilisant l'indice de l'eau IDWI par l'emploi des images Landsat 8 et on a pris comme exemple la scène enregistrée le Janvier ; Mars ; Septembre ; Décembre

Cette démarche peut constituer une méthodologie de suivi du niveau de l'eau dans le lac d'Oum Raneb et de vérifier le bilan hydrique et par conséquent de gérer les volumes des eaux de drainage pompées dans les lacs de la région de Ouargla.

Références bibliographiques

- [1] **UNESCO (1972)** Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. UNESCO, Paris, p 78
- [2] **Aliev M. (1972)**. « Structures géologiques et perspectives en pétrole et en gaz au Sahara algérien ». (Tome 1) SONATRACH -ALGER, 275p.
- [3] **FABRE. J. (1976)**. Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.
- [4] **GUENDOUZ. A., Z. REGHIS & A.S MOULLA. 1992**. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport N° 1, 65p. Rapport N°2, 30p.
- [5] **GUENDOUZ. A., A.S. MOULLA, WM. EDMUNDS, P. SHAND, K. ZOUARI & A. MAMOU. 2003**. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry 18(6) : 805-822.
- [6] **Busson G.** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit : Paris ; 1971. 464p.
- [7] **Hamdi-Aïssa. B. (2001)**. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord-Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doctorat, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 33-82p
- [8] **NAJI, 2015**. Enquête sur l'état d'infestation des cultures maraichères par les meloidogyne (Nematoda-Meloidogynidae) dans les régions d'Adrar et d'Ouargla. Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie Saharienne. Université de Ouargla, Algérie. 43 pages.
- [9] **HADJKOUIDER M, 2019**. Géochimie et minéralogie des formations et des eaux de la nappe superficielle d'Ouargla. Thèse de Doctorat. Université d'Ouargla, Algérie. 226 pages
- [10] **André Musé, 2005**. Cours d'Hydrologie Général
- [11] [12] **GLOBE, 2014**. Climat, météo et atmosphère. Cahier pédagogique. 47 pages.
- [13] **Bonn F et Rochon G. (1992)**. « Précis de télédétection », Vol. 1 : Principe et méthodes Presses de l'Université du Québec, Sillery, 484pp.
- [14] **A. Midekor, J. Wellens, 2013**, Initiation à ENVI, GEeau.org, Ouagadougou, Burkina Faso, 85p

[18] **Laouin H., 2012.** Caractérisation géochimique des zones humides entre deux climats, méditerranéen et aride par image satellitaire : cas des lacs d'El Taref et les chott et sebkhas de Ouargla, mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 140p.

[19] **Pony O., Descombes X. et Zerubia J. (2000).** « Classification d'images satellitaires hyperspectrales en zone rurale et périurbaine ». ISRN INRIA/RR-4008-FR. ISSN 0249-6399

[20] **Caloz R. et Pointet A. (2003).** « Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance », synthèse et cas d'étude, Télédétection, 2003, vol. 3,

[21] **Richards J. and Xiuping J. (1999).** « RemoteSensing Digital Image Analysis: An Introduction ». Geological Magazine, May 2000, v. 137, p. 339-340

[22] **Girard M.C. et Girard C.M. (1999).** « Traitement des données de télédétection ». DUNOD

[15] <https://eo.belspo.be/fr/corrections-geometriques-et-radiometriques>

[16] <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/flaash.html>

[17] <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/spearpansharpening.html>