

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Mise en évidence de l'évolution piézométrique de la nappe
phréatique de Ouargla**

Présenté par

**SAOULI ANOUAR
KORICHI ABDELJALIL**

Soutenu publiquement le- 05 – 2017

Devant le jury :

Présidente :	Mme. BOUCHAGOURA Louisa	MAA	UKM Ouargla
Promotrice :	Mme. ZEDDOURI Samia	Pr	UKM Ouargla
Examinatrice :	Mme. MAABDI Nawel	MAA	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2016/2017

Sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Cadre physique	
I.1. Situation géographique de la zone d'étude	02
I.2. Géomorphologie de la région	03
I.3. Aperçu géologique.....	05
I.3.1 Cadre géologique régional.....	05
I.3.2. Cadre géologique local.....	09
I.3.2.1 Litho-stratigraphie.....	10
Chapitre II : Hydro-climatologie	
II.1. Introduction.....	13
II.2. Facteurs climatiques.....	13
II.2.1 La précipitation.....	13
II.2.1. a. La pluviométrie annuelle.....	13
II.2.1. b. La pluviométrie mensuelle.....	14
II.2.2 Température.....	15
II.2.2.a. La température annuelle.....	15
II.2.2.b. La température mensuelle.....	16
II.2.2.c. Diagramme ombrothermique.....	16
II.2.2.d. Indice d'aridité.....	17
II.2.3 L'humidité de l'air.....	18
II.2.4 Le vent.....	18
II.2.5 L'insolation.....	19
II.2.6. Evaporation et évapotranspiration.....	20
II.2.6.1. Evaporation.....	20
II.2.6.2. L'évapotranspiration.....	20
II.2.6.2.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP).....	20
II.2.6.2.1.a Formule de Thornthwaite.....	20
II.2.6.2.1.b. Formule de Turc.....	23
II.3. Conclusion.....	25
Chapitre III : Hydrogéologie	
III.1. Introduction.....	26

III.2. Les aquifères dans la région d'étude.....	26
III.2.1. Le Continental intercalaire.....	27
III.2.2. Le Complexe Terminal (CT)	30
III.2.3. La nappe phréatique.....	32
III.2.3.1. Caractérisation de l'aquifère.....	32
III.2.3.1.1. Lithologie du réservoir.....	32
III.2.3.1.2. Profondeur du substratum.....	33
III.2.3.1.3. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.....	34
III.2.3.2. Etude piézométrique de la nappe phréatique.....	36
III.2.3.2.1. Historique de la piézométrie de la nappe phréatique.....	36
III.2.3.2.2. Etude piézométrique de la nappe phréatique.....	38
III.3. Evolution interannuelle de la piézométrie.....	41
III.4. Conclusion.....	46
Conclusion générale.....	47

Liste des tableaux

Tableau 1. Coordonnées de la station météo de Ouargla	13
Tableau 2. Moyennes annuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	13
Tableau 3. Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	14
Tableau 4. Moyennes annuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	15
Tableau 5. Moyennes mensuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	16
Tableau 6. Humidité moyenne mensuelle (%) (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	18
Tableau 7. Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	19
Tableau 8. Insolation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	19
Tableau 9. Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	19
Tableau 10. Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (ONM de Ouargla, 1996-2015).	22
Tableau 11. Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	24
Tableau 12. Résultats des essais de pompage (ONA-BG, 2003).....	35

Liste des figures

Figure.1. Situation générale.....	02
Figure 2. Délimitation de la cuvette d’Ouargla (BENZINE.Y, BENCHAA.A 2011).....	03
Figure 3. Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla(Bellaoueur. 2008).....	04
Figure 4. Relief de la région de Ouargla (BG, 2004)	05
Figure 5. Carte géologique régionale (OSS. 2003)	09
Figure 6. Carte géologique locale (BG, 2004)	10
Figure 7. Moyennes annuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	14
Figure 8. Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015).....	15
Figure 9. Température moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2015).....	16
Figure 10. Courbe pluviothermique de la région de Ouargla (1996-2015).....	17
Figure 11. Humidité mensuelle moyenne dans la région de Ouargla (1996-2015).....	18
Figure 12. Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Ouargla pendant la période (1996-2015).....	20
Figure 13. Histogramme de variation de l'évaporation mesurée et évapotranspiration potentielle estimée selon les méthodes de Turc et Thornthwaite.....	25
Figure 14. Délimitation du "SASS"(OSS, 2003).....	27
Figure 15. Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (Belaid, 2014).....	28

Figure 16. Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS,2003).....	30
Figure 17. Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....	31
Figure 18. Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS,2003).....	32
Figure 19. Log géologiques des formations de la nappe phréatique (Djidel, 2008).....	33
Figure 20. Carte en isobathe du mur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargl (Bellaouar, 2007)	34
Figure 21. Carte des transmissivités de l'aquifère libre de Ouargla.....	36
Figure 22. Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968 (DHW-Ouargla, 1968).....	38
Figure 23. Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2000).....	39
Figure 24. Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2010).....	40
Figure 25. Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2015).....	41
Figure 26. Carte de fluctuation de la nappe phréatique (période 2010-2015).....	42
Figure 27. Carte de localisation des piézomètres du suivi piézométrique.....	43
Figure 28. Variation interannuelle du niveau de la nappe phréatique au piézomètre P012.....	44
Figure 29. Variation interannuelle du niveau de la nappe phréatique au piézomètre P096.....	44
Figure 30. Variation interannuelle du niveau de la nappe phréatique au piézomètre PL10,PL27	45

Introduction générale

Dans les régions arides, la gestion de la ressource en eau est un enjeu majeur. Face au développement socio-économique, le Sahara algérien, se trouve aujourd'hui confronté à une demande en eau sans cesse croissante. Ceci a conduit les gestionnaires des ressources en eau à prospecter pour avoir l'accès aux réserves et répondre aux besoins en eau.

Ce développement rapide a cependant causé, ces dernières années, des problèmes énormes : l'abaissement de l'artésianisme des nappes profondes par l'augmentation du nombre de forages, l'évacuation des eaux des nappes phréatiques, les eaux d'assainissement, et la remontée du niveau piézométrique.

La région de Ouargla a été touchée directement par ce problème causé par plusieurs facteurs notamment l'exploitation des nappes profondes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT) dont les eaux contribuent à la recharge de la nappe superficielle par le biais de l'irrigation et des fuites dans les réseaux d'AEP et d'assainissement relevant ainsi son niveau piézométrique.

Ce phénomène de la remontée des eaux a eu des répercussions graves sur l'agriculture et l'environnement

L'objectif de ce travail est de faire le suivi spatio-temporelle du niveau piézométrique de la nappe phréatique afin de cerner le problème de la remontée des eaux dans la zone d'étude.

Pour atteindre cet objectif, notre travail a été réalisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre s'articule autour des caractéristiques naturelles de la région de Ouargla (situation géographique, géomorphologie et géologie).
- Le deuxième chapitre est l'hydro climatologie par l'étude des facteurs climatiques qui régissent les composantes du bilan hydrologique
- Le troisième chapitre est l'étude hydrogéologique par la description de la géométrie de l'aquifère, un aperçu sur l'historique du problème de la remontée et enfin l'étude de l'évolution spatio-temporelle du niveau de la nappe.

I.1. Situation géographique de la zone d'étude :

La wilaya d'Ouargla fait partie du Sahara septentrional, elle est située au sud-est algérien. Elle est limitée au Nord par Biskra, au Sud par Tamanrasset et Illizi au nord-ouest par Djelfa, à l'Ouest par Ghardaïa, à l'Est par la wilaya d'El Oued et la Tunisie. Elle occupe une superficie de de 361 980 km², et sa population est estimée à 633 967 habitants en 2016.

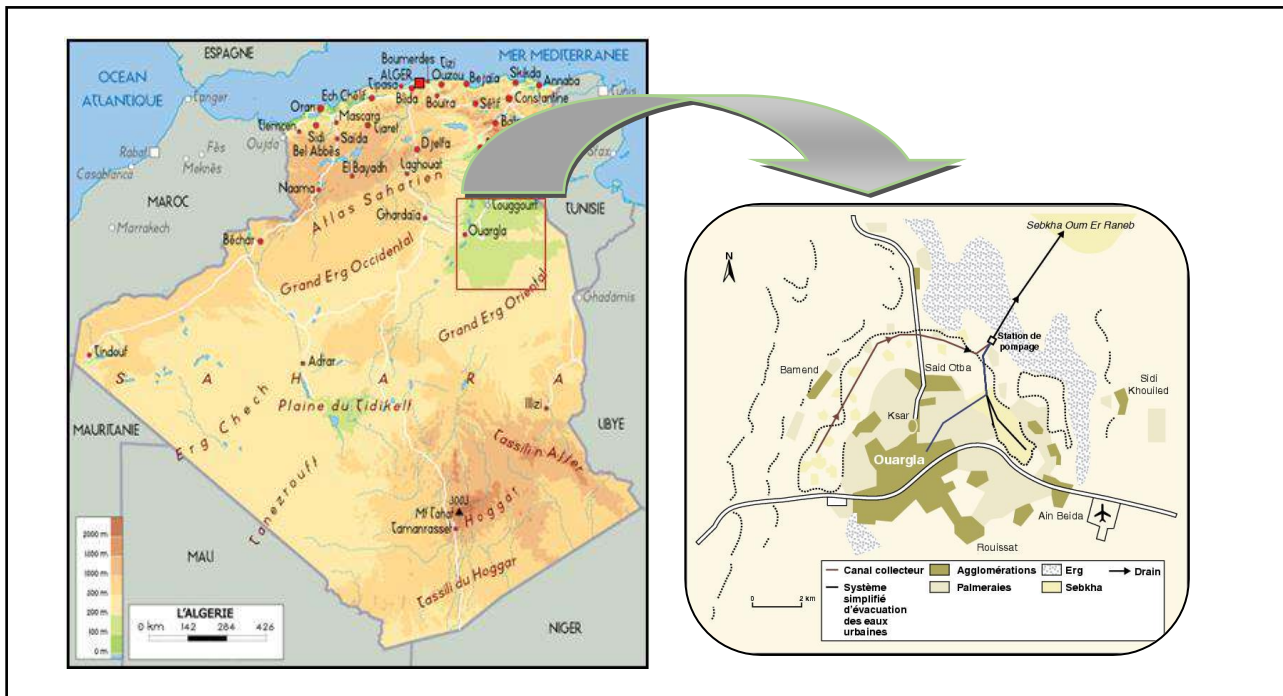


Figure 1. Situation générale

La ville de Ouargla est située dans une dépression (cuvette) qui inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Aïn El Beïda et Sidi Khouiled. Cette dépression ou cuvette s'étend entre les coordonnées (UTM, Clarke 1880): X = 710 000 ; Y = 3 530 000 et

X = 730 000 ; Y = 3 600 000.

Elle s'étend ainsi sur une longueur d'environ 55 km orientée sud-ouest / nord-est sur une superficie de l'ordre de 95 000 ha, elle est limitée par Sebkhiet Safioune au Nord, les ergs de Touil et Arifdji à l'Est, par les dunes de Sedrata au Sud et par le versant Est de la dorsale du M'Zab A l'Ouest.

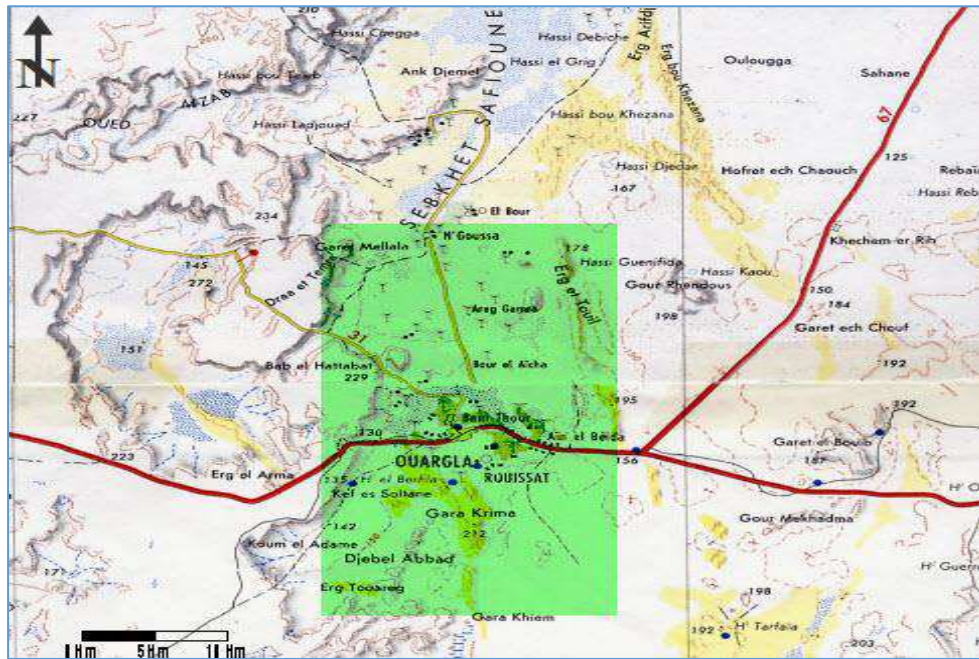


Figure 2. Délimitation de la cuvette d'Ouargla (BENZINE.Y, BENCHAA.A 2011)

I.2.Géomorphologie de la région :

L'étude géomorphologique de la région permet de distinguer les paysages géomorphologiques suivants (figure 2,3) :

La hamada Mio-Plio-Quaternaire qui se présente comme un plateau où affleurent de grandes dalles rocheuses. C'est une formation continentale détritique dont l'altitude moyenne est de 200 m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé et ne laissant que quelques buttes témoins appelées "goure". (Bellaoueur. 2008).

- Les glacis sur les versants Ouest de la cuvette s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 m d'altitude. Les glacis situés à 180 et 160 m se caractérisent par des affleurements du substrat gréseux du Mio-Pliocène. L'Est de la cuvette est un vaste glacis alluvial à sable grossier situé à 150 m d'altitude. (Bellaoueur. 2008)
- Les sebkhas : marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. Le chott (ou sebkha) constitue le point le plus bas. Il est constitué de sable siliceux et/ou gypseux à croûte gypseuse de surface et de sub-surface. Le bas fond se caractérise par une nappe phréatique permanente très peu profonde de 1 à 5 m.
- En aval de Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebket Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région.(Bellaoueur. 2008)

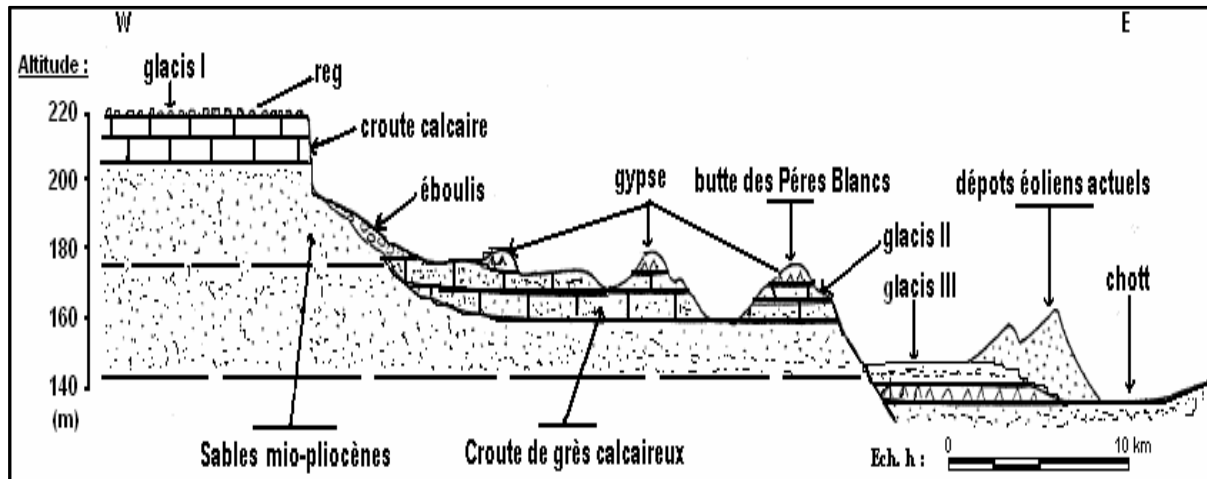


Figure 3. Coupe géomorphologique schématisée de la vallée de Ouargla

(Bellaoueur. 2008)

Le sous-sol est formé de sables dunaires reposant sur des alluvions de l'oued avec localement des formations gréseuses indurées.

Dans la région de Ouargla, seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent. Ils sont recouverts par endroits de formations de dépôts datant du Quaternaire composé des ergs et des dunes.

La cuvette est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords est et ouest.

Après son creusement, la cuvette a été occupée par un lac au fond duquel se sont déposés des sédiments fins argileux ou d'origine chimique, craies, calcédoine et évaporites. Des oueds, descendant de la dorsale "mzabite" à l'Ouest (oueds M'Zab, N'Sa et Z'Gag) ou du Tademaït (Oued Mya) au Sud, se déversaient dans ce lac en abandonnant leurs alluvions en larges cônes (Ank Djemel pour l'Oued M'Zab) ou barrant la vallée (Oued N'Sa et Z'Gag au Nord de Sebket Safioune).

Avec la fin de la dernière grande période pluviale, le lac s'est retiré. L'Oued Mya n'a pu qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de Sebket Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

Les alluvions de Oued N'Sa ferment la vallée au Nord de Sebket Safioune, empêchant un écoulement vers l'aval. Cette fermeture s'est rompue dans sa partie Est et les eaux du lac ont pu s'échapper vers le N-E, en direction de Touggourt et du Chott Melghir.

Actuellement, les plus grandes crues de l'Oued Mya s'arrêtent à 200 km à l'amont de Ouargla. Celles de l'Oued M'Zab atteignent Sebkheth Safioune deux fois par siècle, alors que celles de l'Oued N'Sa semblent plus fréquentes.

- Les travaux des archéologues confirment que la dépression de l'Oued Mya n'a été drainée par des cours d'eau qu'à une période très ancienne du Quaternaire et que les sebkhas n'étaient pas fonctionnelles à l'époque néolithique car certains gisements reposent sur elles. Les sebkhas sont apparues au cours d'une période humide antérieure, vraisemblablement le dernier grand pluvial contemporain de la glaciation de Würm.(Bellaoueur. 2008)

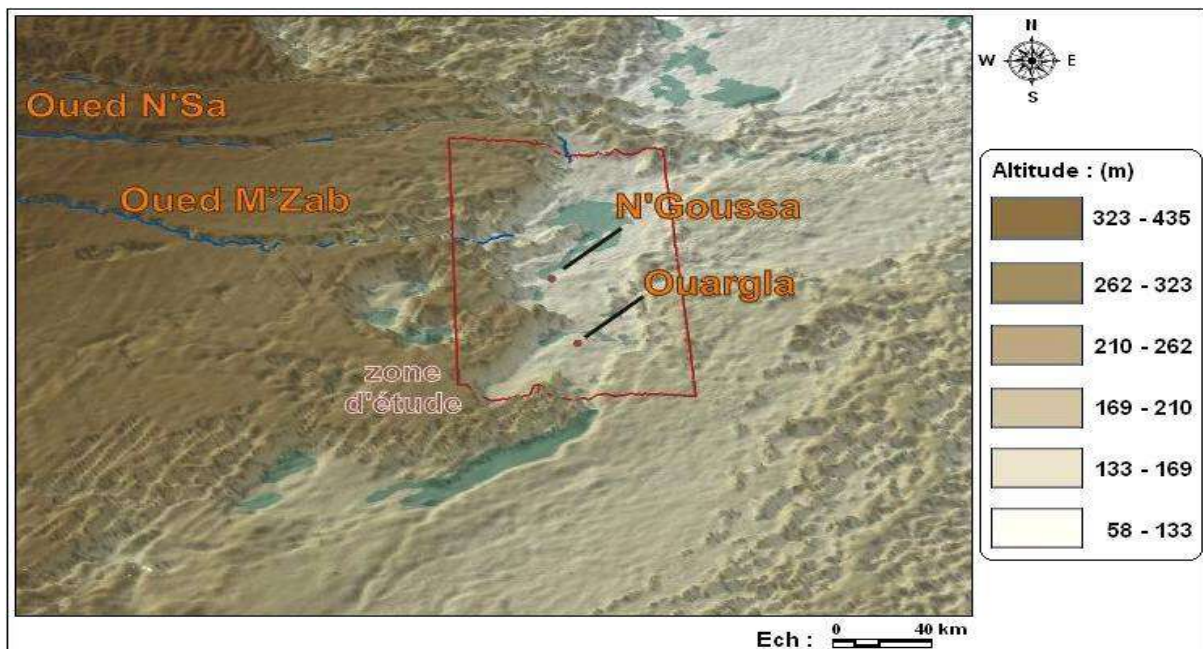


Figure 4. Relief de la région de Ouargla (BG, 2004)

D'après la carte de relief de la zone d'étude on remarque que la zone de grande altitude (323m-435m) couleur sombre est située à l'ouest est traversée par deux oueds, Oued N'sa et Oued M'Zab. La moyenne altitude (210m-262m) couleur beige est située à l'est. La faible altitude (58m-133m) couleur blanche se trouve au centre

I.3.Aperçu géologique :

I.3.1. Cadre géologique régional :

De nombreux travaux de recherches sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara Septentrional dont les plus connus : G. Busson 1970; G. Conrad 1969; Dubief 1959.

La région de Ouargla fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Nord-Est Septentrional, dont les grands traits de la géologie sont :

a. Au Sud de l'accident Sud atlasique qui sépare la zone mobile maghrébine du reste de l'Afrique occidentale, le bouclier rigide est formé de terrains sédimentaires et éruptifs, plissés et métamorphisés.

b. Le Paléozoïque du Sahara correspond à des dépôts de climat désertique périglaciaire.

Autour des affleurements du socle, s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis. Les mouvements hercyniens du Permo-Carbonifère, vont provoquer l'érosion du bouclier. Il s'installe alors une grande période continentale avec pénéplanation posthercynienne pendant le Trias et le Jurassique et formation d'un manteau de grès, de sable et d'argile, qui va constituer le "Continental Intercalaire".

c. Le Trias : Busson (1970) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être : salifères, argileuses, argilo-gréseuses ou carbonatées. L'épaisseur de ces différentes formations varie principalement là où s'intercalent des bancs salifères. L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180 m). Elle diminue dans les zones de hauts-fonds (Hassi Messaoud et R. El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (700 m au N-E de Ghadamès), il atteint 1300 m à H. Messaoud.

d. Le Jurassique :

- Le Jurassique inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argiles auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite.

- Le Jurassique moyen caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du Grand Erg Oriental et les dépôts y sont épais.

- Le Jurassique supérieur est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud.

Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Hoggar) (Busson, 1970).

e. Le Crétacé inférieur : L'étude des données de sondages (Busson, 1970) a permis de préciser la succession des paléogéographies au cours du Crétacé inférieur. Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-délaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

- Le Néocomien : comprenant dans le Bas-Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles.

- Le Barrémien : est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusque dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar) (Figure 5). Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien.

- L'Aptien : est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignite (sédimentation lagunaire).

- L'Albien : est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens.

On remarque que le changement du régime sédimentaire et l'arrivée en masse de sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien et au cours de l'Albien (Fabre, 1976).

f. Le Cénomaniens : est formé par une alternance de bancs de dolomie, de calcaire dolomitique, d'argiles et d'évaporites (anhydrite ou sel). Son faciès varie :

- Au Sud d'Ouargla, les argiles et les évaporites dominant.
- Au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomie sont majoritaires.
- De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50 m dans le Tademaït à 350 m dans le Bas-Sahara).

La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuche, 1969).

Le Cénomaniens inférieur à moyen : est argileux dans le Tinrhert et le Bas-Sahara.

Le Cénomaniens supérieur y est calcaire (Busson, 1970).

g. Le Turonien : Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux.
- Entre El Goléa et Djamaâ, il est essentiellement calcaire.
- Au Nord de Djamaâ, il est à nouveau calcaro-marneux.

Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300 m (Bel et Cuche, 1969).

h. Le Sénonien : Il s'individualise en deux faciès :

- Le Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable (Busson, 1970).

- Le Sénonien supérieur (Sénonien carbonaté) : formation carbonatée perméable.

i. L'Eocène : On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique :

A la base :

- L'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrite et de marnes. La puissance de cette formation varie entre 100 et 500 m, l'épaisseur maximum se situant dans la zone du Bas-Sahara.

Au sommet :

- L'Eocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les Chotts (Bel et Cuche, 1969).

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien (Busson, 1970).

j. Le Mio-Plio-Quaternaire : Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150 m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts algéro-tunisiens, quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région d'O. Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'O. Rhir). L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des chotts (Busson, 1970).

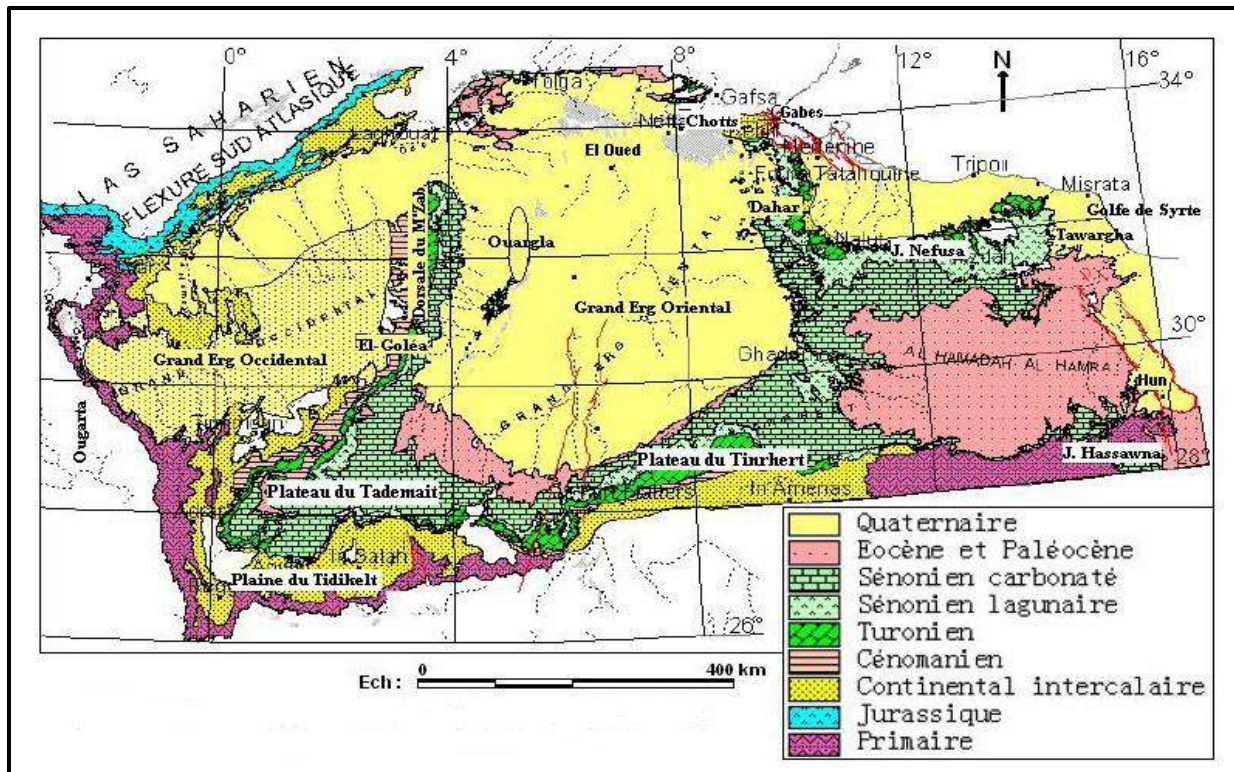


Figure 5. Carte géologique régionale (OSS, 2003)

I.3.2. Cadre géologique local :

Dans la région de Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent, ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).

Cette carte représente les différentes formations géologiques de la région d'étude ; on observe que les dunes (sable) dominent le côté ouest de la région avec présence de terrain sénono-éocène (vert) et de mio-pliocène (ocre jaune) . A l'est de la région il n'existe que du terrain mio-pliocène (ocre jaune) avec un affleurement de Plio-Quaternaire (jaune). Le centre de la région est composé de terrain Quaternaire (blanc).

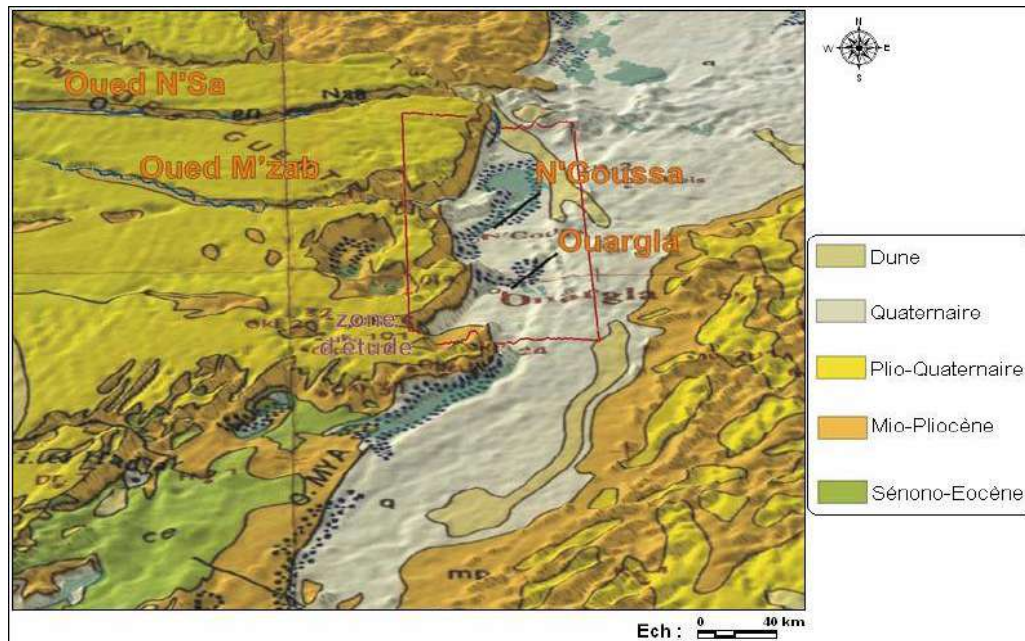


Figure 6. Carte géologique locale (BG, 2004)

I.3.2.1 Litho-stratigraphie :

a. Le Barrémien : Capté à partir de 1500 m. Il présente une alternance de grès et d'argiles, avec des intercalations calcaire-dolomitiques. (Bellaoueur. 2008)

b. L'Aptien : Il est constitué par la "barre aptienne" dans la région de Ouargla, qui est formée de marnes dolomitiques, grises, vertes, brunes ou blanches et de dolomies cristallines. Son épaisseur est variable, généralement inférieure à 50 m. (Bellaoueur. 2008)

c. L'Albien : Il correspond à la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire. Ce sont des grès, argiles et sables. L'épaisseur de ces formations est variable (>400 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 des intercalations de sables grossiers à limons argileux ou carbonatés. On note des passées d'argiles brun-rougêâtres, elles sont même pélitiques et sableuses dans les puits les plus septentrionaux. (Bellaoueur. 2008)

d. Le Vraconien : L'intercalation albo-cénomaniennne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès de l'Albien et les argiles du Cénomanienn, il est formé de : (Bellaoueur. 2008)

- Dolomies et quelques fois de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont de 50 à 100 m.
- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

e. Le Cénomanienn : Il est formé de deux séries (inférieure et supérieure) : (Bellaoueur. 2008)

- La série inférieure est constituée par des argiles dolomitiques et des marnes grises, avec parfois des argiles brune-rougeâtres ou gris verdâtres, son épaisseur varie entre 60 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 et de quelques intercalations dolomitiques, son épaisseur est de l'ordre de 70 m.

f. Le Turonien : Il se présente sous la forme d'une dalle "barre Turonienne" ayant une épaisseur régulière de l'ordre de 70 m. Il s'agit d'une formation essentiellement calcaire : calcaire poreux blanc, parfois grisâtre, pulvérulent, quelquefois dolomitique, de calcaire beige dolomitique et de calcaire fin légèrement dolomitique. (Bellaoueur. 2008)

g. Le Sénonien : Il est constitué de deux formations lithologiques superposées : (Bellaoueur. 2008)

- Le Sénonien lagunaire à la base qui est constitué par une alternance irrégulière de bancs d'anhydrite, de dolomie, d'argile et de sel. Les proportions de ces formations varient d'un point à un autre :

- L'anhydrite forme des bancs dont l'épaisseur peut atteindre 250 m.
- La dolomie constitue parfois des barres plus importantes d'environ 60 m.
- Les niveaux d'argile et de marne ne dépassant généralement pas 120 m d'épaisseur.

- Le Sénonien carbonaté au sommet (200 m environ) : Calcaire blanc, tendre à moyennement dure, parfois crayeux à vacuolaire et passées de marne gris tendre à pâteuse dolomitique.

h. Le Sénono-Eocène : Il est formé essentiellement de carbonates ayant une épaisseur comprise entre 150 et 200 m. Il s'agit de calcaires dolomitiques cristallins ou micro-cristallins parfois vacuolaires ou crayeux ou plus carrément argileux. (Bellaoueur. 2008)

i. Le Mio-Pliocène "MP" : Il correspond au Continental Terminal tel qu'il a été défini par C.Kilian (1931). C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles, qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance sur le Sénono-Eocène. (Bellaoueur. 2008)

On distingue quatre niveaux différents dans le "MP" à Ouargla qui sont de bas en haut :

- Un dépôt argileux peu épais (< 10 m) recouvrant dans la partie centrale de la cuvette et suivant une bande nord-sud, le Sénono-Eocène.

- Un niveau grésosableux qui devient argileux vers le sommet, c'est le niveau le plus épais (> 30 m) et le plus constant.

- Un niveau argilo-sableux dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche n'apparaît que dans certains endroits.

- Un niveau très épais (≈ 30 m) dans la zone des chotts, à sommet affleurant sur de grandes surfaces et souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne).

j. Le Quaternaire : A la base, il existe un niveau argilo-gréseux qui se présente comme une croûte ancienne. Le niveau le plus superficiel est constitué de sable éolien parfois gypseux et de produits de remaniement des terrains du "MP". (Bellaoueur. 2008)

Les sondages superficiels effectués dans différentes localités de la cuvette, 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 "MP", c'est le sol le plus pauvre en gypse dans la région. A 10 m de profondeur, il ne présente aucun niveau d'encroûtement. En surface, entre 20 et 70 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, blanchâtre partiellement couverte de voiles de sable éolien gypso-siliceux et de nebkas associés à une végétation gypsohalophiles. De 10 à 20 cm de profondeur 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. Plus en dessous un tuf présente une teneur de gypse décroissante.

Les Sebkhass sont caractérisées par une salure extrêmement élevée, ces croûtes salines reposent sur des matériaux limono-sableux.

Les dunes sont du sable éolien d'origine gréseux provenant de la Hamada miopliocène. Elles existent dans les talwegs, sur les bordures des Sebkhass et sur les versants rocheux.

II.1 Introduction :

Le climat de la région d'étude est de type saharien, caractérisé par un été chaud et sec, un hiver plutôt doux, une faible pluviométrie et une forte évaporation.

Pour évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan, il est nécessaire d'établir le bilan hydrique. La connaissance des paramètres qui conditionnent ce bilan (précipitations, évaporation, infiltration et ruissellement) est donc indispensable. Ces paramètres hydroclimatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique.

Pour mener à bien cette étude hydroclimatologique et atteindre notre objectif, il faudra acquérir des renseignements bien précis sur les différents facteurs qui régissent les variations climatiques.

Notre étude a été réalisée à la base des données mesurées à la station de Ouargla (ONM) pour une période de dix-neuf ans(1996-2015).

Tableau 1. Coordonnées de la station météo de Ouargla

Station	Latitude	Longitude	Altitude
Ouargla	05° 19' 22"	31° 57' 17"	136

II.2. Facteurs climatiques :

II.2 La précipitation :

II.2.1.a La pluviométrie annuelle :

Le tableau 2 représente les précipitations moyennes annuelles mesurées à la station de Ouargla au cours de la période (1996/2015).

Tableau 2. Moyennes annuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)	Année	P (mm)
1996	57,6	2001	5,9	2006	20,41	2011	17,92
1997	29,5	2002	14,9	2007	13,16	2012	32,44
1998	10,6	2003	28,85	2008	46,45	2013	41,66
1999	48,7	2004	117,85	2009	75,95	2014	32,2
2000	88,3	2005	23,76	2010	23,67	2015	31,3
P Moyenne Annuelle				38,06			

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées depuis 1996 jusqu'à 2015 (figure 7) varient de 5,9 valeurs enregistrées en 2001 à 117,85 mm en 2004, ce qui explique l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre. Durant cette période, la valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de 38,06mm/an.

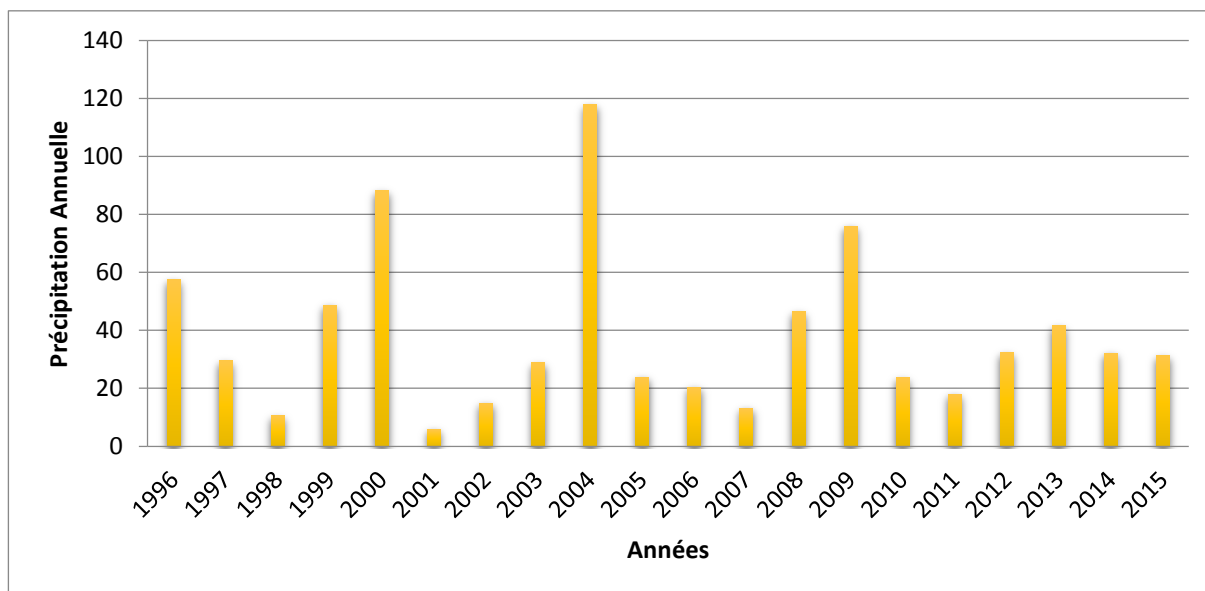


Figure 7. Moyennes annuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015)

II.2.1.b La pluviométrie mensuelle :

Le tableau ci-dessous montre la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

Tableau3. Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuelle
P Moy	3,07	5,78	4,99	2,84	8,05	2,45	3,75	1,71	3,65	0,46	0,24	1,07	38,06

D'après la représentation graphique de la variation des précipitations au cours de l'année (figure 8), on remarque que le maximum est de 8,05 mm enregistré au mois de Janvier , le minimum est de 0,46 mm et 0,24 mm en Juin et Juillet. Le taux annuel de la précipitation est de l'ordre de 38,06mm/an

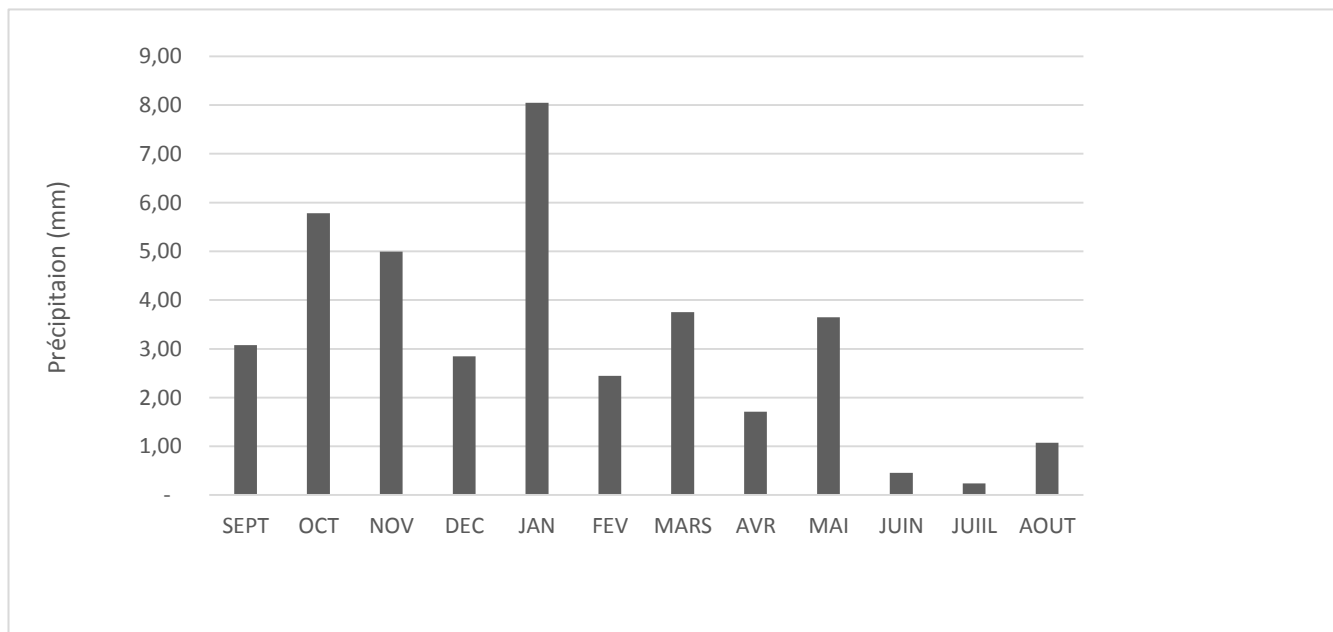


Figure 8. Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2015)

II.2.2 Température :

La température est la grandeur physique, qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid, la température est mesurée avec un thermomètre.

La région d'Ouargla est caractérisée par un climat saharien hyper-aride, les températures sont très élevées en été.

II.2.2.a La température annuelle :

Les valeurs moyennes annuelles enregistrées depuis 1996 jusqu'à 2015 (Tab 4) varient de 22,73 valeur enregistrée en 1998 à 24,35°C en 2010. Durant cette période, la valeur moyenne enregistrée est de l'ordre de 23,57°C.

Tableau 4. Moyennes annuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)
1996	22,85	2001	23,85	2006	23,78	2011	23,06
1997	23,43	2002	23,67	2007	23,6	2012	23,45
1998	22,73	2003	23,59	2008	23,71	2013	23,69
1999	24,18	2004	23,37	2009	23,3	2014	24,18
2000	23,05	2005	23,46	2010	24,35	2015	24,28
Température moyenne inter-annuelle				23,57			

II.2.2.b La température mensuelle :

Le tableau 5 représente les températures moyennes des minima, des maxima et la moyenne. Les données à partir desquelles ont été calculées ces moyennes ont été obtenues au niveau de l'ONM de Ouargla.

Tableau 5. Moyennes mensuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuelle
T Moy Min	23,23	17,10	10,09	5,78	4,67	6,23	10,21	14,69	19,82	24,60	27,70	27,43	15,96
T Moy Max	38,07	32,18	24,46	19,62	19,21	21,08	25,92	30,75	35,64	40,56	43,88	43,00	31,20
T Moy	30,65	24,64	17,27	12,70	11,94	13,65	18,07	22,72	27,73	32,58	35,79	35,22	23,58

La représentation graphique de ces résultats (figure 9) montre que la moyenne des mois les plus chauds Juillet et Aout atteint respectivement 43,88 et 43°C et celle du mois le plus froid Janvier est de 4,67°C.

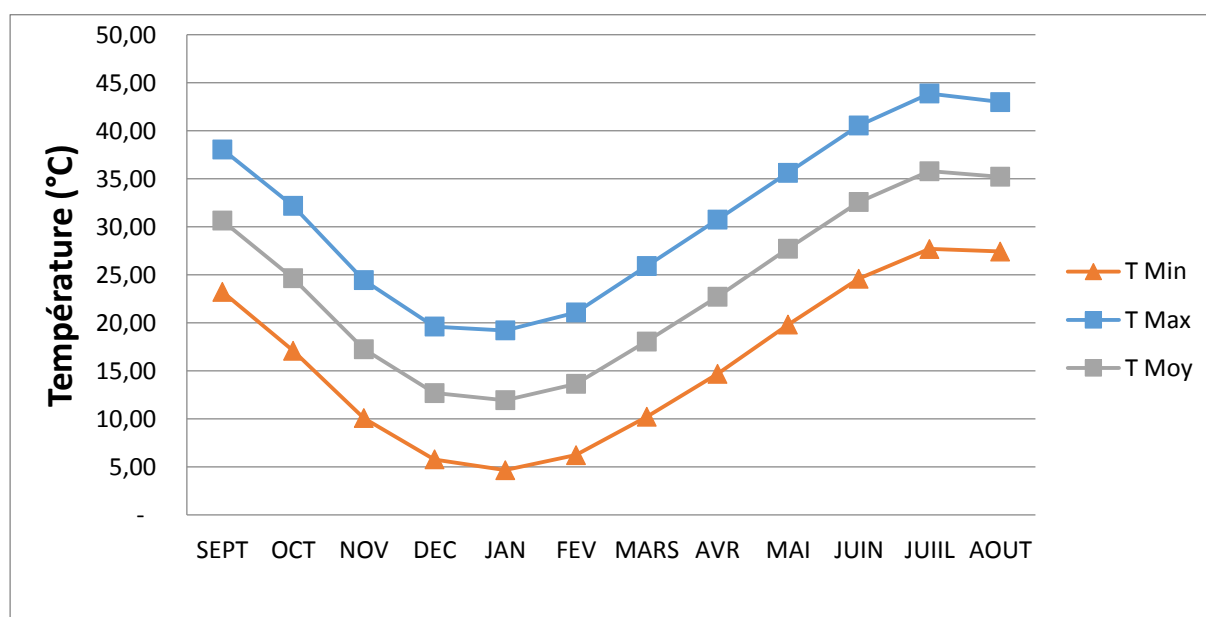


Figure 9. Température moyenne mensuelle dans la région d'Ouargla (1996-2015).

II.2.2.c Diagramme ombrothermique :

On l'appelle aussi la courbe pluvio-thermique, il est la combinaison des facteurs thermique et pluviométrique selon la relation $P \text{ (mm)} = 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$. Il permet de déterminer les saisons sèche et humide.

Sur le digramme établis (figure 10), on remarque que la zone d'étude connaitre une très faible précipitation durant les l'année et que la saison sèche s'étend sur toute l'année.

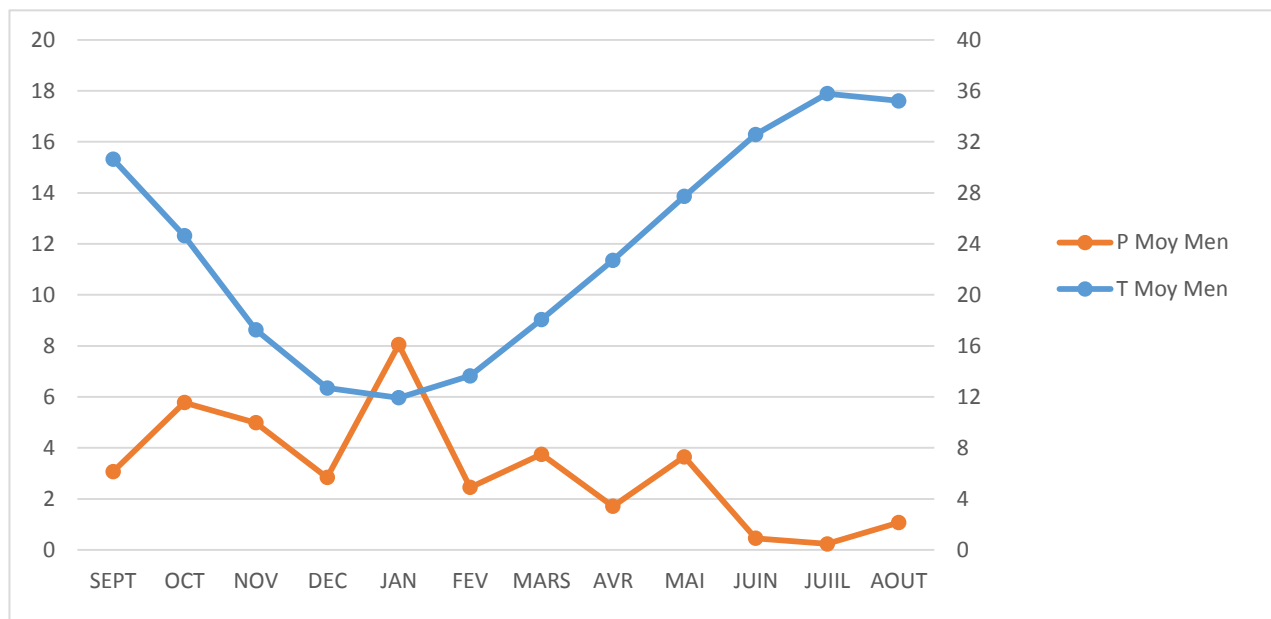


Figure 10. Courbe pluvio-thermique de la région de Ouargla (1996-2015)

II.2.2.d Indice d'aridité :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

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

I : Indice d'aridité □

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

P = 38,06 mm ; T = 23,57 °C

Donc : **I = 1,13 mm/°C**

Sur la base de la classification de l'indice d'aridité donnée par De Martone, nous pouvons déterminer le type de climat de notre région d'étude.

I < 5.....Climat hyper -aride.

5 % < I < 7.5.....Climat désertique.

7.5 % < I < 10.....Climat steppique.

10 % < I < 20.....Climat semi-aride.

20 % < I < 30.....Climat tempéré.

D'après cette classification, notre région d'étude est caractérisée par un climat hyper aride.

II.2.3 L'humidité de l'air :

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère sous forme de vapeur ou bien nombre de gramme de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air. L'humidité est généralement mesurée par un appareil appelé hygromètre

Tableau 6. Humidité moyenne mensuelle (%) (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
H moy (%)	39,29	46,73	55,46	60,49	60,83	52,87	45,85	38,78	34,82	29,29	26,24	29,61	43,35

L'humidité est faible au cours de l'année, elle est en moyenne de 60% aux mois de Décembre et Janvier (figure 11), et de 26,24% aux mois de Juillet. La moyenne annuelle de l'humidité dans notre région d'étude est de 43,35 %

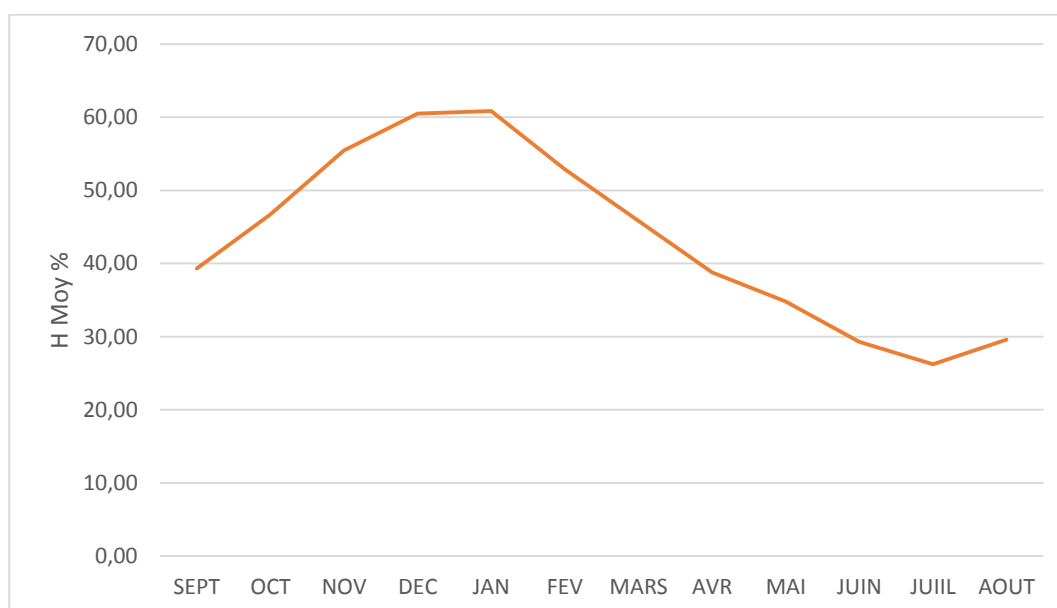


Figure 11. Humidité mensuelle moyenne dans la région de Ouargla (1996-2015)

II.2.4 Le vent :

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.

Le tableau ci-dessous représente les mesures de la vitesse maximale moyenne du vent dans la région d'étude.

Tableau 7. Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vitesse Moy Max (m/s)	16,67	14,59	14,21	12,73	14,79	15,83	16,88	20,24	19,30	15,48	17,66	16,57

On remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril et Mai avec une vitesse de 20,24m/s et 19,30m/s

II.2.5L'insolation :

La wilaya d'Ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte, le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée moyenne de 314 heures/mois, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 202 heures/mois.

Tableau 8. Insolation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Insolation (heure)	249,73	250,06	230,58	202,57	231,46	241,37	272,14	283,15	299,25	281,80	314,74	310,26

II.2.6. Evaporation et évapotranspiration

II.2.6.1. Evaporation

L'évaporation est le seul mécanisme de perte des eaux au Sahara, ou dans les bassins arides fermés. L'évaporation dans la vallée d'Ouargla est très élevée, nous constatons que la valeur maximale d'évaporation est de 449,99 mm au mois de Juillet, et la valeur minimale est de l'ordre de 91,82 mm au mois de Janvier. Le taux annuel de l'évaporation est de l'ordre de 3022,24mm/an

Tableau 9. Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
Evaporation (mm)	304,85	222,69	130,10	93,92	91,82	125,93	198,07	259,47	331,33	396,81	449,99	417,26	3022,24

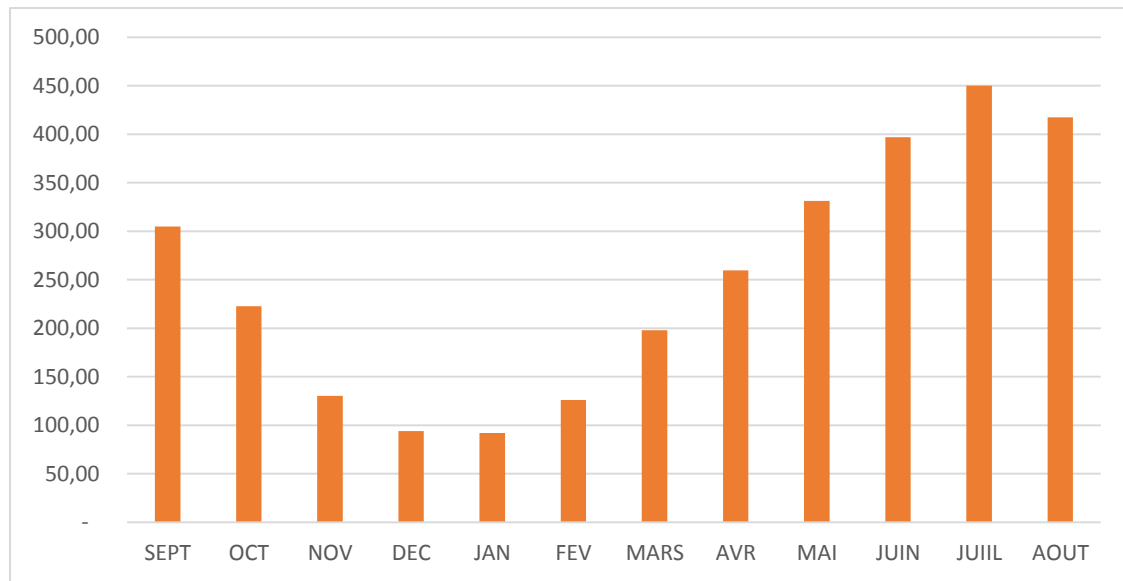


Figure 12. Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Ouargla pendant la période (1996-2015)

II.2.6.2. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation et de transpiration. Le principal facteur qui réagit l'évaporation est la radiation solaire. Le terme évapotranspiration englobe deux types : l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR)

II.2.6.2.1. 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

II.2.6.2.1.a Formule de Thornthwaite :

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 :

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

Avec :

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.

$$a = \frac{1,6}{100} \times I + 0,5 = 2,56$$

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

Les résultats des calculs de l'évapotranspiration potentielle obtenus sont représentés dans le (tableau 10). Ainsi, on remarque que l'ETP augmente à partir du mois de Mai pour atteindre un maximum de 271,07mm en Juillet. Le taux d'évapotranspiration potentielle annuel estimé par la formule de Thornthwaite est de 1277,78mm/an.

Tableau 10. Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P (mm)	3,07	5,78	4,99	2,84	8,05	2,45	3,75	1,71	3,65	0,46	0,24	1,07	38,06
T (°C)	30,65	24,64	17,27	12,7	11,94	13,65	18,07	22,72	27,73	32,58	35,79	35,22	23,58
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	/
ETP (mm)	151,4	81,55	29,11	12,48	11,45	15,75	39,15	75,13	137,65	209,67	271,07	243,37	1277,78

II.2.6.2.1.b Formule de Turc :

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 :

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

Avec :

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 :

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

Avec :

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

H : durée astronomique du jour (en heure).

Les résultats des calculs de l'ETP par l'application de la formule de Turc sont représentés dans le (tab11). Ainsi, on remarque que l'ETP augmente à partir du mois de Mars de 118,31mm pour atteindre un maximum de 170,71mm au mois de Juillet. Le taux d'évapotranspiration potentielle annuel estime par la formule de Turc est de 1547,9mm/an

Tableau 11. Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (ONM de Ouargla, 1996-2015)

Mois Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
T moy (°C)	30,65	24,64	17,27	12,7	11,94	13,65	18,07	22,72	27,73	32,58	35,79	35,22	23,58
IgA (cal /cm²/jour)	839,22	700,77	562,32	499,48	541,02	664,56	813,66	937,2	1011,75	1035,18	1017,07	948,91	/
h (heure/ jour)	8,94	8,77	8,83	9,61	10,01	8,32	8,07	7,69	6,53	7,13	8,21	8,37	/
H (heure/ jour)	12,20	11,20	10,40	9,90	10,20	10,90	11,80	12,80	13,60	14,10	13,90	13,20	/
Ig (cal /cm²/ jour)	532,45	466,27	397,10	390,49	426,51	434,29	491,31	517,60	483,51	510,68	555,65	543,68	/
ETP (mm)	156,43	128,36	95,71	80,78	84,48	92,29	118,31	136,75	138,49	153,57	170,71	166,54	1522,42
Hr (%)	78,71	64,68	48,36	40,96	42,79	46,67	59,66	68,88	69,75	77,28	85,86	83,77	63,95
ETP corrigé (mm)	156,43	128,36	97,62	91,28	92,93	96,91	118,31	136,75	138,49	153,57	170,71	166,54	1547,9

La comparaison des résultats de l'estimation de l'ETP obtenus par les formules de Thornthwaite et de Turc qui sont respectivement de 1277,78mm/an et 1547,9mm/an avec l'évaporation mesurée à la station qui est de 3022,24mm/an montre que la formule de Turc est la plus acceptable, parce que l'évaporation est très élevée durant cette période donc le taux de l'ETP il faut assortie avec l'évaporation.

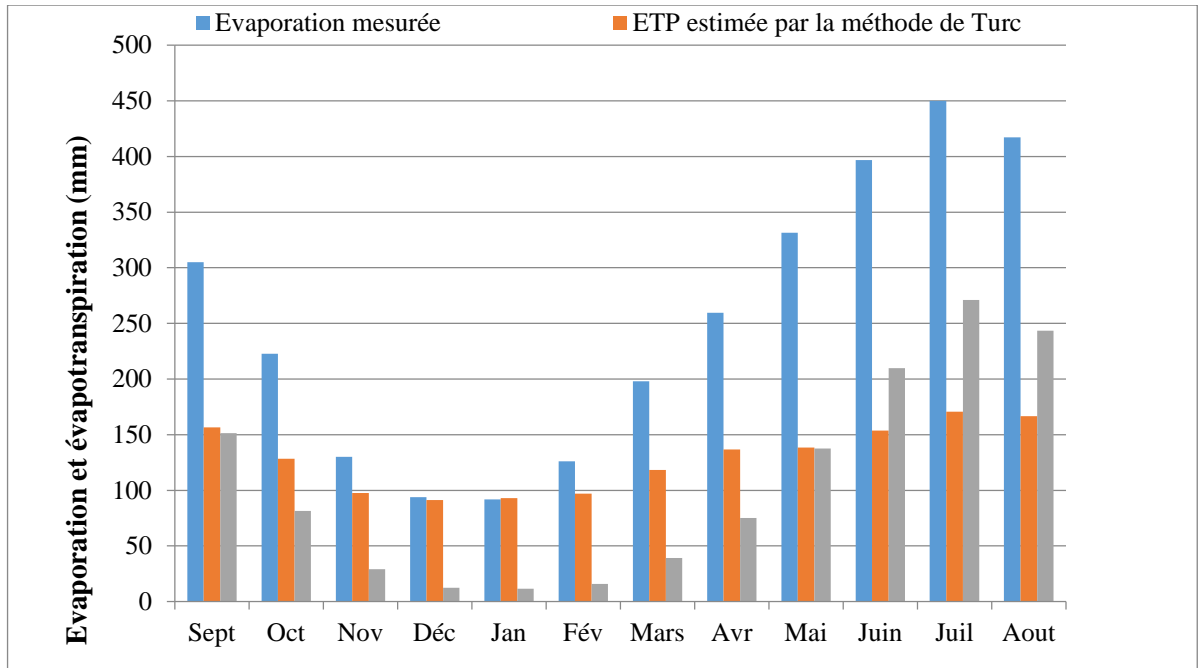


Figure 13. Histogramme de variation de l'évaporation mesurée et évapotranspiration potentielle estimée selon les méthodes de Turc et Thornthwaite

II.3.Conclusion :

La région de Ouargla est connue par le climat aride marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations ; la valeur maximale dans la période de dix-neuf ans a été enregistrée en 2004, elle est de l'ordre de 117,85 mm. La précipitation moyenne annuelle est de 38,06mm/an. Les valeurs moyennes annuelles des températures varient de 11,94 en Janvier à 35,79°C en Juillet. Durant cette période, la température moyenne annuelle enregistrée est de l'ordre de 23,58°C. Par l'effet de température et le vent ; une forte évaporation créée dans la période d'été arrive jusqu'à 450 mm. L'évapotranspiration potentielle a été estimée par les formules de Turc et Thornthwaite, elle est respectivement de 1547,9 mm/an et de 1277,78 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. En ce qui concerne le bilan hydrologique, ses composantes dans la région d'étude sont pour les apports l'infiltration des eaux d'origine anthropique notamment les eaux d'irrigation, les fuites dans le réseau

d'AEP et d'assainissement quant aux pertes c'est l'évaporation qui représente le facteur majeur des pertes en eau dans la région.

III.1. Introduction :

La région de Ouargla souffre depuis longtemps du problème de la remontée des eaux dont les causes sont la géomorphologie de la zone d'une part et l'apport en excès des eaux vers la nappe d'autre part

L'objectif de cette étude est le suivi de l'évolution du niveau piézométrique de la nappe phréatique . La démarche entreprise pour mener cette étude, consiste en la réalisation de cartes piézométriques pour les années 2000, 2010 ,2015 ; et le suivi de la variation annuelle de la piézométrie.

III.2. Les aquifères dans la région d'étude:

La région d'étude renferme un système d'aquifères que surmonte une nappe phréatique. Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (ERESS, 1972, OSS, 2003) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye. Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS (système aquifère du Sahara septentrional) couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km² et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra (Ould Baba Sy, 2005).

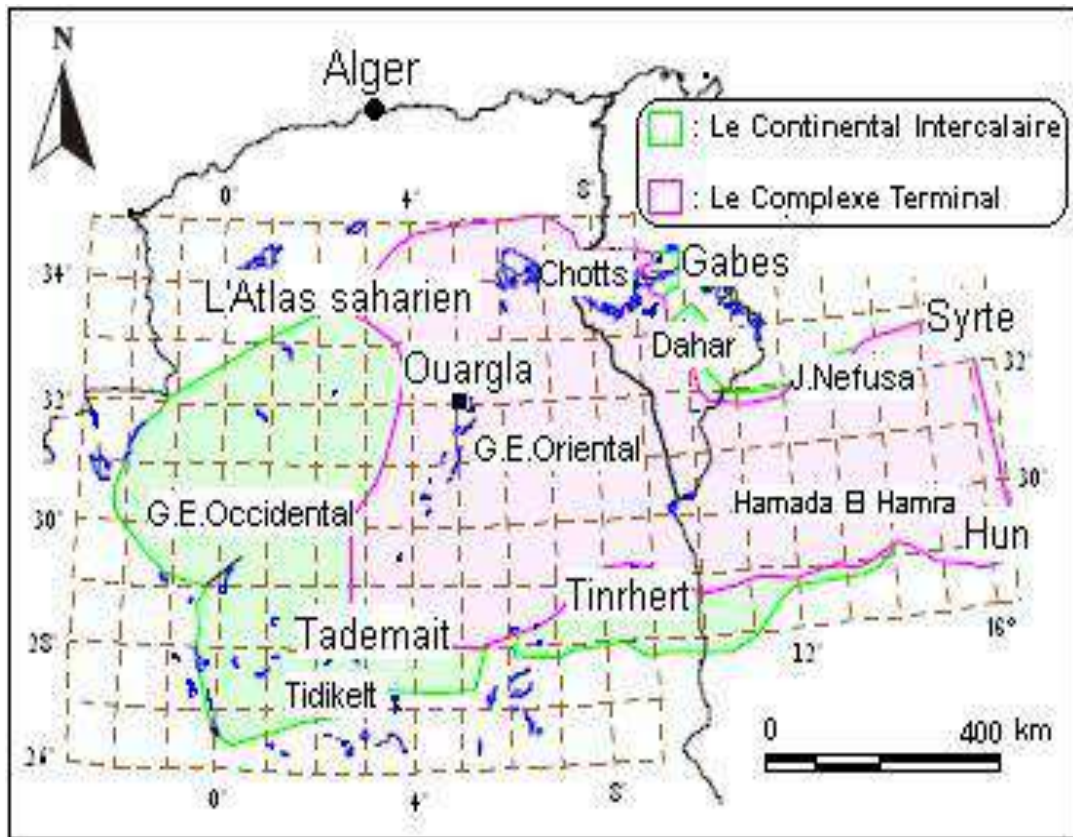


Figure.14. Délimitation du "SASS" (OSS, 2003)

III.2.1 Le Continental intercalaire :

Le continental intercalaire est un aquifère transfrontalier partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie algérienne s'étend sur environ 600 000 Km², renfermant d'importantes quantités d'eau estimées à 60 000 milliards de m³ (Belaid, 2014). Dans la région d'Ouargla la nappe est située à plus de 1000 m de profondeur, cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien », nom de l'étage géologique qui renferme la couche aquifère supérieure du «Continental Intercalaire », qui est la plus exploitée. Le terme de continental intercalaire, par contre, désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara, entre deux cycles marins.

Le continental intercalaire est limité au nord par l'Atlas saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar- Regagne et au Sud par l'axe Regagne Ain Amenas (figure 14). A l'Est, il se prolonge au-delà des frontières algéro-libyenne et algéro-tunisienne, il est partagé par la dorsale de M'Zab en deux bassins: le bassin occidental et oriental

A la périphérie du Sahara, le continental intercalaire se termine en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

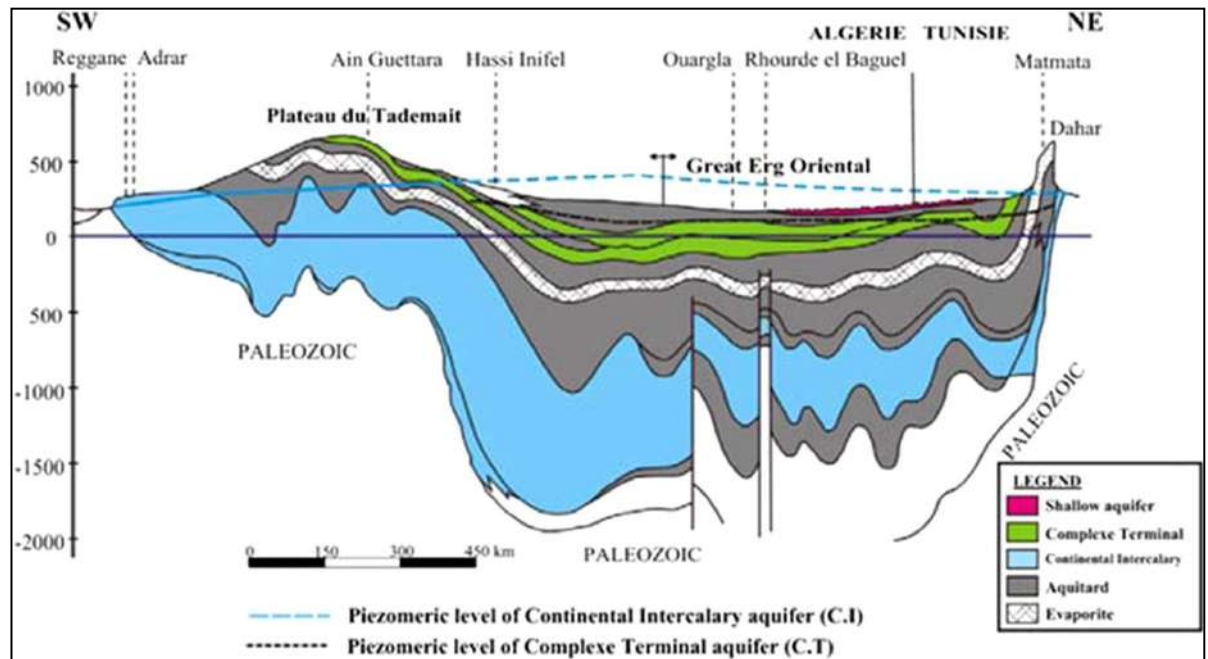


Figure 15. Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrional (Belaid, 2014).

Le CI n'est pas constitué uniquement d'horizons perméables. La composante argileuse peut représenter en proportion une place importante. Il a alors été effectué une distinction du réservoir utile. Ainsi, dans la lithologie du Continental Intercalare, on distingue :

- Les grés, quand les couches renferment moins de 10% d'argiles.
- des grés argileux, s'il y a de 10 à 50% d'argiles,
- des argiles, quand il y a plus de 50% d'argiles.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara, Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. A l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression d'oued Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas saharien. (belaid 2014)

L'essentiel des réserves de cet énorme réservoir correspond à l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire. Toutefois, une recharge actuelle, estimée globalement à $400 \text{ hm}^3/\text{an}$, s'effectue :

- De façon directe par infiltration des ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment aux piedmonts de l'Atlas Saharien (au Nord-Ouest), dans le massif du Dahar (Tunisie), éventuellement sur les rebords ouest (Touat et Gourara) et au Sud du plateau du Tademaït (Tidikelt), ainsi que sur le rebord sud du plateau du Tinhert et sa prolongation en Libye.

- De façon indirecte dans le Grand Erg Occidental à travers les sables dunaires et du Complexe Terminal, dans la région où il n'existe pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs, ainsi que par apport latéral ou drainance en provenance du puissant aquifère paléozoïque dans la partie libyenne du réservoir (Bellaoueur 2008).

L'écoulement de cette nappe se produit :

- Dans le sens Nord-Sud (concernant le sous-bassin du Grand Erg Occidental), c'est-à-dire : du piedmont de l'Atlas Saharien vers les zones d'affleurement (et d'exutoire) des rebords du plateau de Tademaït à l'Ouest.

- Dans le sens Sud-Nord (concernant le sous-bassin du Grand Erg Oriental), c'est-à-dire : du rebord sud du plateau du Tinhert vers les golfes de Syrte et de Gabès;

- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien (golfe de Gabès).

C'est la dorsale du M'Zab qui sépare l'écoulement dans les sous-bassins Occidental et Oriental en ces deux directions distinctes précitées (N-S et S-N).

Les zones exutoires, suggérées par les points d'aboutissement des lignes de courant dessinées sur la carte piézométrique sont :

- Les rebords occidentaux et méridionaux du Tademaït qui constituent une zone d'exutoire naturel importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève. L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt.

- Les remontées verticales à la faveur de la faille d'El Hamma dans la zone du Chott Fedjaj.

- L'exutoire libyen du Golfe de Syrte, qui se manifeste en surface par les sources de Aïn Tawargha.(OSS, 2003)

-

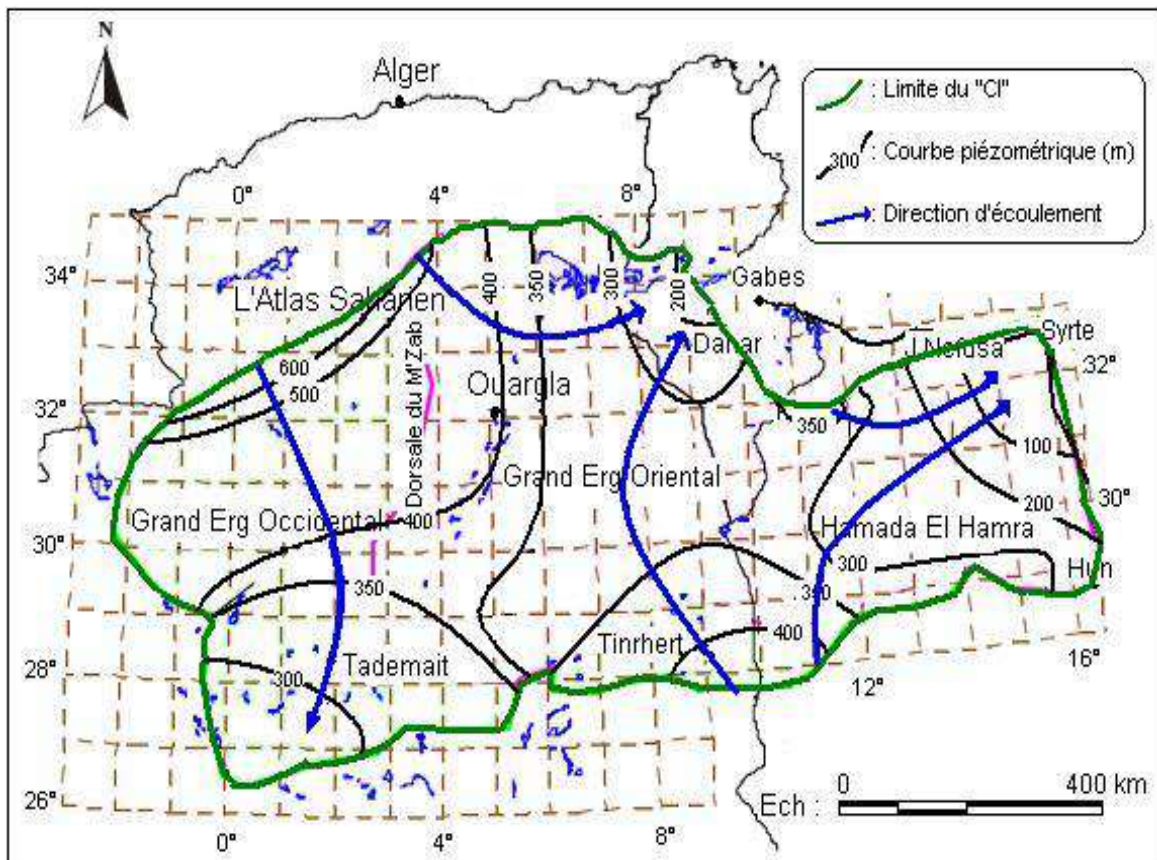


Figure 16. Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)

III.2.2. Le Complexe Terminal (CT) :

Le terme de "nappes du Complexe Terminal" regroupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes car ces nappes font partie d'un même ensemble hydraulique.

Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler.

La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin.

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (Bellaouer 2008).

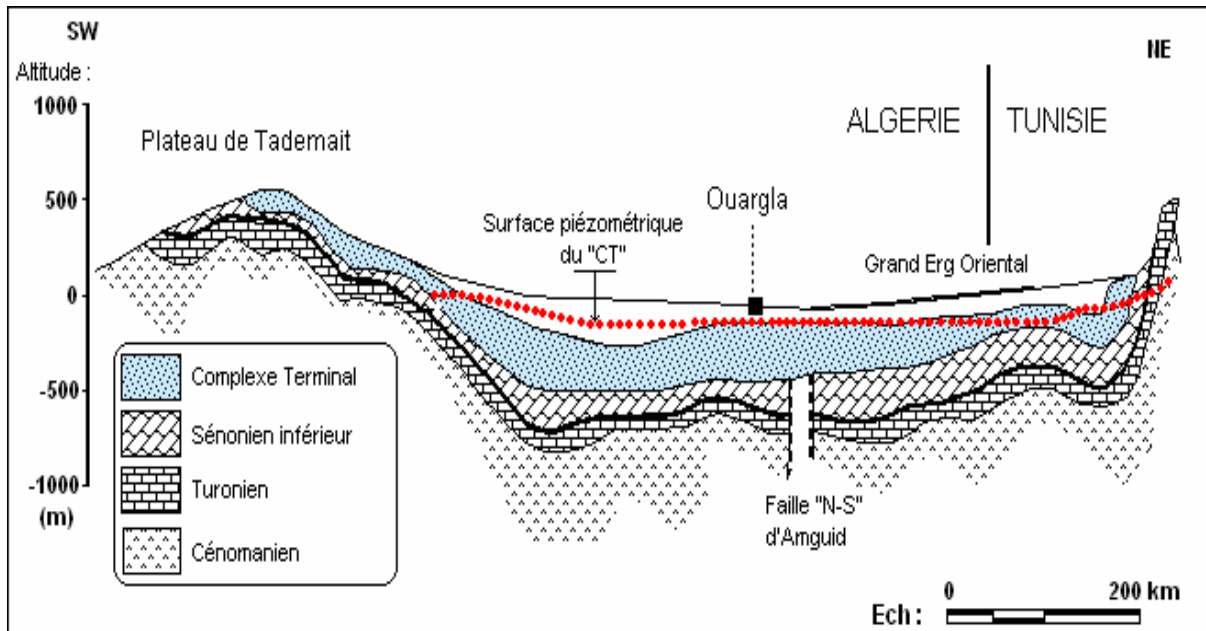


Figure 17. Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)

Le Complexe Terminal. affleure au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens, à l'Est, le long du flanc oriental du Dahar, au Sud sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït et à l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab

L'examen de la carte piézométrique (figure 16) met en évidence les zones d'alimentation qui sont:

- L'Atlas Saharien au Nord-Ouest.
- Le Dahar à l'Est.
- Le Tinrhert au Sud.
- Les monts du M'Zab.

La permanence d'une alimentation actuelle (équivalente à $750 \text{ hm}^3/\text{an}$ (Ould Baba sy, 2005) du réservoir est vraisemblable en plusieurs régions :

- Sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur et Turonien), ou au travers des nappes d'inféro-flux des oueds : bordure Sud-Atlasiq, M'Zab et Dahar.
- Dans les deux grands Ergs (Occidental et Oriental), par infiltration de pluies exceptionnelles au travers des formations dunaires perméables.

L'écoulement de cette nappe se produit :

- A partir de la dorsale du M'Zab, où l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des Chotts (c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental).

- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers la zone des Chotts.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinnert vers la zone des Chotts et le Golfe de Syrte.

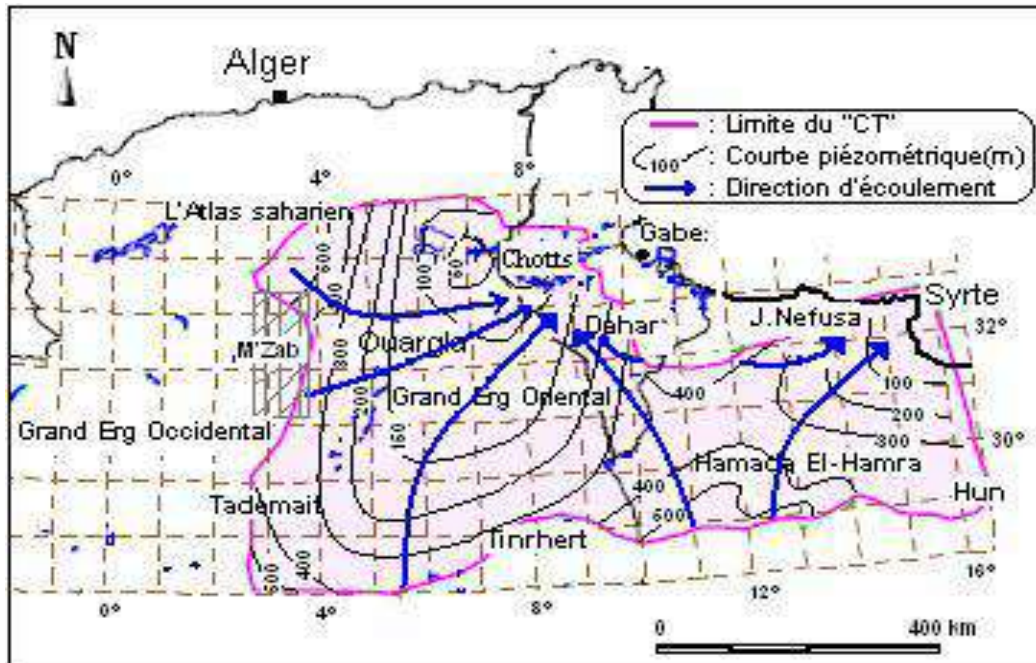


Fig.18. Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS,2003)

Les zones exutoires sont principalement centrées sur les Chotts algéro-tunisiens (Chotts Melhrir et Merouane en Algérie et Djérid et El-Gharsa en Tunisie) et sur le Golfe de Syrte.

III.2.3. La nappe phréatique :

III.2.3.1. Caractérisation de l'aquifère:

III.2.3.1.1. Lithologie du réservoir :

En ce qui concerne la lithologie du réservoir, la nappe phréatique est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Les études antérieures réalisées par "LTPS" et l'ENA.GEO, ont mis en évidence trois classes de profils géologiques (figure 19):

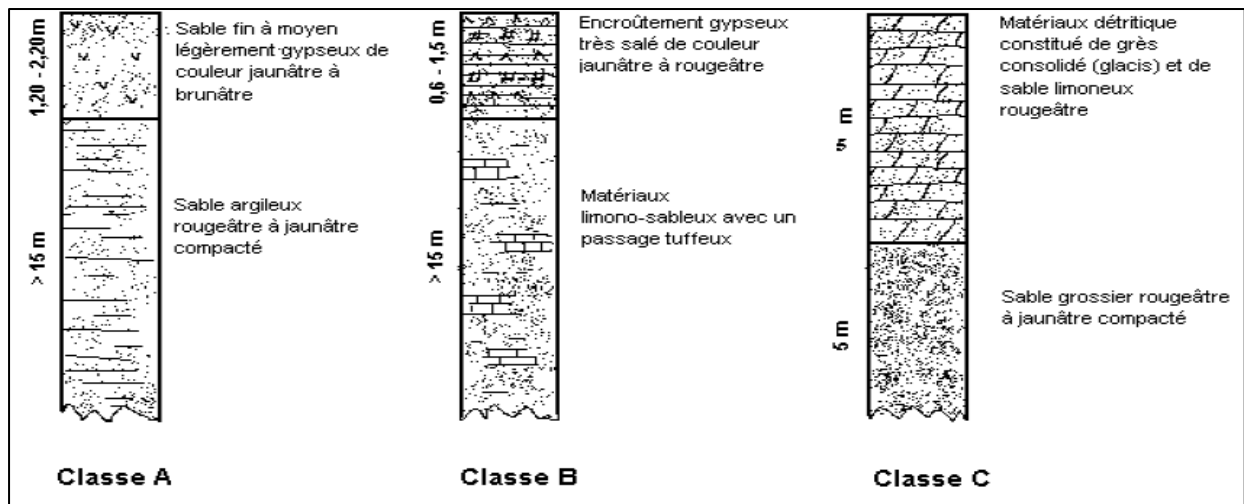


Figure 19. Log géologiques des formations de la nappe phréatique (Djidel, 2009)

Classe A : C'est la classe la plus répandue, elle représente environ de 75 % des terrains. On distingue :

- Une première couche dont l'épaisseur varie de 1,20 à 2,20 m constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux de couleur jaunâtre à brunâtre avec une consistance de moyenne compacité.
- Une deuxième couche constituée de sable argileux rougeâtre à jaunâtre compactée, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.

Classe B : Elle caractérise les chotts et les sebkhas. On distingue :

- Un encroûtement gypseux très salé de couleur jaunâtre à rougeâtre dont l'épaisseur varie de 0,6 m à 1,5 m.
- Matériaux limono-sableux avec un passage tuffeux.

Classe C : Elle caractérise les versants de la cuvette et le plateau Mio-Pliocène. On distingue :

- Matériau détritiques constitués de sable rouge consolidé (glacis), et de sable limoneux rougeâtre pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure à 10 m.
- Sable grossier rougeâtre à jaunâtre consolidé avec la profondeur.
- Plateau discontinue d'épaisseur 0,8 – 1,0 m discontinue (Plateau calcaireux, encroûtement gypseux très dure) (Djidel, 2009)

III.3.1.2. Profondeur du substratum

Une carte du substratum de la nappe phréatique a été établie à partir des logs de forages. L'examen de cette carte (figure 20) met en évidence du Nord vers le Sud une succession de dépressions et de bombements qui reflète la variation de la profondeur du

substratum d'un endroit à un autre. Au Nord, les courbes dessinent une dépression dont le maximum atteint 100m au forage D2F89. Cependant au Sud, la profondeur n'est qu'à 30 m au niveau du forage D1F05.

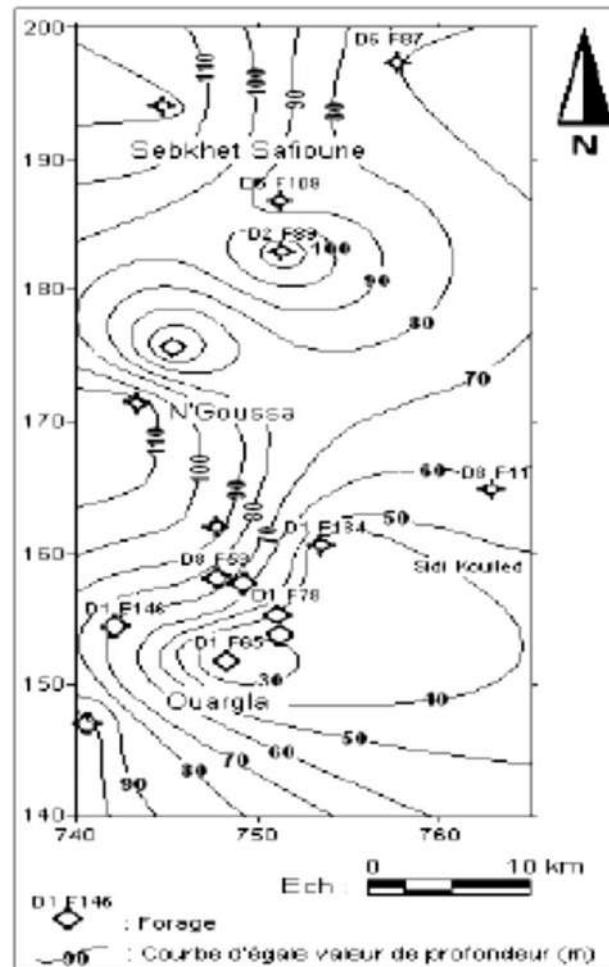


Figure 20. Carte en isobathe du mur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla (Bellaouar, 2008)

III.2.3.1.3. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère :

Des essais par pompage à débit constant ont été réalisés par le bureau d'étude Suisse "BG" en collaboration avec l'ONA de Ouargla en 2003, sur huit puits captant la nappe phréatique dont cinq d'entre eux ont été équipés en station d'essais, comportant chacune trois piézomètres. Les résultats d'interprétation de ces essais sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 12. Résultats des essais de pompage (ONA-BG, 2003)

N	Situation	X (UTM WGS 84)	Y (UTM WGS 84)	T (m ² /s)	S (%)
P402	Ain moussa	721456	3549807	9,37.10 ⁻³	7,11
P415	Ain moussa	720284	3550248	3,29.10 ⁻⁴	/
P408	Bour El haicha	719954	3545181	5,85.10 ⁻⁴	/
P426	Ba- Mendil	716564	3540169	1,86.10 ⁻²	5,89
P427	Ville de ouargla	/	/	9,09.10 ⁻⁴	/
P428	Ville de ouargla	719474	3538552	1,46.10 ⁻⁴	11
P43	Ville de ouargla	719624	3537984	2,63.10 ⁻⁴	/
P413	Krima	722629	3530328	3,19.10 ⁻⁴	/

A partir de ces résultats, une carte des transmissives de l'aquifère a été établie (figure 21). L'observation de cette carte montre que les transmissives les plus élevées de l'ordre de $1,8610^{-2}$ m²/s sont observées au niveau du P426 situé à Bamendil et de $9,3710^{-3}$ m²/s au puits P402 à Aïn Moussa.

Les faibles transmissivités sont observées au Sud avec une valeurs de $3,1910^{-4}$ m²/s dans un puits de la plantation de Krima et des transmissivités de $1,410^{-4}$, $9,09 10^{-4}$ et $2,63 10^{-4}$ m²/s dans les puits : P428, P427, P434 situés dans la ville de Ouargla.

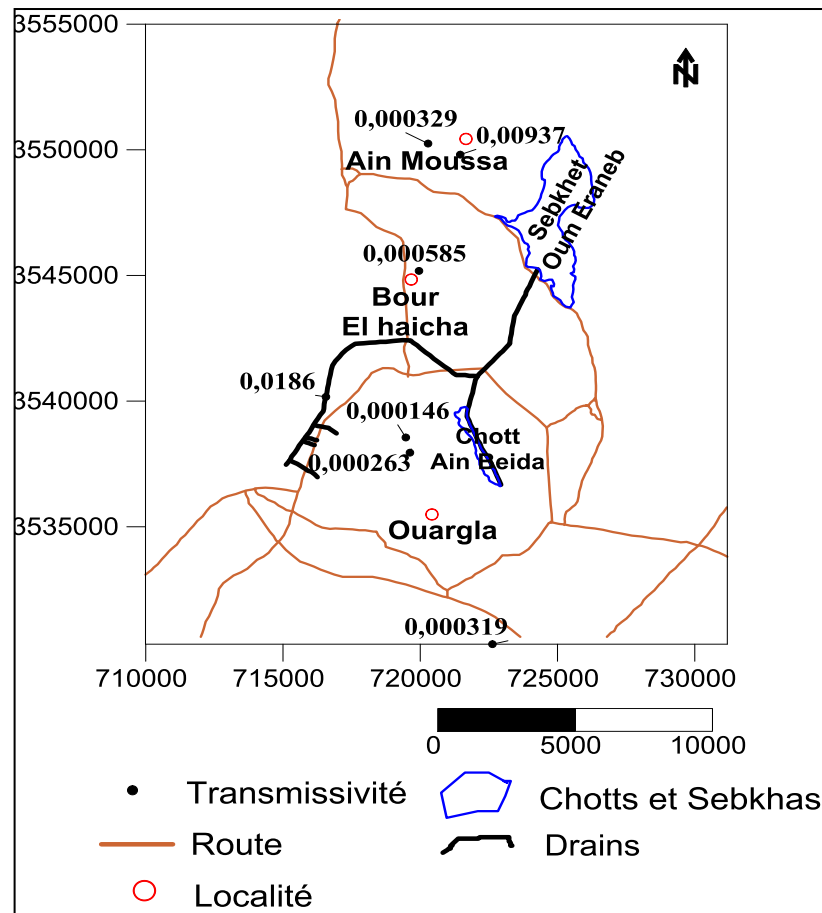


Figure 21. Carte des transmissivités de l'aquifère libre de Ouargla

III.2.3.2. Etude piézométrique de la nappe phréatique :

Dans le but de mettre en évidence la variation de la piézométrie de la nappe phréatique, des données de piézométrie anciennes ont été collectées auprès de l'ANRH de Ouargla et des cartes ont été établies pour les campagnes 2000, 2010 et 2015 dont les mesures ont été réalisées dans 65 piézomètres pour les campagnes 2000 et 2015 et 53 piézomètres pour celle de 2010. En Avril 2017, nous avons fait des mesures de la profondeur d'eau au niveau de cinq piézomètres captant la nappe.

III.2.3.2. 1. Historique sur la piézométrie de la nappe phréatique

A. La piézométrie avant 1956 (date du premier forage à l'Albien) :

Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique sont étroitement liées à l'histoire des palmeraies, à l'exploitation des ressources en eau artésienne et aux efforts d'assainissement consentis pour lutter contre les nuisances qui en ont résulté.

Les chroniques rapportent qu'en 1881, les fossés entourant le Ksar sont comblés pour lutter contre le paludisme, ce qui indique qu'à cette époque ils étaient remplis d'eau stagnante et que la nappe phréatique était proche de la surface du sol.

En 1949, le réseau de drainage est rénové, 20 km de drains nouveaux sont réalisés ainsi que 5 grands collecteurs. Ces travaux se poursuivent en 1950 et fin 1951, grâce à 30 km de drainages nouveaux, le niveau de la nappe phréatique a baissé de plus de 1 mètre (BG, 2004)

B. La piézométrie après 1956 :

En 1956, le forage Albien I au sud-est du Ksar a servi à la revivification des palmeraies anciennes et à la création de nouvelles plantations. Parallèlement, l'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène est développée, le réseau de drainage étendu et rénové. Les eaux de drainage qui se déversent dans le Chott provoquent une élévation sensible du niveau de l'eau en saison froide. En même temps, le développement de la ville et l'évacuation des eaux urbaines provoquent une augmentation du niveau de la nappe phréatique.

Le problème est d'abaisser le niveau du Chott et celui de la nappe phréatique de façon à mieux drainer les palmeraies tout en permettant la mise en place d'un réseau d'assainissement efficace. On a commencé par installer, en 1956, une éolienne d'exhaure qui permettait d'évacuer l'eau dans la sebkha d'Oum er Raneb. Le débit de 120 m³/h s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à 255 m³/h. Ce débit étant toujours insuffisant, d'autres solutions sont envisagées : bassin évaporatoire dans le Chott et les sebkhas, pompage et évacuation vers la sebkha d'Oum er Raneb et déjà vers la Sebkhet Safioune. (BG, 2004)

C. La piézométrie en 1968 :

Le Bureau d'Hydraulique dessine une carte piézométrique en avril-mai 1968 (figure 22). La surface de la nappe forme un dôme culminant à la cote de 134,5 m sous le quartier Duprez avec une pente régulière en direction des chotts où elle n'atteint plus que la cote 128 m et même 127 m tout au nord.

Les isopièzes dessinent un dôme centré sous les immeubles récents. Les lignes de courant, perpendiculaires aux isopièzes, indiquent nettement un écoulement radial depuis ce point haut en direction des canaux de drainage ceinturant la ville au nord, et aussi de zones sableuses situées au sud. On ne peut expliquer cette situation singulière que par une alimentation de la nappe phréatique à partir de son point haut sous les immeubles du quartier Duprez et un drainage par le chott.

Cette alimentation ne peut pas se faire naturellement à partir des nappes plus profondes. La nappe du Mio-Pliocène présente un niveau piézométrique inférieur à celui de la nappe phréatique dans toute cette zone haute. On pourrait envisager la nappe du C.I. (Continental intercalaire ou Albien) qui présente un niveau piézométrique nettement plus

élevé d'environ 200 mètres, mais pour alimenter la nappe phréatique, les eaux devraient traverser les nappes du CT (Complexe terminal), dont le Mio-Pliocène, qu'elles mettraient en charge et aux eaux desquelles elles se mélangeraient, ce qui n'est pas le cas. L'alimentation de la nappe phréatique ne peut provenir que d'une cause anthropique : irrigation des palmeraies et eaux urbaines (BG, 2004).

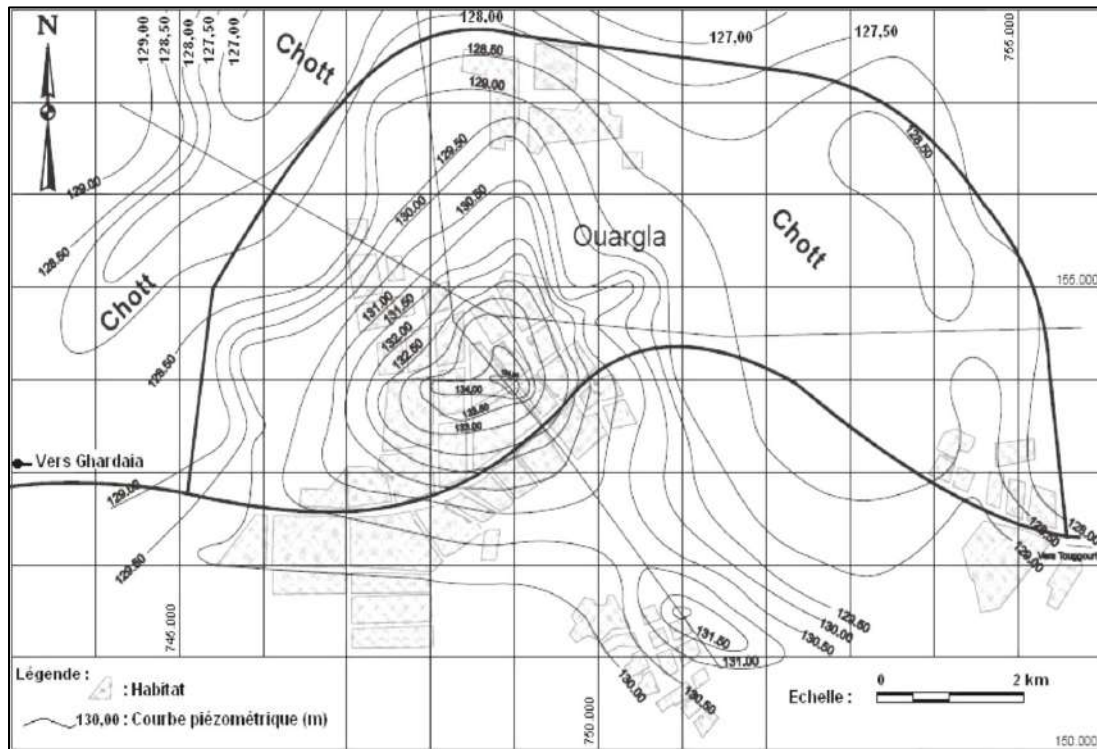


Figure 22. Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968 (DHW-Ouargla, 1968)

III.2.3.2. 2. Etude piézométrique de la nappe phréatique :

Dans le but de suivre la variation du niveau de la nappe, des cartes piézométriques ont été établies pour les campagnes des années 2000, 2010 et 2015 par le logiciel Surfer 11. Une carte de fluctuation de la nappe entre les années 2010/2015. Un suivi de l'évolution interannuelle de la piézométrie au niveau de quatre piézomètres.

A. La piézométrie en l'an 2000 :

L'observation de la carte piézométrique de l'année 2000 (figure 23), montre un écoulement général qui se fait du Sud au Nord vers sebkhet Safioun située à 40km de la ville. Par ailleurs, on note que le point le plus haut de 142,15 m a été mesuré au piézomètre PL11 situé au Sud sous la ville de Ouargla à partir duquel l'écoulement est divergent vers l'est, le nord-est et le nord en direction des sebkhas d'Ain El Baida et Oum Raneb avec un gradient de l'ordre de 0,0011 et vers l'ouest en direction des drains avec un gradient de

0,003. Le niveau le plus bas de 100,1 m a été mesuré au piézomètre P37 situé au Nord à Sebkheth Sefioun vers laquelle la nappe s'écoule suivant une pente de 0,0002.

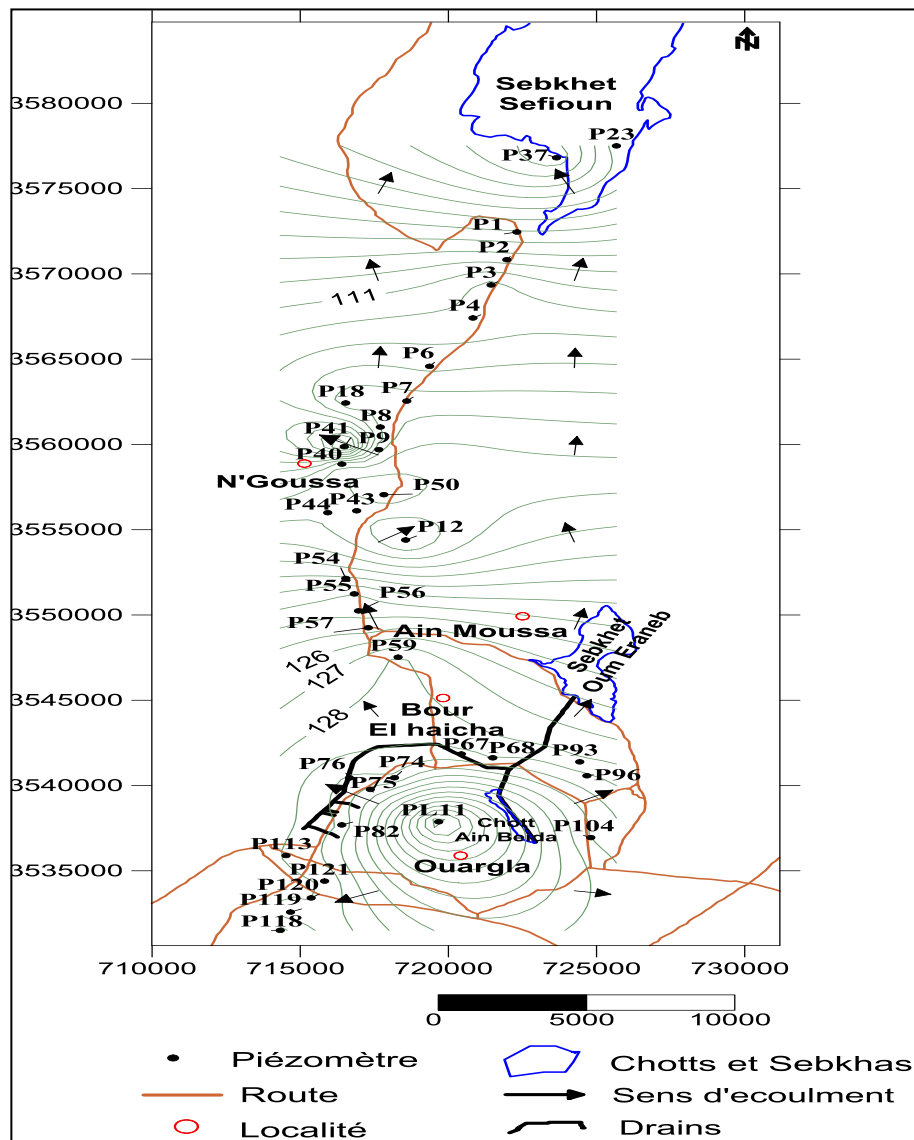


Figure 23. Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2000)

B. La piézométrie en 2010 :

D'après la carte piézométrique réalisée à partir des données de la campagne 2010 (figure 24), on remarque que le niveau piézométrique passe de 137 m d'environ au Sud à 103 m au Nord, suivant la pente de la vallée. Cette carte montre qu'il y a des écoulements secondaires orientés vers les sebkhas qui entourent la ville d'Ouargla (Aïn El Beida, Oum Eraneb, et Sefioun). Le gradient hydraulique dans cette zone est estimé à 0,005. Les eaux en provenance de sebkhat Oum Eraneb s'écoulent vers N'goussa à un gradient hydraulique de l'ordre de 0,0004, au Nord. L'écoulement de la nappe vers Sebkhath Sefioun se fait à faible pente de 0,0006

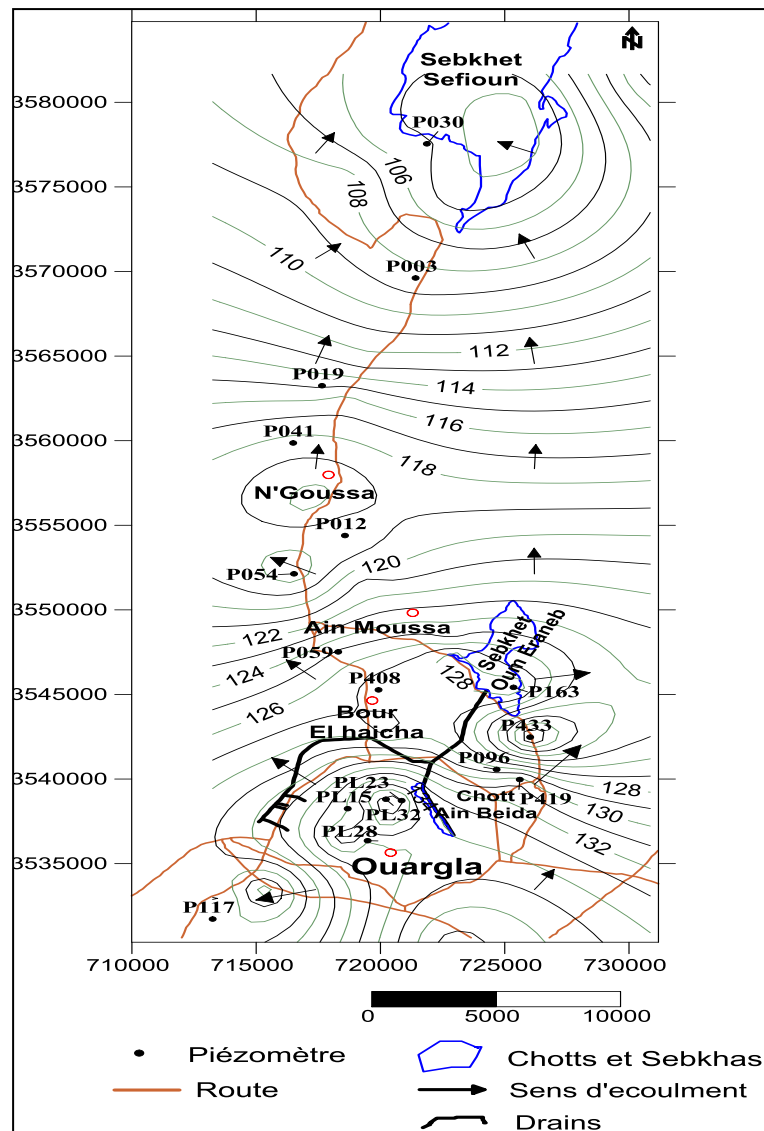


Figure 24. Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2010)

C. La piézométrie en 2015 :

La carte piézométrique de la campagne des mesures du niveau de la nappe réalisées en 2015 (figure 25), fait ressortir que le niveau piézométrique varie entre 134 m au Sud et 103 m au Nord. Au Nord de Chott Ain Baida le gradient est fort il est de 0,01 dans cette partie à l'Est la nappe est à une cote faible de 99m au niveau du piézomètre P419.

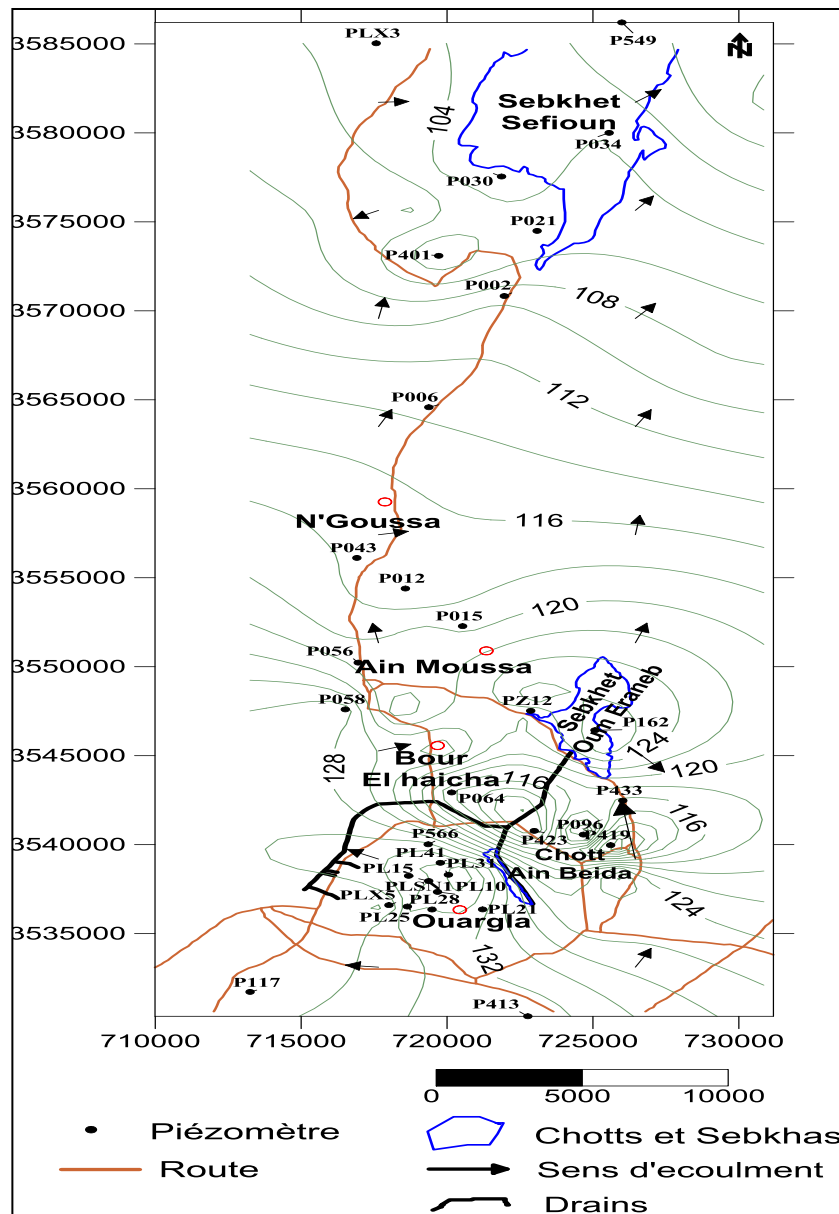


Figure 25. Carte piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla (campagne 2015)

III.3. Evolution interannuelle de la piézométrie :

Une carte de fluctuation de la nappe phréatique pour la période 2010-2015 a été établie (figure 26). L'observation de la carte montre que dans l'ensemble, il y a une baisse du niveau de la nappe qui atteint - 2,5m au Sud au niveau de la ville, au centre à N'Goussa et au Nord à Sebket Sefioun. Par ailleurs, une montée du niveau est observée à Ain Moussa et au Sud de Sebket Sefioun et atteint un maximum de 2,9m au niveau du piézomètre P003

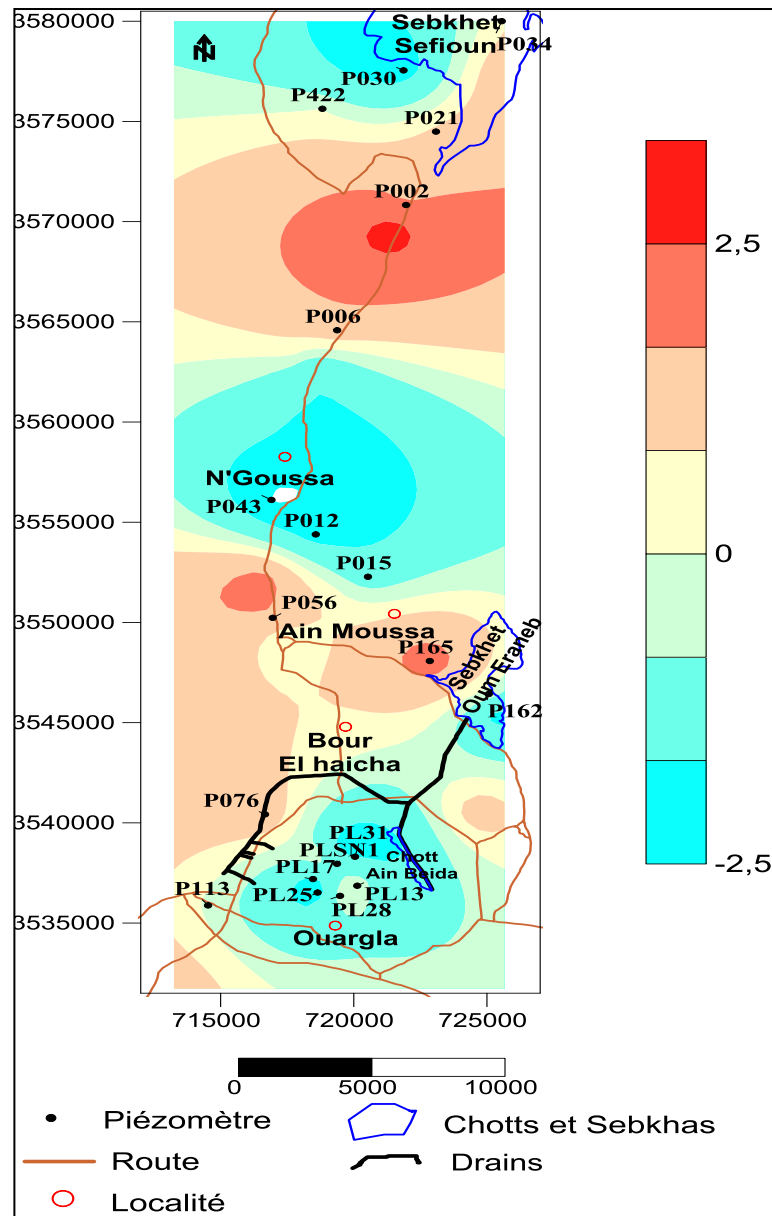


Figure 26. Carte de fluctuation de la nappe phréatique (période 2010-2015)

Pour un suivi de l'évolution interannuelle de la piézométrie quatre piézomètres P012, P096, PL10 et PL27 (figure 27). La représentation graphique du P012 (figure 26) situés au Nord montre que le niveau maximum observé au cours de la période 2000- 2015 est de 119m en 2003 et 2012. En 2015, on note une baisse du niveau car l'exploitation irrégulière des agriculteurs aussi l'évaporation qui joue un rôle important dans la baisse de niveau .

La représentation graphique de la variation piézométrique de la nappe au piézomètres P096 (figure 27) montre qu'au cours de la période 2000-2015, la cote de la nappe a atteint son maximum de 129,5m en 2007 et 2014 puis une baisse en 2015.

Au Sud , les niveaux observés aux piézomètres PL10 et PL27 varient d'une manière irrégulière entre l'année 2003 et 2015 . Au piézomètre PL10, la valeur maximale de 136,35 a été observée en 2014 . Au piézomètre PL27, la cote maximale de 133 m a été observée en 2003, 2010 et 2012. En 2015, on remarque une baisse du niveau au PL10 et une légère montée au PL27

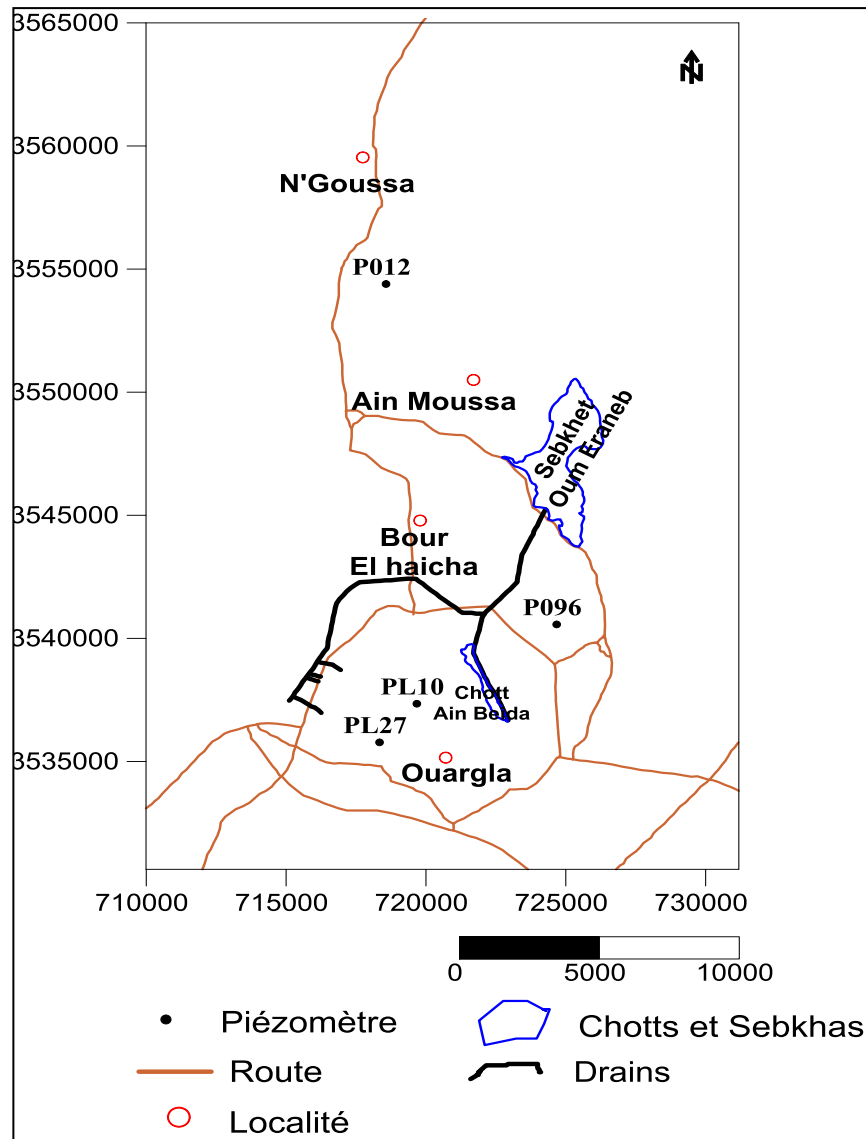


Figure 27. Carte de localisation des piézomètres du suivi piézométrique

L'analyse du suivi de la piézométrie de la nappe phréatique au niveau du point P012, permet de constater des variations du niveau piézométrique durant la période du 2000 en 2015, avec une valeur minimale de 109 m enregistré en 2008, comme indiqué dans la figure 28.

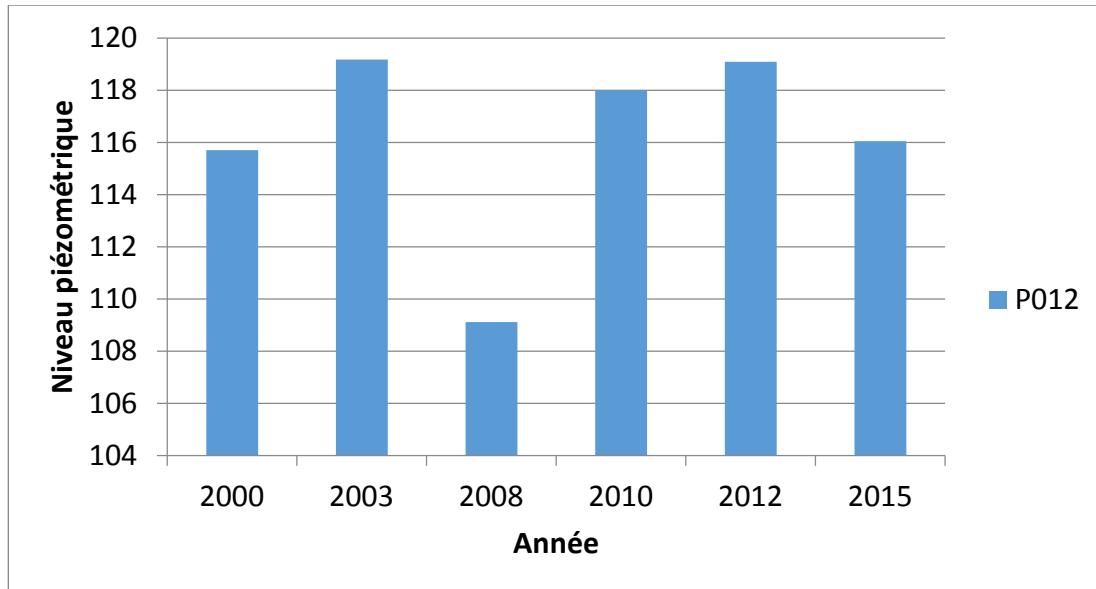


Figure 28. Variation interannuelle du niveau de la nappe phréatique au piézomètre P012

Au niveau du point piezoetrique P096, le suivi du niveau peizometique demontre une variation importante durant la periode de 2000 à 2015 avec une valeur minimale de 128.2 enregistrée en 2010 et une valeur maximale de 129.5 en 2014 comme indiqué dans la figure 29.

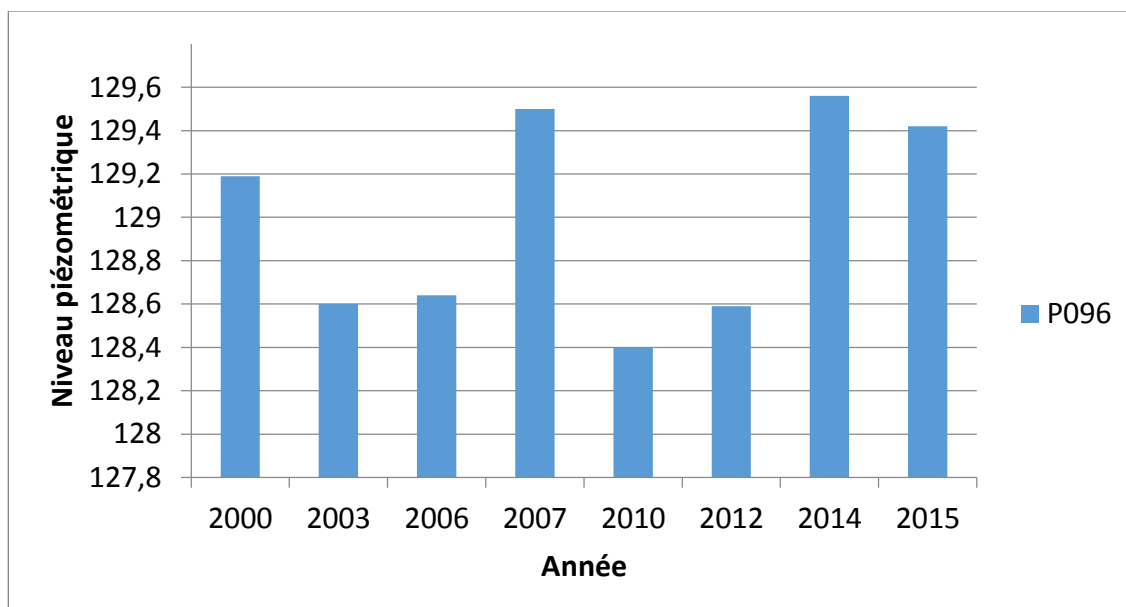
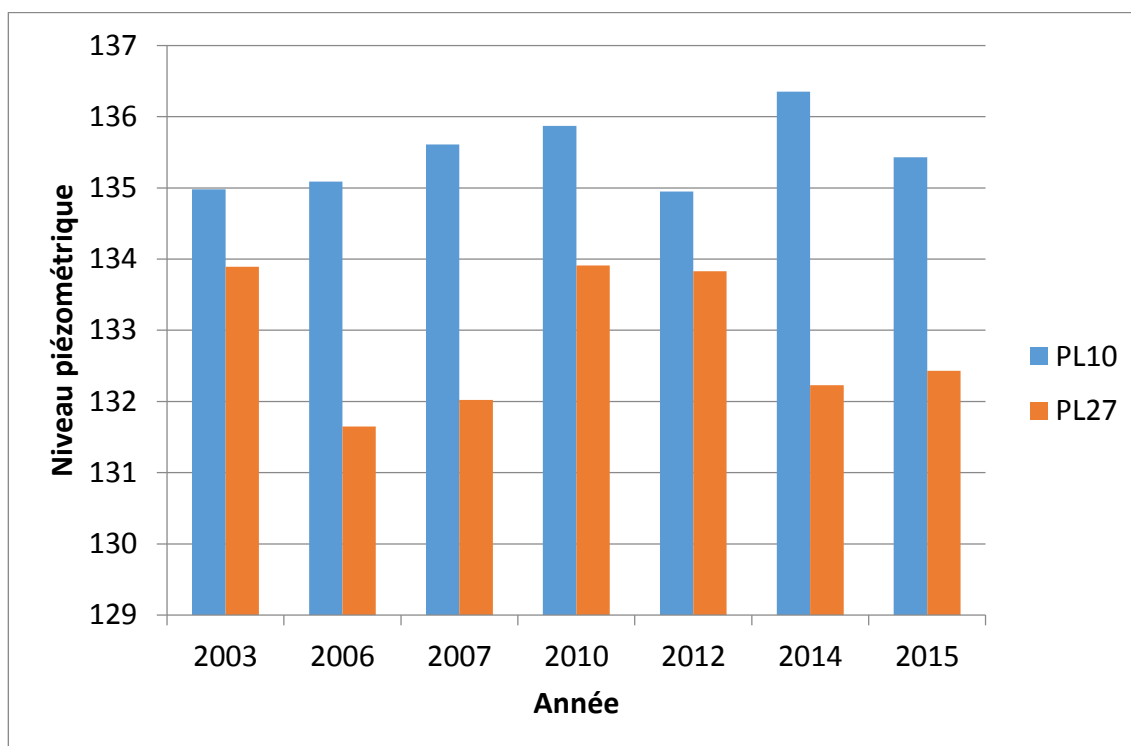


Figure 29. Variation interannuelle du niveau de la nappe phréatique au piézomètre P096

Durant la période de 200-2015, les enregistrements des niveaux piézométriques PL10 et PL27, démontrent des fluctuations de niveau allant de 131.5 (valeur minimale) à 133.8 (valeur maximale) pour le point PL27, et de 135 à 136.5 pour le point PL10 comme indiqué dans la figure suivante :

**Figure 30.** Variation interannuelle du niveau de la nappe phréatique au piézomètre PL10 ,
PL27

III.4. Conclusion :

La nappe phréatique est contenue dans les sables dunaires et les alluvions d'Oued Mya. Elle est en moyenne à 2 m de profondeur par rapport au sol. Elle forme un dôme sous la ville de Ouargla.

D'après, la campagne des mesures piézométriques réalisées en 2015, la direction d'écoulement de la nappe est du point le plus haut situé sous la ville de Ouargla vers le point le plus bas situé à Safioune.

Le niveau piézométrique varie entre 134 m au Sud et 103 m au Nord. Au Nord de Chott Ain Baida le gradient est fort il est de 0,01 dans cette partie à l'Est la nappe est à une cote faible de 99m au niveau du piézomètre P419.

D'après la carte de fluctuation de la nappe phréatique pour la période 2010-2015, il y a une baisse du niveau de la nappe qui atteint 2,5m au Sud au niveau de la ville, au centre à N'Goussa et au Nord à Sebkhet Sefioun. A Ain Moussa et au Sud de Sebkhet, une montée du niveau est observée et atteint un maximum de 2,9m

Le suivi de l'évolution interannuelle de la piézométrie au niveau de quatre piézomètres P012, P096, PL10 et PL27 au cours de la période 2000-2015 montre une baisse du niveau en 2015 pour la majorité des piézomètres choisis

CLUSION GENERALE

Les habitants de la région de Ouargla souffrent depuis longtemps des problèmes causés par la remontée de la nappe phréatique.

Ce phénomène est observé dans les zones à basses altitudes, là où nous pouvons voir l'apparition des plans d'eau en surface.

La ville de Ouargla est située dans une cuvette dépourvue de tout exutoire naturel, où toute eau qui atteint la dépression peut participer à l'alimentation de la nappe phréatique, entraînant ainsi son affleurement en surface.

A travers cette étude, nous avons pu ressortir les résultats suivants :

- L'aridité, est une expression qualifiant la sécheresse qualitative ou quantitative de la région. Sur la base de la classification de l'indice d'aridité donnée par De Martone, nous pouvons déterminer le type de climat de notre région d'étude. D'après cette classification, notre région d'étude avec un indice d'aridité de 1,13 mm/°C est caractérisée par un climat hyper aride.

Rappelons tout de même que les précipitations moyennes sont de l'ordre de 38,06 mm/an et la température moyenne annuelle est de 23,57 °C.

- L'évapotranspiration potentielle de la région est l'un des traits marquants du climat, elle est très importante ; L'ETP devient forte entre les mois de Mai et Août. Les valeurs enregistrées au niveau de la station de Ouargla montrent un taux moyen annuel de 3022,24 mm/ans pour la période 1996/2015. L'estimation de l'ETP par les méthodes de Turc et de Thornthwaite a donnée des valeurs de 1547,9 mm/an pour la première et de 1277,78 mm/an pour la deuxième.
- Les composantes du bilan hydrologique, dans la région d'étude sont pour les apports l'infiltration des eaux d'origine anthropique particulièrement les eaux d'irrigation, les fuites dans le réseau d'AEP et d'assainissement quant aux pertes c'est l'évaporation qui représente le facteur majeur des pertes en eau dans la région.
- L'étude hydrogéologique basée sur les cartes piézométriques établis en 2000, 2010 et 2015 montre que, le sens d'écoulement principal des eaux de la nappe phréatique est vers le Nord de la Vallée, et obtient comme exutoire la Sebkha de Sefioune avec un gradient hydraulique de l'ordre de 1.2 ‰. Les écoulements secondaires s'orientent vers les sebkhas d'alentour de Ouargla à savoir : Aïn El Beïda, Oum Eraneb

- L'étude de la fluctuation de la nappe pour la période 2010-2015 montre qu'il y a une baisse du niveau de la nappe qui atteint 2,5m au Sud au niveau de la ville, au centre à N'Goussa et au Nord à Sebkhet Sefioun. La montée du niveau a été observée à Ain Moussa et au Sud de Sebkhet Sefioun
- L'étude de l'évolution interannuelle de la piézométrie qui a été faites pour la période 2000/2015 au niveau de quatre piézomètres a permis de constater qu'en 2015, il y a eu une baisse du niveau de la nappe. La montée observée en certains endroits serait liée aux apports par l'irrigation des palmeraies.

Bibliographie

BELAID N (2014). Eaux usées épurées de la cuvette de Ouargla Gestion et risques environnementaux. Mémoire de Magister en Ecologie Saharienne et Environnement. Université de Ouargla, Algérie 169p

Bel. F., & Cuche. D. (1970). Etude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du model mathématique. DHW., Ouargla. DHW-Ouargla, 1968

BELLAOUEUR A(2008) : Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie). Mémoire de Magister en Géologie du Génie Civil et des Milieux Aquifères. Université de Batna, Algérie 147p

BONARD & GARDEL (2004) : La Vallée de Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. « Investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau ». Mission II, Rapport final 110p

BUSSON G. (1970) : Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse de Doctorat, Université de Paris, France 464p

CONRAD G. (1969) : L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien. Centre de recherche sur les zones arides. Série géologie n°10, CNRS, Paris 527p

DJIDEL M. (2009) : Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université d'Annaba, Algérie 208p

DUBIEF J. (1963) : Le climat du Sahara. Institut des recherches sahariennes. Mémoire hors série, tome 1 et 2. Alger. 275p.

HAMMOU A. (2014) : Géochimie des eaux de la nappe superficielle de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla). Mémoire de Master en Hydrogéologie. Université de Ouargla, Algérie.

NEZLI I. (2004) : Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Mémoire de Magister en Hydrogéologie. Université d'Annaba, Algérie 111p

OSS (2002) : Système Aquifère du Sahara Septentrional : De la concertation à la gestion commune d'un bassin aquifère transfrontière. Projet SASS. Rapport interne. Tunis, Tunisie, 58p.

OSS (2003a et b) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

OULD BABA SY M. (2005) : Recharge et paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, Tunisie 271p

UNESCO (1972). Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional (ERSS). Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris.

RESUME

L'étude menée dans le cadre de ce mémoire, représente une contribution à l'étude du phénomène de la remontée des eaux dans la nappe phréatique à l'échelle de la cuvette de Ouargla. Cette contribution s'appuie sur l'étude piézométrique de la nappe phréatique.

La cuvette de Ouargla est située au Nord-Est du Sahara algérien. Elle présente une superficie de l'ordre de 95 000 ha et un climat hyper aride: précipitations très faibles de l'ordre de 38,06 mm/an, température moyenne annuelle est de 23,57 °C et évaporation très élevée de 3022,24mm/an. Les termes du bilan hydrologique, dans la région d'étude sont pour les apports l'infiltration des eaux d'origine anthropique particulièrement les eaux d'irrigation, les fuites dans le réseau d'AEP et d'assainissement quant aux pertes c'est l'évaporation qui représente le facteur majeur des pertes en eau dans la région.

L'étude piézométriques des campagnes 2000, 2010 et 2015 montre un écoulement principal de la nappe du Sud au Nord vers Sebkhet Sefioune avec une pente de 1,2 ‰. Des écoulements secondaires s'orientent vers les sebkhas d'alentour de Ouargla: Aïn El Beïda, Oum Eraneb

Entre les années 2010 et 2015 une baisse du niveau de la nappe a atteint 2,5m au Sud à la ville, au centre à N'Goussa et au Nord à Sebkhet Sefioun. La montée du niveau a été observée à Ain Moussa et au Sud de Sebkhet Sefioun

Le suivi de la variation interannuelle de la piézométrie entre 2000 et 2015 a permis de constater qu'en 2015, il y a eu une baisse du niveau de la nappe. La montée observée en certains endroits serait liée aux apports par l'irrigation des palmeraies.

Mots clés : nappe phréatique, remontée des eaux, piézométrie, fluctuation, zone aride.

Abstract

The study led within the framework of this report, represents a contribution to the study of the phenomenon of the rise in the water levels in the groundwater on the scale of the basin of Ouargla. This contribution leans on the piézométrique study of the groundwater.

The basin of Ouargla is situated in the Northeast of Algerian Sahara. She presents a surface of the order of 95 000 ha and a dry hyper climate: very low precipitation of the order of 38,06 mm / year, annual average temperature is 23,57 °C and very high evaporation of the 3022,24mm / year. The terms of the hydrological balance sheet, in the region of study are for the contributions the infiltration of waters of anthropological origin particularly waters of irrigation, the flights in the network of AEP and purification As for losses it is the evaporation which represents the major factor of losses in water in the region.

The study piézométriques campaigns 2000, 2010 and 2015 shows a main flow of the tablecloth from south to north towards Sebkhet Sefioune with a 1,2 ‰ slope. Secondary flows turn to the neighboring sebkhas of Ouargla: Ain El Beïda, Oum Eraneb

Between 2010 and 2015 a reduction in the level of the tablecloth achieved 2,5m the South in the city, in the center to N' Goussa and in the North to Sebkhet Sefioun. The rise of the level was observed in Ain Foamed and in the South of Sebkhet Sefioun

The follow-up of the interannual variation of the piézométrie between 2000 and 2015 allowed to notice that in 2015, there was a reduction in the level of the tablecloth. The rise observed in certain places would be bound to the contributions by the irrigation of palm groves.

Keywords: groundwater, rise in the water levels, piézométrie, fluctuation, dry zone.

ملخص

أدت الدراسة في إطار هذا التقرير، المساهمة في دراسة ظاهرة ارتفاع منسوب المياه الجوفية على نطاق حوض منطقة ورقلة. وهذا الاسهام يستند الى دراسة المياه الجوفية.

حوض منطقة ورقلة يقع في شمال شرق الصحراء الجزائرية. وتمثل مساحته في 95 الف هكتار و جاف المناخ نسبة التساقط تصل الى 38,06 ملم في السنة ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية في 23,57 درجة مئوية ونسبة التبخر عالية تصل الى 3022,24 ملم في العام , في منطقة الدراسة تتسرب مياه المصدر ولا سيما مياه الري تتسرب في الصرف الصحي في شبكة المياه الجوفية وكذلك التبخر يمثل عاملا رئيسيا في خسارة المياه في المنطقة.

ومن خلال دراسة منسوب المياه في 2000,2010,2015 نستنتج ان اتجاه المياه من يكون من الجنوب نحو الشمال مع انحدار يقدر بحوالي 1.2‰ و كذلك هناك اتجاهات ثانوية تتجه نحو السبخات المحيطة بالمنطقة

بين 2010 و 2015 انخفض مستوى المياه الى 2,5م في جنوب المدينة و في الوسط و الشمال اما صعود مستوى المياه فقد لوحظ في منطقة عين موسى و جنوب سبخة سفيون

متابعة الاختلاف بين عامي 2000 و 2015 سمحت لنا باستنتاج ان في عام 2015 هناك ارتفاع المياه موجود في مناطق مرتبطة بتسربات من خلال مياه السقي