



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Série : ...../2021

Université Kasdi Merbah Ouargla

Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables et Science de la Terre et de  
l'Univers

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

**MEMOIRE**

**Pour obtenir le Diplôme de Master**

**Filière :Géologie  
Spécialité : Hydrogéologie**

**-THEME-**

***La remontée de la nappe et état de  
fonctionnement du système de drainage à  
Ouargla***

**Présenté Par :  
BENGHOULIA Abd ennacer  
CHAUCHE Kheireddine**

**Jury :**

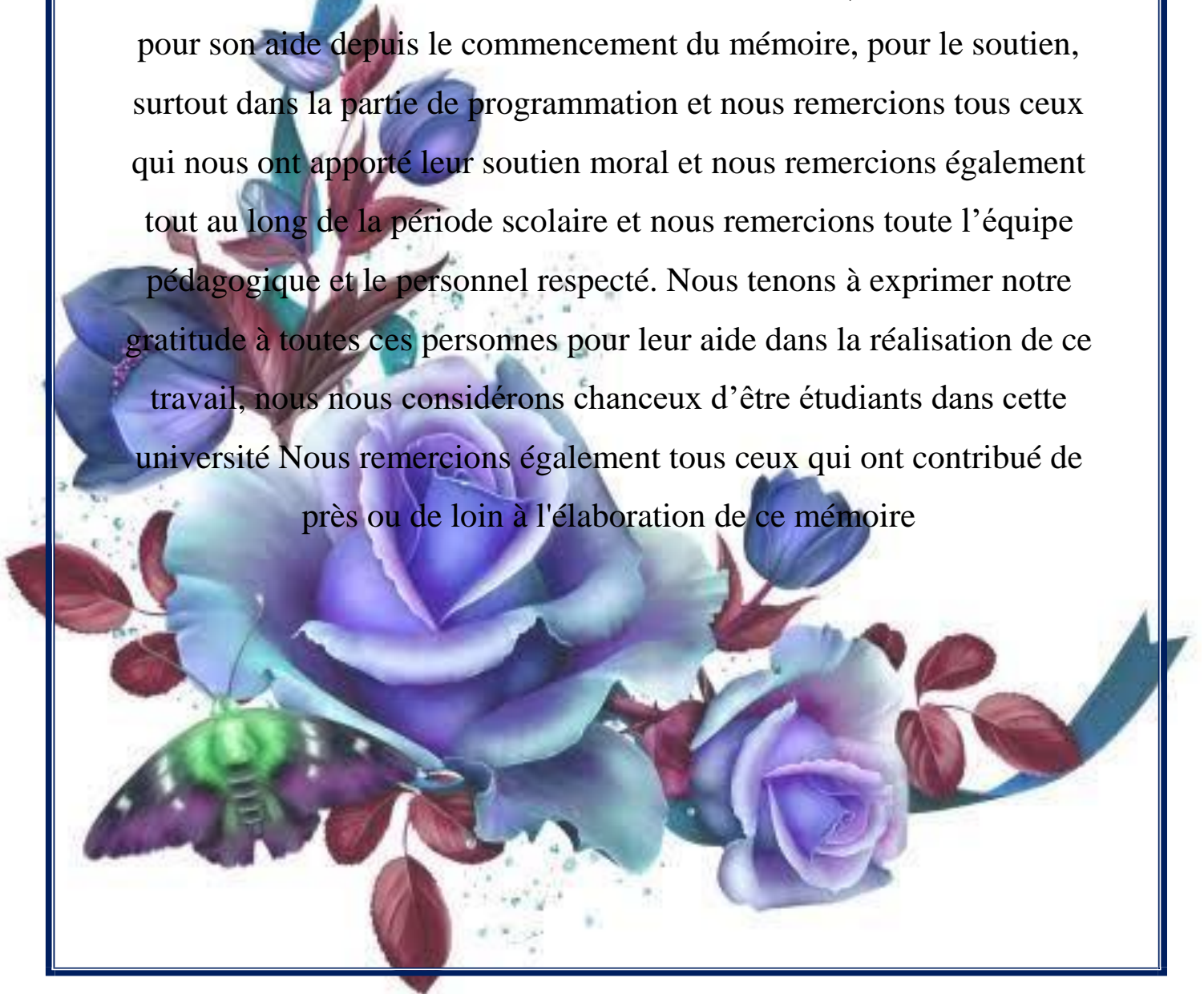
Président :	Mr : NEZLI Imed Eddine	Pr	Univ. Ouargla
Promotrice :	Mme : HADJ-SAID Samia	Pr	Univ. Ouargla
Examinatrice :	Mme : HAFSI Fadila	M.A.A	Univ. Ouargla

Année Universitaire 2020/2021

# REMERCIEMENTS

Nous remercions dans un premier temps, notre Créateur ALLAH qui nous a donné la puissance, la patience, la volonté et l'énergie pour terminer ce travail. Nous tenons à remercier notre encadreur de mémoire, HADJ SAID Samia. Nous la remercions de nous avoir proposé ce sujet, de nous avoir encadrés et de nous avoir consacré une grande partie de son précieux temps pour la réalisation de ce travail. Merci pour vos orientations rigoureuses et vos conseils constructifs.

Nous remercions vivement Mr DJIDEL Mohamed, de l'université pour son aide depuis le commencement du mémoire, pour le soutien, surtout dans la partie de programmation et nous remercions tous ceux qui nous ont apporté leur soutien moral et nous remercions également tout au long de la période scolaire et nous remercions toute l'équipe pédagogique et le personnel respecté. Nous tenons à exprimer notre gratitude à toutes ces personnes pour leur aide dans la réalisation de ce travail, nous nous considérons chanceux d'être étudiants dans cette université Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire





# *dédicace*



*C'est avec toute mon affection que je dédie ce modeste travail :*

*A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse son amour,  
mon père.*

*A ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour,  
soutien et encouragement ; et qu'elle trouve ici l'expression de mes  
vives reconnaissances.*

*à mes frères et sœurs grand-mère et tante*

*A tous mes amis :*

*Brahim DERB Khaled GHENDIR ZOUZOU merouane Oussama  
ABBASSI Madjid BEN ARABI youcef ZOUMRI Taher SAIDAN  
Mohcen BAADI et je remercie tous ceux qui m'ont apporté un  
soutien moral , et à tous mes autres amis.*

# *Dédicace*

*C'est avec toute mon affection que je dédie ce modeste travail :*

*A celui qui m'a donné vie et qui m'as apporté sans cesse son amour,  
mon père.*

*A ma très chère mère qui m'a apporté sans cesse amour,  
soutien et encouragement ; et qu'elle trouve ici l'expression de mes  
vives reconnaissances.*

*a mes frères et sœurs grand<sup>2</sup>-mère et tante*

*A tous mes amis :*

*Oussama, Abd Elouahab, Issam, kheirreddine, Djaafar et je  
remercie tous ceux qui m'ont apporté un soutien moral , et à tous  
mes autres amis et a tous ceux qu'un jour profiteront de ce  
travail.*

# SEMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Représentation de la région d'étude</b> .....	<b>3</b>
<b>I.1 Situation géographique de la zone d'étude</b> :.....	<b>3</b>
<b>I.2.Géomorphologie de la région</b> : .....	<b>5</b>
<b>a-Le Plateau</b> : .....	<b>5</b>
<b>b-Les glacis</b> :.....	<b>5</b>
<b>c- Les sebkhas</b> : .....	<b>5</b>
<b>Chapitre II : Géologie</b> .....	<b>10</b>
<b>II.1. Cadre géologique et tectonique régional</b> :.....	<b>10</b>
<b>II .2 Cadre géologique local</b> :.....	<b>11</b>
<b>II.3.Conclusion</b> :.....	<b>12</b>
<b>Chapitre III : Hydroclimatologie</b> .....	<b>14</b>
<b>III.1 Introduction</b> : .....	<b>14</b>
<b>III.2 Facteurs climatiques</b> :.....	<b>14</b>
<b>III.2.1 La précipitation</b> :.....	<b>14</b>
<b>III.2.2 Température</b> :.....	<b>15</b>
<b>III.2.3 L'humidité de l'air</b> :.....	<b>19</b>
<b>III.2.4 Le vent</b> : .....	<b>20</b>
<b>3.2.5 L'insolation</b> : .....	<b>20</b>
<b>III.2.6. Evaporation et évapotranspiration</b> : .....	<b>20</b>
<b>III.3. Bilan hydrique de la nappe phréatique</b> : .....	<b>26</b>
<b>III.4. Conclusion</b> :.....	<b>26</b>
<b>Chapitre IV : Hydrogéologie</b> .....	<b>29</b>
<b>IV.1 Hydrogéologie locale</b> :.....	<b>29</b>
<b>IV.1.1 Les aquifères profonds</b> : .....	<b>29</b>
<b>IV.2 La nappe phréatique</b> :.....	<b>33</b>
<b>IV.2.1. Profondeur du substratum</b> :.....	<b>35</b>
<b>IV.2.2. La piézométrie de la nappe phréatique</b> :.....	<b>35</b>
<b>IV.3 Conclusion</b> : .....	<b>36</b>
<b>Chapitre V : La remontée de la nappe et le drainage</b> .....	<b>34</b>
<b>V.1 Introduction</b> : .....	<b>34</b>
<b>V.2 La remontée de la nappe à Ouargla</b> :.....	<b>34</b>
<b>V.3 L'histoire du phénomène de la remontée de la nappe phréatique</b> :.....	<b>34</b>
<b>V.3.1 Avant 1956 (date du premier forage Albien)</b> : .....	<b>34</b>
<b>V.3.2 Après 1956</b> :.....	<b>35</b>
<b>V.3.3 En 1968</b> : .....	<b>35</b>

<b>V.3.4 Entre 1992 et 2002 :</b> .....	36
<b>V.3.5 Entre 2002 et 2003 :</b> .....	36
<b>V.3.6 En 2007 :</b> .....	38
<b>V. 4 Les causes du phénomène de montée des eaux dans la région de Ouargla :</b> .....	39
<b>a - La morphologie et la topographie de Ouargla :</b> .....	39
<b>b- L'aspect structural de la région :</b> .....	39
<b>c- La croissance de population et l'urbanisation :</b> .....	40
<b>d- Les fuites vers la nappe des eaux de surface :</b> .....	41
<b>e- Surexploitation des nappes profondes :</b> .....	41
<b>V.5 Impacts du phénomène sur le domaine agricole et urbain :</b> .....	43
<b>a-Dégradation des palmeraies :</b> .....	43
<b>b-Dégradation de sol et baisse de rendement par une forte salinité :</b> .....	43
<b>c-Salinisation :</b> .....	43
<b>d- La dégradation de la structure du sol la rend moins stable :</b> .....	44
<b>e- L'eau en excès diminue l'aération des sols et les rend plus froids :</b> .....	44
<b>f- Il ralentit la décomposition des matières organiques et leur humification et freine leur minéralisation :</b> .....	44
<b>V.6 Les actions pour limiter les apports d'eau :</b> .....	44
<b>1/ Réduction des fuites AEP :</b> .....	44
<b>2/ Réduction de la consommation :</b> .....	44
<b>3/ Optimisation et limiter l'irrigation des palmeraies</b> .....	45
<b>4/ Actions pour augmenter les évacuations d'eau :</b> .....	45
<b>V.7 Les projets et programmes de lutte contre le phénomène de la remontée :</b> .....	45
<b>En 1972 – 73 :</b> .....	45
<b>En 1989 :</b> .....	46
<b>Dès 1994 :</b> .....	46
<b>En 2009 :</b> .....	46
<b>En 2018 :</b> .....	47
<b>V.8 Le drainage :</b> .....	48
<b>V.8.1 Les objectifs de drainage :</b> .....	49
<b>V.8.2 Types de drainage :</b> .....	49
<b>V.8.3 Caractéristiques du canal de drainage à Ouargla :</b> .....	50
<b>V.8.4 Le rôle de drain central de Ouargla :</b> .....	52
<b>V.8.5 Le rôle des sabkhas dans l'évacuation de l'excès d'eau :</b> .....	52
<b>V.9 Conclusion :</b> .....	54
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	55

# *Liste des tableaux*

<i>Tableau 1 : Coordonnées de la station météo de Ouargla</i> .....	14
<i>Tableau 2 : Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017)</i> .....	15
<i>Tableau 3 : Moyennes mensuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2017)</i> .....	16
<i>Tableau 4 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DE MARTONNE</i> .....	19
<i>Tableau 5: Humidité moyenne mensuelle (1996-2017)</i> .....	19
<i>Tableau 6 : Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (1996-2017)</i> .....	20
<i>Tableau 7 : Insolation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017)</i> .....	20
<i>Tableau 8 : Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017)</i> .....	21
<i>Tableau 9: Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (1996-2017)</i> .....	23
<i>Tableau 10: Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (1996-2017)</i> .....	25
<i>Tableau 11 : Comparaison des valeurs de l'évaporation potentielle calculées par les formules de Thornthwaite et Turc avec l'évaporation mesurée</i> .....	26
<i>Tableau 12: Population de certaines régions de Ouargla en 2008 et 2020</i> .....	40
<i>Tableau 13: Caractéristiques des drains de Ouargla</i> .....	53

# Liste des figures

<i>Figure 1 : Situation géographique de la wilaya de Ouargla .....</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2 : Délimitation de la cuvette de Ouargla.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 3: Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla .....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4 : Carte de relief de la région de Ouargla.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5 : Carte géologique régionale (OSS, 2003).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 6: Carte géologique locale (BG, 2004) .....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 7: Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017).....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 8 : Température moyenne mensuelle dans la région de Ouargla (1996-2017). .....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 9 : Courbe pluvio-thermique de la région de Ouargla (1996-2017).....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 10: Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Ouargla pendant la période (1996-2017).....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 11: Aquifères du Sahara septentrional.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 12: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 13: Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003) .....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 14: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972).....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 15: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003).....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 16: Log géologiques des formations de la nappe phréatique (Djidel M, 2008) .....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 17 : Carte en isobathe du mur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla (Bellaouar, 2008).....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 18: Carte piézométrique de la nappe phréatique de Ouargla campagne 2017 .....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 19: Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968 (DHW-Ouargla, 1968) ...</i>	<i>36</i>
<i>Figure 20: Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique .....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 21: Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette (2007) .....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 22: Schéma explicatif des quantités d'eaux en migration dans le sous-sol.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 23: Evolution du nombre de forages d'eau dans la région de Ouargla entre 2010 et 2017 .....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 24: Evolution des débits d'exploitation dans la région de Ouargla entre 2010 et 2017 .....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 25: Profondeur de la nappe phréatique sous le sol (en mètres) (BG, 2004).....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 26: Implantation schématique des stations de pompage (BG, 2001) .....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 27: Plan du système de drainage à Ouargla (ONA, 2006) .....</i>	<i>51</i>



# Liste des abréviations

**ADE : Algérienne Des Eaux**

**AEP : Alimentation en Eau Potable**

**ANRH : Agence National des Ressources Hydrauliques**

**BG : Bonnard & Gardel**

**CI : Continental Intercalaire**

**CT : Complexe Terminal**

**CDTN : Centre de Développement des Techniques Nucléaires**

**DHW : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya**

**DSA : Direction des Services Agricoles**

**ENAGEO : Entreprise National de Géophysique**

**ETP : Evapotranspiration Potentielle**

**ETP : Evapotranspiration Réelle**

**ONA : Office National de l'Assainissement**

**ONM : Office National de Météorologie**

**SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional**

**SPED : Station de Pompage des Eaux Drainées**

**OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel**

**UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization**

# Introduction générale

La croissance démographique et le développement agricole et industriel ont fait que les besoins en eau au Sahara algérien ont augmenté d'une manière très rapide. Cette demande en eau sans cesse croissante a conduit à l'exploitation excessive des ressources en eau souterraine qui représente la principale ressource en eau. Par ailleurs, ce développement a entraîné des problèmes énormes ces dernières années, relatifs principalement à la remontée et l'évacuation des eaux des nappes phréatiques

La région de Ouargla est parmi les régions qui souffre de ce problème. Le but de notre étude est de présenter ce phénomène et l'état du système de drainage prise comme solution pour le résoudre. Pour atteindre cet objectif, nous avons développé les chapitres suivants :

**Chapitre I-** Représentation de la région d'étude consacré à la présentation des caractéristiques naturelles de la région de Ouargla : situation géographique et géomorphologie.

**Chapitre II-** Géologie : s'articule autour de la géologie de la région d'étude qui permet d'identifier et distinguer les formations géologiques de cette région.

**Chapitre III-** Hydroclimatologie : Dans ce chapitre ; nous avons présenté les principaux paramètres climatiques de la région d'étude.

**Chapitre IV-** Hydrogéologie dans lequel nous avons présenté les aquifères de la région et leur caractéristiques

**Chapitre V-** La remontée de la nappe et le drainage : dans ce chapitre nous avons mis le point sur le phénomène de la montée des eaux et les solutions entreprises pour lutter contre ce problème

# CHAPITRE I

*Chapitre I : Représentation de la région d'étude*

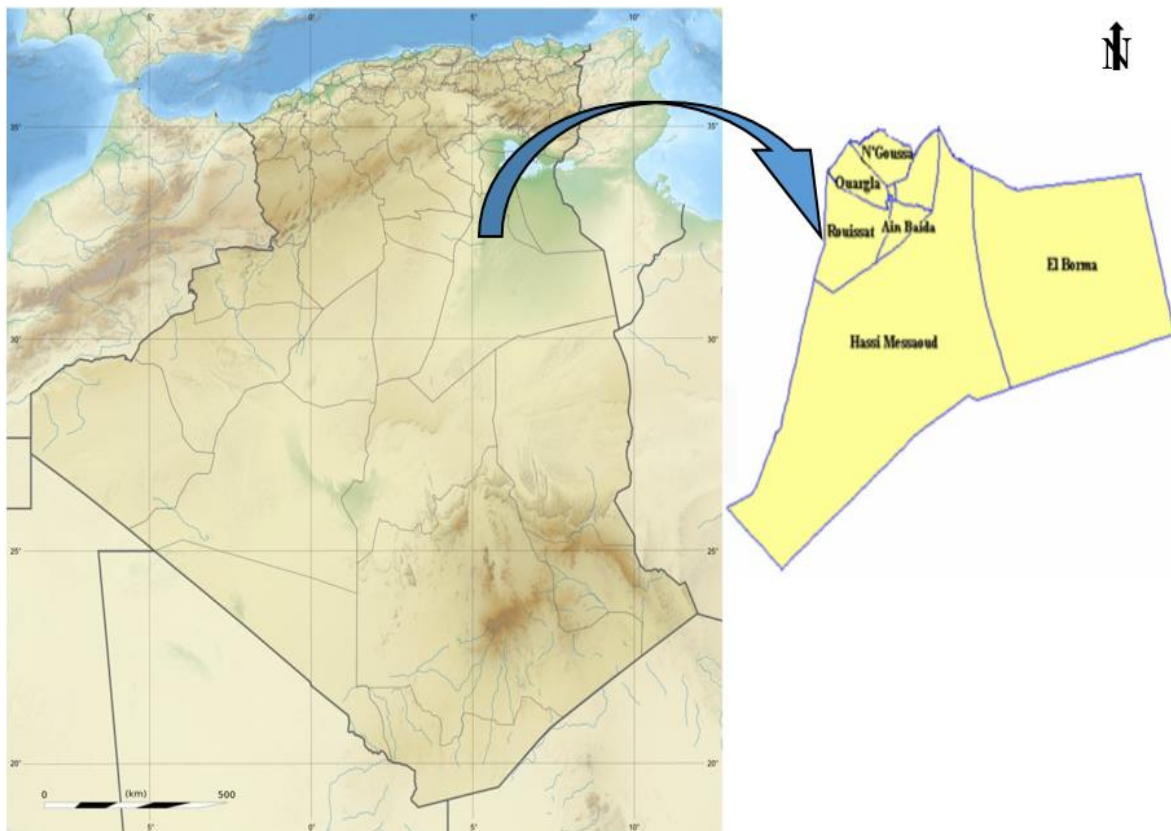
**I.1 Situation géographique de la zone d'étude :**

La wilaya de Ouargla fait partie du Sahara septentrional, elle est située au Sud-Est algérien.

Elle est limitée :

- au Nord par Djelfa, El Meghaier, Touggourt et El Oued.
- au Sud par Illizi et In Saleh.
- à l'Ouest par Ghardaïa et El Menia.
- à l'Est par la Tunisie.

Elle occupe une superficie de de 361 980 km<sup>2</sup>, et sa population est estimée 368458 habitants en2020 (Mairie de Ouargla 2021).



**Figure 1 : Situation géographique de la wilaya de Ouargla**

La zone d'étude, la ville de Ouargla, est située dans une dépression qui inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Aïn El Beïda et Sidi Khouïled. 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 sur une longueur d'environ 55 km orientée sud-ouest / nord-est à une superficie de 136.32 km<sup>2</sup>.

Elle est limitée au Nord par Sebket Safioune, à l'Est par les ergs Touil et Arifdji, au Sud par les dunes de Sedrata et à l'Ouest par le versant Est de la dorsale du M'Zab.

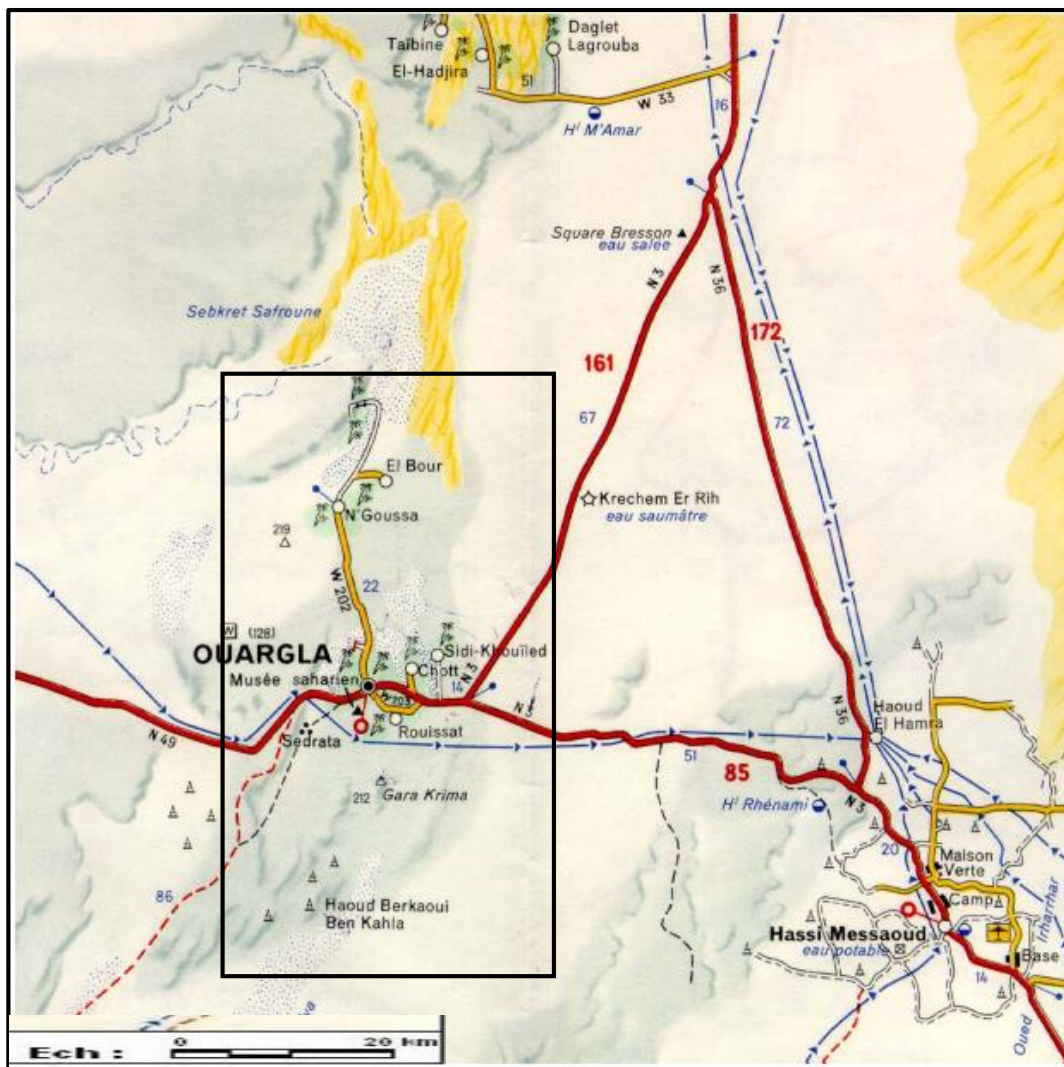


Figure 2 : Délimitation de la cuvette de Ouargla

**I.2.Géomorphologie de la région :**L'étude géomorphologique de la région permet de distinguer les paysages géomorphologiques suivants (figure 3) :

**a-Le Plateau :** La hamada Mio-Plio-Quaternaire qui se présente comme un plateau où affleurent des dalles rocheuses. C'est une formation continentale détritique d'altitude moyenne de 200 à 250m. Ce plateau s'abaisse légèrement d'Ouest en Est où il est très fortement érodé ne laissant que quelques buttes témoins.

**b-Les glacis :** Le versant Ouest de la cuvette, présente quatre niveaux étages de glacis caractéristiques, le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes, son altitude «s'abaisse de 225 m à l'Ouest à 200 m environ à l'Est. Les glacis de 180m et 160m plus visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-pliocène, le glacis de 160m a été fortement démantelé lors de la formation du dernier glacis de 140m d'altitude environ.

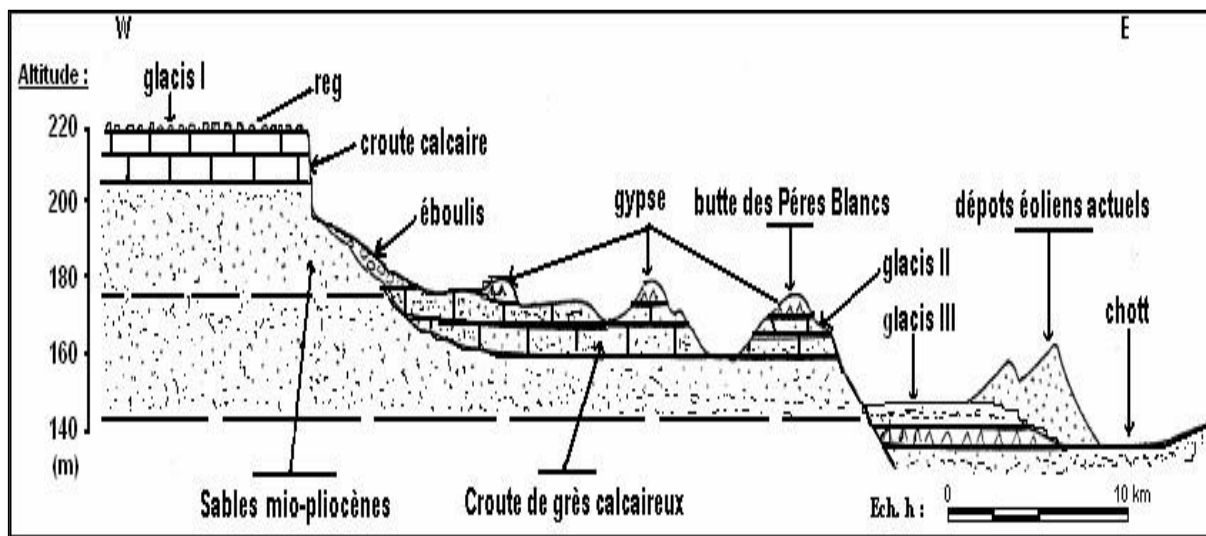
**c- Les sebkhas :** marécages salés, le plus souvent asséchés, occupant le fond d'une dépression. Le chott (ou sebkha) constitue le point le plus bas. Il est constitué de sable siliceux et/ou gypseux à croûte gypseuse de surface et de sub-surface. Le bas fond se caractérise par une nappe phréatique permanente très peu profonde de 1 à 5 m.

En aval de Ouargla, diverses sebkhas alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhet Safioune qui est à 103 m d'altitude point le plus bas de la région

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 des ergs et des dunes Quaternaires.

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 (Bellaoueur. 2008).



**Figure 3: Coupe géomorphologique schématique de la vallée de Ouargla (Bellaoueur. 2008)**

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 Sebket 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 (BONNARD & GARDEL ; 2004)

A l'aide du programme Global Mapper 20 et de l'image MNT de la région de Ouargla, nous avons pu créer une carte de relief (figure 4). D'après cette carte, nous pouvons voir que la zone de grande altitude de 220m à 240m est située à l'Ouest. La moyenne altitude (140m-210m) occupe la majeure partie de la zone d'étude. La faible altitude (98m-130m) se trouve au centre.



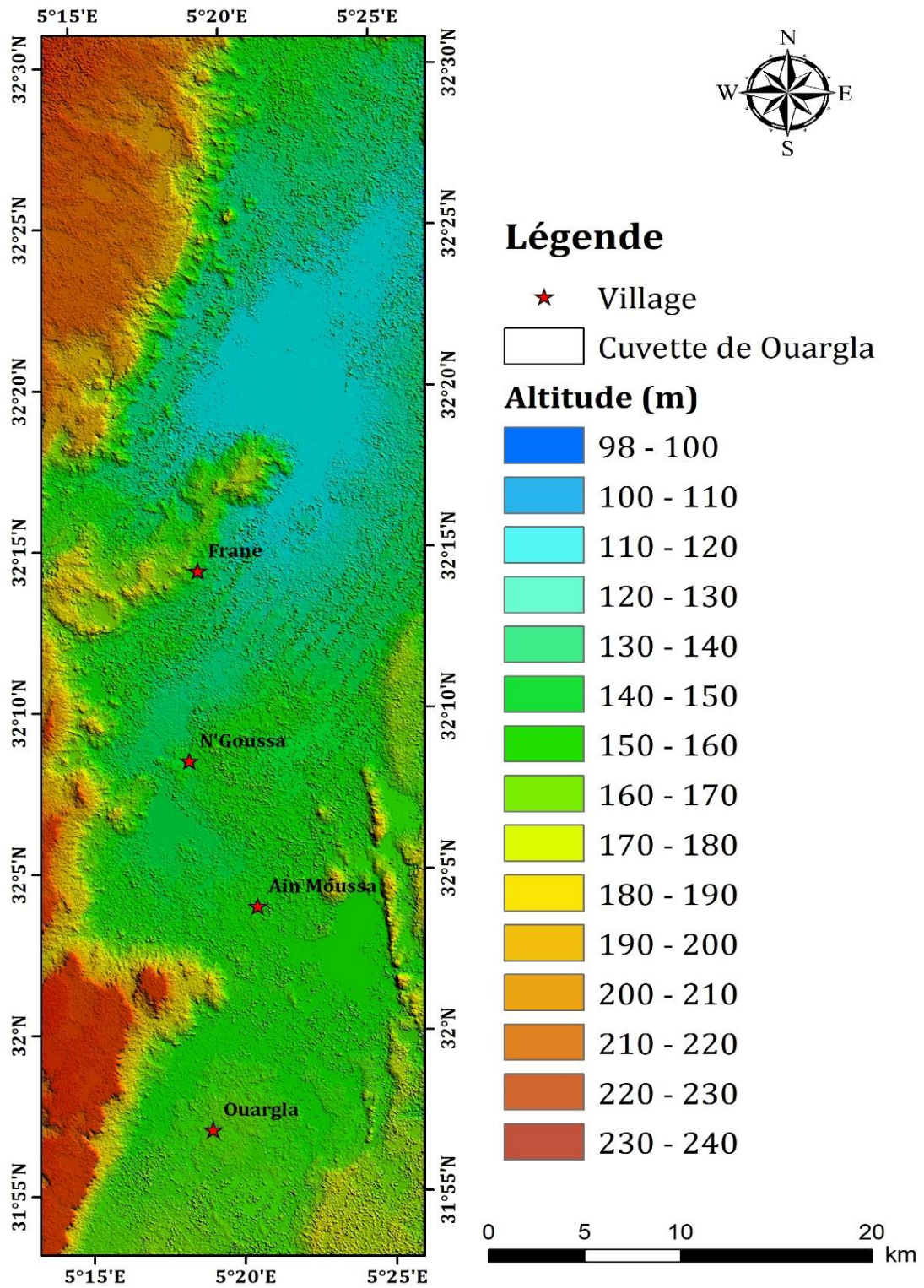


Figure 4 : Carte de relief de la région de Ouargla

# CHAPITRE II

**Chapitre II : Géologie****II.1. Cadre géologique et tectonique régional :**

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

- 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.

- 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".

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'Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe d'Oued. 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).

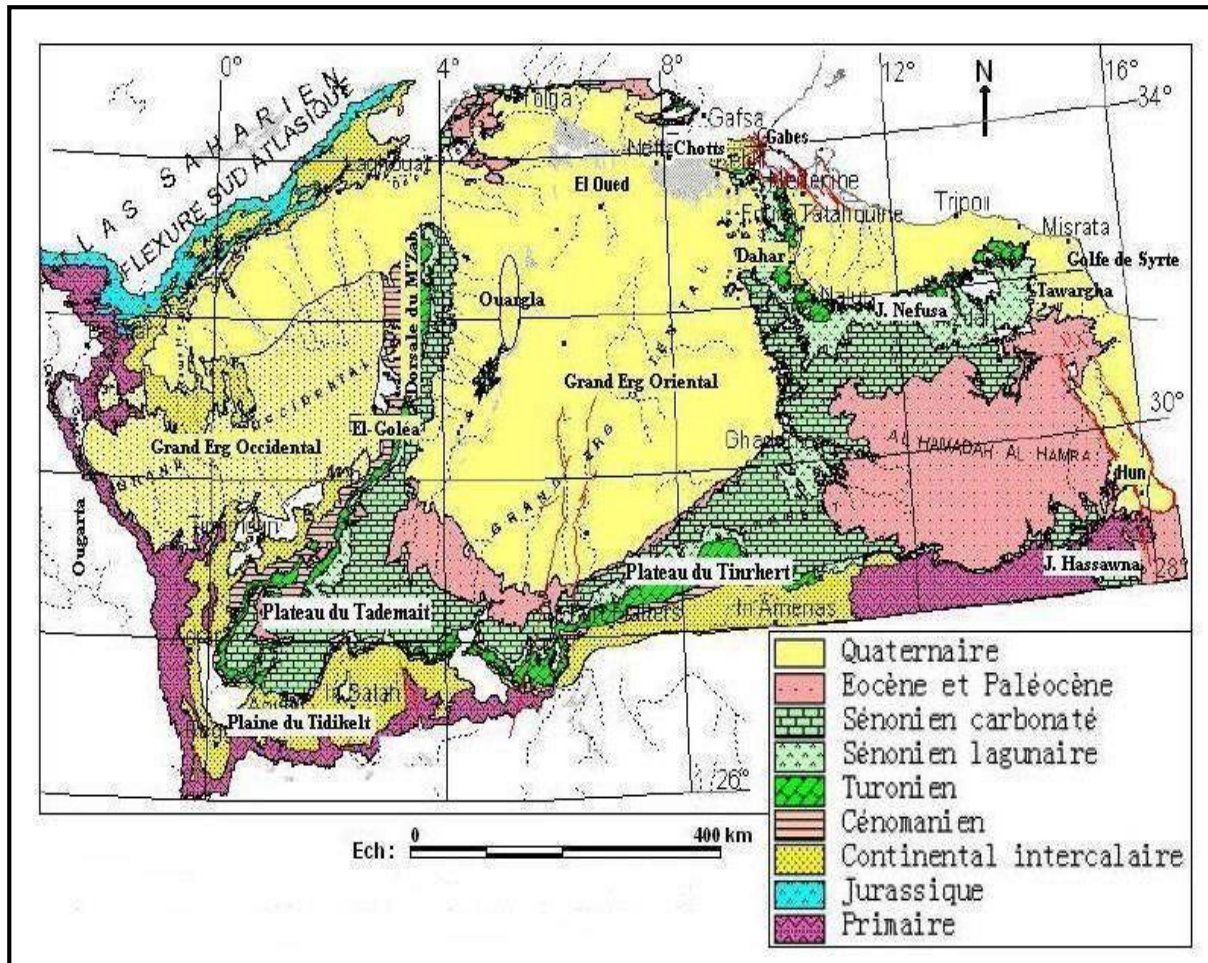


Figure 5 : Carte géologique régionale (OSS. 2003)

**II.2 Cadre géologique local :**

Dans la région de Ouargla seuls les terrains du Mio-Pliocène affleurent (figure 6), ils sont recouverts par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).

Les dunes de sables dominant l’Ouest de la région avec présence de terrain sénono-éocène-et de mio-pliocène . A l’Est de la région il n’existe que du terrain mio-pliocène avec un affleurement de Plio-Quaternaire. Le centre de la région est composé de terrain Quaternaire.

La cuvette de Ouargla 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 de Ouargla 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, Z’gag) ou du Tadmait (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 (oueds N'Sa et Z'Gag au Nord de la Sebkhet Safioune).

Avec la fin du dernier grand pluvial, le lac s'est retiré.

L'oued Mya n'a qu'épisodiquement couler de sebkha en sebkha sans beaucoup de vigueur, son cours étant complètement coupé par les reliefs situés à l'aval de la Sebkhet Safioune où un lac se formait à nouveau à chaque période un peu pluvieuse.

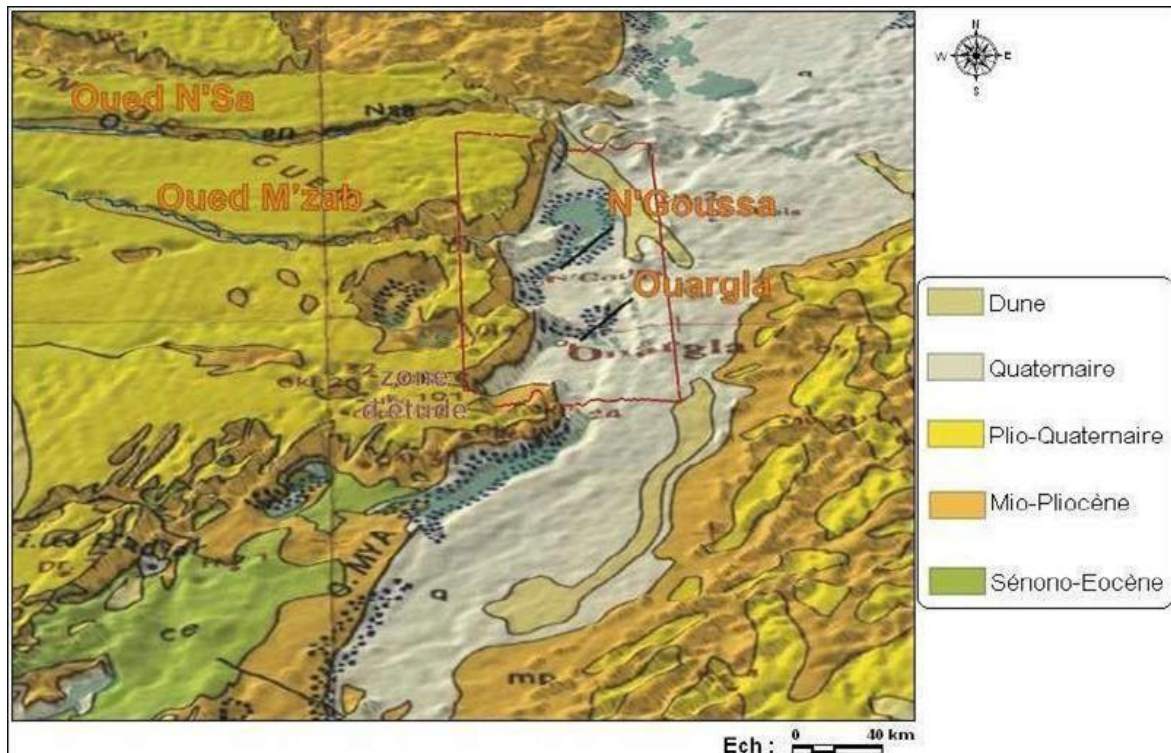


Figure 6: Carte géologique locale (BG, 2004)

**II.3.Conclusion :**

La région de Ouargla fait partie du bassin sédimentaire du Sahara Septentrional, les grands traits de la géologie dans la région de Ouargla sont le Mio-Pliocène qui affleure recouvert par une faible épaisseur de dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).

Les dunes de sables dominent l'Ouest de la région avec présence de terrain sénono-éocène-et de mio-pliocène. A l'Est de la région il n'existe que du terrain mio-pliocène avec un affleurement de Plio-Quaternaire. Le centre de la région est composé de terrain Quaternaire.

# CHAPITRE III

## Chapitre III : Hydroclimatologie

### III.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 estimer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan, il est nécessaire d'établir le bilan hydrique. La connaissance de ses composantes (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 des aquifères.

Pour atteindre notre objectif et mener à bien cette étude hydroclimatologique, il faudra acquérir des renseignements bien précis sur les différents facteurs climatiques qui régissent la constitution et la variation des réserves d'eau.

Notre étude a été réalisée à la base des données mesurées à la station de Ouargla (ONM) pour une période de Vingt et un ans (1996-2017)

**Tableau 1 : Coordonnées de la station météo de Ouargla**

Station	Latitude (y)	Longitude (x)	Altitude (z)
Ouargla	31° 56' 47.19"	05° 15' 55.49"	149 m

### III.2 Facteurs climatiques :

#### III.2.1 La précipitation :

La précipitation est la quantité d'eau tombant sur une superficie de terre. La précipitation de l'eau à l'état liquide ou solide résulte de la condensation de la vapeur d'eau dans les couches de l'atmosphère.

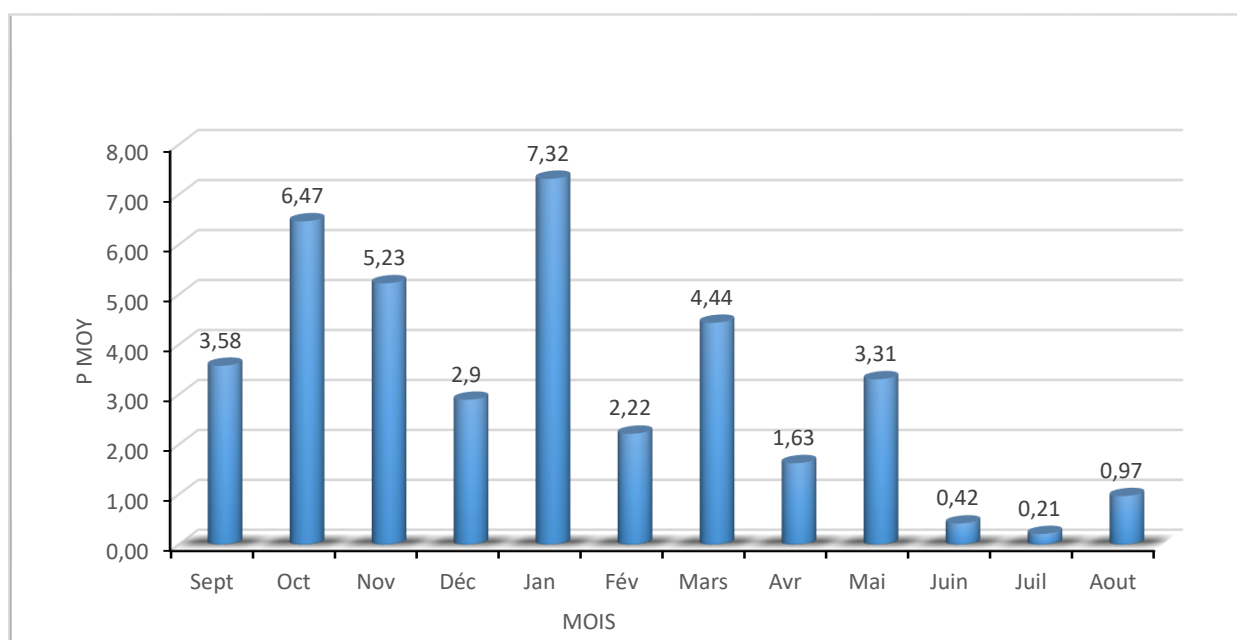
Les zones arides sont caractérisées par des précipitations annuelles faibles à rare, ce qui s'explique par le faible indice de précipitation.

A partir de l'utilisation des données de précipitations obtenues auprès de l'ONM Ouargla pour la période (1996-2017). Nous avons pu calculer le taux de précipitation mensuel. Le tableau ci-dessous montre la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

**Tableau 2 : Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuelle
<b>P (mm)</b>	3,58	6,47	5,23	2,9	7,32	2,22	4,44	1,63	3,31	0,42	0,21	0,97	38,70

D'après la représentation graphique de la variation des précipitations au cours de l'année (figure 7), on remarque que le maximum est de 7,32 mm enregistré au mois de Janvier, le minimum est de 0,42 mm et 0,21 mm en Juin et Juillet. Le taux annuel de la précipitation est de l'ordre de 38,70 mm/an.

**Figure 7: Moyennes mensuelles de la précipitation (ONM de Ouargla, 1996-2017)**

### III.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 de Ouargla est caractérisée par un climat saharien hyperaride, les températures sont très élevées en été.



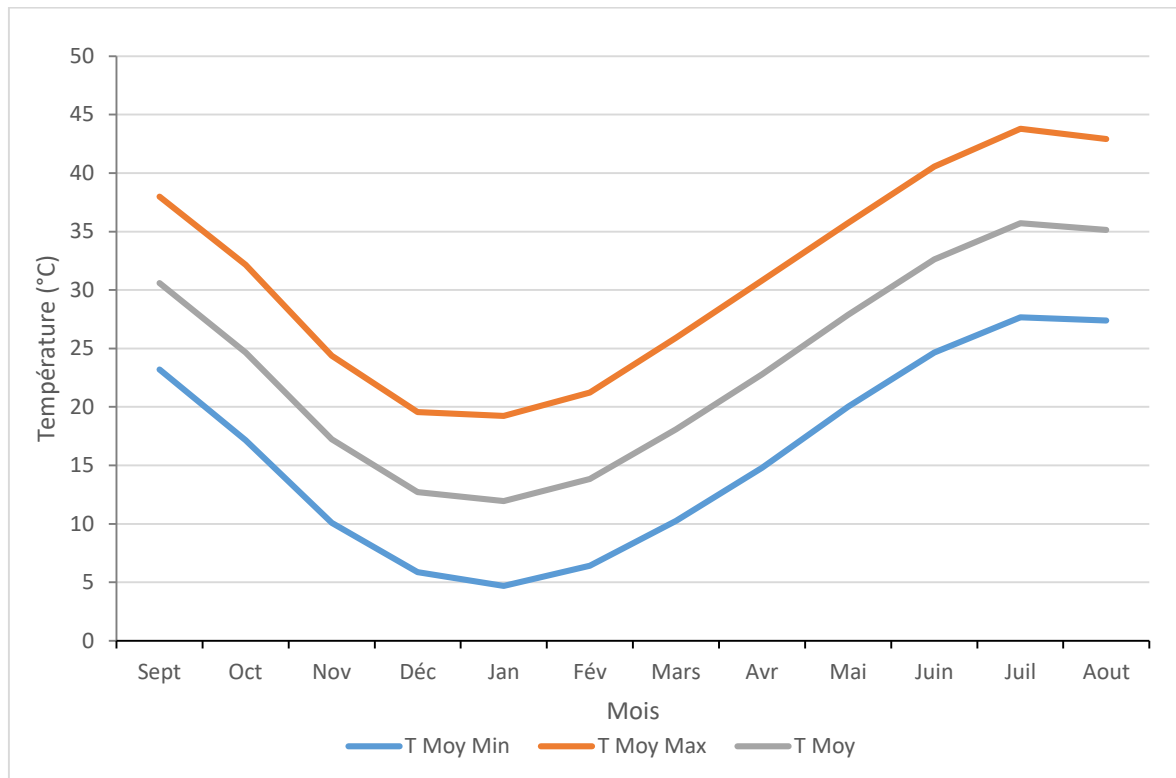
### III.2.2.a La température mensuelle :

Le tableau 5 représente les températures moyennes des minimal, des maximal et la moyenne. Les données à partir desquelles ont été calculées ces moyennes ont été obtenues au niveau de l'ONM (Office National de la Météorologie) de Ouargla pour la période (1996-2017).

**Tableau 3 : Moyennes mensuelles de la température (ONM de Ouargla, 1996-2017)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Moy
T min (°C)	23,21	17,15	10,07	5,87	4,69	6,41	10,24	14,8	20,02	24,65	27,66	27,39	16,01
T max (°C)	37,99	32,14	24,38	19,55	19,22	21,24	25,91	30,8	35,73	40,56	43,78	42,91	31,18
T Moy (°C)	30,60	24,65	17,23	12,71	11,96	13,83	18,08	22,8	27,88	32,61	35,72	35,15	23,60

La représentation graphique de ces résultats (figure 8) montre que la moyenne des mois les plus chauds Juillet et Aout atteint respectivement 35,72 et 35,15°C et celle du mois le plus froid Janvier est de 11,96°C .

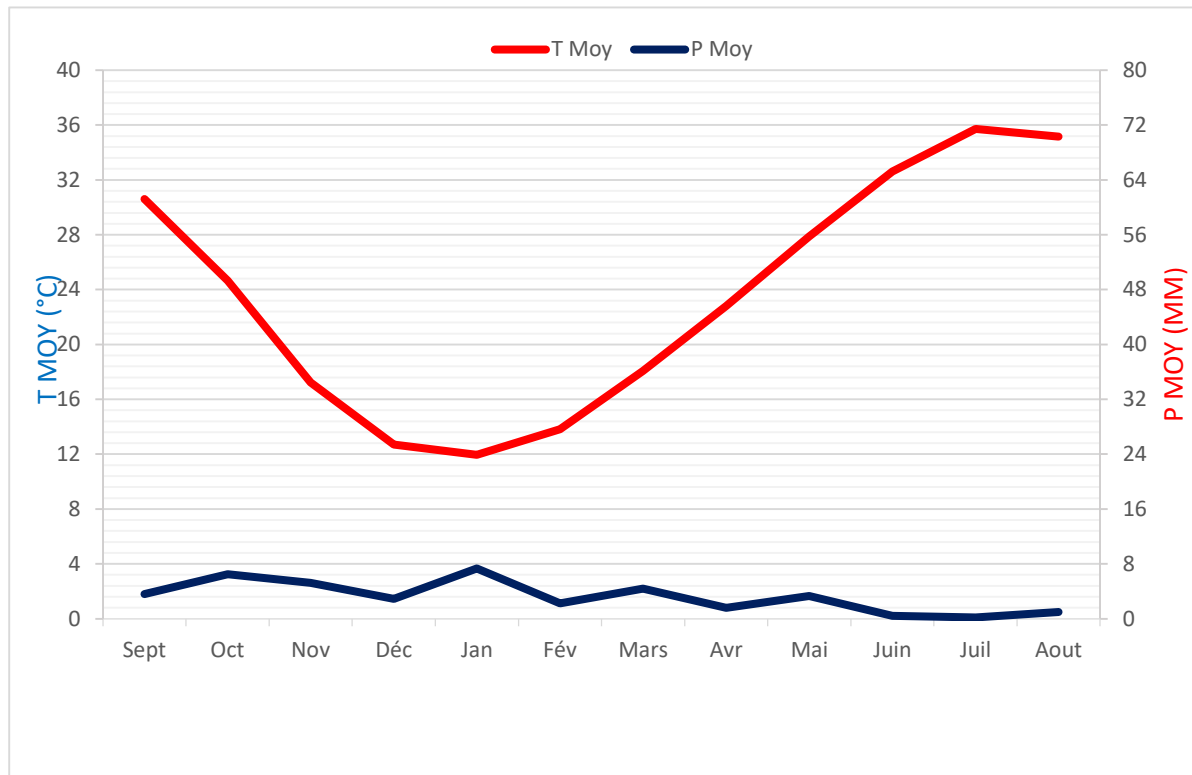


**Figure 8 : Température moyenne mensuelle dans la région de Ouargla (1996-2017).**

### III.2.2.b 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 9), on remarque que la zone d'étude reçoit une très faible précipitation durant les l'années et que la saison sèche s'étend sur toute l'année.



**Figure 9 : Courbe pluvio-thermique de la région de Ouargla (1996-2017)**

### III.2.2.c Indice d'aridité :

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. Dans les régions dites arides ou sèches, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (notée ETP). L'aridité étant une notion spatiale, une région peut être qualifiée d'aride et non une période.

L'indice d'aridité de De Martonne « I » permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C). Pour le calculer, on utilise la formule suivante :

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

**I** : Indice d'aridité.

**P** : Précipitations annuelles (mm).

**T** : Température moyenne annuelle (°C).

Dans le cas de la région d'étude :

**P** = 38,70 mm ; **T** = 23,59 °C Donc : **I** = 1,15 mm/°C

Ainsi sur la base de la classification de DE MARTONNE (tableau 4), notre région est caractérisée par un climat hyperaride.

**Tableau 4 : Classification des climats en fonction de la valeur de l'indice de DE MARTONNE**

Valeur de l'indice	Type de climat
$I < 5$	Climat hyperaride
$5 < I < 7,5$	Climat désertique
$7,5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride.
$20 < I < 30$	Climat tempéré
$30 < I < 55$	Humide

### III.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. Les données obtenues auprès de l'ONM (Office National de la Météorologie) nous ont permis de créer le tableau (5)

**Tableau 5: Humidité moyenne mensuelle (1996-2017)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
H(%)	38,91	46,30	54,89	60,46	59,57	51,63	44,73	38,18	33,81	28,67	25,62	28,88	42,64

D'après les résultats du tableau 5, on note que L'humidité est faible au cours de l'année, elle est en moyenne de 60,46 % et 59,57 % aux mois de Décembre et Janvier et de 25,62 % aux mois de Juillet. La moyenne annuelle de l'humidité dans notre région d'étude est de 42,637 %.

**III.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. D'après ces résultats, on remarque que les vents les plus forts se produisent durant les mois d'Avril et Mai avec une vitesse de 69,84 km/h et 67,1km/h

**Tableau 6 : Vitesse moyenne maximale mensuelle du vent (1996-2017)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vitesse du vent (km/h)	57,68	50,44	48,53	44,27	53,75	54,71	58,21	69,85	67,11	54,30	60,87	57,44

**3.2.5 L'insolation :**

La wilaya de Ouargla reçoit une quantité de lumière solaire très forte, le maximum est atteint au mois de Juillet avec une durée moyenne de 315,55 heures/mois, et le minimum est enregistré au mois de Décembre avec une durée moyenne de 204 heures/mois.

**Tableau 7 : Insolation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Insolation (heures)	251,93	252,2	230,92	204,01	234,19	240,02	274,08	282,75	296,75	274,17	315,55	314,7

**III.2.6. Evaporation et évapotranspiration :**

Le retour de l'eau à l'atmosphère peut se faire de différentes manières, soit directement par évaporation à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, cours d'eau, etc.), soit le plus souvent à partir d'un sol ou par l'intermédiaire des végétaux. On parle dans ce deuxième cas

d'évapotranspiration. Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent, du degré hygrométrique, de l'ensoleillement, etc.

**III.2.6.a. Evaporation :**

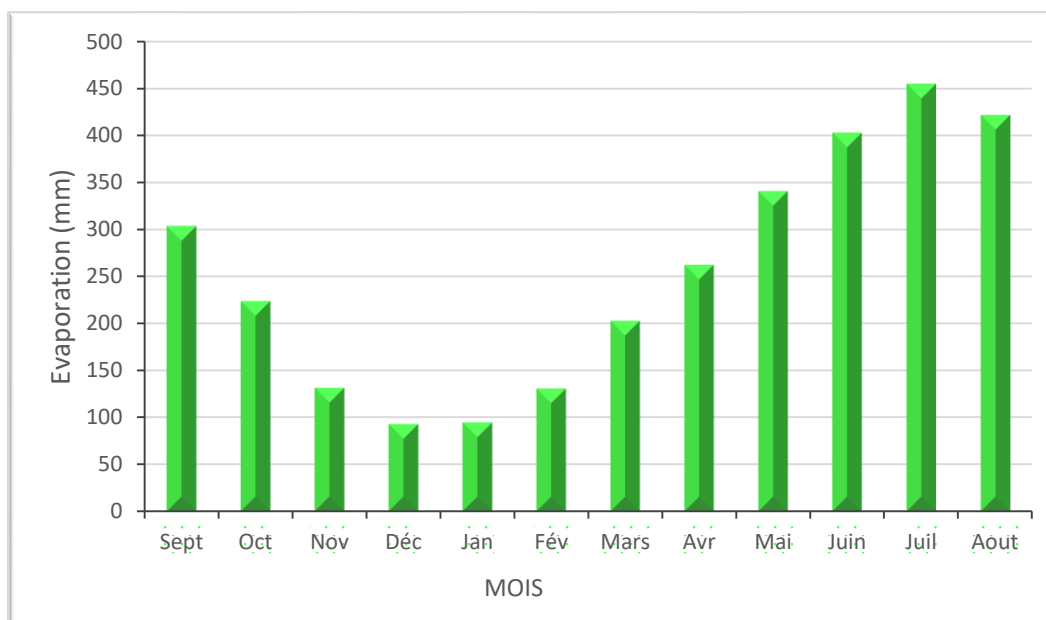
L'évaporation est le seul mécanisme de perte des eaux au Sahara, ou dans les bassins arides fermés.

L'évaporation dans la vallée de Ouargla est très élevée, nous constatons que la valeur maximale d'évaporation est de 454,13 mm au mois de Juillet, et la valeur minimale est de l'ordre de 94,67 mm au mois de Janvier. Le taux annuel de l'évaporation est de l'ordre de 3058,24mm/an.

**Tableau 8 : Evaporation moyenne mensuelle (ONM de Ouargla, 1996-2017)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moyenne
<b>Evaporation (mm)</b>	303,14	223,63	131,30	92,90	94,67	130,82	202,72	261,9	339,98	402,23	454,13	420,8	3058,24

**III.2.6.b L'évapotranspiration potentielle (ETP):**



**Figure 10: Evaporation moyenne mensuelle dans la région de Ouargla pendant la période (1996-2017)**

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 .

### III.2.6.b.1 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 :

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

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.

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

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{avec} \quad i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

Les résultats des calculs de l'évapotranspiration potentielle obtenus sont représentés dans le tableau( 9). Ainsi, on remarque que l'ETP augmente à partir du mois de Mai pour atteindre un maximum de 269,16 mm en Juillet. Le taux d'évapotranspiration potentielle annuel estimé par la formule de Thornthwaite est de 1275.06 mm/an.

Tableau 9: Estimation de l'ETP par la méthode de Thornthwaite (1996-2017)

Mois / Paramètre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P (mm)	3,58	6,47	5,23	2,90	7,32	2,22	4,44	1,63	3,31	0,42	0,21	0,97	38,70
T (°C)	30,60	24,64	17,22	12,71	11,95	13,82	18,07	22,80	27,87	32,60	35,72	35,15	23,60
I	15,14	10,94	6,39	4,05	3,70	4,60	6,87	9,74	13,16	16,65	19,09	18,64	128,99
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP (mm)	150,46	81,38	28,83	12,48	11,45	16,23	39,06	75,66	139,15	209,57	269,16	241,64	1275,06

### III.2.4.b.2 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 :

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

Avec :

**ETP** : évapotranspiration potentielle mensuelle (en mm).

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

**I<sub>g</sub>** : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (en calorie/cm<sup>2</sup>/jour)

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

Si non:

$$k = 1 + \frac{50 - Hr}{70}$$

Si la radiation globale "I<sub>g</sub>" n'est pas mesurée, on pourra l'évaluer à partir de la durée d'insolation "h" par la formule :

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

Avec :



**IgA** : radiation globale théorique (en cal/cm<sup>2</sup>/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 tableau (10). D'après ces résultats, on remarque que l'ETP augmente à partir du mois de Mars de 135,58mm pour atteindre un maximum de 264,27 mm au mois de Juillet. Le taux d'évapotranspiration potentielle annuel estime par la formule de Turc est de 1893,90 mm/an.

Tableau 10: Estimation de l'ETP par la méthode de Turc (1996-2017)

Mois Paramètres	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
<b>T moy (°C)</b>	30,6	24,64	17,22	12,71	11,95	13,82	18,07	22,8	27,87	32,6	35,72	35,15	23,59
<b>Ig<sub>A</sub> (cal/cm<sup>2</sup>/jour)</b>	839,22	700,77	562,32	499,48	541,02	664,56	813,66	937,2	1011,75	1035,18	1017,07	948,91	/
<b>h (heure/ jour)</b>	8,4	8,14	7,7	6,58	7,55	8,57	8,84	9,43	9,57	9,14	10,2	10,2	/
<b>H (heure/ jour)</b>	12,2	11,2	10,4	9,9	10,2	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	/
<b>Ig (cal/cm<sup>2</sup>/jour)</b>	509,31	441,91	359,34	295,73	345,67	443,57	524,38	596,78	623,52	602,37	644,9	623,19	/
<b>ETP (mm)</b>	150,13	122,30	87,50	63,43	70,17	94,67	125,540	156,04	175,14	178,71	195,75	188,73	1608,16
<b>Hr (%)</b>	38,9	46,3	54,9	60,5	59,6	51,6	44,7	38,2	33,8	28,7	25,6	28,9	42,6
<b>k</b>	1,16	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,08	1,17	1,23	1,30	1,35	1,30	/
<b>ETP corrigé (mm)</b>	174,15	128,42	87,50	63,43	70,17	94,67	135,58	182,57	215,42	232,33	264,27	245,35	1893,90

La comparaison des résultats de l'estimation de l'ETP obtenus par les formules de Thornthwaite et de Turc qui sont respectivement de 1275,06 mm/an et 1893,90 mm/an avec l'évaporation mesurée à la station qui est de 3058,24 mm/an montre que la formule de Turc est la plus acceptable car l'évaporation est très élevée

**Tableau 11 : Comparaison des valeurs de l'évaporation potentielle calculées par les formules de Thornthwaite et Turc avec l'évaporation mesurée**

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
<b>L'évaporation mesurée à la station (mm)</b>	303,14	223,63	131,3	92,9	94,67	130,82	202,72	261,9	339,98	402,23	454,13	420,8	3058,22
<b>L'ETP obtenu par la formule de Thornthwaite (mm)</b>	150,46	81,37	28,83	12,48	11,44	16,22	39,06	75,65	139,14	209,57	269,16	241,63	1275,06
<b>L'ETP obtenus par la formule de Turc (mm)</b>	174,15	128,42	87,50	63,43	70,17	94,67	135,58	182,57	215,42	232,33	264,27	245,35	1893,90

### III.3. Bilan hydrique de la nappe phréatique :

Le bilan hydrologique d'une nappe est le bilan des eaux qui alimentent la nappe, des eaux qui la quittent et de la variation totale du volume de cette dernière.

Les eaux qui alimentent la nappe phréatique de Ouargla sont les eaux des aquifères profonds (CT et CI) utilisées à des fins d'AEP (Alimentation en Eau Potable) et d'irrigation, les eaux de pluies rejoignant effectivement la nappe phréatique par infiltration et les fuites des réseaux d'assainissement.

Les eaux quittent la nappe par la décharge naturelle vers le nord par écoulement souterrain, par l'évaporation des eaux à partir des surfaces d'eau libres et les zones humides, par la transpiration par la végétation et par la décharge à travers le système de drainage

### III.4. Conclusion :

La région de Ouargla est connue par le climat aride marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations. Par ailleurs, la valeur maximale des pluies au cours de la période 1996/2017 a été enregistrée au mois de Janvier, elle est de l'ordre de 7,32mm. La précipitation moyenne annuelle est de 38,70mm

Les valeurs moyennes mensuelles des températures varient de 11,95 en Janvier à 35,72 °C en Juillet. Durant cette période, la température moyenne annuelle enregistrée est de l'ordre de 23,59 °C.

Par l'effet de température et le vent, une forte évaporation a été constatée au cours de cette période et qui a été arrivée jusqu'à 454,13 mm en mois de Juillet. L'évapotranspiration potentielle a été estimée par les formules de Turc et Thornthwaite, elle est respectivement de 1893,90 mm/an et de 1275,061 mm/an.

Par ailleurs, on remarque que l'ETP obtenue par la méthode de Turc reflète mieux les conditions qui règnent dans la région d'étude. Le bilan hydrique de la nappe, ses termes sont pour les entrées l'infiltration des eaux d'origine anthropique (les eaux d'irrigation, les fuites dans le réseau d'AEP et d'assainissement) et pour les sorties l'évaporation qui représente le principal facteur des pertes en eau dans la région.

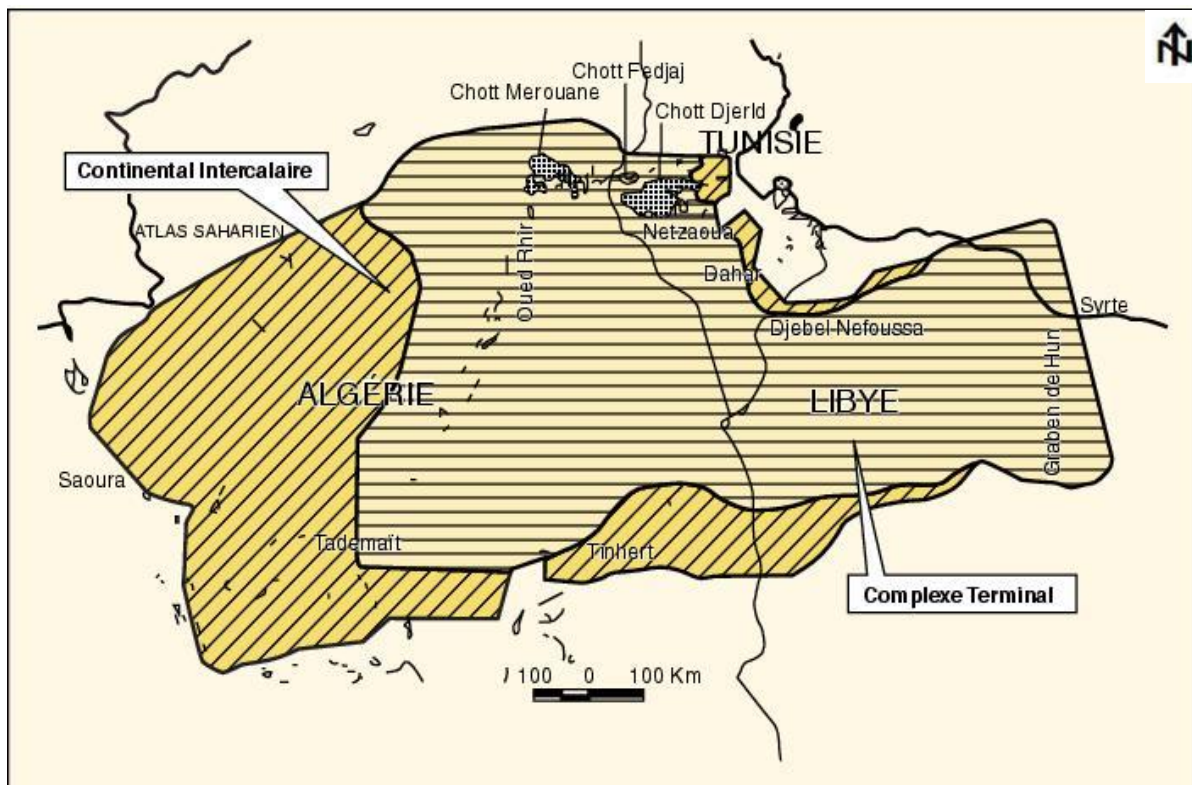
# CHAPITRE IV

## Chapitre IV : Hydrogéologie

## IV.1 Hydrogéologie locale :

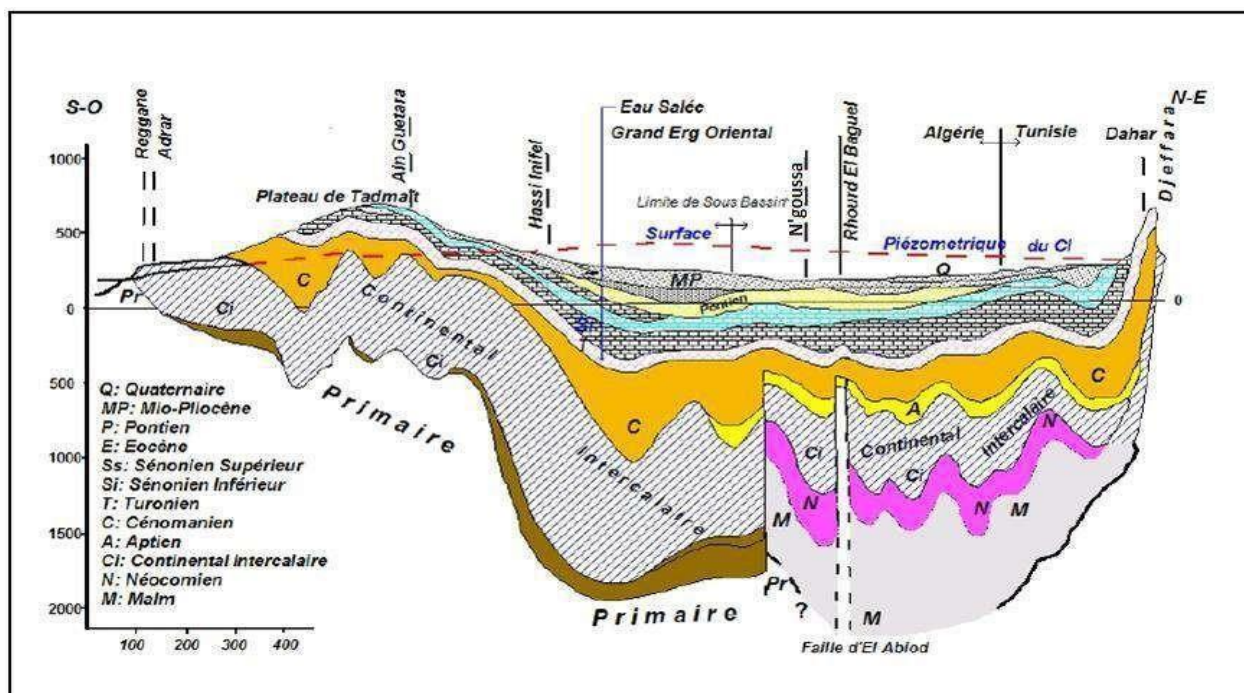
## IV.1.1 Les aquifères profonds :

La région d'étude renferme un système aquifères. 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 comporte deux aquifères : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS occupe une superficie d'environ 1.000.000 de km<sup>2</sup> 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.



**Figure 11: Aquifères du Sahara septentrional**

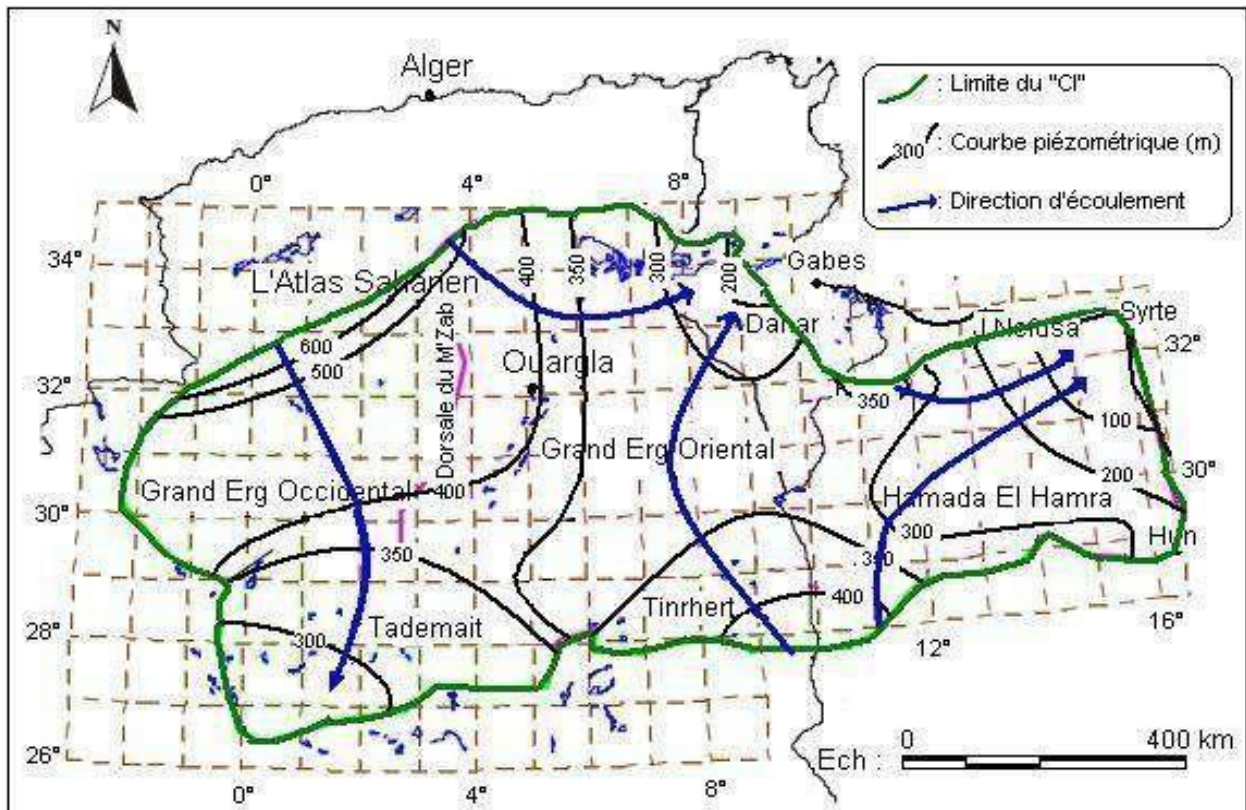
Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra (Ould Baba Sy, 2005).



**Figure 12: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale**

Le terme 'Continental Intercalaire' désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins. A la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne et au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomanienne.

Le Continentale Intercalaire "CI" est l'ensemble continental compris entre les plissements hercyniens, qui ont chassé la mer de la plate-forme saharienne et l'invasion marine du Crétacé supérieur. Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grésos-argileuses du Crétacé inférieur, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments marins ou lagunaires, post-paléozoïques et antécénomaniens intercalés au sein du "CI".



**Figure 13: Carte piézométrique de référence du CI (OSS, 2003)**

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970 ; Fabre, 1976).

L'aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le Continental Intercalaire. Il couvre environ 600 000 km<sup>2</sup>. Sa profondeur varie entre 100 et plus de 500 m et son épaisseur est en moyenne de 220 m. Ces formations sont les plus récentes, déposées au bas Sahara.

Il renferme deux aquifères d'âge et de lithologies différentes.

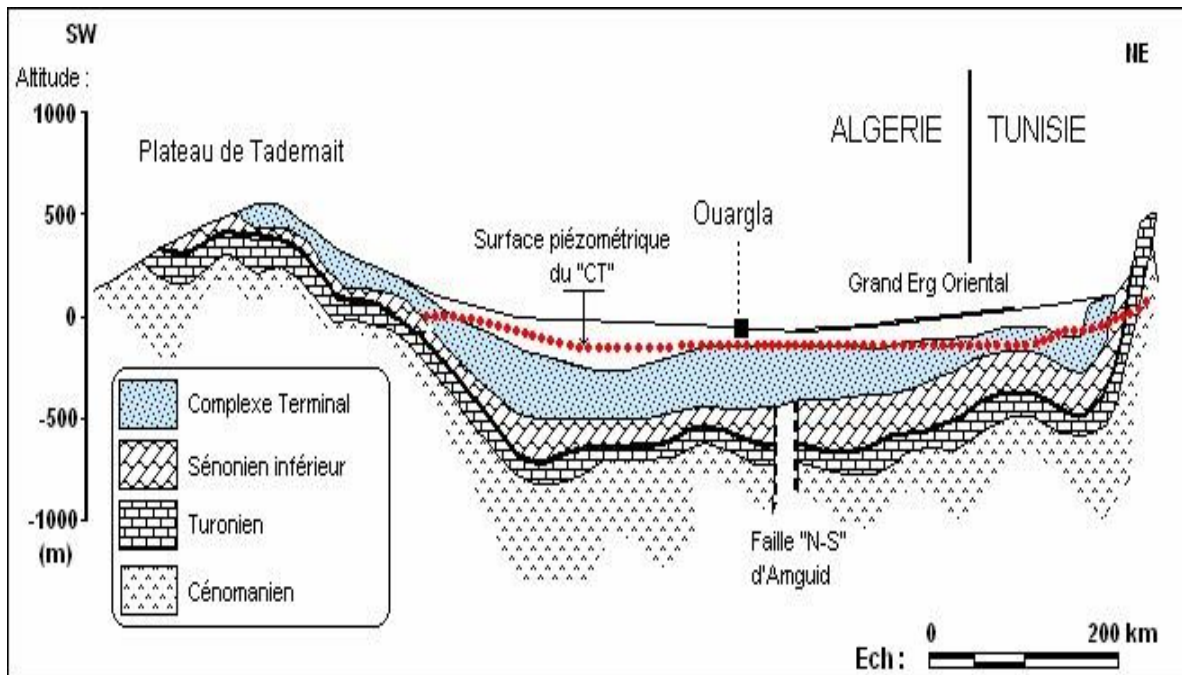
Au sommet, le Continental Terminal, constitué par les sables de taille variable, intercalés de lentilles argileuses parfois évaporitiques d'âge Mio-Pliocène, son épaisseur est de 200 à 230 m en moyenne. Elle est minimale dans la région de N'goussa et augmente vers le Sud jusqu'à 300 m et le Nord où elle peut atteindre 500 m.

A la base, les formations marines sont essentiellement carbonatées, déposées au cours de la transgression marine du Sénonien-Eocène, s'étendent sur l'ensemble du bassin oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne Djemaa-Tozeur.

L'épaisseur moyenne du réservoir carbonaté est de 100 à 200 m, augmentent vers le Nord où elle atteint 500 m sous le Chott Melghir et 600 m dans la fosse atlasique.



Le substratum du complexe aquifère est, d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus ou moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère. Elle est estimée à 30 % dans les sables du Mio-Pliocène et à 20 % dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur. (CHINE Brahim2017).



**Figure 14: Coupe hydrogéologique transversale du "CT" (UNESCO, 1972)**

L'alimentation de cette nappe est très faible, elle se fait par :

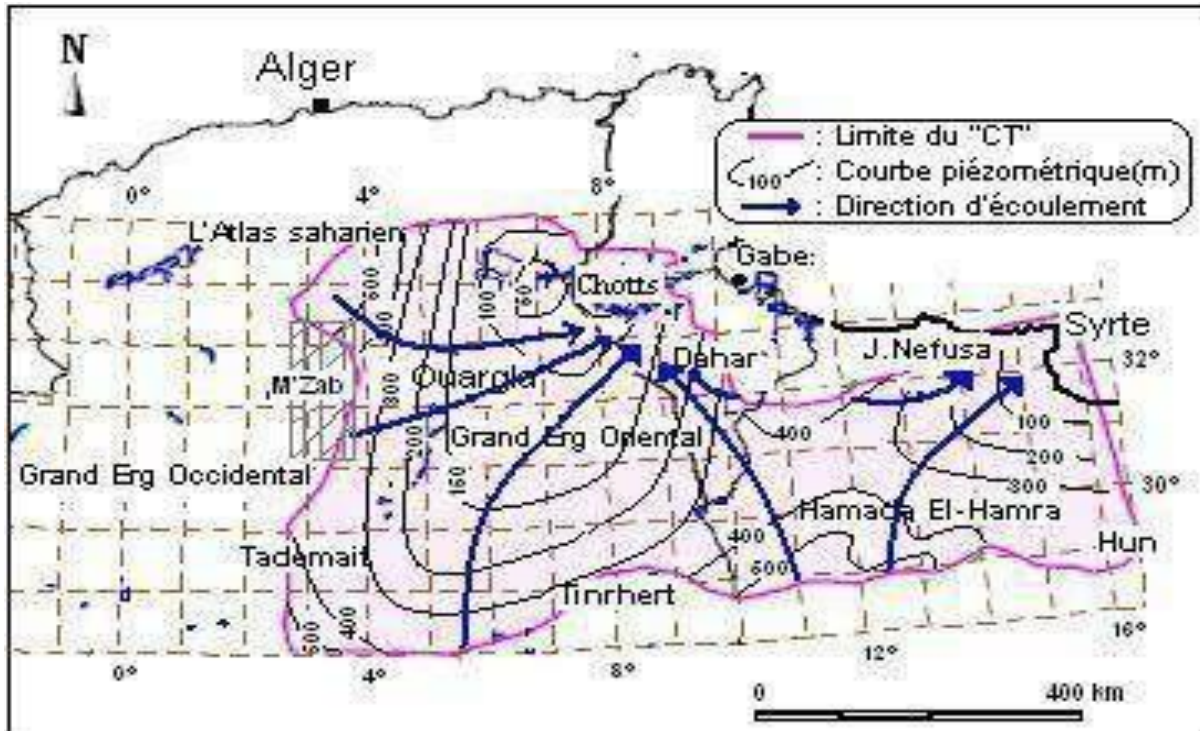
- Infiltration d'une partie du ruissellement sur les bordures Nord (Atlas Saharien, région de Laghouat, Chebek du M'Zab).
- Infiltration sur les sables du Grand Erg Oriental, qui repose par endroit directement sur les formations perméables du Mio-Pliocène, une alimentation provenant du Sud-Ouest à partir du plateau du Tademaït (sans toutefois oublier de signaler qu'il a existé une alimentation aux confins du Tihert qui a fonctionné durant le Quaternaire et qui n'existe plus aujourd'hui).
- En provenance de l'aquifère du Continental Intercalaire à travers les failles d'Amguid l'Abiod (relation de drainance par le Continental Intercalaire).

L'apport annuel en eaux de pluie est inférieur à 50 mm/an, seules les pluies torrentielles participent à l'alimentation de la nappe de Mio-Pliocène par infiltration dans les sables(quaternaires).

Dans les périodes d'averses où les précipitations sont supérieures à l'évapotranspiration, il peut exister une possibilité d'alimentation directe de la nappe de Mio- Pliocène. D'autre part, la

valeur du niveau statique de la nappe de Mio-Pliocène de 10 à 48 m, il peut exister une possibilité d'exhaure par l'évaporation dans les zones où le niveau statique est à faible profondeur. (CHINE Brahim, 2017)

L'écoulement des eaux de la nappe du CT s'oriente vers chott Melrhir



**Figure 15: Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003)**

#### IV.2 La nappe phréatique :

On désigne sous le nom de nappe phréatique les aquifères superficiels dont la profondeur n'excède pas les 50 mètres. Ces nappes sont partout présentées au Sahara dans les dépressions ou les vallées. La formation de cette nappe dans les terrains poreux résulte du simple blocage de l'infiltration des eaux pluviales, des eaux de ruissellement et des eaux d'irrigation par une couche de sol imperméable suffisamment étendue. La surface libre de cette nappe s'élève et redescend pendant l'année .

La nappe phréatique de Ouargla est contenue dans les formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. Les sondages carottés effectués par "LTPS", en plus des logs des piézomètres effectués par l'ENA.GEO, ont permis de relever la présence de trois classes de profils géologiques:

**Classe A :** C'est la classe la plus répandue, elle représente  $\approx 75$  % des terrains. On distingue :

- Une première couche dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m, constituée de sable fin à moyen légèrement gypseux avec une consistance de moyenne compacité ;

- Une deuxième couche constituée de sable argileux compacté, dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m.

**Classe B :** Elle caractérise les chotts et les sebkhas où on distingue :

- Des encroûtements gypseux très salés dont l'épaisseur varie de 1 à 2 m
- Des sables limoneux avec un passage tuffeux.

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

- Un matériau détritique constitué de grès consolidé (glacis) et de sable limoneux pauvre en gypse dont l'épaisseur est supérieure de 10 m ;
- Du sable grossier compact.

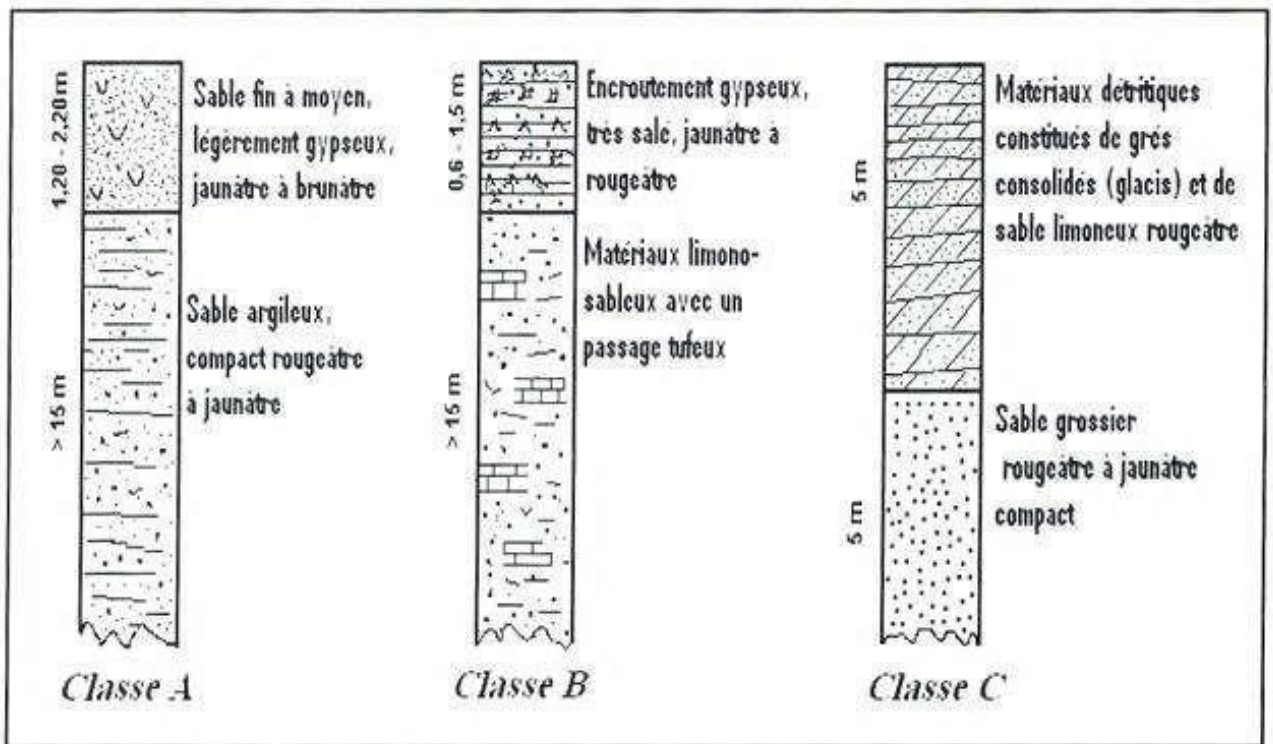
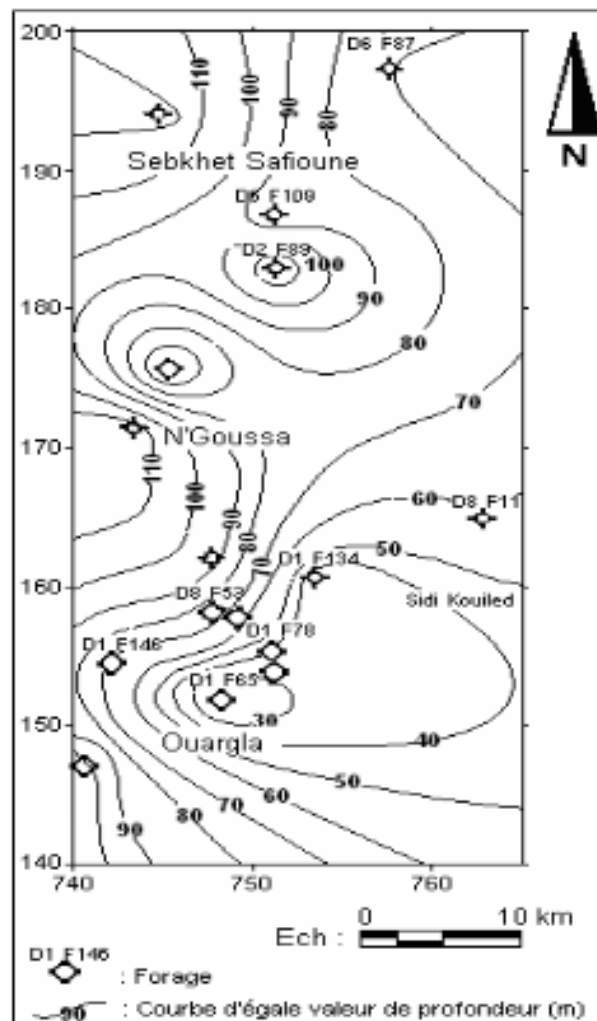


Figure 16: Log géologiques des formations de la nappe phréatique (Djidel M, 2008)

### IV.2.1. Profondeur du substratum :

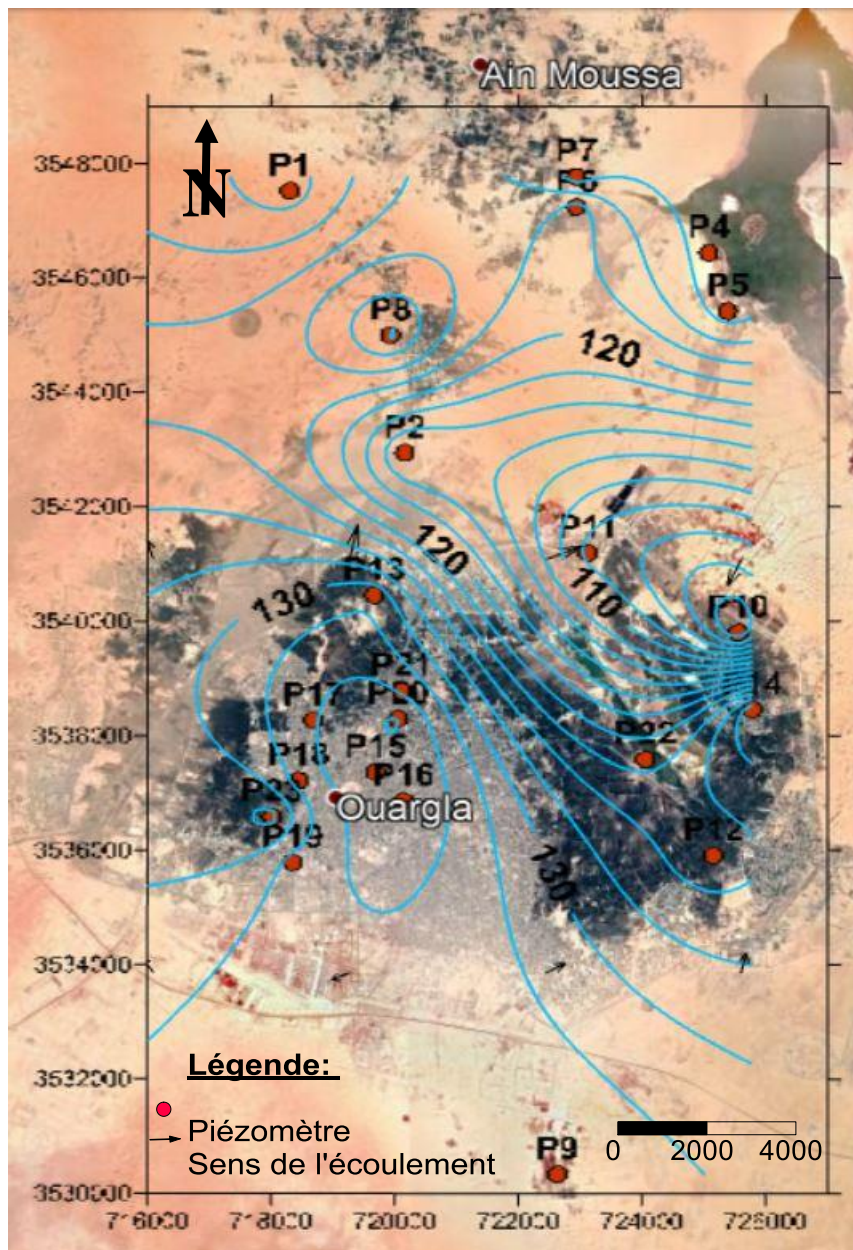
Une carte du substratum de la nappe phréatique a été établie à partir des logs de forages. L'examen de cette carte (figure 17) met en évidence du Nord vers le Sud une succession de dépressions et de bombements qui reflète la variation de la profondeur du substratum d'un endroit à un autre. Au Nord, les courbes dessinent une dépression dont le maximum atteint 100m au forage D2F89. Au Sud, la profondeur n'est qu'à 30 m au niveau du forage D1F65.



**Figure 17 : Carte en isobathe du mur de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla (Bellaouar, 2008)**

### IV.2.2. La piézométrie de la nappe phréatique :

D'après la carte piézométrique réalisée par le programme Surfer 11 à partir des données collectées à l'ANRH de Ouargla de la dernière campagne qu'on dispose (campagne 2017). Les mesures ont été réalisées dans 22 piézomètres (figure.18), on remarque que le niveau piézométrique passe de 136,23 m au centre à 99,89 m au Nord. Au Sud, on remarque un dôme à partir duquel l'écoulement est divergent.



**Figure 18: Carte piézométrique de la nappe phréatique de Ouargla campagne 2017**

### IV.3 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 2017, la direction d'écoulement de la nappe est du point le plus haut situé sous la ville de Ouargla 135m vers le point le plus bas. Au Nord de Chott Ain Baida le gradient est fort.

# CHAPITRE V

**Chapitre V : La remontée de la nappe et le drainage****V.1 Introduction :**

Dans les régions arides où l'eau est généralement rare on rencontre un problème d'excès en eau qui est due à la remontée de la nappe phréatique. La région de Ouargla est parmi d'autres régions arides dans le monde qui souffre de ce problème. Dans ce chapitre, nous allons, définir le problème de la remontée des eaux dans la région d'étude et expliquer ses causes et les conséquences qu'il a engendré.

Le problème est un déséquilibre entre le volume d'eau entrant à la nappe et le volume sortant. Ce déséquilibre est soutenu par la nature du système endoréique caractérisant les zones arides.

**V.2 La remontée de la nappe à Ouargla :**

La région de Ouargla souffre depuis longtemps du phénomène de la remontée des eaux souterraines. Il s'agit de la remontée de la nappe phréatique qui touche des zones de la cuvette (Rouissat-Beni Thour, Said Otba, Mekhadema et la ville de Ouargla). Ce phénomène pose de graves problèmes écologiques dans les zones urbaines et agricoles. L'eau stagnante ou affleurante, dont la salinité est très élevée, menace les palmeraies et l'ensemble de la végétation. D'autre part, les eaux usées acheminées par un réseau en mauvais état vers la station d'épuration pour être évacuées vers Sabkhet Safioune au Nord de Ouargla. Cette remontée est également due à la surexploitation des aquifères profonds pour les besoins d'irrigation et d'approvisionnement en eau potable. Ces quantités importantes d'eau alimentent la nappe par infiltration des eaux d'irrigation et des eaux provenant des fuites du réseau de distribution d'eau potable en plus des contraintes naturelles, comme la topographie presque plane et l'absence d'un exutoire naturel efficace, contribue à ce phénomène.

**V.3 L'histoire du phénomène de la remontée de la nappe phréatique :****V.3.1 Avant 1956 (date du premier forage 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 m (BELKHIRA CHACHOUA 2008)

**V.3.2 Après 1956 :**

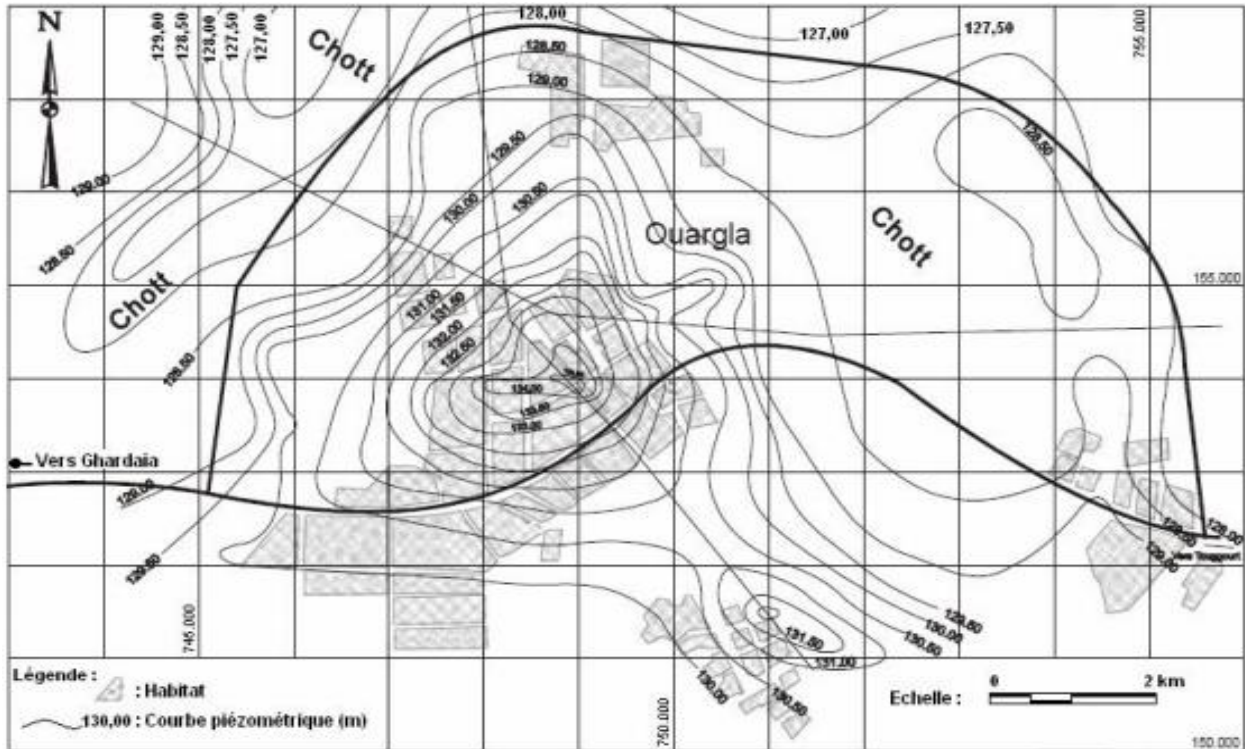
En 1956, le forage "Albien I" au Sud-Est du Ksar a servi à la revivification des palmeraies anciennes et à la création de nouvelles plantations. Parallèlement, l'exploitation de la nappe du Complexe Terminal est développée, le réseau de drainage étendu et rénové.

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. Il a commencé par l'installation, en 1956, d'une éolienne d'exhaure qui permettait d'évacuer l'eau vers Sebkhet Oum Erraneb. Le débit de 120 m<sup>3</sup>/h s'est révélé insuffisant et deux groupes motopompes ont été adjoints à l'éolienne portant le débit total à 255 m<sup>3</sup>/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 Erraneb et déjà vers la Sebkhet Safioune. (DHW-Ouargla, 2006) (in BELKHIRA CHACHOUA 2008)

**V.3.3 En 1968 :**

Une carte piézométrique a été tracée par le bureau de l'Hydraulique de Ouargla en Avril-Mai 1968. Cette carte montre que 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 .



**Figure 19: Carte piézométrique de la nappe phréatique en 1968 (DHW-Ouargla, 1968)**

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.

L'alimentation de la nappe phréatique ne peut provenir que d'une cause anthropique : irrigation des palmeraies et eaux urbaines.

#### **V.3.4 Entre 1992 et 2002 :**

Entre Février 1992 et Avril 2002, sur une période de 10 ans, une baisse générale de niveau est constatée. Seuls 6 piézomètres présentent une montée du niveau égale ou supérieure à 10 cm. Ils sont situés au Nord et au Sud de N'Goussa ainsi qu'à l'Est et l'Ouest de Ouargla (BG2004)

#### **V.3.5 Entre 2002 et 2003 :**

La carte de la figure (20) ci-dessous montre l'évolution de niveau piézométrique d'une année à l'autre. Elle concerne la fin de période estivale de deux années successives. On constate que hors de la palmeraie nord de Ouargla où il y a une légère montée de la nappe, les niveaux sont plutôt stables, avec toutefois des points en baisse au Sud d'Oum Raneb, ville de Ouargla et Bour El Haïcha. D'une année à la suivante et en considérant la même saison, on constate que les

variations de niveau s'équilibrent et qu'elles sont généralement faibles. Les variations les plus importantes sont observées sur des puits exploités ou anciennement exploités, elles sont dues à l'activité humaine. Dans la région de Ouargla, les variations de niveau sont plus importantes et contrastées que dans le reste de la vallée. Au niveau de la palmeraie nord, la montée semble être généralisée, entre 0,10 m et 0,50 m (BG, 2004)

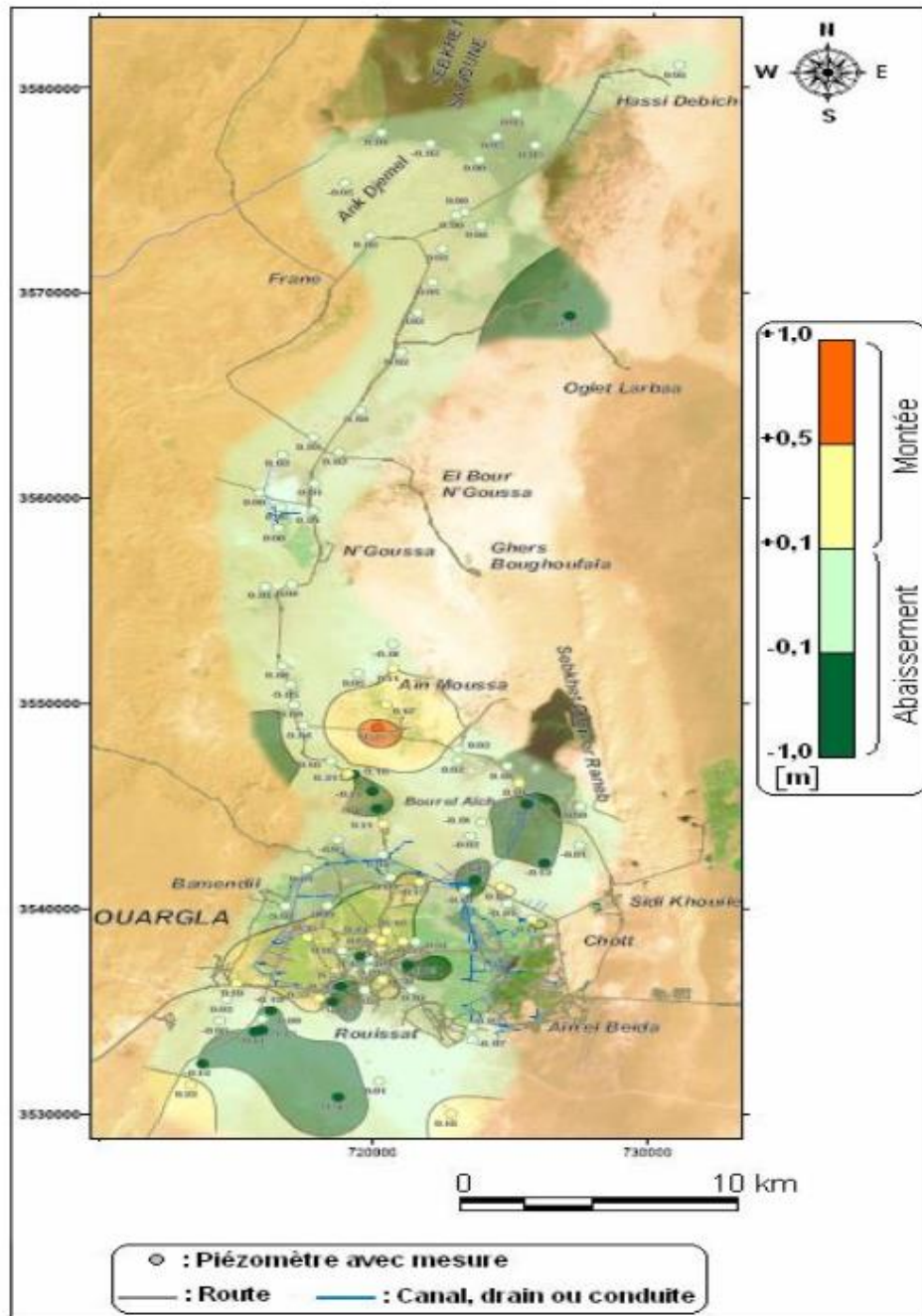


Figure 20: Carte de variation piézométrique de la nappe phréatique

V.3.6 En 2007 :

La figure (21) représente la carte piézométrique de la nappe phréatique tracée en 2007, définit l'écoulement de la nappe. Dans la partie Sud de la cuvette, la nappe s'écoule du point le plus haut (130 m d'altitude) situé sous la ville de Ouargla vers les différents Chotts environnants : Bamendil au Nord-Ouest; Oum Erraneb au Nord-Est. Entre la zone des Chotts et N'Goussa, la nappe présente une faible pente (<1 ‰) en direction de N'Goussa.

Dans la partie Nord de la cuvette (N'Goussa et ses environs), les eaux de la nappe s'écoulent aussi bien vers le Nord que vers le Sud où la nappe est à une cote plus basse : 100 à 105 m à Sebket Safioune au Nord et 108 m aux environs Sud de N'Goussa (Garet Mellala).

La nappe présente une direction d'écoulement générale du Sud vers le Nord Nord-Est avec une pente faible ne dépassant pas 2 ‰ (Bellaoueur, 2008).

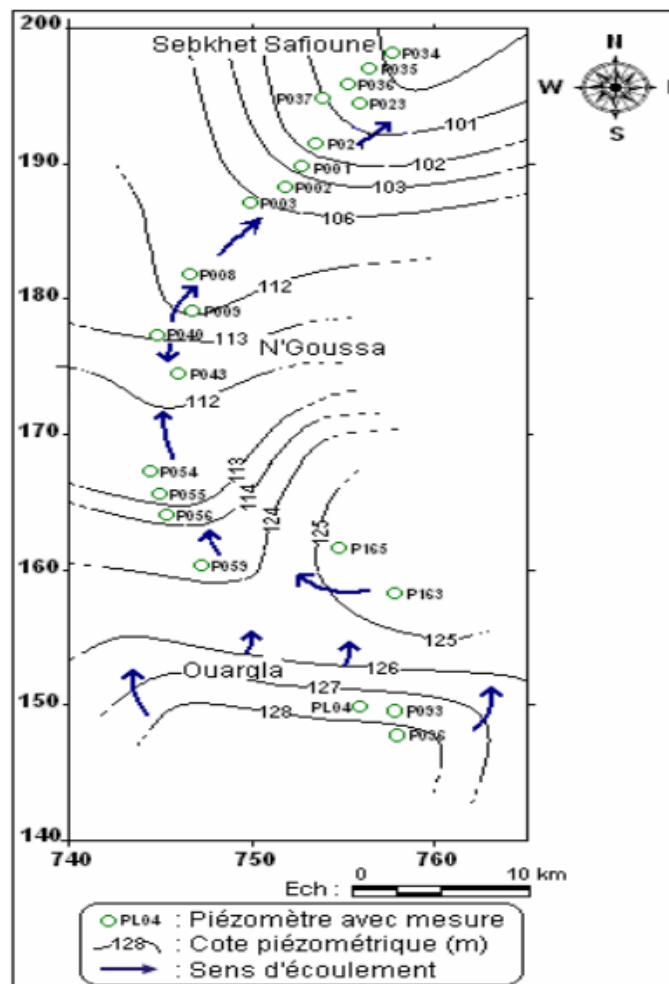


Figure 21: Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la cuvette (2007)

Les régions dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde sont situées au Sud de Ouargla, au Sud-Ouest d'Oum Erraneb, dans la région de Bour El Haïcha, dans les collines de Ank Djemel et dans les versants au Nord-Ouest de N'Goussa. Ces zones où la nappe est profonde ne correspondent pas à des dépressions du niveau piézométrique, mais à des points hauts de la topographie (dans les conditions naturelles).

Les zones dans lesquelles la nappe phréatique est moins profonde sont situées à proximité de palmeraies irriguées (Ouargla et N'Goussa) ou de zone de rejet des eaux (à proximité de Sebkhet Oum Erraneb). Les zones où la nappe est moins profonde sont situées dans des points bas topographiques. Ils forment un alignement depuis le pourtour de Ouargla jusqu'à Sebkhet Safioune.

Dans l'agglomération de Ouargla, la profondeur moyenne de la nappe phréatique est de l'ordre de 2 m. Dans la palmeraie nord, la profondeur est inférieure à 1 m, alors que dans la palmeraie de Chott Aïn Baïda, dans des palmeraies abandonnées ou en périphérie de palmeraie, l'on trouve de l'eau à moins de 0,5 m de la surface du sol.

Au niveau du Chott et de Sebkhet Bamendil, l'eau est entre 0,5 et 1 m excepté près de la cité universitaire où l'on trouve de l'eau stagnante. (BELLAOUEUR Abd El Aziz 2008)

#### **V. 4 Les causes du phénomène de montée des eaux dans la région de Ouargla :**

La recherche et l'étude bibliographique que nous avons réalisé dans le cadre de cette étude sur ce phénomène, nous a permis d'identifier les principales causes et facteurs contribuant à ce problème, qui sont :

##### **a - La morphologie et la topographie de Ouargla :**

Une des causes principales de la remontée de la nappe à Ouargla est d'ordre morphologique. La région est une cuvette, elle est caractérisée par une topographie plane associée à l'absence d'un exutoire naturel.

La dénivelée totale entre le point haut du ksar (cote 138 NGA) et le niveau du chott (129 m) vaut 9m seulement ; pour un site qui s'étend dans ses grandes dimensions de 5km d'Est en Ouest et de 8 km du Nord au Sud (BG, 2001)

##### **b- L'aspect structural de la région :**

Une hypothèse a été émise (étude ERESS) quant à la provenance de l'eau douce du seuil de Bour El Aïcha. Elle proviendrait du CI en suivant un jeu de failles.

En 2018, I.E. Nezli et M. Hadj Kouider ont mené une étude sur cette hypothèse pour donner une explication plus précise.

La zone d'étude est une dépression orientée NNE-SSW entre deux domaines structuraux distincts : un plateau avec falaises droites et verticales à l'ouest (Ballais 2010) et basses niveaux de l'ancien Quaternaire, représentés par une grande surface de terrasses discordantes sur le Pliocène continental et le Miocène érodé à l'Est. Cette dépression est remplie de dépôts d'âge Céno-Mésozoïque à Quaternaire couvrant un socle paléozoïque (Busson 1957-1965). (M. Hadj Kouider and Imed Eddine Nezli 2018)

Cette étude a conduit au fait que, la structuration globale, la géométrie de la cuvette de Ouargla et la nature lithologique des formations ont une influence significative sur la géochimie des remontées d'eau, sur les écoulements verticaux et horizontaux des eaux souterraines ainsi que composition sur la formation de sebkhas.

### c- La croissance de population et l'urbanisation :

A l'instar d'autres régions du Sud, la région de Ouargla a connu de nombreux grands projets de développement qui ont contribué à une augmentation de la population dans la région.

Le tableau(12) montre l'évolution de la population entre 2008 et 2020 dans certaines zones de Ouargla. On remarque une croissance significative de la population qui a passé de 271903 habitants en 2008 à 335704 habitants en 2020.

**Tableau 12: Population de certaines régions de Ouargla en 2008 et 2020**

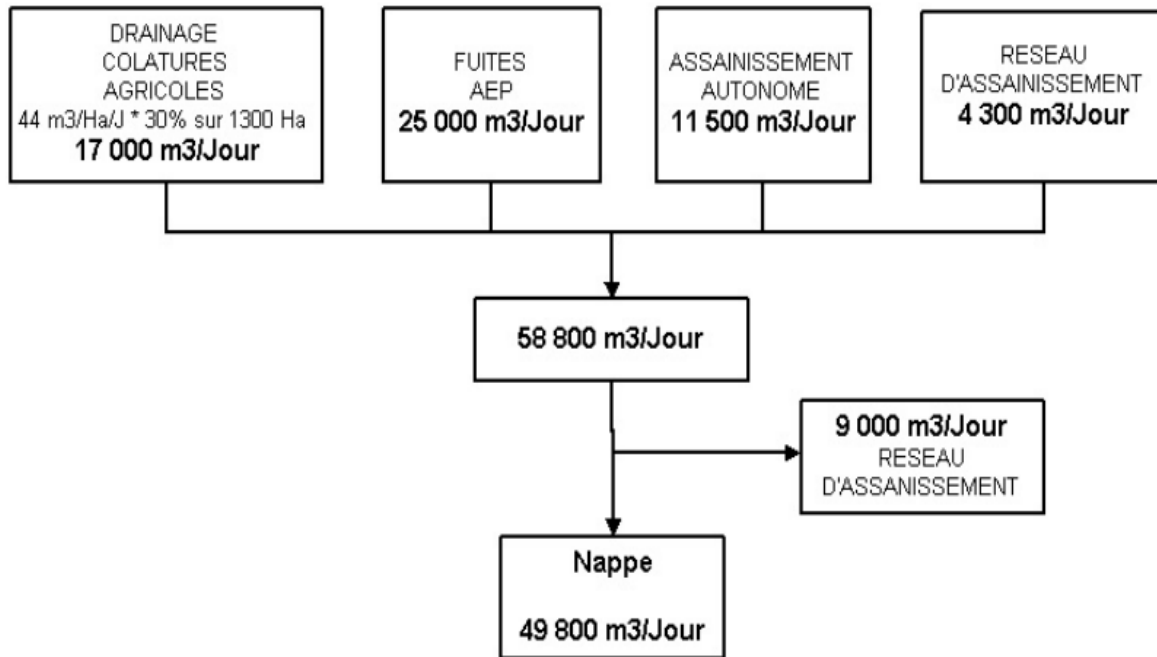
Agglomérations	Population en 2008	Population en 2020
OUARGLA	133024	160304
AIN BEIDA	19039	26519
H. MESSAOUD	45147	51480
ROUISSAT	58112	75872
N'GOUSSA	16581	21529
TOTAL	271903	335704

Cette croissance démographique a entraîné une augmentation de la consommation d'eau. La mauvaise gestion de la ressource en eau a contribué au retour d'énormes quantités d'eaux usées qui alimentent la nappe phréatique.

**d- Les fuites vers la nappe des eaux de surface :**

Pour savoir combien les fuites contribuent à alimenter les eaux d’surface. Un bilan hydrique a été tenté pour chiffrer l’ensemble des phénomènes de migration d’eaux dans le sous-sol, qu’elles soient d’origine agricole, d’assainissement ou d’AEP.

Le schéma qui suit illustre les termes de ce bilan (BG 2001) :



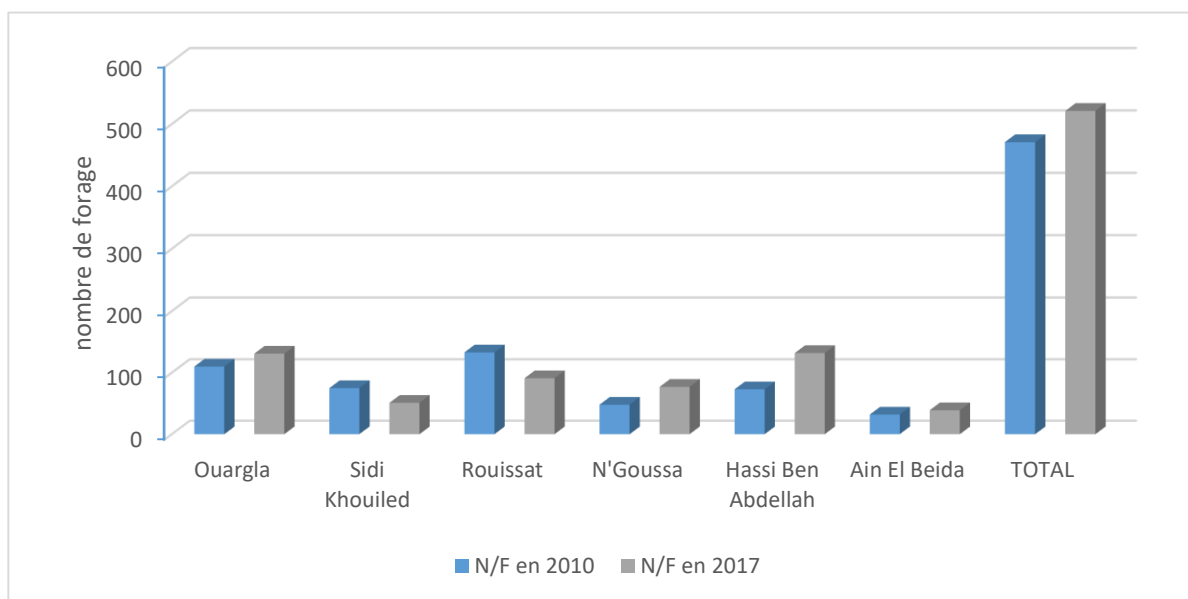
**Figure 22: Schéma explicatif des quantités d’eaux en migration dans le sous-sol**

**e- Surexploitation des nappes profondes :**

L’augmentation des activités humaines dans la région de Ouargla, telles que le développement du domaine agricole et l’accroissement de la population, a entraîné une augmentation des besoins en eau, ce qui a conduit à l’intensification de l’exploitation des eaux souterraines profondes.

Grâce aux données recueillies auprès de l’ANR , nous avons pu présenter l’histogramme suivant qui montre l’évolution du nombre de puits d’eau dans certaines régions de Ouargla entre 2010 et 2017.

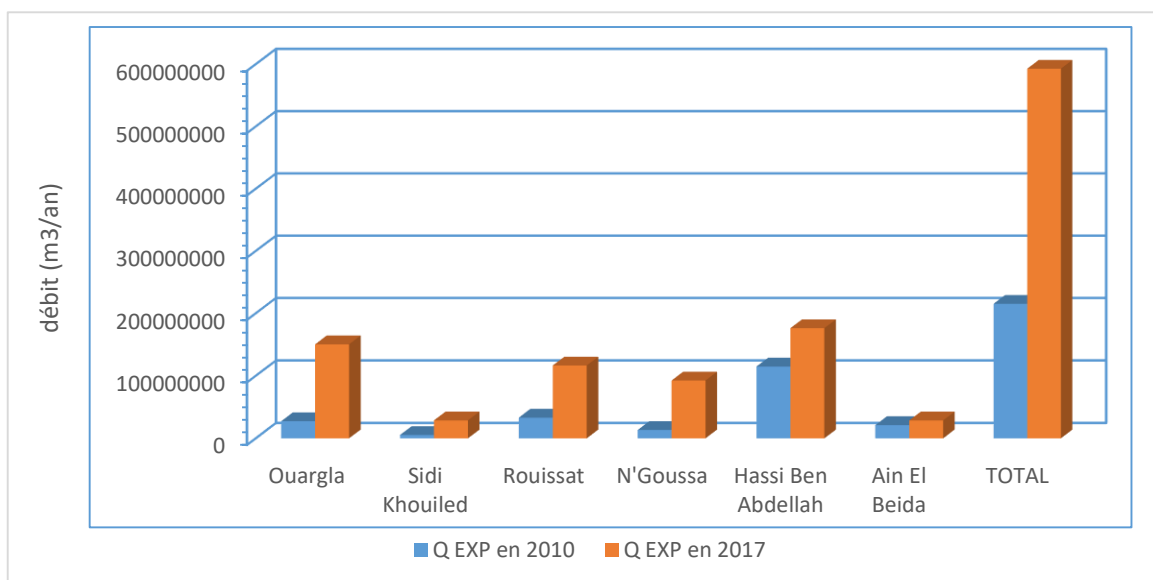
A travers les différences dans le nombre de forages et la valeur de débit en 2010 et 2017, on note qu’il y a une augmentation générale du nombre total de forages et de la valeur de l’afflux en 2017 par rapport à 2010.



**Figure 23: Evolution du nombre de forages d'eau dans la région de Ouargla entre 2010 et 2017**

Le nombre total de forages en 2010 était de 471 avec un débit de 215239131,1 m<sup>3</sup>/an.

En 2017, le nombre de forages était de 521 avec un débit de 592782192 m<sup>3</sup>/an. Les statistiques confirment que plus de 48% d'eau pompée par les réseaux de transport et de distribution d'eau est encore un surplus car les réseaux sont anciens et corrodés. Le manque d'entretien non-respect par les institutions nationales des normes de fourniture et d'installation des réseaux et de la taille de canaux (ADE 2004)



**Figure 24: Evolution des débits d'exploitation dans la région de Ouargla entre 2010 et 2017**



---

Sur le plan quantitatif, l'impact de ces rejets sur la remontée de la nappe est non négligeable puisqu'il représente en première approximation environ 12 900 m<sup>3</sup>/jour dont 8600 m<sup>3</sup>/jour en provenance de l'assainissement individuel et 4300 m<sup>3</sup>/jour d'extrusion du réseau (BG, 2001)

### **V.5 Impacts du phénomène sur le domaine agricole et urbain :**

#### **a-Dégradation des palmeraies :**

Actuellement les zones de palmeraies connaissent d'énormes problèmes, dont la plus part liées directement à la condition naturelle de la région (morphologie de terrains, forte évaporation, salinité des eaux et des sols), et à une mauvaise exploitation des palmeraies (travaux culturaux, entretien, mode d'irrigation). Ces contraintes conjuguées à une utilisation abusive des eaux profondes pour l'irrigation par submersion, se sont traduites par la remontée de la nappe phréatique. La remontée de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla a connu une situation critique, avec des conséquences graves sur l'environnement et précisément sur les palmeraies, qui résulte d'une salinisation du sol (DADDIBOUHOUNE et al, 2005)

#### **b-Dégradation de sol et baisse de rendement par une forte salinité :**

Les sels et les eaux salées sont fréquents, ce qui rend obligatoire le drainage. Un sol non salé fréquemment irrigué avec une eau chargée accumule d'énormes quantités de sels, ce qui provoque la salinisation de ces sols si le drainage est inexistant ou mal opéré. Cette situation entraîne des baisses de rendements et l'abandon des terres. La dégradation des sols est la baisse de la qualité et l'altération des propriétés d'un sol. Les différents processus qui peuvent y contribuer à l'érosion, la contamination, le drainage, l'acidification, l'altération et disparition de la structure du sol, ou encore la combinaison de ces facteurs. D'après Saker et al (2010), la salinité des sols dans la cuvette de Ouargla est liée à celle des eaux d'irrigation et au niveau élevé des eaux phréatiques salées. Cette situation a des conséquences sur la chute des rendements du palmier dattier.

**c-Salinisation :** C'est un phénomène de dégradation qui touche principalement les plaines agricoles irriguées (ENCARTA, 2003). D'après CHEVERRY (1989), la salinisation du sol est le résultat de la salinisation des eaux de la nappe et des sols auparavant, atténuée par la situation topographique des parcelles, par la texture filtrante des sols et la qualité de l'eau, et par l'intervention des activités de l'homme, en trois façons spécifiques:

1. Irrigation : les eaux d'irrigation sont fortement chargées en sels, conduisant à une salinisation des terres (RAYMOND et al, 2000).

2. Fumure : l'utilisation des engrais chimiques, des fumiers et des amendements qui contiennent beaucoup de sels, à des concentrations élevées, peut créer ou aggraver le problème de salinité.

L'eau de drainage de Ouargla est très salée, elle nécessite la réalisation d'un réseau de drainage pour évacuer les eaux de percolation. L'absence de réseau de drainage et d'exutoire augmente le taux de salinité du sol. En région désertique, c'est particulièrement le problème de salinité des eaux de drainage qui se pose (OULAD LAID 2014)

**d- La dégradation de la structure du sol la rend moins stable :**

Lorsque le sol est saturé d'eau pendant longtemps, sa structure se décompose et devient moins cohérente, le rendant impropre à un usage urbain.

**e- L'eau en excès diminue l'aération des sols et les rend plus froids :**

L'eau de saturation occupe l'ensemble des espaces normalement remplis d'air. Comme il faut plus de calories pour élever la température de l'eau que celle du sol, un sol humide se réchauffe lentement.

**f- Il ralentit la décomposition des matières organiques et leur humification et freine leur minéralisation :**

Le manque d'oxygène et de chaleur, l'excès d'humidité et le pH trop acide qui caractérisent les sols trop humides, entrave le développement de la faune et de la flore aérobie.

Les matières organiques se décomposent mal. En outre des bactéries anaérobies les transforment en produits toxiques : des acides organiques et des sulfures, d'où l'odeur de vase décelable au labour de ces types de sols (M. Benzerga, 2010)

**V.6 Les actions pour limiter les apports d'eau :**

Afin de réduire les apports d'eau, certaines actions sont à entreprendre pour limiter les apports d'eau et d'autres pour augmenter le taux d'évacuation de l'eau. Ces actions sont (BG, 2004) :

**1/ Réduction des fuites AEP :**

- Pose de compteurs à la production et à la distribution.
- Diagnostic d'AEP et programme de recherche et réparation des fuites.

**2/ Réduction de la consommation :**

- Sensibilisation de la population.
- Interdiction de l'irrigation depuis le réseau d'AEP.

- Instauration d'une tarification progressive

### **3/ Optimisation et limiter l'irrigation des palmeraies**

- Sensibilisation des irrigants
- Création d'un organisme d'irrigation
- Réflexion sur la dimension souhaitable de la palmeraie dans la zone de Ouargla.

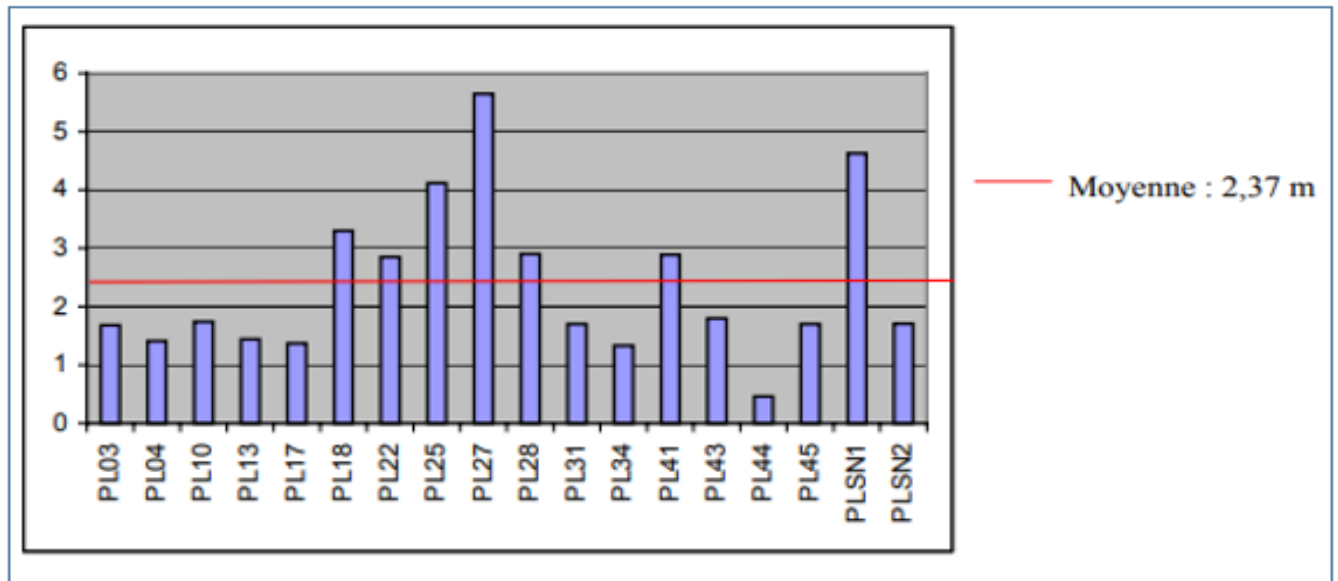
### **4/ Actions pour augmenter les évacuations d'eau :**

- Optimisation du réseau d'eaux usées.
- Réalisation d'un réseau de drainage urbain et amélioration du réseau de drainage agricole.
- Développement d'espaces verts irrigués à partir de la nappe.
- Développement d'espaces verts.
- Maintien de zones d'évaporation.
- Un contrôle périodique du canal afin d'effectuer des entretiens et des aménagements nécessaires en cas de problèmes probables. Mesurer les propriétés physiques et chimiques.

### **V.7 Les projets et programmes de lutte contre le phénomène de la remontée :**

Depuis l'apparition du phénomène de la montée des eaux dans à Ouargla qui menace les zones agricoles et urbaines cette région, les autorités concernées se sont efforcées à ce jour dans la recherche de solutions qui atténuent ou éliminent définitivement ce problème en lançant plusieurs projets et campagnes, parmi lesquels nous citons :

**En 1972 – 73** : un réseau d'égouts a été construit, ce réseau draine une partie de la nappe sous l'agglomération. Il semble que ces travaux aient amélioré la situation car en octobre 2001, sur les 18 piézomètres PL situés principalement en ville de Ouargla, la profondeur moyenne de la nappe sous le sol était de 2,37 m (fig 25 ), avec un seul piézomètre au-dessous de 1,3 m, le PL 44 situé dans une partie humide de l'enceinte du château d'eau Hai Bouzid et peut-être influencé par des fuites.



*Figure 25: Profondeur de la nappe phréatique sous le sol (en mètres) (BG, 2004)*

**En 1989** : un programme est lancé dans le but de trouver une solution pour le rejet des eaux hors de la cuvette et pour éliminer la production et l'arrivée d'eau au niveau de celle-ci. L'étude devait concerner :

- L'origine des eaux.
- La localisation exacte des nappes phréatiques, des sebkhas et des chotts.
- Le sens d'écoulement souterrain de cette nappe.

Elle a comporté :

- Une étude de la cuvette par prospection géophysique (sondages électriques).
- La réalisation de 45 piézomètres à l'intérieur de la ville et de 113 piézomètres couvrant la totalité de la cuvette.
- Des campagnes piézométriques en 1991, 1992 et 1993 réalisées par la DHW et ENAGEO.
- Un levé topographique de profils en long de la cuvette.
- Une étude hydrochimique et isotopique par le CDTN.

**Dès 1994** : les mesures piézométriques et hydrochimiques ont été reprises par l'ANRH à raison d'une à deux campagnes par an.

**En 2009** : la station de pompage des eaux drainées (SPED) a été mise en service, et elle était équipée de deux pompes d'une puissance de pompage de 24 kw, et d'un débit de 400 litres par seconde.

La station évacue l'excès d'eau vers Sebkhath Oum Erraneb et Sebkhath Safioun, où 355729434 m<sup>3</sup> ont été évacués à ce jour. (ONA, 2021).

La mission et les objectifs de cette station étaient de :

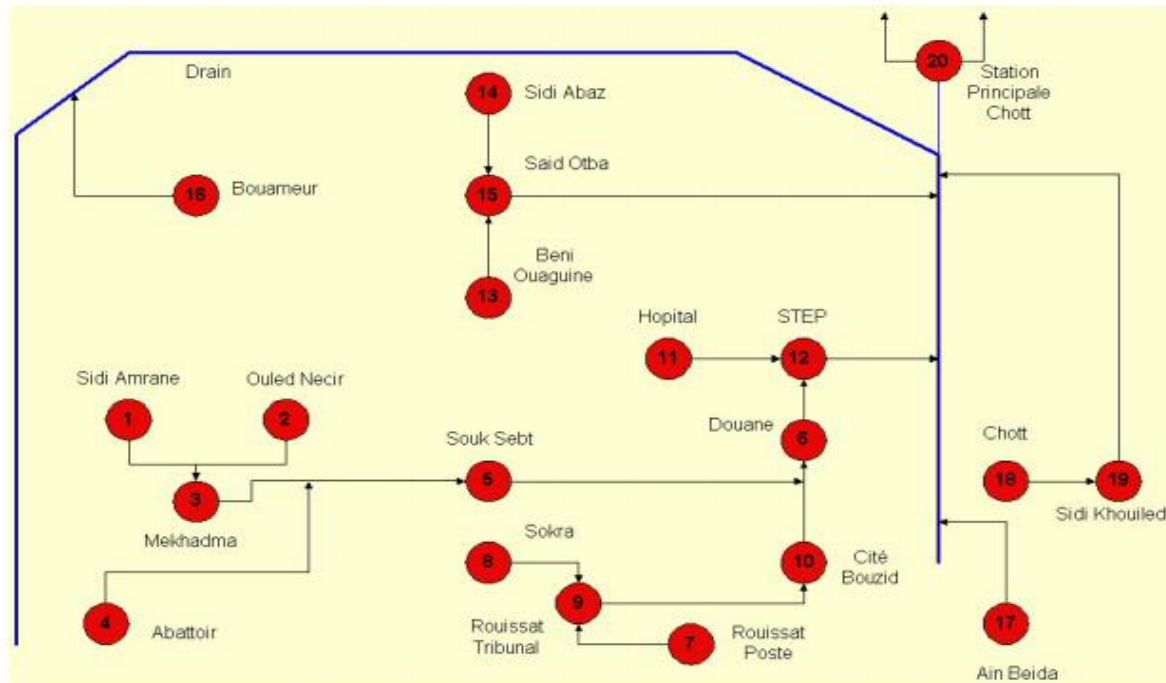
- Evacuée les eaux excédentaires d'irrigation.
- Rabattre le niveau de la nappe phréatique dans les milieux urbains et agricoles.
- Entretien des drains principaux.
- Entretien du canal de transfert des eaux vers Sebkhet Sefioune.
- Suivit du rabattement de la nappe phréatique.

**En 2018** : un nouveau projet a été inscrit pour réduire le niveau des eaux souterraines dans la ville de Ouargla et pour réhabiliter la station de pompage, ce qui contribuera à atténuer le problème d'escalade des eaux au niveau de plusieurs quartiers dans la région. Depuis le début de l'opération fin 2018, 1,3 million de mètres cubes d'eau ont été pompés et drainés vers la zone humide d'Oum Erraneb, située dans la province de Sidi Khouiled (20 km au Nord de Ouargla) à un débit de 35000 mètres cubes par jour.

Dans ce contexte, l'opération a permis de réduire le niveau des eaux souterraines d'environ un mètre sous la surface de la terre au niveau du territoire de la wilaya de Ouargla.

Ce projet repose sur l'installation d'un canal d'une capacité de 4 000 ml, et l'acquisition de deux pompes d'une capacité de 300 litres par seconde.

Ce projet, qui en est à sa troisième phase, vise à développer un système d'épuration intégré et efficace, conforme aux normes internationales, qui comprend la collecte, l'épuration et l'évacuation des eaux usées, et leur détournement vers l'estuaire final (ANRH Ouargla, 2021) Afin de pallier le problème du terrain plat à Ouargla et l'absence de pente, la zone s'est dotée d'une ligne de remontée et de pompage des eaux usées vers les sebkhas, ce qui contribuera à accélérer et intensifier le processus d'évacuation des eaux .



**Figure 26: Implantation schématique des stations de pompage (BG, 2001)**

La ligne de pompage se compose de 20 pompes de capacité variable qui élèvent les eaux usées et les pompent dans le canal d'égout principal, qui est dirigé vers sebkhat Om Erraneb et sebkhat Safioun.

**V.8 Le drainage :**

Le problème de la remontée des eaux dans de nombreux pays a conduit à rechercher des solutions pour se débarrasser des dangers de ce phénomène et de ses effets négatifs sur les zones agricoles et urbaines.

Où le système de drainage a été utilisé comme l'une des solutions possibles pour éviter le phénomène de montée des eaux. Le drainage est une opération qui consiste à faciliter au moyen de drains, l'écoulement des eaux dans les terrains trop humides (Robert Lagacé, 2016).

Selon le FAO, le drainage est une technique de suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraine et de surface et des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, marécages, fleuves et rivières. Dans un système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface. (Oulad Laid, 2014).

### V.8.1 Les objectifs de drainage :

Les objectifs généraux du système de drainage sont les suivants :

- Evacuer l'excès d'eau de pluie par les drains de surface qui recueillent essentiellement l'écoulement de surface.
- Contrôler la profondeur de la nappe et lessiver les sels dans la rhizosphère.
- Transporter l'eau récupérée dans les drains secondaires jusqu'au collecteur.
- Transporter l'eau des collecteurs jusqu'à l'exutoire du système ou au site d'évacuation.

### V.8.2 Types de drainage :

Il existe quelques types de drainage agricole de base, il y a le drainage de surface et le drainage souterrain.

#### a-Drainage de surface – Systèmes de drainage naturel :

Ce sont généralement des fossés de type ouvert qui sont placés pour transporter l'eau des zones de terre qui en ont trop ou sont sujettes à devenir saturées d'eau dans les zones ayant besoin d'eau ou de rivières naturelles / zones de ruissellement. Les terres agricoles ont besoin d'eau, mais une trop grande quantité d'eau est définitivement une mauvaise chose.

Il est pratiqué, dans les zones plates à très faible pente ou à surface irrégulière, en présence de défauts d'infiltrabilité ou de drainage ou de drainage interne.

- *Drains à fossé ouvert* : ils sont en grande partie irréguliers et suivent les contours du terrain.
- *Les fossés de terrain* : ils sont conçus et placés exprès. Ils sont généralement assez profonds avec des côtés en V ou verticaux et des sommets étroits afin qu'ils puissent facilement être traversés par des machines agricoles lourdes .
- *Les fossés étroits* – sont généralement le type de fossé de drainage agricole utilisé dans les endroits où de grandes pièces de machines agricoles ne sont pas utilisées.

#### b-Drainage souterrain - Drainage agricole souterrain :

En ce qui concerne le drainage de subsurface, soit par fossés à ciel ouvert ou ce qui est très pratiqué à l'heure actuelle le drainage par tuyaux enterrés.

Les systèmes de drainage souterrain sont conçus pour éliminer tout excès d'eau pour le sol et présentent un certain nombre d'avantages par rapport aux systèmes de drainage de surface hors sol. D'une part, ils ne gênent pas les opérations autour de la ferme et il n'y a pas de terres gaspillées pour les fossés d'autre part, ils sont une option plus coûteuse.

Il doit être réalisé sur des préalables d'étude de critères de dimensionnement encore plus poussés, tenant des facteurs du milieu (climat, sol, culture, écoulement souterrain) et pouvoir ainsi déterminer, les écartements entre drains, profondeur d'installation, pente, diamètres des tuyaux drains ou collecteurs.

### **V.8.3 Caractéristiques du canal de drainage à Ouargla :**

Le réseau de drainage de la région de Ouargla est alimenté essentiellement par des eaux d'irrigation et le rabattement de la nappe. Il est constitué de canal principal à ciel ouvert et d'un réseau secondaire et tertiaire (figure 27). Le collecteur principal qui contourne la ville et les palmeraies s'étend sur une longueur totale de 13600 m environ et une profondeur qui varie de 1,5 à 2 m avec une pente qui varie entre 1 et 2‰. Les coordonnées du point de collecte qui détourne les eaux de drainage vers la sebkha d'Om Erraneb, sont (31°59'15.94" N 5°21'51" E), ce collecteur a pour objectif de drainer toutes les eaux excédentaires d'irrigation et eaux pluviales, et de rabattre la nappe phréatique.



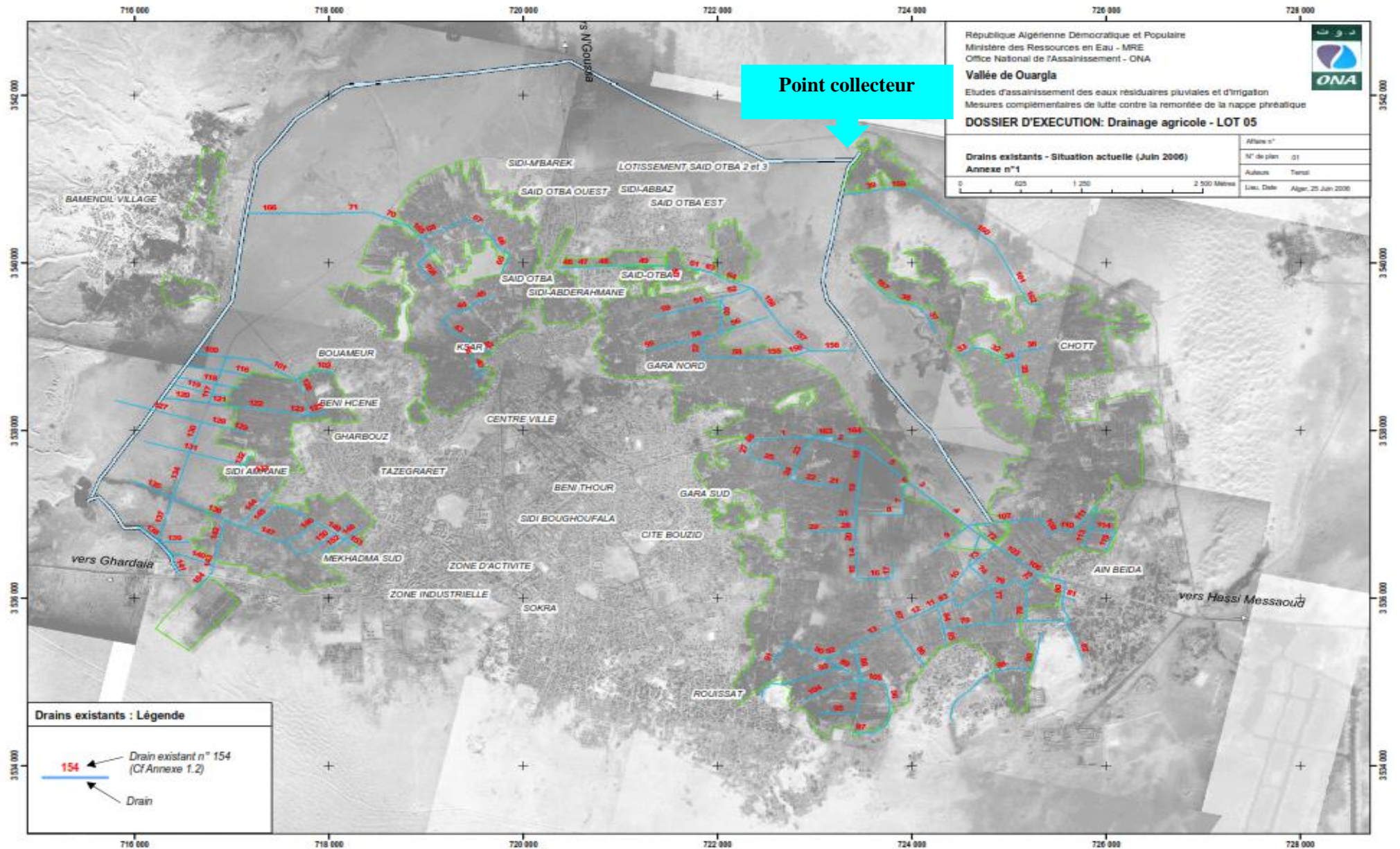


Figure 27: Plan du système de drainage à Ouargla (ONA, 2006)

**V.8.4 Le rôle de drain central de Ouargla :**

La surface piézométrique s'abaisse régulièrement depuis la limite des palmeraies en bord de sebkha, jusqu'au drain central dont elle rejoint le niveau.

Le drain central joue bien le rôle auquel il est destiné. En fin de période hivernale, époque à laquelle les observations ont été faites, le niveau de la nappe est bas, alors qu'autre fois, en son absence, les habitants pouvaient être amenés à quitter, jusqu'à plusieurs fois par année, leurs maisons situées dans les zones basses qui étaient inondées par la montée des eaux.

Actuellement, la station de pompage de Chott permet de régler le niveau d'eau dans le canal de drainage et le Chott qui autrement s'élèverait en hiver en fonction des apports et du déficit d'évapotranspiration (BG, 2004)

**V.8.5 Le rôle des sabkhas dans l'évacuation de l'excès d'eau :**

Lorsque l'eau est à une profondeur comprise entre 0,6 m et 1,4 m, le sol est humide dès la surface, au-dessous d'une croûte saline épaisse de quelques centimètres. La présence d'humidité jusqu'en surface indique que l'évaporation est possible, celle de la croûte saline la prouve (l'évaporation a été suffisamment importante pour amener la concentration de la saumure sous-jacente au point de cristallisation par départ de l'eau). La sebkha fonctionne donc comme une grande machine évaporatoire qui contribue à l'évacuation des eaux de la région. L'évaporation enlève de l'eau pure d'une eau naturelle qui contient une certaine quantité de sels (les eaux du CT en contiennent de 2 à 3 grammes par litre) et la saumure se concentre (BG, 2004)

Le tableau suivant représente les caractéristiques des drains avec l'abattement et les débits.

Tableau 13: Caractéristiques des drains de Ouargla

	Description Operation	Secteur	Superficie drainée [ha]	Abattement	Débit [l/s]
Drain Est	Drain amont SP Medjeb n° 1	Sud Est	116	90%	34
	Drain amont SP Medjeb n° 2	Sud Est	48	90%	14
	Drain amont SP Medjeb n° 3	Sud Est	28	90%	8
	Station de pompage Medjeb	Sud Est	<b>192</b>	<b>90%</b>	<b>57</b>
	Drain intermédiaire SP Medjeb - SP	Sud Est	70	85%	20
	Drain Malhadjed	Sud Est	81	85%	23
	Drain Ain Beida - SP Chaoui	Sud Est	104	85%	29
	Drain amont est SP Chaoui	Sud Est	35	85%	10
	Station de pompage Chaoui	Sud Est	<b>290</b>	<b>85%</b>	<b>81</b>
	Drain amont SP Ain Djali	Centre	86	80%	23
	Drain Bel Gueblia	Centre	39	80%	10
	Station de pompage Ain Djali	Centre	<b>125</b>	<b>80%</b>	<b>33</b>
	Drain amont SP Toula	Centre	122	90%	36
	Drain Zaouia	Centre	32	90%	10
	Drain amont nord SP Toula	Centre	33	90%	10
	Station de pompage Toula	Centre	<b>187</b>	<b>90%</b>	<b>56</b>
	Drain amont SP Adjadja	Chott Sud	105	80%	28
	Station de pompage Adjadja	Chott Sud	<b>105</b>	<b>80%</b>	<b>28</b>
	Drain Ain Beida	Chott Sud	<b>71</b>	85%	<b>20</b>
	Drain amont est SP Freha	Chott Nord	95	85%	27
	Drain amont nord SP Freha	Chott Nord	51	85%	14
	Drain amont sud SP Freha	Chott Nord	47	85%	13
	Station de pompage Freha	Chott Nord	<b>193</b>	<b>85%</b>	<b>54</b>
	Drain Bouhafia	Chott Nord	<b>89</b>	85%	<b>25</b>
	Drain Sislimane	Chott Nord	<b>40</b>	85%	<b>11</b>
	Drain Said Otba	Nord	63	85%	18
	Drain Ghandra Tak	Nord	86	85%	24
	Drain Mahcene	Nord	101	85%	28
	Drain Meganov	Nord	52	85%	15
	Station de pompage Ouidir	Nord	<b>302</b>	<b>85%</b>	<b>85</b>
Drain Ouest	Drain amont sud SP Bey Bib	Ksar	160	90%	48
	Drain amont est SP Bey Bib	Ksar	80	90%	24
	Station de pompage Bey Bib	Ksar	<b>240</b>	<b>90%</b>	<b>71</b>
	Drain nord Ksar	Ksar	<b>30</b>	90%	<b>9</b>
	Drain amont est SP Meghriani	Sidi Amrane N	47	95%	15
	Drain amont nord SP Meghriani	Sidi Amrane N	6	95%	2
	Station de pompage El Meghriani	Sidi Amrane N	<b>53</b>	<b>95%</b>	<b>17</b>
	Fossé aval SP Meghriani	Sidi Amrane N	<b>53</b>	95%	<b>17</b>
	Fossé Bouameur	Sidi Amrane N	<b>15</b>	95%	<b>5</b>
	Drain Sidi Merouane	Sidi Amrane N	<b>25</b>	90%	<b>7</b>
	Drain amont SP Ain Diaba	Sidi Amrane S	133	90%	40
	Station de pompage Ain Diaba	Sidi Amrane S	<b>133</b>	<b>90%</b>	<b>40</b>
	Drain aval SP Ain Diaba	Sidi Amrane S	<b>133</b>	90%	<b>40</b>
	Drain Ain El Bour	Sidi Amrane S	<b>21</b>	90%	<b>6</b>
Drain Est	Drain Est	Est	<b>1 594</b>		<b>450</b>
Drain Ouest	Drain Ouest	Ouest	<b>703</b>		<b>150</b>

**V.9 Conclusion :**

Malgré tous les efforts déployés par les autorités concernées pour éliminer le phénomène de montée des eaux dans la région, ce qui apparaît au public est que ce problème existe toujours.

Cela indique qu'il existe des obstacles qui empêchent le système de drainage de remplir pleinement son rôle. Parmi ces obstacles :

- Les collecteurs sont obstrués par des sédiments pendant de longues périodes en raison de l'incapacité à purifier l'eau des déchets et le sable en suspension dans l'eau
- Les pompes de pompage s'arrêtent pour cause de stress, d'accumulation de sédiments, de pénurie grave ou d'absence totale d'entretien et de surveillance périodique.
- La plupart des parties du réseau de drainage sont en mauvais état, ce qui augmente les points de fuite d'eau vers la couche de surface.
- Absence d'un programme bien intégré de gestion des ressources en eau.
- L'absence de l'aération dans les canaux en béton, ce qui entraîne l'accumulation de gaz H<sub>2</sub>S, ce qui conduit à l'érosion des parois et au colmatage des canaux.
- Les roseaux poussent de manière épaisse dans les canaux ouverts, ce qui empêche l'écoulement de l'eau vers la sebkha.
- La nature et l'état des pompes et des stations d'épuration, déclarés par les compétentes, contredisent la réalité. Cela conduit à donner une vue et des calculs erronés, ce qui entraîne un ralentissement des solutions radicales à ce problème.

# CONCLUSION GENERALE

La région de Ouargla souffrent du phénomène de la remontée de la nappe phréatique. La ville de Ouargla est située dans une cuvette dépourvue d'un exutoire naturel. Il s'agit d'un système clos où toute eau qui atteint la dépression peut participer à la recharge de la nappe phréatique, entraînant ainsi son affleurement en surface.

A travers cette étude, nous avons présenté l'historique du phénomène et les projets et programmes réalisés afin d'atténuer ce problème ainsi que l'état du fonctionnement du système de drainage comme solution

Du point de vue géomorphologique, la zone d'étude est une dépression. Elle est caractérisée par une topographie plane. Seules les terrains moi-pliocènes affleurent, recouvert par des dépôts quaternaires (Ergs et Dunes).

D'après la classification de De Martonne, la région d'étude est caractérisée par un climat hyperaride. Les précipitations moyennes annuelles pour la période d'étude (1996-2017) sont de l'ordre de 38,70 mm/an et la température moyenne annuelle est de 23,59 °C

L'évaporation est l'un des traits marquants du climat, elle est très forte dans la région. Les valeurs enregistrées au niveau de la station de Ouargla montrent un taux moyen annuel de 3058,24 mm/ans. L'estimation de l'ETP par les méthodes de Turc et de Thornthwaite a donné des valeurs de 1893,90 mm/an pour la première et de 1275,06 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.

Du point de vue hydrogéologique la région renferme un système d'aquifères surmonté par la nappe phréatique. Cette dernière circule à travers des formations perméables sablo-gypseuses du Quaternaire. L'écoulement principal de la nappe phréatique est vers le Nord de la Vallée pour atteindre son exutoire : Sebkha de Sefioune. Les écoulements secondaires s'orientent vers les sebkhas d'alentour de Ouargla à savoir : Aïn El Beïda, Oum Erraneb

Les effets négatifs du problème de la remontée des eaux a conduit à rechercher des solutions pour se débarrasser des dangers de ce phénomène sur l'environnement, les zones urbaines et la santé public.

Dans la région d'étude, le système de drainage a été utilisé comme l'une des solutions possibles pour éliminer le phénomène de montée des eaux mais il existe toujours malgré tous les efforts déployés pour l'éliminer.

## Références bibliographiques :

**BELKHIRA C, 2008.** Contribution à l'étude de la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région de Ouargla

**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 des solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional-Algérie). Mémoire de Magister en Géologie du Génie Civil et des Milieux Aquifères. Université de Batna, Algérie 147 pages.

**BONNARD & GARDEL, 2001.** Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. MISSION IA Reconnaissances et diagnostic de l'assainissement 168 pages.

**BONNARD & GARDEL, 2004.** Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II, rapport final. 110pages.

**BOUSELSAL B. 2019.** Gestion du phénomène de la remontée des eaux dans la région d'El Oued (SE Algérie) et la possibilité d'utiliser les eaux usées épurées en irrigation Article 11 pages.

**BUSSON G. 1970.** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.

**CHINE B et MESSAOUDI A, 2017.** Contributions à l'étude géologiques et hydrodynamiques du Complexe Terminal de la région de N'GOUSSA Mémoire de Master Académique

**DADDI BOUHOUNE M., 1997,** Contribution à l'étude d'évaluation de la salinité des sols et des eaux dans une région saharienne : cas de M'Zab, thèse magister, INA .Alger . 178p.

**Djidel Mohamed, 2008.** Alteration of the Aquifer Water in Hyperarid Climate, by Wastewater: Cases of Groundwater from Ouargla (Northern Sahara, Algeria), American Journal of Environmental Sciences

**M. Benzerga .** Notes de cours d'irrigation – drainage pour les étudiantes 3<sup>ième</sup> années licence Eau et Sol

**Myriam Gagnon, agronome et Valérie Bouthillier Grenier, agronome conseil Dura-Club,** Guide d'évaluation des systèmes de drainage. Une approche renouvelée 33 pages

**Hadj Kouider M, Nezli I, 2018.** Essay of Lineaments and Mega-Fractures Identification and Their Role in the Water Upwelling and the Formation of the Sebkhats in Ouargla Basin-Algeria Sahara. Advances in Science, Technology & Innovation

**ONA , 2021.** Station de Pompage des Eaux Drainées (SPED), caractéristiques Techniques, 3pages.

**OULAD LAID H O, 2014.** Caractérisation qualitative des eaux de drainage d'un drain principale de Ouargla influence sur le développement de la flore dans le drain. Mémoire de Master. Université d'Ouargla, Algérie.

**LAGACÉ R, 2016.** Drainage, notes de cours. 286 pages

**SAOULI A, KORICHI A, 2017.** Mise en évidence de l'évolution piézométrique de la nappe phréatique d'Ouargla. Mémoire de Master Académique. Université d'Ouargla, Algérie.



## Résumé :

La région de Ouargla est située au Nord-Est du Sahara algérien, elle occupe une superficie de 361980 km<sup>2</sup>. C'est une région à climat hyperaride, où la précipitation annuelle atteint 38,70 mm/an, la température moyenne annuelle est de 23,59°C et le taux d'évaporation est élevé atteignant 3058,24 mm/an.

La région de Ouargla souffre du phénomène de la remontée des eaux résultant de la mauvaise gestion de la ressource en eau en plus de certaines contraintes naturelles telles que la topographie presque plane et l'absence d'un exutoire naturel efficace, qui empêche le drainage naturel de la nappe phréatique.

L'objectif dans cette étude est de présenter l'état du système de drainage face au phénomène de la montée des eaux

**Mots clés :** Zones arides, nappe phréatique, remontée des eaux, drainage, Ouargla.

## ملخص:

تقع منطقة ورقلة في الشمال الشرقي من الصحراء الجزائرية ، وتبلغ مساحتها 361980 كيلومتر مربع. وهي منطقة ذات مناخ شديد الجفاف ، حيث يصل معدل هطول الأمطار السنوي إلى 38.70 ملم / سنة ، ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية 23.59 درجة مئوية ومعدل التبخر مرتفعًا يصل إلى 3058.24 ملم / سنة.

تعاني منطقة ورقلة من ظاهرة ارتفاع منسوب المياه الناتجة عن سوء إدارة الموارد المائية بالإضافة إلى طبيعة تضاريس المنطقة حيث تتميز بتضاريس شبه مسطحة وغياب منفذ طبيعي فعال مما يمنع التصريف الطبيعي لمنسوب المياه الجوفية. تهدف هذه الدراسة إلى عرض حالة نظام الصرف في مواجهة ظاهرة ارتفاع منسوب المياه.

**الكلمات المفتاحية:** المناطق الجافة، طبقة المياه الجوفية الحرة ، تصاعد المياه، نظام الصرف ، ورقلة

## Abstract :

The Ouargla region is located in the Northeast of the Algerian Sahara; it occupies an area of 361,980 km<sup>2</sup>. It is a region with a hyper-arid climate, where the annual precipitation reaches 38.70 mm / year, the annual average temperature is 23.59 ° C and the evaporation rate is high reaching 3058.24 mm / year.

The Ouargla region suffers from the phenomenon of groundwater rising resulting from the poor management of water resources in addition to certain natural constraints such as the almost flat topography and the absence of an effective natural outlet, which prevents natural drainage of the water table .

The objective of this study is to present the state of the drainage system in the face of the phenomenon of rising water levels.

**Keywords:** Arid zones, unconfined aquifer, groundwater rising, drainage, Ouargla