



REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE ALGERIENNE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITÉ DE TEBESSA**

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



## **Mémoire**

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de **Master**

**Option : Hydrogéologie**

**Contribution à la reconnaissance de la potentialité  
aquifère du versant Nord de Djebel Doukane Tebessa.**

Présente par

**Mme Debz Menal**

**Mme Yousfi Rabiaa**

Date de soutenance: **Juin 2019**

Devant le jury

**HOCINE BEN HAMMADI**

**Dr U.L.T Tebessa**

**Président du jury**

**RIDHA MOUICI**

**Pr U.L.T Tébessa**

**Examineur**

**BAALI FETHI**

**Pr U.L.T Tebessa**

**Rapporteur**

**Année universitaire : 2018-2019**

## Liste des symboles

**a** : indice lié à la température.

**CE**: Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

**DA**: Déficit Agricole (mm)

**Da**: Densité apparente du sol

**ETP**: Evapotranspiration potentielle (mm)

**ETR**: Evapotranspiration Réelle (mm)

**Ex**: Excédent en eau du sol (mm)

**I**: Indice d'aridité

**I** : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)

**K**: Perméabilité (m/s)

**P**: Précipitations (mm)

**R**: Ruissellement (mm)

**RFU**: Réserve Facilement Utilisable (mm)

**SAR**: Sodium Absorption Ratio

**T**: Température ( $^{\circ}\text{C}$ )

**T** : Transmissivité ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

**i** : Indice d'aridité mensuel

**A** : Indice d'aridité de DE Martonne

**S** : Coefficient d'emmagasinement

**s** : le Rabattement

## Table des matières

Introduction générale.....	01
<b>Chapitre 01 : Cadre général</b>	
1. Situation géographique.....	03
2. Topographie.....	04
3. Couverture végétale.....	04
4. Hydrographie.....	04
5. Conclusion .....	04
<b>Chapitre 02 : Géologie</b>	
Introduction .....	07
2. Stratigraphie et lithologie .....	07
A-Secondaire .....	07
1-Le Trias .....	07
2-Le Crétacé .....	08
2-4-L'Emcherien (Coniacien –Santonien) .....	08
2-6-Le Maestrichtien.....	08
B-Tertiaire (Cénozoïque).....	09
1-Eocène.....	09
2-Néogène.....	09
C. Le Plio-Quaternaire.....	09
3. Tectonique.....	11
3.1 Les Phases de l'orogénèse.....	11
- La phase compressive fini-lutétienne.....	11
- La phase distensive du Miocène Inférieur : .....	11
- La phase compressive du Miocène Supérieur : .....	12
- La phase compressive du Pliocène Inférieur : .....	12
- La phase compressive du Pliocène Supérieur : .....	12
4. Conclusion.....	15
<b>Chapitre 03 : Climatologie</b>	
1. Introduction.....	17
2. Etude des paramètres climatiques :.....	18
2.1. Détermination du type de climat.....	18
2.1.1. Indice d'aridité (Indice de DE Martonne).....	18
2.1.2. Indice d'aridité mensuel.....	19
2.2. Etudes des Précipitations.....	20
2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles (1997/1998-2017/2018).....	20
2.2.2. Précipitations inter annuelles .....	21
2.2.3. Répartition saisonnière des précipitations.....	22
2.2.4. La neige .....	23

2.3. Etudes de température.....	24
2.3.1. Température moyenne mensuelle (1997/1998-2017/2018) .....	24
2.4. Diagramme ombrothermique : (courbe de Gaussen et Bagnouls).....	25
2.5. Le vent.....	26
2.6. Le Bilan hydrique .....	26
2-6-1 Etude de l'évapotranspiration.....	26
2.6.1. A. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	27
2.6.1. B. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	27
i)Formule de turc.....	27
ii)Formule de Thornthwaite .....	28
2.6.2. Estimation des réserves facilement utilisables (R.F.U).....	28
2.6.3. Estimation de ruissellement (R).....	28
2.6.4. Estimation de l'infiltration (I).....	29
2.6.5. Estimation du bilan hydrique .....	29
☐ Interprétation du bilan hydrique.....	30
3. Conclusion .....	31

#### **Chapitre 04 : Hydrogéologie**

1. Introduction.....	33
2. Géométrie de l'aquifère.....	33
2.1 Prospections géophysique.....	33
2.2 Essai de corrélation entre la géologie et la géophysique.....	35
2.3 Etalonnage des résistivités.....	36
3. Principe d'essai de pompage.....	37
3.1. Introduction.....	37
3-2. la courbe caractéristique (courbe rabattement – débit).....	37
a. Définition.....	37
b. Point critique.....	38
c)Interprétation de la courbe caractéristique.....	38
c-1Méthode bi-logarithmique de THEIS.....	38
c-2. Méthode semi-logarithmique de JACOB.....	40
4. Identification des différents niveaux aquifères.....	41
4.1. L'aquifère des calcaires de Maestrichtien.....	41
A. Essai de pompage (forage T9).....	41
B. Essai Définitif.....	41
B.1. Coubre de la Décence $S=F (\log T)$ .....	41
B.2. La courbe de la remonte $S=F (\log ((T_p /T_i(+1)$ .....	42
B.3. Le débit d'exploitation.....	43
B.4.) Interprétation des résultats.....	43
4-2. L'aquifère des calcaires du Turonien.....	43
A.Essai a l'aire lift (forage TUbis).....	44
B.Essai définitif.....	44

B.1. Courbe de descente.....	44
B.2.Courbe de la Remonté.....	45
B.3.Débit d'exploitation.....	45
B.4.Interprétation des résultats.....	46
5. Conclusion.....	47

## Chapitre 05 : Hydrochimie

1. Introduction.....	49
2. Etude des résultats des analyses physico-chimiques.....	49
2.1.Étude des paramètres physiques :.....	49
2.1.1. La température :.....	49
2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	50
2.1.3. Conductivité électrique (CE).....	50
2-2Etude des paramètres chimiques.....	50
2.2.1. Cations.....	50
•Calcium Ca <sup>++</sup> .....	50
•Magnésium (Mg <sup>++</sup> ) .....	50
•Sodium et potassium (Na <sup>++</sup> K <sup>+</sup> ).....	50
2.2.2. Anions .....	51
•Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	51
•Sulfates (So <sub>4</sub> -2).....	51
•Bicarbonates HCO <sub>3</sub> .....	52
3. Représentation graphique des résultats .....	52
3.1. Détermination des faciès chimiques.....	52
A. Diagramme de piper.....	52
B. Diagramme de Schoeller ou Berkaloff.....	54
4. Etude de l'aptitude des eaux à l'irrigation.....	55
-Diagramme de Wilcox.....	56
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>57</b>
<b>Conclusion générale et Recommandations .....</b>	<b>59</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>61</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>64</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude (in DRIAS T, TOUBAL A.C, 2015)</b>	<b>03</b>
<b>Figure 2: Le bassin versant de la Medjerda (source ANRH)</b>	<b>05</b>
<b>Figure 3: colonne stratigraphique d'après G.Durozoy, F.Morel</b>	<b>10</b>
<b>Figure 4: esquisse tectonique des environs de Tébessa (in W.M.KOWALSKI. 1997)</b>	<b>13</b>
<b>Figure 5: la carte géologique de Tébessa 206</b>	<b>13</b>
<b>Figure 6: coupe 01 NE-SW d'après HARRAT NABIL et MOUICI RIDHA</b>	<b>14</b>
<b>Figure 7: coupe 02 N-S d'après HARRAT NABIL et MOUICI RIDHA</b>	<b>14</b>
<b>Figure 8: coupe 03 NE-SW d'après HARRAT NABIL et MOUICI RIDHA</b>	<b>14</b>
<b>Figure 9: Abaque de l'indice annuel de DE Martonne 1923</b>	<b>19</b>
<b>Figure 10: Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018)</b>	<b>21</b>
<b>Figure 11: distribution de précipitations annuelles dans la station de Tébessa (1997-1998/2018)</b>	<b>22</b>
<b>Figure 12: répartition saisonnière des précipitations dans la station de Tébessa (1997-2018)</b>	<b>23</b>
<b>Figure 13: variation des températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997/2017/2018)</b>	<b>24</b>
<b>Figure 14: diagramme ombrothermique station de Tébessa (1997/1998-2017/2018)</b>	<b>25</b>
<b>Figure 15: représente graphique du bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Tébessa (1997/2018)</b>	<b>31</b>
<b>Figure 16: carte de positionnement des sondages électriques, compagnie générale de géophysique</b>	<b>34</b>
<b>Figure 17: coupe géoelectrique, profil O</b>	<b>35</b>
<b>Figure 18: coupe géoelectrique, profil P</b>	<b>35</b>
<b>Figure 19: profil géologique</b>	<b>36</b>
<b>Figure 20: schéma exemplaire de la courbe caractéristique</b>	<b>37</b>
<b>Figure 21: exemple d'application de la méthode de THEIS (M.DETAY, 1993)</b>	<b>39</b>
<b>Figure 22: la courbe de la descente du forage T9</b>	<b>42</b>
<b>Figure 23: la courbe de la remonté du forage T9</b>	<b>43</b>
<b>Figure 24: la courbe de la descnte du forage TU BIS</b>	<b>44</b>
<b>Figure 25: la courbe de la remonté du forage TU BIS</b>	<b>45</b>
<b>Figure 26: la courbe caractéristique du forage TU BIS</b>	<b>46</b>
<b>Figure 27: diagramme de piper pour les eaux souterraines de la nappe de Doukkane</b>	<b>53</b>
<b>Figure 28: diagramme de Schoeller pour les eaux souterraines de la nappe de Doukkane</b>	<b>54</b>
<b>Figure 29: diagramme de Wilcox des eaux souterraines de la nappe de Doukkane</b>	<b>56</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1: les coordonnées Lambert de la station de mesure de Tébessa (météo de Tébessa)	<b>17</b>
Tableau 2: indice d'aridité annuel de DE Martonne	<b>18</b>
Tableau 3: indices d'aridités mensuels (station de Tébessa 1997-2018)	<b>20</b>
Tableau04: Précipitations moyenne mensuelles en (mm) sur une période de 21 ans (1997/1998-2017/2018)	<b>21</b>
Tableau 5: Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2018)	<b>22</b>
Tableau 6: répartition saisonnière des précipitations dans la station de Tébessa pendant la période (1997-1998/2017-2018)	<b>25</b>
Tableau 7: température moyenne mensuelle (1997/1998-2017/2018)	<b>30</b>
Tableau 8: Données du diagramme ombrothermique station de Tébessa sur une période de 21 ans (1997/2018)	<b>45</b>
Tableau 9: bilan hydrique selon Thornthwaite station de Tébessa (1997/2018)	<b>30</b>
Tableau 10: variations de Rabattement avec la variation de Débit	<b>45</b>
Tableau 11: les résultats des essais de pompage de la station d'étude (hydraulique de Tébessa)	<b>47</b>

### Introduction général

L'eau est un élément matériel de base et une ressource naturelle très précieuse, dont les usages domestiques, agricoles, industriels, urbains et de loisirs sont devenus considérables.

La survie des écosystèmes planétaires, la santé et le bien-être de l'humanité reposent sur cette source vitale qui est l'eau. Le problème des ressources en eau mobilisables ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible, la qualité de ces eaux commence à poser de sérieux problèmes.

Nous sommes maintenant devant la nécessité d'utiliser, de gérer, et de protéger l'eau de façon durable, et de garantir son équilibre entre les besoins et les utilisations car elle est à la base de toutes les formes de vie sur Terre.

Ce travail a pour objectif le renforcement de l'alimentation en eau potable de la région après une période de détresse importante, et après le rabattement considérable de la nappe de Tébessa-Morsott, qui est le réservoir important pour l'alimentation en eau (AEP, AEA, AEI). La sécheresse, l'essor démographique, et surtout la surexploitation des aquifères. A l'effet de ces paramètres en étant de l'obligation de chercher d'autres alternatives pour récompenser cette perte.

Afin d'arriver à cet objectif, le mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre, concerne l'étude géologique de la région, nous nous proposons de présenter les principales données que nous avons recueillies et qui concernent le cadre général de notre région d'étude (situation géographique, étude socio-économique, description des caractéristiques géomorphologiques).

Le second chapitre, nous présentons les différentes phases lithologiques, et tectoniques liées à l'histoire géologique de la région.

Le troisième, a été consacré à la géométrie de l'aquifère, basée sur la prospection géo-électrique et les logs stratigraphiques des forages, ainsi que la potentialité aquifère à la base de l'essai de pompage.

Le dernier chapitre est l'hydrochimie ; est résumé à la variation temporelle des paramètres physico-chimiques avec l'écoulement des sources.

Et enfin une conclusion générale synthétise les résultats de cette étude



# **Chapitre 01 :**

# **Cadre général**

## 1. Situation géographique

La plaine de Tébessa - Morsott fait partie du bassin versant de Medjerda et du sous bassin d'oued Mellègue dont l'altitude moyenne varie de 750 m au Nord et 900 m au Sud. Elle est allongée grossièrement Nord-Ouest/Sud-Est et correspond à une vaste dépression fermée d'une superficie de 600 km<sup>2</sup>.

La zone d'étude fait partie de la plaine de Tébessa, on précise le pied de Djebel Doukkane Nord qu'est limité par les monts de douar Gouray, de la commune de BoulhafEddir au Nord, la plaine d'El Malabiodh au Sud, Djebel Djebissa à la commune de Bekkaria à l'Est et par Djebel El Gaagaa à l'Ouest.

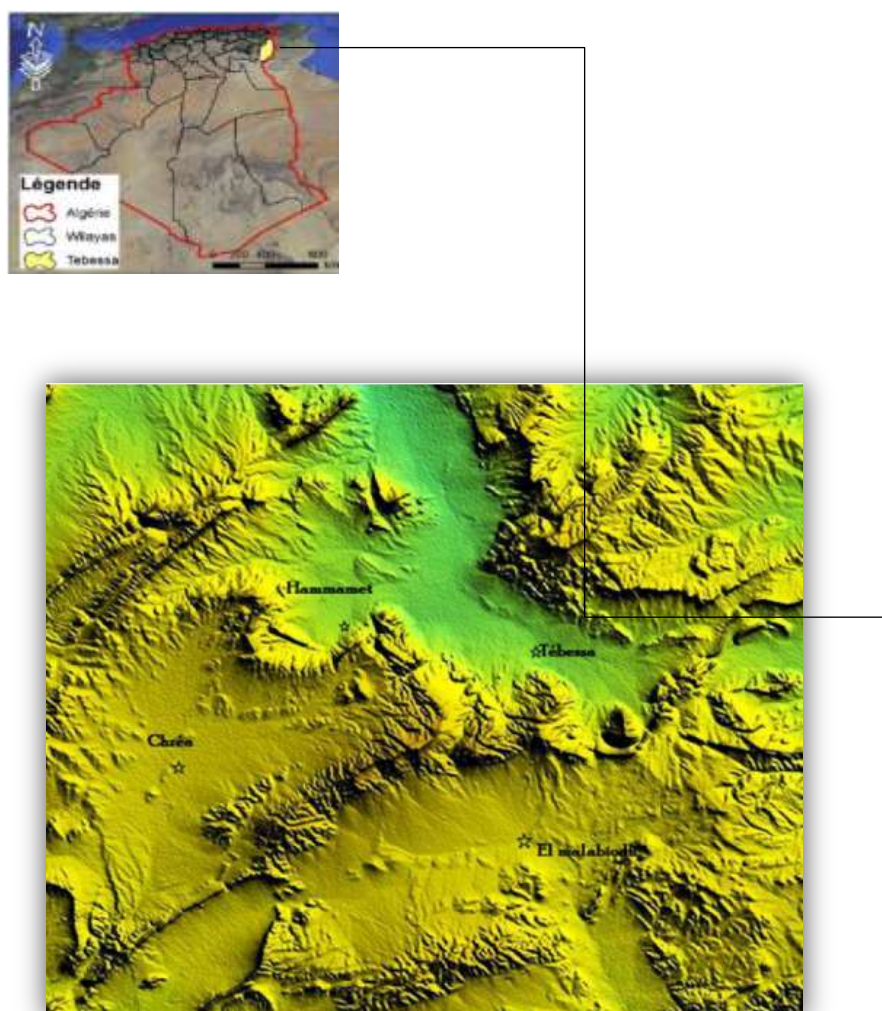


Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude (in DRIAS T, TOUBAL A.C, 2015)

## 2. Topographie

La région d'étude, a une topographie plus ou moins plate, sous forme de cuvettes juxtaposées et entourées les unes aux autres par des massifs montagneux, l'altitude varie de 1712 m, qui est le sommet le plus haut de la région (Djebel Doukkane) à 800 m qui est l'altitude la plus basse, sur la plaine de Tébessa.

## 3. Couverture végétale

La couverture végétale est considérée comme un facteur primordial pour la protection des sols contre l'érosion et la désertification dans la plaine de Tébessa-Morsott, pratiquement inexistantes ou détériorée ont noté la présence d'un couvert végétale discontinu ou se développé sur les sols calcaires le pin avec genévrier et localement le chêne malheureusement est localement exploite sur la plaine.

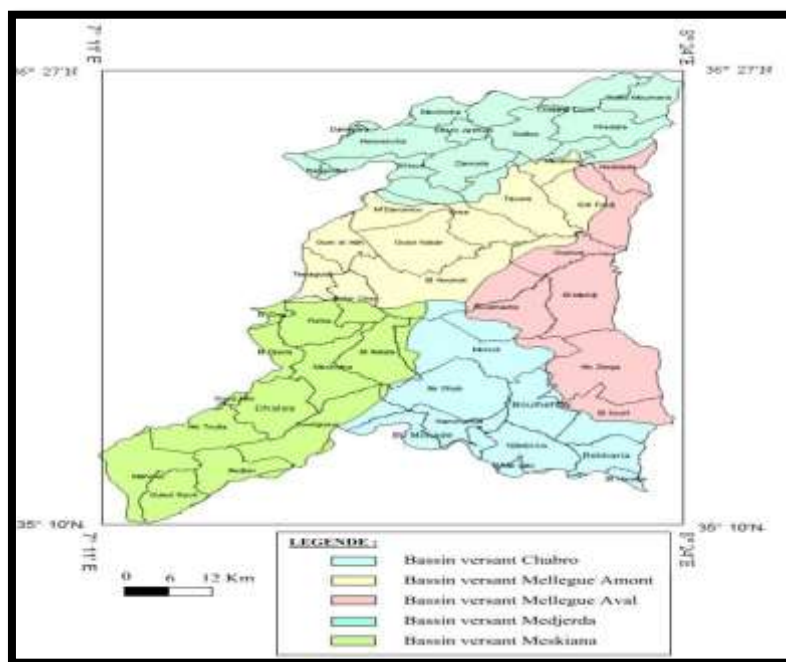
Les alluvions ne permettent que des récoltes de céréale. Par contre ont noté la présence de Figuière de barbare. Par ailleurs une végétation de saison envahit les salés du centre de plaine.

## 4. Hydrographie

La Wilaya de Tébessa, chevauche sur deux grands systèmes hydrographiques ;

- Le Bassin versant de l'Oued Medjerda, lui-même subdivisé en 04 sous Bassins couvrant la partie Nord de la Wilaya l'écoulement y est exoréique assuré par une Multitude de cours d'eau dont les plus importants sont : Oued Méllégue, Oued Chabro, OuedSerdies, OuedKebir.
- Le Bassin versant d'Oued Melghir, qui couvre la partie sud de la Wilaya. L'écoulement y est endoreique, il est drainé par Oued Cheria, Oued Helail, Oued Mechra, Oued Saf-Saf, Oued Gheznet, Oued Djarech, Oued sendess, qui aboutissent et alimentent les zones d'épandage situées au sud. Aucun ouvrage de mobilisation des eaux superficielles n'existe à l'heure actuelle.

La plaine de Tébessa est drainée par l'Oued Chabro avec un écoulement vers le nord, est considéré comme limite administrative pour plusieurs communes qui les traverse. Il prend naissance à l'est de la plaine entre El-Kouif (rive nord) et Bekkaria (rive sud), au centre il traverse entre les communes de BoulhafEddir (rive nord) et Tébessa, Hammamet et Bir D'hab (rive sud), il parcourt un long trajet pour atteindre son exutoire à la commune d'El-Aouinet.



**Figure 2: Le bassin versant de la Medjerda (source ANRH)**

Les eaux de surface de la plaine de Tébessa -Morsott sont drainées par oued El-Kabîr après sa confluence avec oued Chabro. La majorité de ces cours d'eau sont caractérisés par un écoulement temporaire lié aux pluies irrégulières de la région.

## **5. Conclusion**

La région d'étude fait partie de l'atlas saharien, elle est à forte vocation agropastorales. Une topographie raide en bordure et douce à l'intérieur sous forme de plaines. La végétation est claire où les zones de parcours dominant, la mise en valeur en irriguée des terres par la mobilisation des ressources hydriques souterraine prend de l'ampleur d'une année à une autre, en l'absence de suivis rigoureux par les instances concernés. Une menace sérieuse sur le plan quantitatif et qualitatif de ces ressources, surtout quand la zone est classé dans les zones affectées par dégradation progressive des ressources naturelles sous l'effet de la désertification.

# **Chapitre 02 : Géologie**

## 1. Introduction

La région d'étude est située à la limite de la frontière algéro-tunisienne constituée essentiellement par :

- Des calcaires allongés selon un axe NE - SW, séparés par une dépression (plaine cultivée de Tébessa, remplissage quaternaire). La région de Tébessa fait partie de la structure autochtone Nord-aurésienne (Aurès Nememcha) de l'atlas saharien (Durozoy, 1956 ; Blès, 1969 ; Fleury, 1970 ; Vila, 1974 ; Kowalski et al., 1995, 1996, 1997). Elle est constituée essentiellement des formations suivantes :
- Des formations carbonatées représentées par d'importantes couches calcaires marneuses et de marnes d'âge Crétacé à Tertiaire. Certaines de ces formations sont observables au niveau des bordures de la plaine de Tébessa.
- Un important dépôt alluvionnaire Mio-Plio-quaternaire qui repose en discordance avec les formations précédentes et forme ainsi le remplissage de la plaine, Cette formation est observable surtout au piedmont des reliefs accidentés.
- A l'Est une formation triasique diapirique disloquant des formations subjacentes au niveau du Djebel Djebissa.

## 2. Stratigraphie et lithologie

D'après la carte géologique de Tébessa (Durozoy, 1954) et la bibliographie ; la géologie de la région se distingue par deux grands ensembles

- Les affleurements de bordures de plaines, d'âge Crétacé, constituent le premier ensemble.
- Les formations d'âge Quaternaire, qui forment l'étendue de la plaine étudiée, et constituent le second ensemble.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique incomplète, (absence des formations éocènes par endroits) dont la lithologie et la répartition, d'après la carte géologique détaillée de Tébessa (Durozoy, 1956), la stratigraphie de la région s'étend du Trias au Quaternaire, de haut en bas se résume en :

### A-Secondaire

#### 1-Le Trias

Il affleure sur une importante surface au Nord de Youkous près de Dj Belkif, caractérisé par des argiles rouges (entaillées par les oueds) avec des lentilles du gypse, de bancs rouges dolomitiques et dolomies roses ; calcaires et calcaires dolomitiques noirs en plaquettes, on observe également des empreintes de bivalves.

## 2-Le Crétacé

**2-1-L'Aptien** : Il apparaît à Dj. Belkif avec une épaisseur dépasse les 100m. L'Aptien est formé par des massifs calcaires gris ou roses à orbitolines avec des intercalations des marnes, marno-calcaires et de dolomies dans la partie inférieure.

**2-2-Le Cénomanién** : Il affleure essentiellement à la bordure sud de la plaine et à Dj .Belkif avec une épaisseur dépasse les 350m, c'est une formation de marnes grises épaisses avec quelques bancs des lumachelles, des marnes jaunes à gypse, souvent des marnes jaunes avec des bancs des calcaires ; ocre, épais et dures intercalés avec des lumachelles.

**2-3-Le Turonien** : Il constitue la falaise de Tébessa et surtout Dj Belkif et Dj Essen, cette formation à une épaisseur totale de 250m.

- Turonien inférieur : Formé d'une assise très constante de marno- calcaire gris en petits bancs d'épaisseur de 60 m.
- Turonien moyen : C'est une assise de calcaire beige ou rose massive de dolomie et de calcaire dolomitique avec des calcaires marneux dans la partie inférieur, son épaisseur de 80 à 100m.
- Turonien supérieur : D'une épaisseur de 150m, le Turonien supérieur est formé par des marnes noirs gypsifères souvent lumachéliques et par des marno- calcaires gris en plaquettes avec des alternances blanchâtres.

## 2-4-L'Emcherien (Coniacien –Santonien)

- **Le Coniacien** : Il est représenté par des marnes noires ou vertes, avec des intercalations des bancs de calcaire avec des filons de calcite. Son épaisseur est de l'ordre de 150m.
- **Le Santonien** : Il est caractérisé par des marnes noirs ou vertes, les calcaires sont rares avec une épaisseur de 200m.

**2-5-Le Campanien**: Il est formé par une série de marnes grises ayant une épaisseur de 200m, le campanien moyen est représenté par des calcaires gris et bleus crayeux.

## 2-6-Le Maestrichtien

Il est marqué par des calcaires blancs bien lités, d'environ 60 mètres d'épaisseur, recouverts par une très forte accumulation de marnes argileuses grises à noires (150m). Ces dernières admettent à leur base quelques intercalations de calcaires (Dubourdiou, 1956).

Le régime sédimentaire au Campanien supérieur et au Maestrichtien, indique toujours la continuité des mêmes conditions de dépôts dans un milieu peu profond et de mer chaude (Chevenine et al, 1989) avec une prédominance de calcaires crayeux rarement récifaux.

Le Maestrichtien affleure largement dans toute la région du Tébessa, au Dj. Gaagaa, Dj. Troubia, Dj. Dyr, Dj. Doukkane, Dj. Tafrent, Dj. Derries, Dj. Serdies, El Ma Labiod, Dj. Zora etc...

Dans la région d'étude ; le Maestrichtien est subdivisé en deux étages :

- Maestrichtien inférieur : Il est formé de marnes grises d'une épaisseur de 30m et il affleure près d'Ain chabro.
- Maestrichtien moyen : Il est marqué par des calcaires massifs blancs ou gris blanc avec présence d'empreintes d'inocérames d'une épaisseur qui peut atteindre 200m au Sud-Ouest de Youkous.

## **B-Tertiaire (Cénozoïque)**

### **1-Eocène**

Il affleure au nord de Gourigueur et au Sud Est de Hammamet et Tazbent avec une épaisseur plus de cinquantaine de mètres de calcaires massifs à silex en bancs épais.

### **2-Néogène**

**2-1-Miocène** : Le Miocène inférieur et moyen est présenté par une série de grès continentaux transgressifs d'une épaisseur de 150 m.

Par contre, Le Miocène supérieur est caractérisé par des marnes rouges très riches en gypse avec une épaisseur de 100m.

**2-2-Pliocène** : Il affleure principalement dans la zone des collines qui s'allongent selon une direction NO-SE ; le long de Dj Affif sur le tracé des principaux accidents qui délimitent la plaine au Nord, d'une épaisseur de 250m. Il est formé par une accumulation des dépôts argileux conglomératiques.

## **C. Le Plio-Quaternaire**

Les dépôts Plio-Quaternaires sont d'origine continentale et sont distribués dans les parties basses des reliefs et couvrent des surfaces importantes (plaines et vallées actuelles). Ils sont formés de croûtes calcaires, limons éboulis, cailloutis et poudingues.



La puissance du Quaternaire varie entre 10 et 30m (Dubourdiou, 1956). Les formations lithologiques qui peuvent être distinguées sont le Plio-Quaternaire, les formations anciennes les formations actuelles.

ETAGE	SYMB OLE	COUPE	EPAI SSEUR	FACIES ET FOSSILES
QUATERNAIRE	Q		150 m	Limons, argiles, galets, cailloutis et éboulis actuels
Plio-Villafranchien.	P Q		250 m	Dépôts argilo-conglomératiques.
Miocène.	M		250 m	Faciès marines : sables quartzeux avec une grande abondance de grains de Glauconien, faciès continental : sables quartzeux
Eocène moy et inf.	E <sup>1-III</sup>		200 m	Epaisse assise calcaire incruste de rognons de silex et de boules de lumachelles très dures.
Eocène inf. Et Crétacé.	E		300 m	Marnes grises, homogènes à la base et des bancs calcaires argileux au sommet.
Maestrichtien moyen.	C <sup>9b</sup>		200 m	- Calcaires très massifs, blancs à empreintes d'Inocerames.
Maestrichtien inf.	C <sup>9a</sup>		100 m	- Marno-calcaires à Inocerames.
Campanien. Emscherien.	C <sup>7-8</sup>		600-700 m	Marnes grises à intercalations des bancs de calcaire avec des nombreux filons de calcites, dans la partie inférieure et Bancs de calcaires ocre à Inocerames dans la partie supérieure.
Turonien.	C <sup>6c</sup>		250 m	- Marnes vertes gypsifères.
	C <sup>6b</sup>		100 m	- Calcaires massifs piégés, parfois roses très dolomités.
	C <sup>6a</sup>		300 m	- Marno-calcaire en suite calcaires marneux à Inocerames allonges à test noire. .
Cénomanién.	C <sup>5d</sup>		500-700 m	-Cénomanién sup. marnes grises très fossilifères.
	C <sup>5a</sup>			-Cénomanién inf. Marnes grises à filons de calcites et à intercalations de minces lits calcaires très durs.
	C <sup>4a</sup>			
Aptien.	C <sup>1</sup>		100 m	Gros bancs de calcaires souvent brechiques à Orbitolines et Rudiste.
Trias.	T		/	Argiles rouges, marnes gypsifères.

Figure 3: colonne stratigraphique d'après G. Durozoy, F. Morel

**D- Le Quaternaire :** Il est représenté par le remplissage du fossé de Hammamet, il occupe une surface très importante principalement sur les plaines et aux pieds des montagnes ; où l'on distingue :

**1-Villafranchien supérieur (pléistocène inférieur) :** Caractérisé par des galets.

**2- pléistocène moyen :** Représenté par des argiles sableuses.

**3-Pléistocène supérieur :** Il est formé par des galets et des graviers.

**4-Holocène:** Composé essentiellement par des matériaux alluviaux visibles dans la vallée de Youkous.

**5-Eboulis actuels:** Ils existent aux piémonts des reliefs calcaires avec un épandage important. Ces dépôts sont en majeure partie déposés sur les séries marneuses du crétacé supérieur.

### **3. Tectonique**

#### **3.1 Les Phases de l'orogénèse**

Les différentes études sur la tectonique de la région ont permis de mettre en évidence la chronologie de la sédimentation, du plissement, du diapirisme et de la fracturation ainsi que, localement, les stades successifs d'effondrement du fossé de Morsott-Tébessa (Fig. 02). Cette région a subi les cinq phases de l'orogénèse alpine (Kowalski et al. 2002).

#### **- La phase compressive fini-lutétienne**

Elle est caractérisée par une contrainte maximale d'orientation N 320-330°E. Elle se manifeste par des plis d'orientation atlasique N 50°-60°E bien visibles sur les cartes géologiques d'El-Aouinet (Dozet et al., 1985), de Meskiana (Kuscer et al., 1985) et de Morsott (Blés, Fleury., 1970), mais moins nettes sur la carte géologique de Tébéssa (Durozoy, 1956) à cause de la superposition des phases ultérieures. Elle se manifeste clairement au SW de Tébéssa (carte géologique d'Ain Télijdène, Vila., 1995).

#### **- La phase distensive du Miocène Inférieur :**

Elle est responsable de la formation et développement du bassin d'El Ma Labiod au cours du Langhien-Serravallien et Tortonien, ainsi que celui des OuladSoukies et du graben de Foussana et Kasserine en Tunisie. La distension miocène a facilité le diapirisme dans le fossé des OuladSoukies, à Djebel Ouenza, à Djebel Boukhadra et dans la zone entre Djebel Bclkfif et Hameimat.

**- La phase compressive du Miocène Supérieur :**

Elle ne se manifeste que dans la zone de Sebkh Sellaoua et plus au Nord. Dans la zone d'étude, ces manifestations sont amorties, en accord avec Vila., 1980. Les dernières manifestations de la compression miocène vers le sud, ont été observées dans les monts de la Haute Mejerda.

**- La phase compressive du Pliocène Inférieur :**

Elle a une contrainte maximale N 0°-20° E responsable de la formation des plis orientés N90°-110°S (l'anticlinal de Bled Tebaga, le synclinal de Draa Es Snouber, l'anticlinal de Bir Salem et les plissements de l'anticlinal fini-Lutétien de Bou Roumane. avec la formation de l'anticlinal de Bou

Roumane-Tella-Djebel Anoual) sur la carte de Tébessa. On observe aussi la formation du synclinal de Draa Snouber sur la carte de Meskyana.

L'effondrement du fossé de Morsott provoquée par la composante senestre de la contrainte N 0°-20°E au cours du stade distensif, était accompagné par le percement du diapir de Belk'ifHameimat (diapirismemio-pliocène), qui s'effondrait partiellement dans le fossé. La composante dextre facilitait la réactivation du diapirisme du Djebel Djebissa, qui se manifestait comme un diapirisme sous-marin à l'Aptien-Albien, provoquant la réduction drastique du profil Aptien-albien de ce Djebel (Vila, 1994).

**- La phase compressive du Pliocène Supérieur :**

Elle est responsable de la formation des structures plissées plus Jeunes que le fossé de Morsott qui lui sont parallèles. A cette phase appartient l'anticlinal de Djebel Belkfif, le synclinal Faid Al Obbiz (Morel 1957) et l'anticlinal d'Oued Annba-Djebel Stah. Ces plis, orientés N 160-170 E sont formés par la contrainte maximale N 80 E et détectés par Blés (1969) à El Kouif. La composante dextre de cette contrainte est responsable de l'effondrement du fossé de Tébessa lié avec l'effondrement et basculement d'une partie des structures plicatives du Pliocène inférieur (comme une partie de l'anticlinal du Bled Tebaga, et du synclinal draaSnouber).

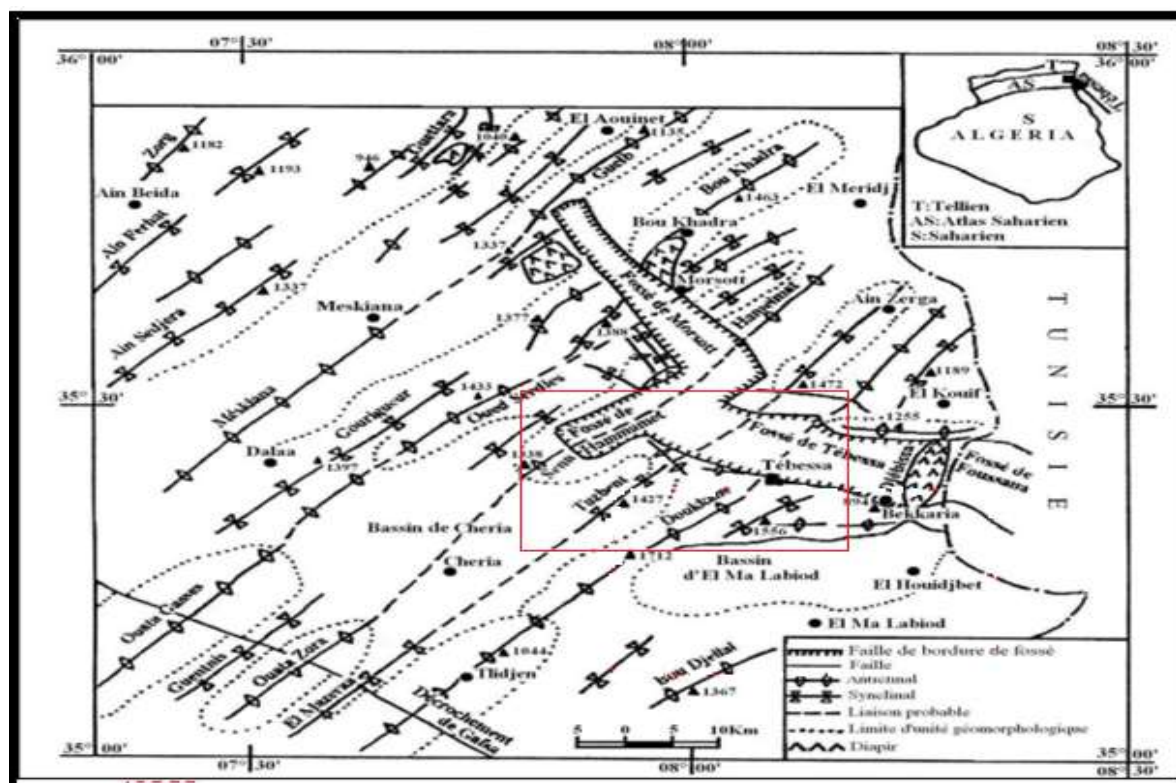


Figure 4: esquisse tectonique des environs de Tébessa (in W.M.KOWALSKI. 1997)

La carte géologique de la région, ainsi que les coupes géologiques montrent que la plaine de Tébessa est un fossé d'effondrement orienté WNW – ESE limité par des failles en escaliers orthogonaux aux axes des plis (N 60° E), la limite Sud du bassin est composée de matériaux, dont le sommet est

Turonien calcaireux, sauf la partie extrême Ouest où le sommet est Maestrichtien calcaireux limité, toujours, par les failles en escaliers.



Figure 5: la carte géologique de Tébessa 206



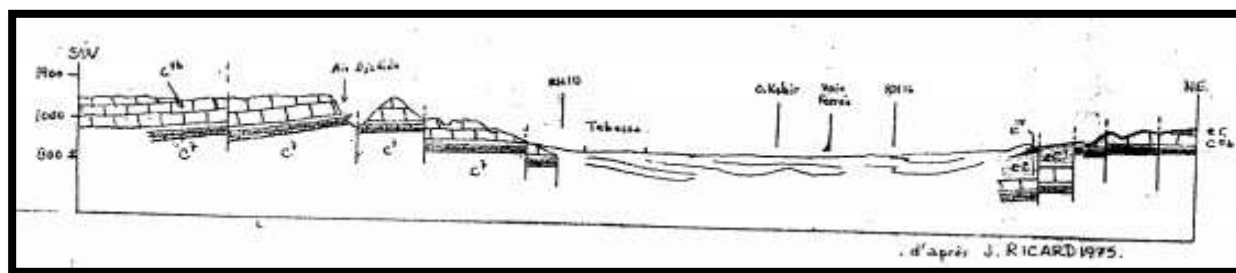


Figure 6: coupe 01 NE-SW d'après HARRAT NABIL et MOUICI RIDHA

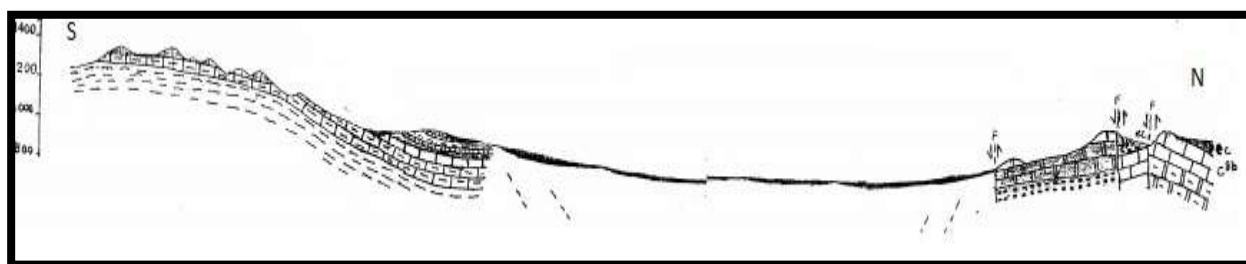


Figure 7: coupe 02 N-S d'après HARRAT NABIL et MOUICI RIDHA

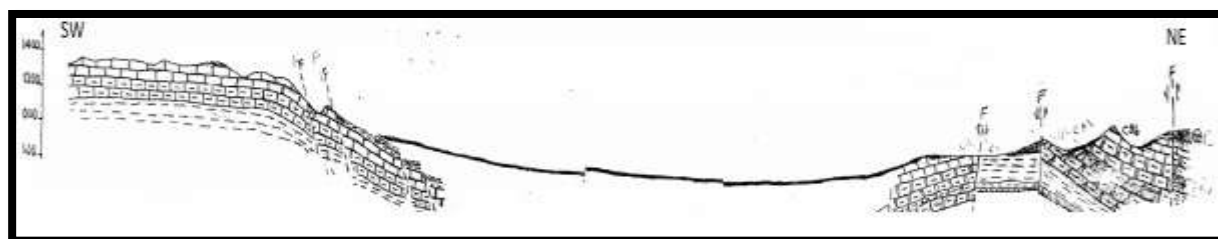
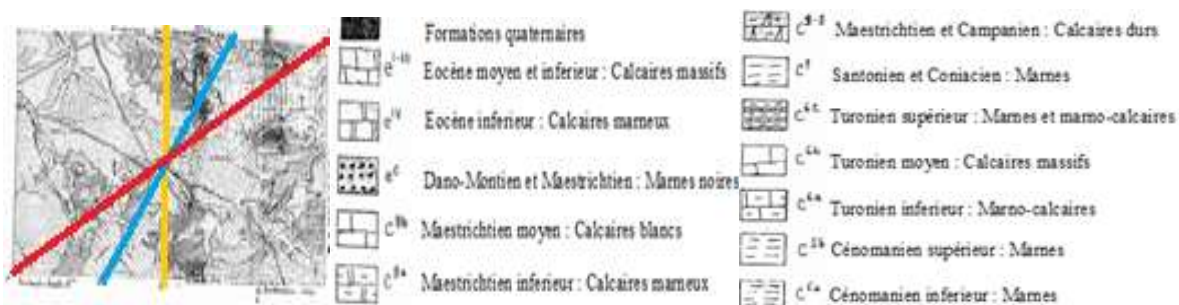


Figure 8: coupe 03 NE-SW d'après HARRAT NABIL et MOUICI RIDHA



#### 4. Conclusion

La région d'étude fait partie du bassin d'effondrement de la plaine de Tébessa-Morsott, qui est comblée par des sédiments d'origine continentale, formés essentiellement d'alluvions anciennes et récentes, d'argiles, de grès, de cailloutis de calcaires. La dominance de ces formations a donné une bonne perméabilité au sol. Cela est confirmé par les logs stratigraphiques des forages réalisés dans la zone d'étude. Ce bassin d'effondrement est entouré par des reliefs importants. Ceux-ci sont formés d'un ensemble de synclinaux à faciès prédominants de calcaires et de calcaires marneux qui s'étalent du Trias jusqu'au Maestrichtien. Cette série plissés, exposées à l'érosion à partir de l'oligocène et recouverte par le miocène ; l'ensemble du Crétacé et du Miocène érodé, est recouverte uniquement par le plio-quadernaire, et présente des plis et des failles au niveau de ces formations. L'interférence de deux types de tectonique cassante a beaucoup contribué à la réalisation du schéma structural. En effet, ces rides d'orientation NE-SW, sont associées à l'érosion dominante et à une tectonique cassante importante, ont joué un rôle très important dans la formation des systèmes hydrogéologiques les plus stratégiques de la région d'étude.

# **Chapitre 03 :**

# **Climatologie**

## 1. Introduction

L'étude climatologique, est très importante pour la connaissance des caractéristiques hydroclimatologiques, elle est indispensable à la compréhension et l'évaluation des processus d'alimentation des ressources hydriques et des réserves souterraines. Ce qui nous permettra d'avancer dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau, et dans la variation des réserves des eaux souterraines. Ainsi, la variation des paramètres climatiques donne des indications sur l'évolution des concentrations des éléments chimiques, en fonction des saisons, tant au niveau des eaux souterraines qu'au niveau des eaux de surface.

L'estimation des caractéristiques climatiques d'un bassin versant joue un rôle important dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eau. Les paramètres les plus intéressants dans l'identification du régime d'écoulement sont les précipitations (P), la température (T). Elles conditionnent soit la sécheresse, soit l'humidification milieu. Elles sont utilisées d'une part, pour estimer les différents paramètres du bilan hydrique et d'autre part, pour la connaissance d'alimentation des réserves en eaux souterraines.

L'objectif de l'étude de ce chapitre est l'évaluation des différents paramètres climatiques constituant un bilan hydrologique annuel. Pour calculer le bilan hydrologique annuel il est important de connaître les précipitations moyennes mensuelles, les températures correspondantes, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionne ce bilan, en utilisant la méthode de Thornthwaite adaptée à la région d'étude.

Cette étude est basée sur des données recueillies au niveau de la station de Tébessa dont les coordonnées sont :

**Tableau 1: les coordonnées Lambert de la station de mesure de Tébessa (météo de Tébessa)**

Station	Altitude	X Km	Y Km	Période d'observation
Tébessa	890	991.9	247.2	1997/1998-2017-2018



## 2. Etude des paramètres climatiques :

### 2.1. Détermination du type du climat

#### 2.1.1. Indice d'aridité (Indice de DE Martonne)

Pour la détermination du type de climat (**De Martonne, 1923**) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles :  $A = P / (T+10)$

Avec :

**A** : indice d'aridité annuelle

**P** : précipitation moyennes interannuelles en mm

**T** : températures moyennes interannuelles en °C

Dans le cas de la station de Tébessa **A = 12.53** ; tel que **P = 394.98 mm** et **T = 21.52°C**

Selon De Martonne :

$20 < I < 30$  climat tempéré

$10 < I < 20$  climat semi-aride

$7.5 < I < 10$  climat steppique

$5 < I < 7.5$  climat désertique

$I < 5$  climat hyper aride

**Tableau 2: indice d'aridité annuel de DE Martonne**

Stations	P (mm)	T (°C)	A	Type du climat
Tébessa	<b>394.98</b>	<b>21.52</b>	<b>12.53</b>	<b>Semi-aride</b>

Les résultats de l'indice d'aridité pour la station de Tébessa montrent que le climat de la zone d'étude est semi-aride.

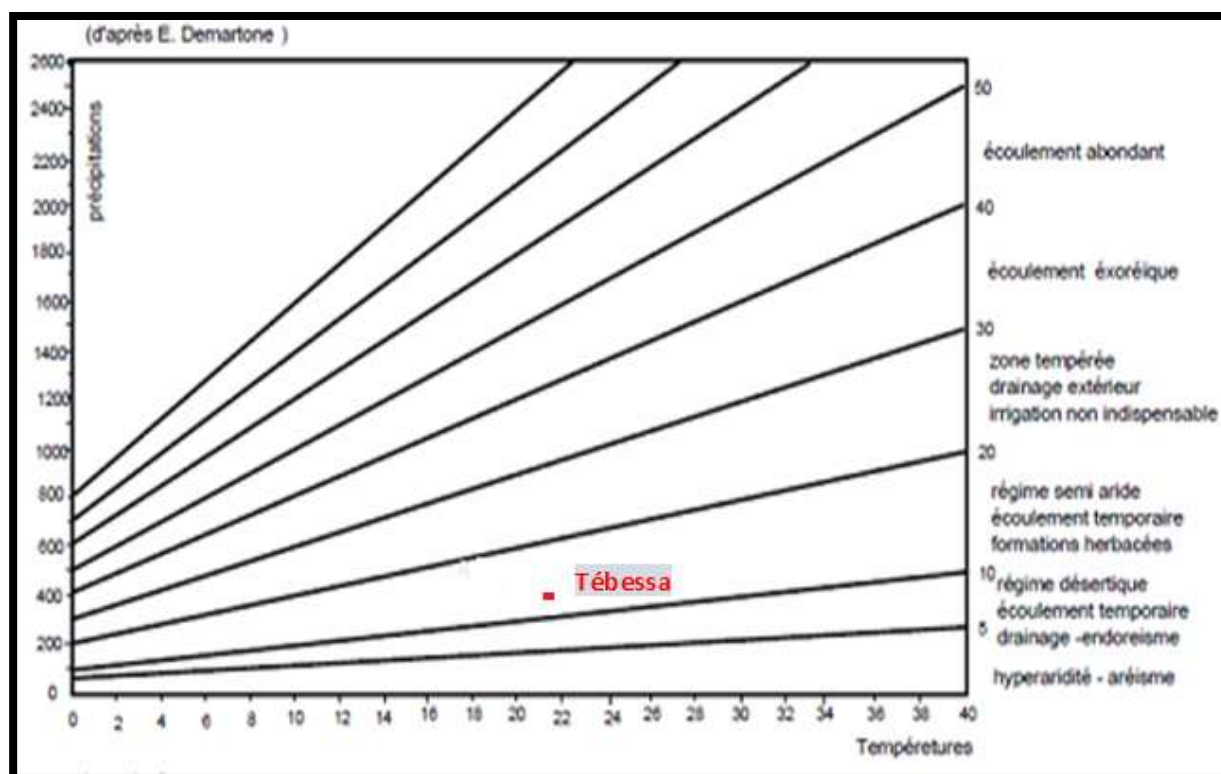


Figure 9: Abaque de l'indice annuel de DE Martonne 1923

### 2.1.2. Indice d'aridité mensuel

L'indice mensuel ( $i$ ), donné par la formule :  $i = 12.P/T+10$

Avec :

**P** : précipitations moyennes mensuelles en mm

**T** : température moyenne mensuelle en °C

Tableau 3: indices d'aridités mensuels (station de Tébessa 1997-2018)

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FRV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
<b>P (mm)</b>	46.40	38.64	33.75	33.49	32.94	22.28	31.75	37.68	47.36	26.15	15.94	28.56
<b>T (°C)</b>	28.12	23.38	15.97	10.47	10.17	10.46	15.14	19.26	24.79	31.25	35.19	33.63
<b>i</b>	<b>14.61</b>	<b>13.89</b>	<b>15.59</b>	<b>19.63</b>	<b>19.60</b>	<b>13.07</b>	<b>15.16</b>	<b>15.45</b>	<b>16.34</b>	<b>7.61</b>	<b>4.23</b>	<b>7.85</b>

D'après les résultats présents dans le tableau n° 03, les deux mois Juin et Aout présentent un climat steppique, le mois Juillet présente un climat hyper aride. Alors que le climat semi-aride marque le reste des mois de l'année.

## 2.2. Etudes des Précipitations

Les précipitations sont toutes les eaux météoriques qui tombent sur une surface horizontale déterminée, appelée ‘’ section pluviométrique ‘’, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l’unique « entrée » des principaux systèmes hydrologique continentaux que sont les bassins versants.

### 2.2.1. Précipitations moyennes mensuelles (1997/1998-2017/2018)

Les données de précipitation de la station de Tébessa durant la période d’observation (21 ans), sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (**Tab.04**)

**Tableau04: Précipitations moyenne mensuelles en (mm) sur une période de 21 ans (1997/1998-2017/2018)**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	TOT
<b>Tébessa</b>	46,40	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	31,75	37,68	47,36	26,15	15,94	28,56	<b>394,98</b>

Ce tableau montre la variation des précipitations d’un mois à l’autre des moyennes mensuelles des auteurs pluviométriques enregistrées dans la station, on note un maximum de l’ordre 46.40 mm pour le mois de Mai (le mois le plus pluvieux) à la station de Tébessa par contre on note un minimum de l’ordre 15.94 pour le mois de Juillet qui présent le mois le plus sec. Nous pouvons mieux voir cela grâce au graphe suivant : (**Fig. 10**)

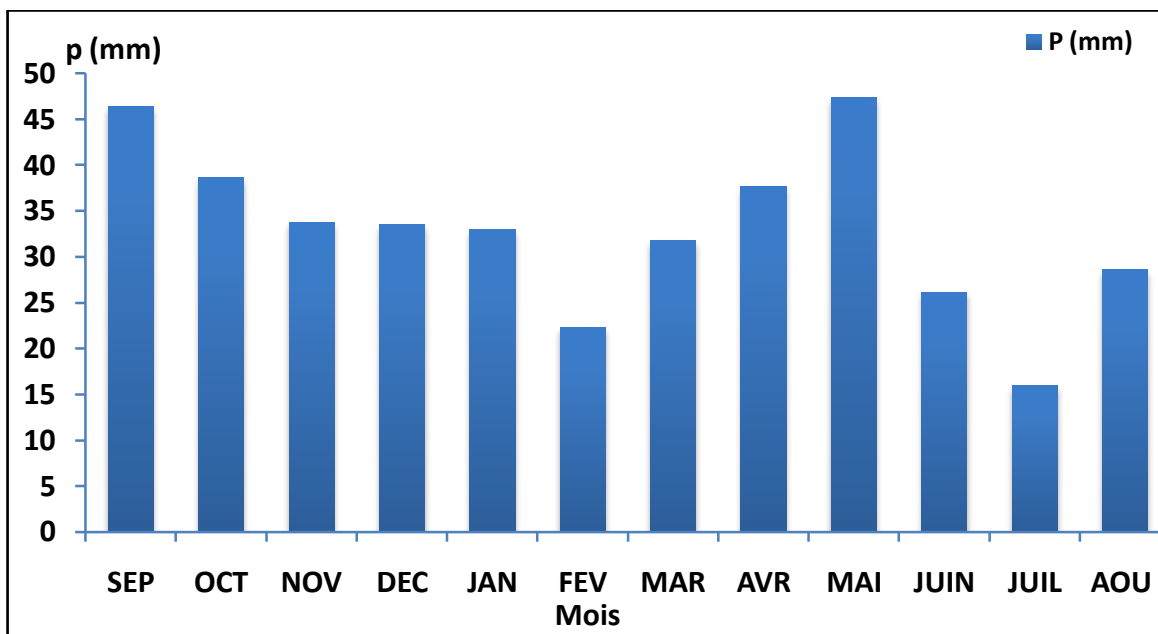


Figure 10: Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018)

### 2.2.2. Précipitations inter annuelles

Sur un cycle de vingt un ans (1997/1998-2017/2018), nous allons examiner la variation des précipitations observées dans la station de Tébessa (**Tab.05**)

Tableau 5: Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2018)

Station	Minimum	Année d'observation	Maximum	Année d'observation	P Moy (mm)
Tébessa	149,1	2000/2001	591,8	2008/2009	394,98

Le graphe des variations des précipitations interannuelles en fonction du temps (**Fig.08**) pour la station de Tébessa, montre une grande différence entre l'année la plus arrosée (2008/2009) avec 591.8 mm/an et l'année la plus sèche (2000-2001) avec 149.1 mm/an.

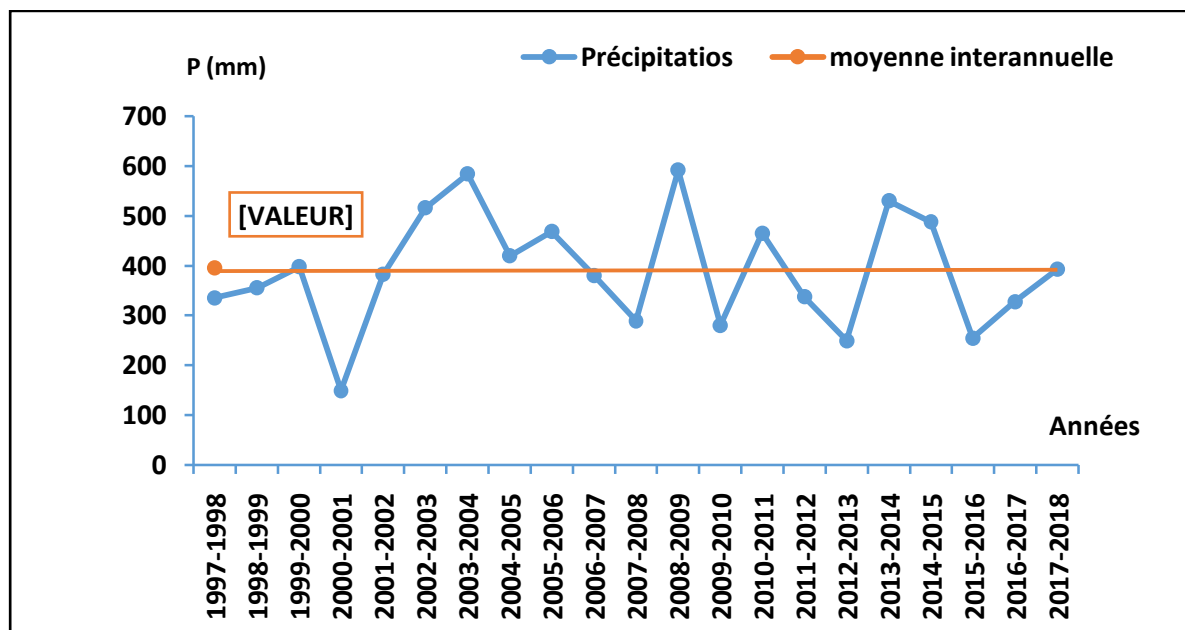


Figure 11: distribution de précipitations annuelles dans la station de Tébessa (1997-1998/2017-2018)

### 2.2.3. Répartition saisonnière des précipitations

Les précipitations saisonnières correspondant aux quatre saisons de l'année :

- Hiver : Décembre, Janvier, Février ;
- Printemps : Mars, Avril, Mai ;
- Été : Juin, Juillet, Août ;
- Automne : Septembre, Octobre, Novembre.

Le but de ces détails c'est de visualiser les saisons pour lesquelles les sources reçoivent des entrées efficaces.

Tableau 6: répartition saisonnière des précipitations dans la station de Tébessa pendant la période (1997-1998/2017-2018)

station de Tébessa		
Saison	Moyenne saisonnière (mm)	Pourcentage (%)
Automne	39,61	30,09
Hiver	29,57	22,46
Printemps	38,93	29,57
Été	23,55	17,89

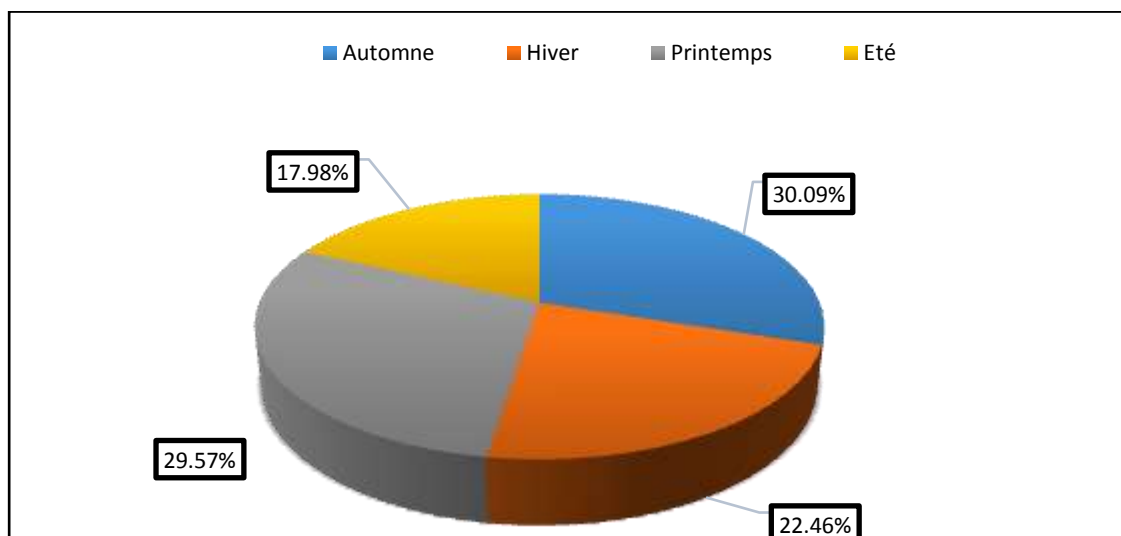


Figure 12: répartition saisonnière des précipitations dans la station de Tébessa (1997-2018)

La figure 12 met en évidence :

- Une forte précipitation saisonnière est enregistrée pendant l'automne avec une valeur 39.61mm qui représente 30.09%.
- Une faible précipitation saisonnière est enregistrée pendant l'été avec une valeur 23.55mm qui représente 17.98%.

#### 2.2.4. La neige

Les montagnes de bordure et en particulier Djebel Doukkane, Mestiri et Tazbent et leur prolongement reçoivent en hiver des précipitations neigeuses qui peuvent être importantes.

Les premières neiges font leur apparition à partir du mois de Janvier et les dernières à la fin du mois de Mars

D'après Seltzer (1946), la région est située dans une zone d'enneigement moyen de 5 à 10 jours par an (in **SEGHIR. K, 2008**).

## 2.3. Etudes de température

La température est l'un des facteurs des climats qui est aussi important que les précipitations.

Elle se caractérise par la somme d'énergie, qui est en relation avec l'évaporation et la croissance des plantes et par leur développement. Elle joue un rôle très important pour la détermination du bilan hydrique.

### 2.3.1. Température moyenne mensuelle (1997/1998-2017/2018)

Les valeurs des températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997-2018) sont consignées dans le **tableau 07**.

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	Moy
T (°C)	28,12	23,88	15,97	10,47	10,17	10,46	15,14	19,26	24,79	31,25	35,19	33,63	<b>21.52</b>

Tableau 7: température moyenne mensuelle (1997/1998-2017/2018)

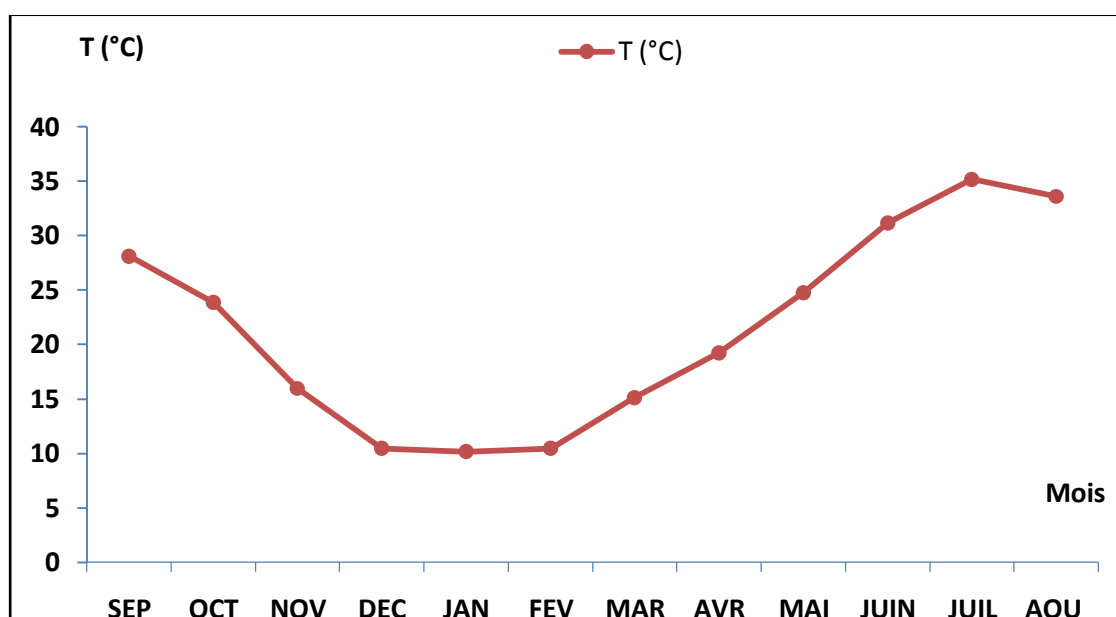


Figure 13: variation des températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa (1997/1998-2017/2018)

D'après le graphe (**Fig.13**) nous remarquons que

:

- Le mois le plus froid est le mois Janvier avec une valeur de 10.17°C.
- Le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une valeur de 35.19°C.
- La température moyenne annuelle de cette période est de 21.52°C.

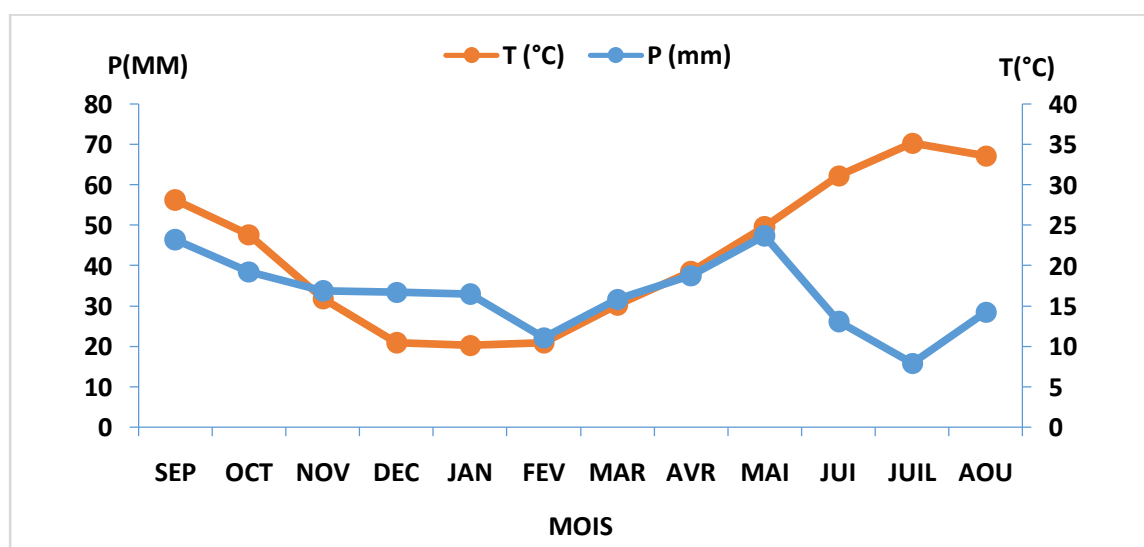
#### 2.4. Diagramme ombrothermique : (courbe de Gaussen et Bagnouls)

Le diagramme ombrothermique (combinaison de deux paramètres climatique : la température et la précipitation), permet la distinction entre les mois humides et les mois secs.

Selon (Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957) ; le mois le plus sec est celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne.

**Tableau 8: Données du diagramme ombrothermique station de Tébessa sur une période de 21 ans (1997/2018)**

Mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FRV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU
P(mm)	46.40	38.64	33.75	33.49	32.94	22.28	31.75	37.68	47.36	26.15	15.94	28.56
T(°C)	28.12	23.38	15.97	10.47	10.17	10.46	15.14	19.26	24.79	31.25	35.19	33.63



**Figure 14: diagramme ombrothermique station de Tébessa (1997/1998-2017/2018)**

D'après le diagramme mentionné dans la figure n°14, on peut visualiser la sécheresse s'étale du mois d'avril jusqu'au mois de octobre et La période humide s'étale du mois de novembre jusqu'au mois de mars.



## 2.5. Le vent

Les vents sont caractérisés par leur vitesse et leur intensité. Les vents prédominants sont de direction NE-SW au mois de Novembre et la distribution du champ de direction du vent est saisonnière hiver-été. En hiver, les vents du NW sont souvent secs et froids ; en été les vents du sud sont fréquents et peuvent être chauds et secs, d'où l'augmentation de l'évaporation et une sécheresse fait augmenter le déficit d'écoulement.

## 2.6. Le Bilan hydrique

Le bilan hydrique montre le processus que peut suivre une quantité d'eau arrivant au sol par la précipitation ou neige avant de se retourner à l'atmosphère.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany, 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

**ETR** : l'évapotranspiration annuelle (mm), **I** : infiltration, **P** : précipitation, **R** : ruissellement.

### 2-6-1 Etude de l'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique.

L'interdépendance des facteurs dont elle est fonction (l'humidité, la température, l'insolation et le couvert végétale) rend son estimation laborieuse.

On distingue :

-L'évapotranspiration potentielle (E.T.P)

-L'évapotranspiration réelle (E.T.R).

### 2.6.1. A. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

On appelle évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporé, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle, on a utilisé la formule de Thornthwaite :

$$\mathbf{ETP = 16 (10T/ I)^a K}$$

Avec :

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en mm

**T** : Température moyenne mensuelle en °C.

**K** : Coefficient d'ajustement.

**a** : indice lié à la température.

$$\mathbf{a = (1.6/100). I + 0.5}$$

**I** : indice thermique annuel.

$$\mathbf{I = \sum_1^{12} i}$$

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

**i** : indice thermique mensuel.

### 2.6.1. B. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) se fera à partir des formules de Turc et Thornthwaite.

#### i) Formule de turc

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

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

$$\mathbf{-L = 300 + 25T + 0.05 T^3}$$

(Facteur qui tient compte des échanges de chaleur) ;

## ii) Formule de Thornthwaite

Pour l'établissement du bilan mensuel on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne par la méthode de C.W. Thornthwaite.

Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

Si :  $P - ETP > 0$  ; c'est-à-dire  $P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$

Si :  $P - ETP < 0$  ; c'est-à-dire  $P < ETP$  ; ce cas est subdivisé en deux cas :

➤ Si :  $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$ .

➤ Si :  $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$ .

### 2.6.2. Estimation des réserves facilement utilisables (R.F.U)

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol donné par la formule de (J.Richard 1979)

$$RFU = 1/3(Da \cdot He \cdot P)$$

Où :

**R.F.U** : Réserve facilement utilisable.

**Da** : Densité apparente du sol.

**He** : Profondeur de la couche de la terre par courrier par les racines en (mm).

#### Application numérique :

$$Da = 14, \quad He = 0.25, \quad P = 25 \text{ mm}$$

$$D'où : RFU = 1/3 (14 * 0.25 * 25) = 29.0 \text{ mm}$$

### 2.6.3. Estimation de ruissellement (R)

On peut calculer le ruissellement à partir deux formules :

✓ TixerontBerkalof avec la condition de  $P < 600\text{mm}$ .

$$R = P^3 / 3 \dots\dots\dots(1)$$

✓ TixerontBerkalof modifié par **Romantchouk** (1974) avec la condition  $P < 600\text{mm}$ .

$$R = P^3 / 3 \cdot (ETP)^2 \dots\dots\dots(2)$$

Avec :

**R** : ruissellement en m ;

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude est inférieure à 600 mm, la formule utilisée est celle de TixerontBerkalof modifiée par **Romantchouk** (1974).

La lame d'eau ruisselée des précipitations de la station de Tébessa est comme suit :

$$P = 0.3599 \text{ m}, \quad ETP = 1.18231 \text{ m}, \quad R = 0.111 \text{ m (Période 1997/1998-2017/2018)}.$$

#### 2.6.4. Estimation de l'infiltration (I)

- ❖ Selon la méthode de Thornthwaite :  

$$P = R + I \longrightarrow I = P - (ETR + R)$$
- ❖ Selon la méthode rationnelle :  

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

**I** : L'infiltration (mm).

- Si  $I > 0$  : Les entrées sont supérieures aux sorties.
- Si  $I < 0$  : Les entrées sont inférieures aux sorties.

**P** = 499.02 mm, **R** = 111 mm, **ETR** = 359.96 mm  $\longrightarrow$  **I** = 28.06 mm (Période 1997/1998-2017/2018).

On calcule la valeur de l'infiltration par la moyenne des années excédentaires de précipitations car le bilan hydrique est déficitaire.

#### 2.6.5. Estimation du bilan hydrique

La connaissance plus ou moins parfaite des éléments du bilan hydrique d'un bassin versant, est une opération très importante en hydrologie, car elle permet l'estimation des réserves naturelles des aquifères.

Le bilan hydrique vise à déterminer la répartition des précipitations reçues par une surface, il tient compte de :

**T ; P ; ETP ; ETR ; I ; R ; RFU ; T ; P ; ETP ; ETR ; I ; R ; RFU.**

L'établissement du Bilan hydrique nous permet de calculer :

**I** : Indice thermique ;

**K** : Coefficient de latitude ;

**RU** : Réserve utile ;  $RU = VR$  accumulée, mais lorsqu'elle devient égale à la **RFU = 29**, la quantité restante c'est l'excédent.

**Def** : Déficit agricole en (mm).  $Def = ETP - ETR$  ;

**Exc** : Excédent en (mm).

- Période (1997/1998-2017/2018)

Tableau 9: bilan hydrique selon Thornthwaite station de Tébessa (1997/2018)

RFU = 29mm

	T (°C)	K	i	P (mm)	ETPc	P-ETPc	ETR	RFU	Def	Exc
<b>SEP</b>	28.12	1.03	13.66	46.44	132.70	-86.26	46.44	0	86.26	
<b>OCT</b>	23.38	0.97	10.67	38.64	80.12	-41.48	38.64	0	41.48	
<b>NOV</b>	15.97	0.86	5.80	33.75	28.99	4.76	28.99	4.76	0	
<b>DEC</b>	10.47	0.81	3.06	33.49	10.04	23.45	10.04	28.21	0	
<b>JAN</b>	10.17	0.87	2.93	32.94	10.06	22.88	10.06	29	0	22.09
<b>FEV</b>	10.46	0.85	3.06	22.28	10.51	11.77	10.51	29	0	11.77
<b>MAR</b>	15.14	1.03	5.35	31.75	30.59	1.16	30.59	29	0	1.16
<b>AVR</b>	19.26	1.10	7.70	37.68	57.80	-20.12	57.80	8.88	0	
<b>MAI</b>	24.79	1.21	11.29	47.36	115.63	-68.27	56.24	0	59.63	
<b>JUI</b>	31.25	1.22	15.99	26.15	199.86	-173.71	26.15	0	173.71	
<b>JUIL</b>	35.19	1.24	19.19	15.94	268.84	-252.90	15.94	0	252.90	
<b>AOU</b>	33.63	1.16	17.92	28.56	228.39	-199.80	28.56	0	199.80	
<b>Annuel</b>	<b>21.52</b>	<b>/</b>	<b>116.62</b>	<b>394.98</b>	<b>1173.74</b>	<b>-787.33</b>	<b>359.96</b>	<b>128.85</b>	<b>813.78</b>	<b>35.02</b>

**Vérification du bilan :**

$$\sum P = \sum ETR + \sum Ex \longrightarrow 394.98 \text{ mm} = 359.96 \text{ mm} + 35.02 \text{ mm}$$

$$\sum ETP = \sum ETR + \sum Def \longrightarrow 1173.74 \text{ mm} = 359.96 \text{ mm} + 813.78 \text{ mm}$$

**❖ Interprétation du bilan hydrique**

L'établissement du bilan hydrique a pour but, de connaître des différents paramètres (ETP, ETR, RFU, Def, Exc), qui nous aide à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement et dès que RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (Def).

Les résultats du bilan hydrique permettent de connaître que ; l'évapotranspiration potentielle (ETP) est estimée par la valeur **1173.74 mm**, l'évapotranspiration réelle (ETR) est estimée par la valeur **359.96 mm**, le ruissellement bénéfique (R) de **111 mm** des précipitations, les réserves facilement utilisables se constituent à partir du mois de Novembre et s'étale jusqu' au le mois d'Avril avec une valeur totale de **128.85 mm**, la valeur de l'infiltration est **I=28.06mm**.

Et aussi, le déficit agricole est marqué durant les mois Septembre et Octobre ; et à partir du mois Mai jusqu'à le mois d'Août avec une valeur totale de **813.78 mm**, l'excédent est estimé par une valeur totale de **35.02 mm**.

Donc on peut dire que le bilan est déficitaire.

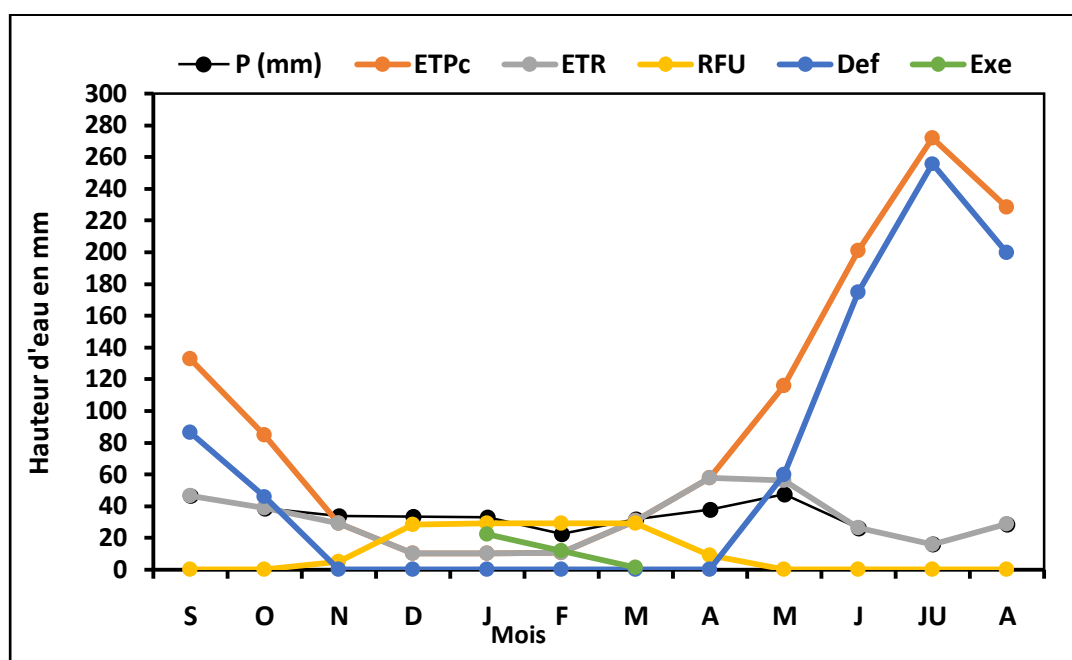


Figure 15: représente graphique du bilan hydrique de Thornthwaite de la station de Tébessa (1997/2018)

### 3. Conclusion

L'étude climatologique de la région de Tébessa permet de distinguer que le climat est typiquement semi-aride de type (hiver froid et été chaud). La température moyenne annuelle qui y règne est de 21.52 °C. La moyenne interannuelle des précipitations tombées sur une période de 21 ans

(1997/1998-2017/2018), sont estimées à 394.98 mm. L'évapotranspiration réelle est estimée à 359.96 mm. Le ruissellement bénéficie de 111 mm des précipitations.

En examinant les données relative aux répartitions saisonnières, sur une période de 21 ans, nous avons pu constater, que l'automne c'est la saison la plus pluvieuse. Alors que la saison la plus sèche c'est la saison estivale.

Les résultats du bilan hydrique permettent de connaître que ; l'évapotranspiration potentielle (ETP) est estimée par la valeur **1173.74 mm**, l'évapotranspiration réelle (ETR) est estimée par la valeur **359.96 mm**, le ruissellement bénéficié (R) de **111 mm** des précipitations, les réserves facilement utilisables se constituent à partir du mois de Novembre et s'étale jusqu' au le mois d'Avril avec une valeur totale de **128.85 mm**. la valeur de l'infiltration est **I=28.06mm**.

Et aussi, le déficit agricole est marqué durant les mois Septembre et Octobre ; et à partir du mois Mai jusqu'au le mois d'Août avec une valeur totale de **813.78 mm**, l'excédent est estimé par une valeur totale de **35.02 mm**

Donc on peut dire que le bilan est déficitaire.

# **Chapitre 04 :**

# **Hydrogéologie**

## 1. Introduction

Nous entendons par le bassin d'effondrement de Tébessa - Morsott la région qui s'étend de Bekkeria au sud est à Morsott au Nord- Ouest.

La ville de Tébessa tire ses besoins en eau potable à partir des forages importés au niveau de la plaine et cela à partir des années 70. Avant les besoins en eau sont obtenus par le captage des sources qui prennent naissance dans les calcaires qui bordent la plaine (Ain chabro. Kissa .Yokous).

Ce travail s'intéresse aux aquifères carbonatés du versant nord du Djebel Doukkane, par l'étude des différents forages réalisés dans le cadre des programmes de 1400m/l, 4800m/l pour le renforcement de l'alimentation en eau potable.

## 2. Géométrie de l'aquifère

### 2.1 Prospections géophysiques

L'étude géophysique dans la région de Tébessa est basée principalement sur la prospection géoélectrique menée par la société TRANSAKTA-GEOMETAL en 1971 et la CGG en 1970), sans oublier que la diagraphie de quelques forages par la direction d'hydraulique de la wilaya d'Annaba (D.H.W) entre 1973 et 1977.

La prospection géoélectrique suscitée recouvre une superficie de 790 km<sup>2</sup> représentée par 291 sondages électriques, disposés suivant des profils Nord-Ouest Sud-Est et espacés de 1km, les sondages eux-mêmes distants de 1km. Lors de cette campagne les lignes d'injection AB ont été de 2000m (68 S.E), 3000m (64 S.E), 4000m (158 S.E) (d'après le rapport géophysique modifié).

Le bassin d'effondrement de Tébessa -Morsott a été couvert par une prospection électrique assez importante, à l'aide de 242 sondages électriques avec une ligne AB=2000 m et 105 sondages avec une ligne AB=6000 m, réalisés par la compagnie générale de géophysique (fig.16).

Ceci a permis de définir sur le terrain les formations susceptibles d'être aquifères.



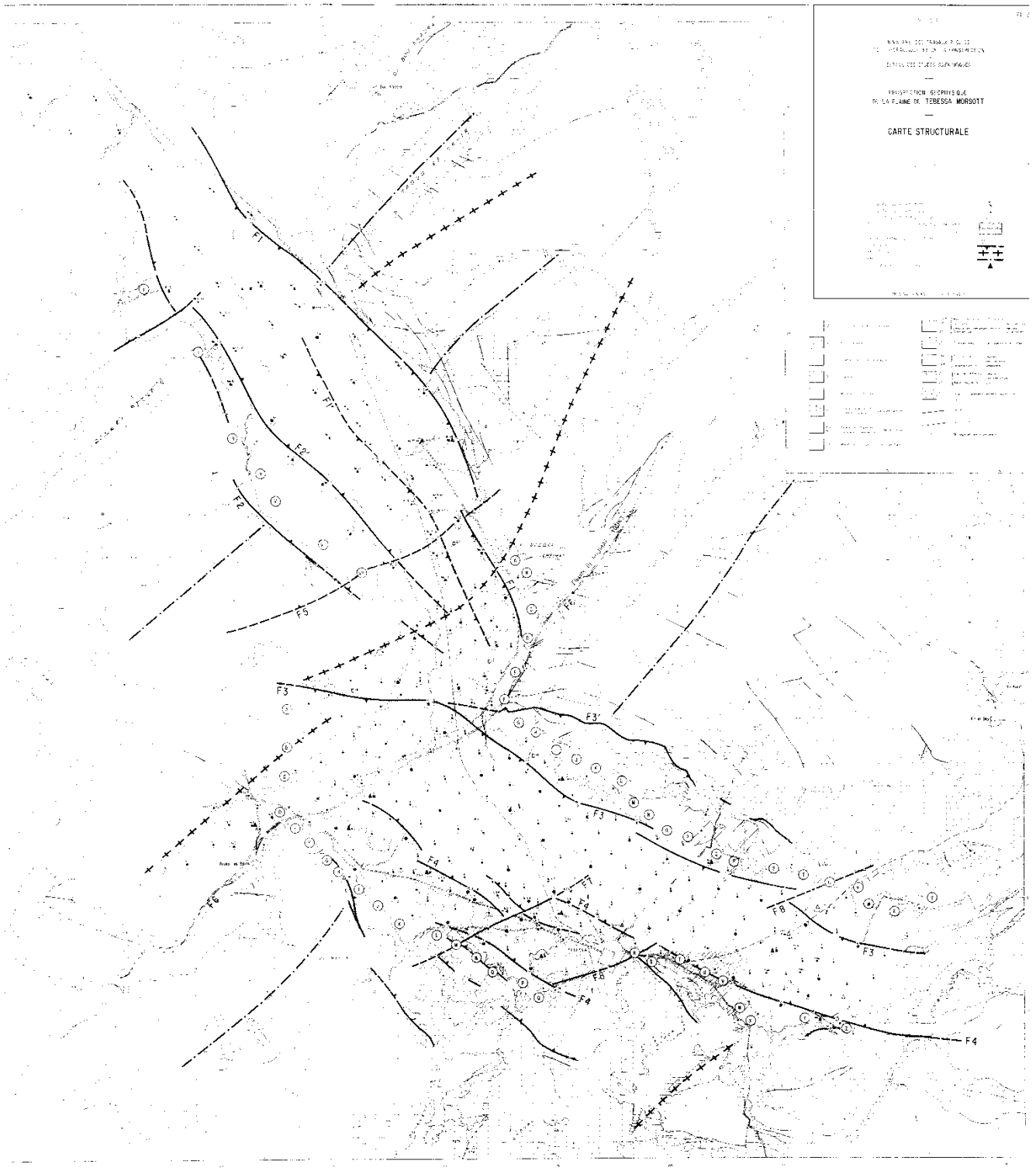


Figure 16: carte de positionnement des sondages électriques, compagnie générale de géophysique(1970).

## 2.2 Essai de corrélation entre la géologie et la géophysique

Dans l'objectif de créer une corrélation entre la géologie et la géophysique, on dispose des profils établis, en se basant sur les résultats de la prospection électrique.

Un certain nombre de sondages ont permis d'obtenir des valeurs des résistivités apparentes pour une même formation.

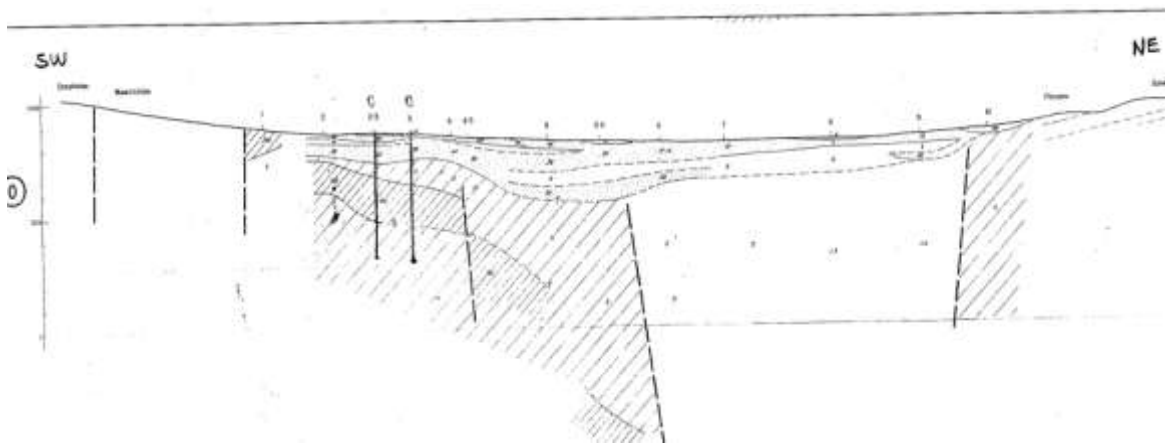


Figure 17: coupe géoelectrique, profil O

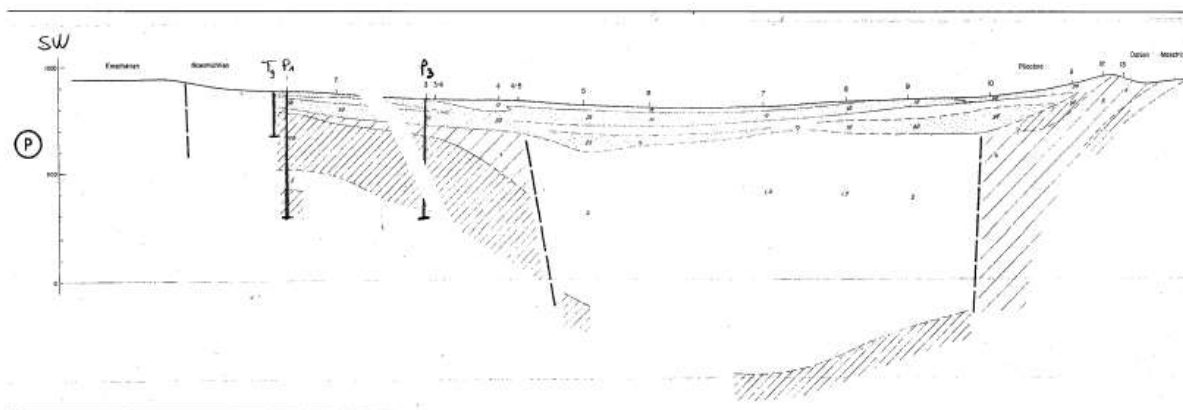


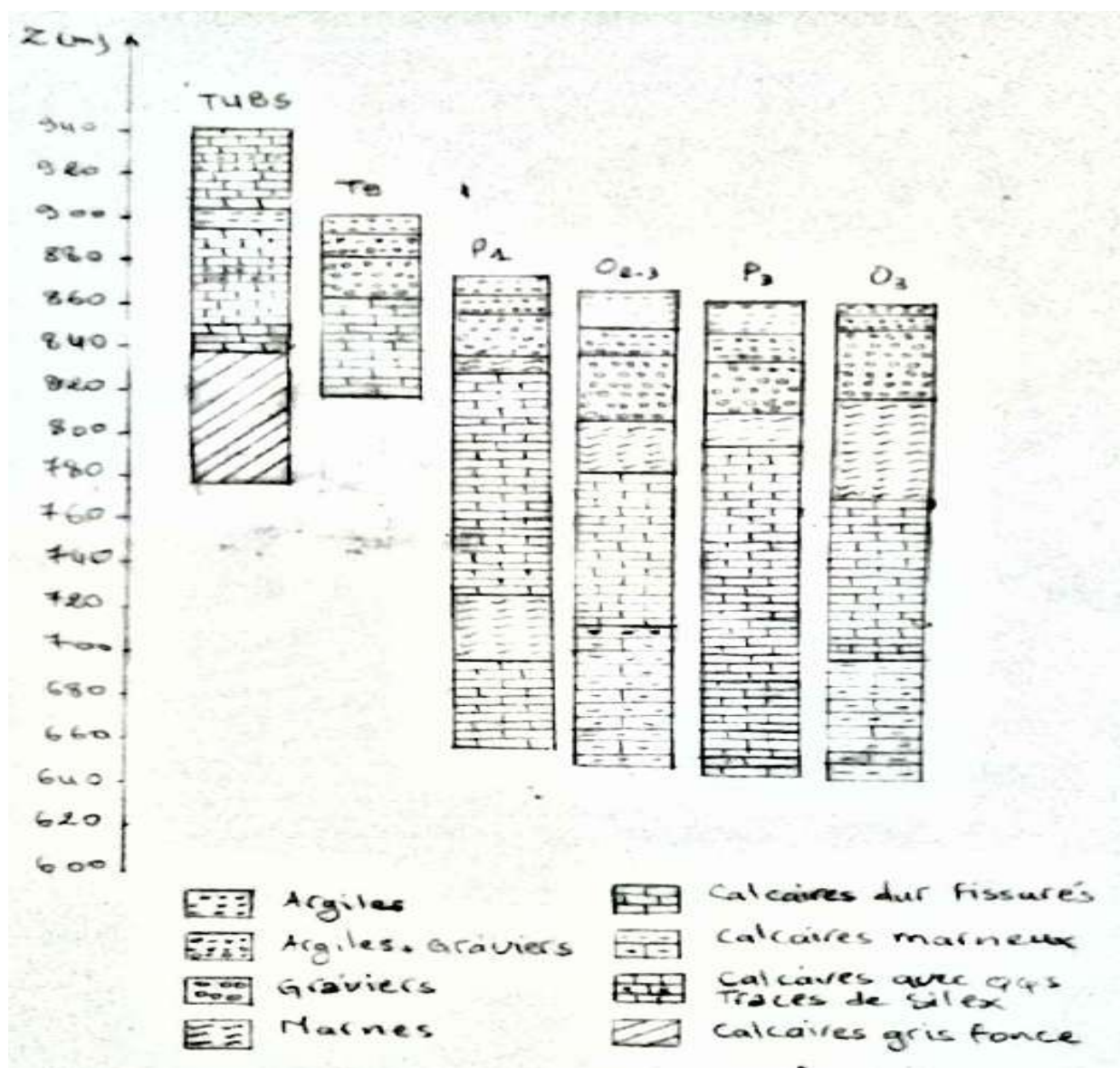
Figure 18: coupe géoelectrique, profil P

### 2.3 Etalonnage des résistivités

Avant de procéder à la mise en parallèle des profils géophysiques et des coupes lithologiques, il nous a paru utile de donner quelques indications concernant les relations entre les couches géologiques et les résistivités électriques pour la zone d'étude :

- 10 ohm.m : argiles ;
- 15 à 25 ohm.m : argiles avec graviers ;
- 50 ohm.m : graviers ;
- 5 ohm.m : marnes ;
- 100 ohm.m : calcaires fissures Maestrichtien ;
- 5 à 25 ohm.m : calcaires marneux (Campanien ; coupe Ricard).

Les sondages électriques O2, O3, P1 et P3 situés dans le pied de Djebel Doukkan et la corrélation avec les coupes géologiques (fig. 19) puis les forages O2-3, O3, T9, P1, P3 réalisés par l'ANRH Tébessa, montrent que les formations susceptibles d'être aquifères sont les calcaires du Maestrichtien ont une résistivité 100 ohm.m.



### 3. Principe d'essai de pompage

#### 3.1. Introduction

Le pompage d'essai doit être réalisé, après le nettoyage ou développement d'un ouvrage. Ils permettent de déterminer :

- ❖ Les caractéristiques du complexe aquifère/ouvrage (Etablissement de la courbe caractéristique ; courbe du rabattement en fonction du débit ( $s = f(Q)$ )).
- ❖ Les paramètres hydrodynamiques ; le coefficient d'emmagasinement (S) et la transmissivité (T) calculés d'après le pompage d'essai de longue durée.
- ❖ Les conditions de l'exploitation de l'ouvrage.
- ❖ L'évolution des rabattements en fonction de débit et du temps pour une exploitation de longue durée.

#### 3-2. la courbe caractéristique (courbe rabattement – débit)

##### a. Définition

La courbe caractéristique est un élément fondamentale qu'il est indispensable de procéder. Elle peut être utilisée par la suite pour détecter les améliorations ou bien les détériorations de l'ouvrage. Classiquement avoir plusieurs formes :

- Puits idéal (1) (forme de droite).
- Puits réel après le traitement chimique ou mécanique (2) (l'amélioration)
- Puits réel état initial (3)
- Puits réel après le vieillissement (4) (colmatage)

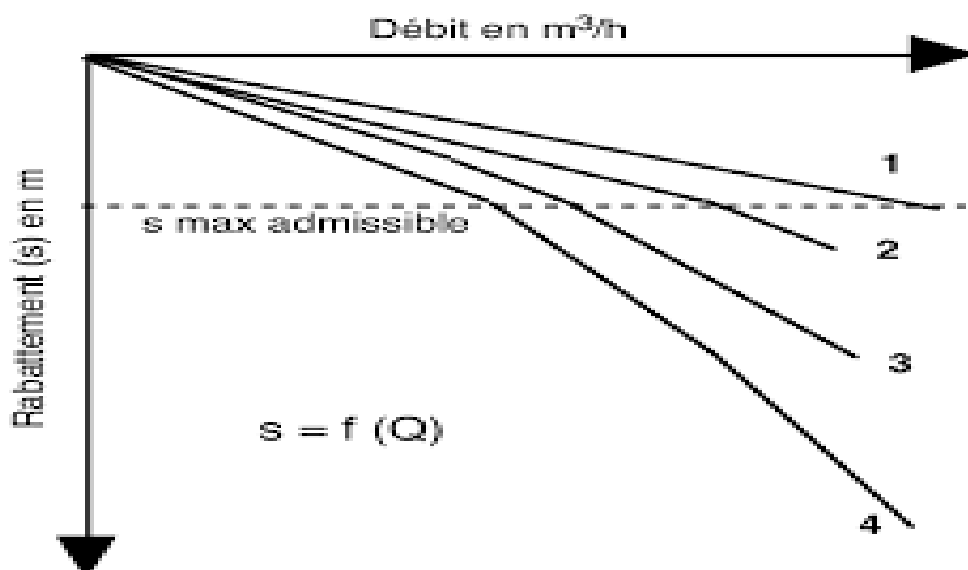


Figure 20: schéma exemplaire de la courbe caractéristique

La relation entre le débit et le rabattement est donné par l'expression de C.E JACOB par la formule :  $s=BQ+CQ^2$ .

Avec :

$s$  : le rabattement en m.

$Q$  : le débit en  $m^3/s$ .

$C$  et  $B$ : des coefficients qui dépend à la perméabilité et des résistances à l'écoulement à travers les crépines et les tubages.

$BQ$  : C'est une perte de charge linéaire provoqué par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits, elle imposée par les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère et croît avec le temps de pompage.

$CQ^2$  : Une perte de charge, non linéaire, provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage crépine et le tubage.

### b. Point critique

L'étude de la courbe caractéristique (courbe rabattement en fonction de débit  $s = f(Q)$ ) permet de distingué deux partie :

Le premier secteur **OA**, correspond à de faible rabattement  $s$ , le graphe peut être assimilé à une droite.

Dans le deuxième secteur **AB**, pour un rabattement ( $s$ ) important ; la pente de la courbe augmente, le rabattement est élevé. Dans le point critique il y a un rabattement critique et un débit critique permet de déterminer le débit optimal de l'exploitation  $Q_c > Q$  optimal d'exploitation.

### c) Interprétation de la courbe caractéristique

Pour interpréter les essais de pompage, on utilise des solutions analytiques décrivant le comportement de l'aquifère lorsqu'il est soumis au pompage. Les solutions peuvent être subdivisées selon qu'elles représentent des conditions en régime permanent ou régime transitoire.

Il existe deux méthodes sont :

#### c-1 Méthode bi-logarithmique de THEIS

Son expression générale applicable à tous les dispositifs de la station d'essai est :

$$s = x = \frac{q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{2^u}{u} du = \frac{q}{4\pi T} w(u) \quad \text{avec } u = \frac{x^2 s}{4tT}$$

$$T = \frac{0.08Q}{s} w(u) \quad \text{et} \quad S = \frac{4Tt}{x^2 i/u}$$

$W(u)$  : fonction exponentielle intégrale décroissante.

$T$  : coefficient de transmissivité ( $m^2/s$ ).

$S$  : coefficient d'emmagasinement.

$s$  : rabattement (m).

Cette méthode est utilisée lorsque le temps  $t$  est petit ou que la distance  $x$  entre le forage et le piézomètre d'observation est trop longue. (M. DETAY, 1993).

Le calcul des paramètres hydrodynamiques  $T$  et  $S$  se fait en utilisant la courbe de THEIS et la courbe obtenue à partir des données d'un pompage d'essai à débit constant.

La méthode consiste dans un premier temps, à représenter sur un graphique à l'échelle bi-logarithmique les valeurs observées sur l'ouvrage. Il convient d'utiliser l'échelle verticale pour les valeurs de rabattement ( $s$ ) et l'échelle horizontale pour le temps  $t$ . Ceci doit être fait sur du papier transparent et de même module que le graphique représentant la courbe standard de THEIS.

Dans un deuxième temps, on superpose les deux graphiques en faisant coïncider la plus grande partie des deux courbes tout en conservant parallèle les axes de ceux-ci. (Voir figure 21).

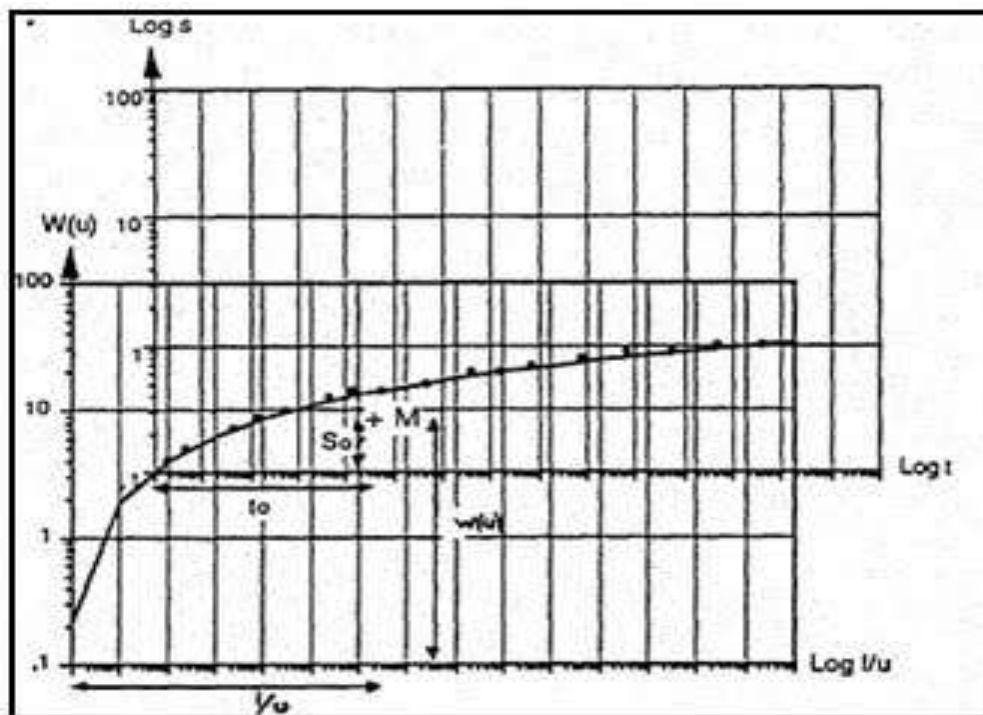


Figure 21: exemple d'application de la méthode de THEIS (M.DETAY, 1993)

Enfin, la coïncidence des deux graphiques permet de faire correspondre, à un point d'un graphique, un point de l'autre. L'identification des coordonnées de ce couple de point ( $s$ ,  $t$ ) et [ $w(u)$ ,  $1/u$ ] permet de calculer  $T$  et  $S$  par les formules: (J.LLAMAS, 1993).

## c-2. Méthode semi-logarithmique de JACOB

Cette méthode est utilisée lorsque la distance  $x$  entre le forage et le piézomètre d'observation est petite. (M. DETAY, 1993).

$$S = \frac{0.183Q}{T} \left( \log \frac{2.25T}{x^2s} \log t \right) \quad \text{avec} \quad \frac{x^2S}{4Tt} \leq 1/100$$

Le calcul des paramètres  $T$  et  $S$  par l'approximation logarithmique de C.E. JACOB Peut aussi se faire par une méthode graphique. Elle consiste tout d'abord, à reporter les données du pompage sur un papier graphique semi-logarithmique (les rabattements exprimés en  $m$  étant en ordonnées linéaire tandis qu'en abscisses, on a les temps logarithmiques de pompage).

Ensuite, à tracer une droite moyenne représentative de l'expression de C.E JACOB par les points obtenus. On relève alors sur le graphique, la pente de cette droite  $s = f(\log t)$ , numériquement égale à l'augmentation de  $s$  par cycle logarithmique.

$t_0$  = temps correspondant à l'intersection de la droite avec l'axe  $s=0$ .

**Remarque :** Généralement la courbe observée au début du pompage traduit l'effet de capacité de l'ouvrage.

Enfin, de calculer  $T$  et  $S$  par l'intermédiaire des formules suivantes :

$$T = \frac{0.183Q}{c} \quad \text{et} \quad S = \frac{2.25Tt_0}{x^2}$$

**c:** rabattement de la nappe dans un cycle logarithmique complet, soit la valeur  $s=c$  comprise entre  $10^3$  et  $10^4$ .

L'équation de la remontée après l'arrêt du pompage est :

$$s_r = \frac{0.183Q}{T} \cdot \log \frac{t+t'}{t'}$$

$t'$  : temps écoulé depuis l'arrêt du pompage.

**Remarque:** Le rabattement de calcule sur les piézomètres et non pas sur le forage où est réalisé le pompage. (M. DETAY, 1993).

## 4. Identification des différents niveaux aquifères

Le travail s'intéresse aux systèmes aquifères des formations du Maestrichtien, le plus exploité dans la région d'une part, et du Turonien qui est susceptible d'être un très bon aquifère similaire à celui de la Tunisie (coté frontalier) d'autre part.

### 4.1. L'aquifère des calcaires de Maestrichtien

Les différents forages qui ont atteint les calcaires Maestrichtiens, ont montré que ces formations fissurées sont aquifères en profondeur (T9, P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>, O<sub>2-3</sub>, O<sub>3</sub>, Q<sub>3-4</sub> BIS).

#### A. Essai de pompage (forage T9)

L'essai de pompage a été réalisé à l'aide d'une pompe immergée installée à la cote 150 m. Un essai à blanc de 24 heures a été réalisé et les résultats obtenus sont les suivant :

$$\text{N.S} = 120 \text{ m} \quad \text{N.D} = 120.95 \text{ m} \quad \text{Q} = 10 \text{ l/s}$$

#### B. Essai Définitif

Le but de l'essai définitif est de calculer la transmissivité dans la périphérie du forage qui a duré 72 heures avec un débit de 10 l/s. le niveau dynamique a été mesuré périodiquement, et on a obtenu les résultats suivants :

$$\text{N.S} = 120 \text{ m} \quad \text{N.D} = 120.95 \text{ m} \quad \text{Q} = 10 \text{ l/s}$$

#### B.1. Courbe de la Décante $S=F(\log T)$

Les rabattements en fonction des temps ont été reportés sur un papier semi-logarithmique.

La courbe montre que les points sont presque alignés la pente de la courbe est de l'ordre de 0.044 m.

$$\text{T} = 0.41 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

**T** = Transmissivité en m<sup>2</sup>/s

**Q** = Débit m<sup>3</sup>/s.

$\Delta S$  = différence d'ordonnées (m) par cycle logarithmique.



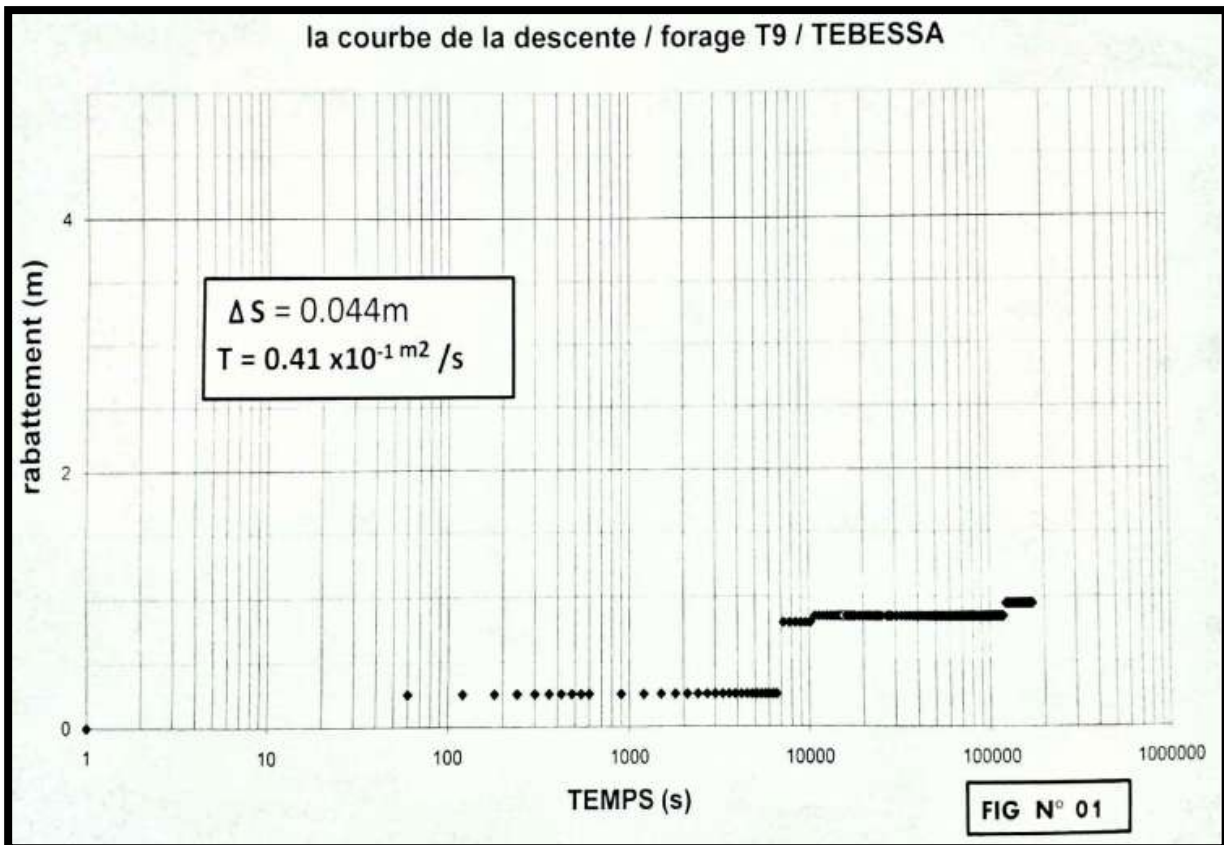


Figure 22: la courbe de la Descsente du forage T9

### B.2. La courbe de la remontée $S=F (\log ((T_p / T_i)+1))$

Par la même méthode que la décente. On a calculé la transmissivité  $0.37 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$  de la remontée qui est de l'ordre de  $0.37 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$  et le rabattement de l'ordre de 0.05m.

$$T=0.37 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$$

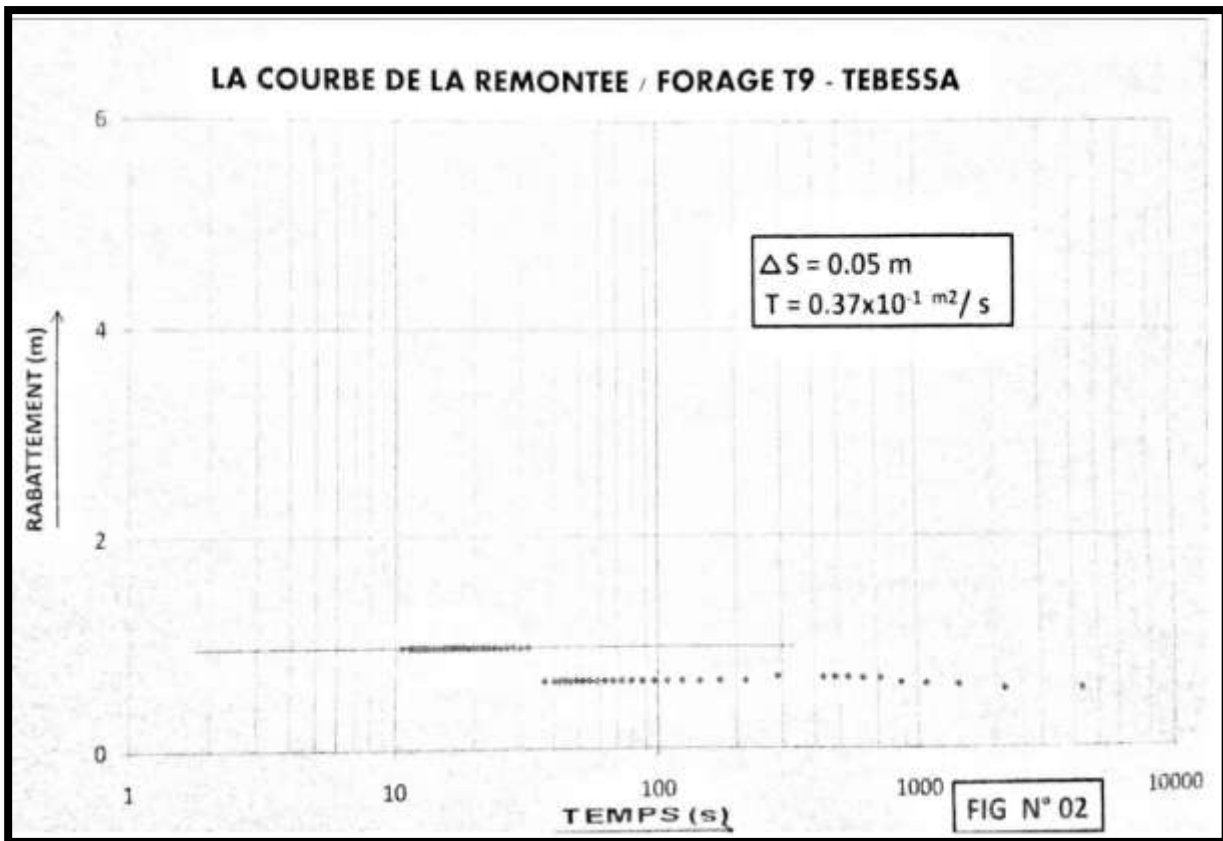


Figure 23: la courbe de la remonté du forage T9

### B.3. Le débit d'exploitation

L'opération des essais par palier n'a pas été effectuée, seulement un essai définitif de 72 heures a été réalisé, on extrapolant la courbe de descente à une année de pompage on a obtenu un rabattement de **0.8 m** donc le débit d'exploitation pour ce forage est de **10 l/s** pour une pompe installée à **140 m**.

### B.4.) Interprétation des résultats

Le rabattement croissant avec le temps à la 0.25m au forage, après l'arrêt de pompage la remonté du niveau d'eau retourne à l'état initial (statique).

À partir des résultats obtenus le débit d'exploitation est estimé à 10 l/s pour une pompe installée à la cote 140 m.

## 4-2. L'aquifère des calcaires du Turonien

Les différents forages qui ont atteint les calcaires Turonien, ont montré que ces formations fissurées sont aquifères en profondeur (TUBis et T8).

**A. Essai a l'aire lift (forage TUBIS)**

Avant la descente de tubage, un essai à l'air lift a effectué dans le trou nu Ø 12''1/4 en donnant les résultats suivantes :

**N.S= 79.60m**

**N.D= 81.19m**

**Q=10.6l/s**

**B. Essai définitif**

Le but de l'essai définitif est de calculer la transmissivité dans la périphérie du forage la durée de pompage est de 48 H pour un débit constant de 30 L/S les niveaux dynamique ont été mesuré périodiquement et on a obtenu les résultats suivants

**N.S=82.70 m**

**N.D=92.96 m**

**Q=30 l/s**

**B.1.Courbe de descente**

Les rabattements en fonction de temps ont été reportés sur un papier semi logarithmique la courbe montre que les points augmente progressivement seulement la stabilisation est remarqué dans un temps très limite en fin de pompage

- La pente de la courbe est de l'ordre de 0.9 par cycle logarithmique

$$T_{decs} = \frac{0.183 \times Q}{AS} = \frac{0.183 \times 30 \times 10^{-3}}{0.9} = 1.37 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 0.41 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

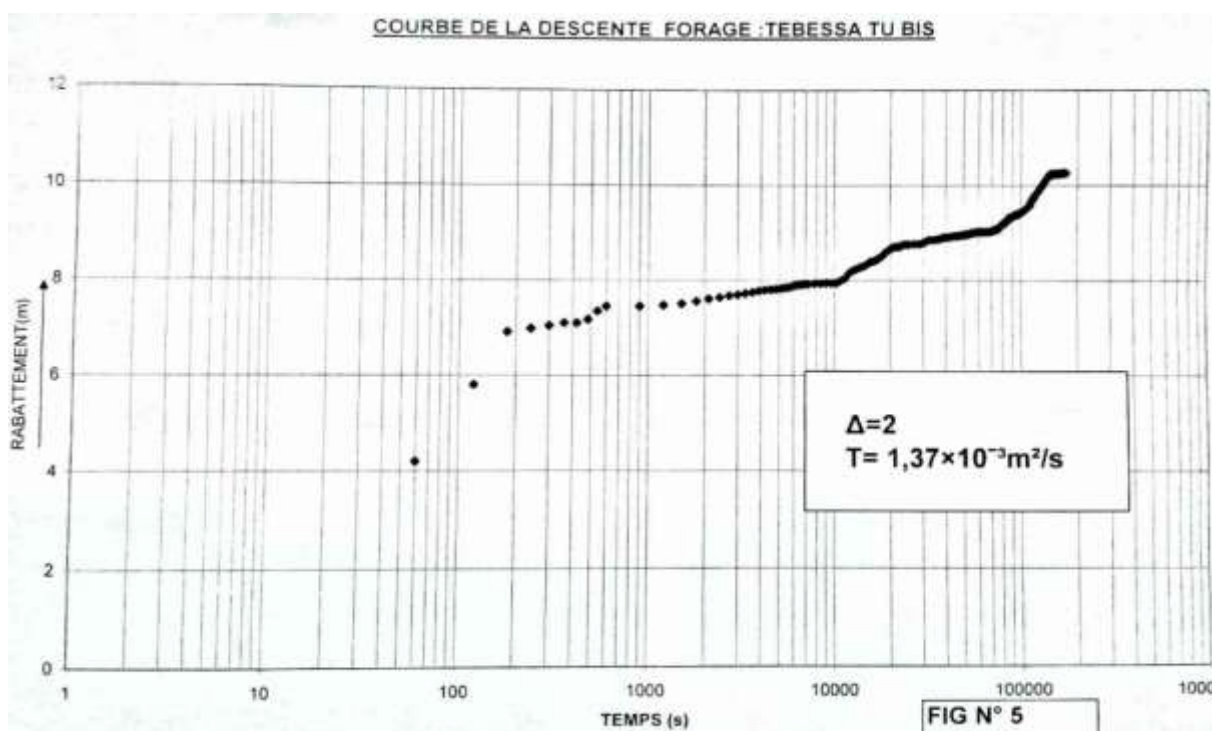


Figure 24: la courbe de la descnte du forage TU BIS

## B.2. Courbe de la Remonté

Par la même méthode que la descente on a calculé la transmissivité de la remontée pour une pente de 1.38 m.

$$T_{rem} = 3.971 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

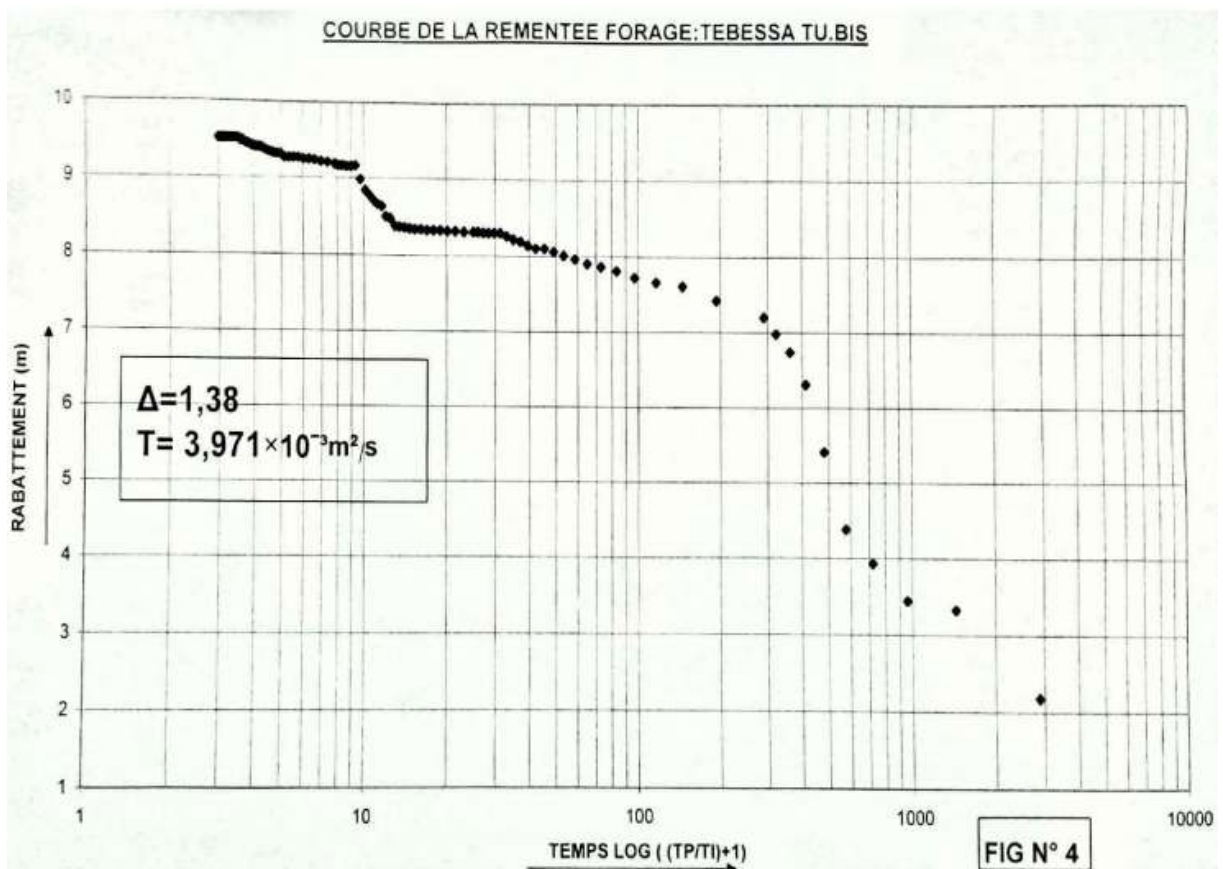


Figure 25: la courbe de la remonté du forage TU BIS

## B.3. Débit d'exploitation

En extrapolant la courbe la descente à une année de pompage, on peut tirer graphiquement le rabattement correspondant au débit de 30l/s par ce point, trace une courbe parallèle à la courbe  $S=F(Q)$  d'où on obtient graphiquement rabattement et les débits, correspondants à une année de pompage comme suite :

Tableau 10: variations de Rabattement avec la variation de Débit

Débit (L/S)	Rabattement
10	2.9
15	4.7
20	6.6
25	9.6
30	11.2

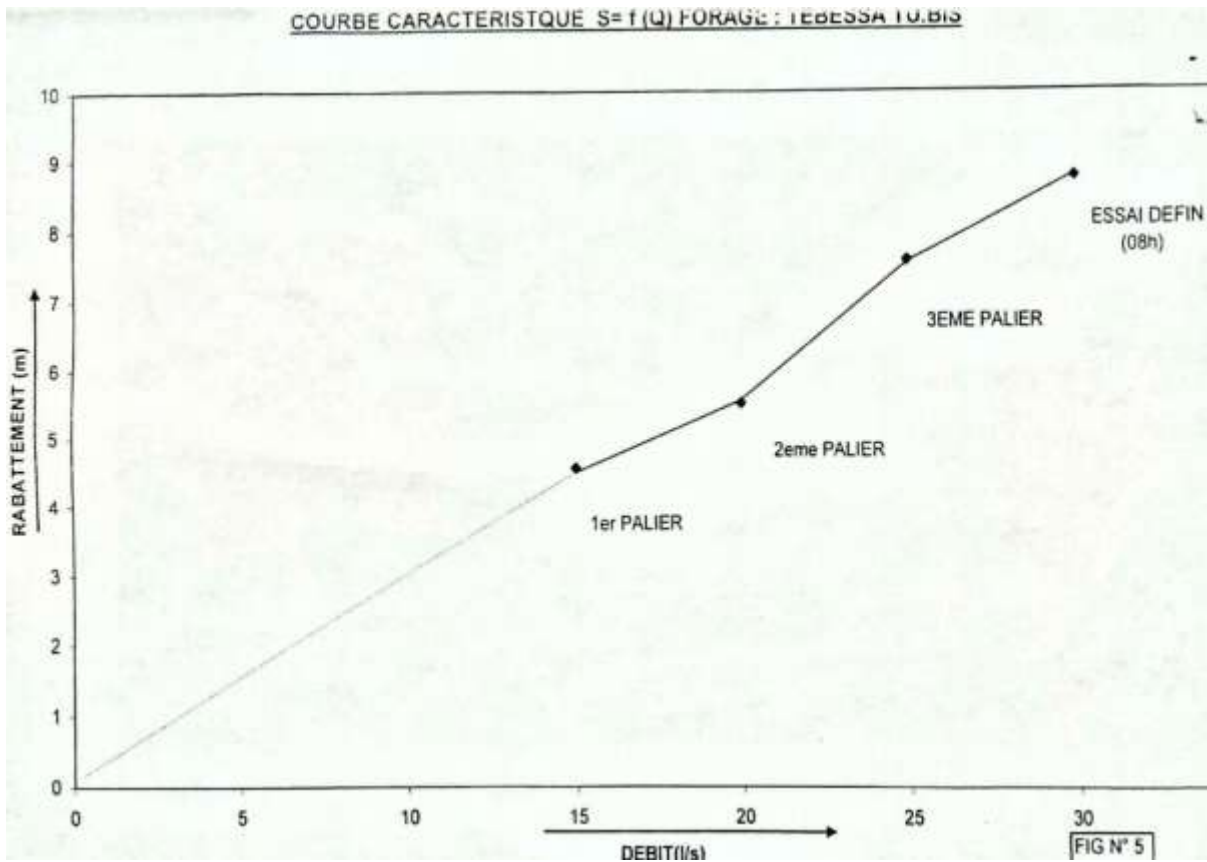


Figure 26: la courbe caractéristique du forage TU BIS

#### B.4. Interprétation des résultats

Le rabattement croissant avec le temps à la 7<sup>mau</sup> forage, après l'arrêt de pompage la remonte du rabattement retourne à l'état initial (statique).

À partir des résultats obtenus le débit d'exploitation est estimé à 30 pour une pompe installée à la cote 100m.

Le tableau suivant récapitule les résultats de l'essai de pompage des forages de la zone d'étude.

**Tableau 11: les résultats des essais de pompage de la station d'étude (hydraulique de Tébessa)**

forages	TU BIS	Q3-4 BIS	T8	T9	P1	O3	O2-3	P3
formations	Calcaire	Calcaire	calcaire	Calcaire	Miocène	Miocène	Maestrichtien	Miocène
X (m)	992.500	991.730	992.409	988.798	988.834	988.523	988.424	988.953
Y(m)	246.250	248.035	245.696	246.613	247.257	247.670	247.115	247.739
Z(m)	940	857.5	984	901.4	874	860	867	863
Profondeur (m)	/	/	/	200	550	550	550	550
Débit Variable (m <sup>3</sup> /s)	/	/	/	10	40	40	20	40
Niveau dynamique (m)	92.96	40.38	104.71	12.95	/	/	/	/
Niveau statique (m)	82.70	29.00	98.35	120	107	114	124	112
Débit d'exploitation (m <sup>3</sup> /s)	30	30	15.64	5	30	30	20	30

## 5. Conclusion

L'utilisation des données géophysiques et les logs stratigraphiques des forages, ont apportés des précisions à l'identification des nappes captives des formations carbonates d'âge Maestrichtien et d'autre du Turonien.

Le résultat de l'aquifère du Maestrichtien à partir de l'essai de pompage, montre que la réalimentation est rapide car le débit d'exploitation est optimal. Par contre au niveau de l'aquifère du Turonien la réalimentation est faible.

# **Chapitre 05 :**

# **Hydrochimie**

## 1. Introduction

L'étude de la qualité des eaux reste primordiale car elle détermine le domaine d'utilisation de cette ressource, en outre elle permet également de connaître les liens qui peuvent exister entre les différentes composantes d'une eau. Les qualités d'une eau sont conditionnées par les paramètres physiques et chimiques qu'il faut déterminer avec exactitude soit sur site après lecture soit par dosage.

Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'analyse chimique des eaux de l'Algérienne des eaux de la wilaya de Tébessa.

Les analyses chimiques ont porté sur le dosage des éléments chimiques à savoir ;

-cations :  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$

-anions :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$

-Les paramètres physiques ; pH, cond, et  $T^\circ$ .

L'étude hydrochimique dans ce chapitre est consacrée aux forages déjà cités dans le chapitre d'hydrogéologie avec une comparaison avec des sources du Maestrichtien (Ain Youkous, Ain Gaaga, Ain Anba).

## 2. Etude des résultats des analyses physico-chimiques

### 2.1. Étude des paramètres physiques :

#### 2.1.1. La température :

La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux. En effet elle joue un rôle important dans la détermination du pH.

Elle permet également de différencier les eaux de faible profondeur et les eaux profondes.



### 2.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel Hydrogène (pH) est un coefficient qui caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau. Une eau est acide si le pH est inférieur à 7, basique si le pH est supérieur à 7. Une eau est dite neutre à pH =7. Le pH d'une eau naturelle dépend de son origine et de la nature des terrains traversés.

### 2.1.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique CE est l'inverse de la résistivité, mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unité (de dimensions déterminées) d'une solution aqueuse. Pour l'examen de la qualité de l'eau, Celle-ci est souvent appelée « conductivité électrique » et peut être utilisée comme indicateur de la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon.

La mesure de la conductivité électrique [ $\mu\text{S}/\text{cm}$  à une température de référence] permet d'évaluer la minéralisation globale d'une eau du fait que les ions présents rendent celle-ci globalement conductrice.

## 2-2 Etude des paramètres chimiques

### 2.2.1. Cations

- **Calcium  $\text{Ca}^{++}$**

Les ions de calcium existants dans l'eau proviennent de la dissolution des roches carbonatées et des roches gypseuses.

Pour les roches carbonatées, l'apparition du calcium résulte de la dissolution des formations ( $\text{CaCO}_3$ ) par l'attaque chimique des eaux en présence du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ).



A partir des résultats des analyses les valeurs de calcium s'étale de 61.6mg/l (Ain Youkous) à 121.54mg/l (T9).

- **Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )**

L'existence du Magnésium dans les eaux résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations dolomitique. La réaction chimique est accentuée par la présence de l'acide carbonique présente dans l'eau.

Les résultats des analyses des échantillons mettent en évidence la présence du Magnésium ( $Mg^{+2}$ ) en faibles quantités dans tous les échantillons.

Les valeurs de magnésium dosées au niveau des puits varient entre 9.02mg/l (T9) et 62mg/l (Q3-4 BIS).

- **Sodium et potassium ( $Na^+ + K^+$ )**

Présence de ces deux ions dans l'eau est due au lessivage des formations riches en Na Cl et des eaux usées d'origine domestique.

Les valeurs du sodium varient de 13.92 mg/l (Ain Youkous) à 82.2 mg/l (N2-3).

### 2.2.2. Anions

- **Chlorures ( $Cl^-$ )**

Le chlore a plusieurs origines à savoir :

- la dissolution des sols naturels et le lessivage des terrains salifères.
- les engrais chimiques et les pesticides.
- les rejets des eaux usées d'origines domestiques.

A partir des résultats des analyses des échantillons d'eaux, on constate que les teneurs en Chlorures varient de 28.4mg/l au (Ain Youkous) à 214.77mg/l au (Q3-4 BIS).

- **Sulfates ( $SO_4^{-2}$ )**

Les ions Sulfates sont toujours présentent dans les eaux naturelles en quantités variables leur présence dans l'eau résulte :

- De la légère solubilité des sulfates de calcium ( $CaSO_4$ ) des roches gypseuses ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ).
- De l'oxydation des sulfates (pyrites, gypse)
- Des eaux usées industrielles contenant de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4^{-2}$ )
- De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufres. Emie dans l'atmosphère puis entraîné lors des précipitations

Les teneurs en sulfates varient entre 17.76mg/l au (Ain Youkous) à 320 mg/l au (Q3-4 BIS). Ces deux valeurs représentent les teneurs limites en  $SO_4^{-2}$ .

- **Bicarbonates  $\text{HCO}^{3-}$**

la teneur en  $\text{HCO}^{3-}$  dans l'eau dépend d'une certains nombres de paramètres physico-chimiques à savoir :

- la température de l'eau ;
- la concentration du ( $\text{CO}_2$ ) dessous ;
- la concentration de l'eau en sels ainsi que la nature lithologique des terrains traversés.

Les concentrations en ions Bicarbonates qui sont relativement fortes d'après les résultats des analyses des échantillons d'eau relevés au niveau de la nappe.

### **3. Représentation graphique des résultats**

#### **3.1. Détermination des faciès chimiques**

##### **A. Diagramme de piper**

Le diagramme de Piper est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau.

Le diagramme de Piper est l'un des modes de représentation graphique et de classification d'une eau analysée. De forme triangulaire, il est subdivisé en trois zones de faciès. Les nuages de points concentrés dans une zone représentent pour les différents échantillons La combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le but d'utilisation de ce diagramme c'est pour représenter les différents faciès des eaux souterraines on utilisant les éléments majeurs. Les valeurs utilisées sont exprimées en %.

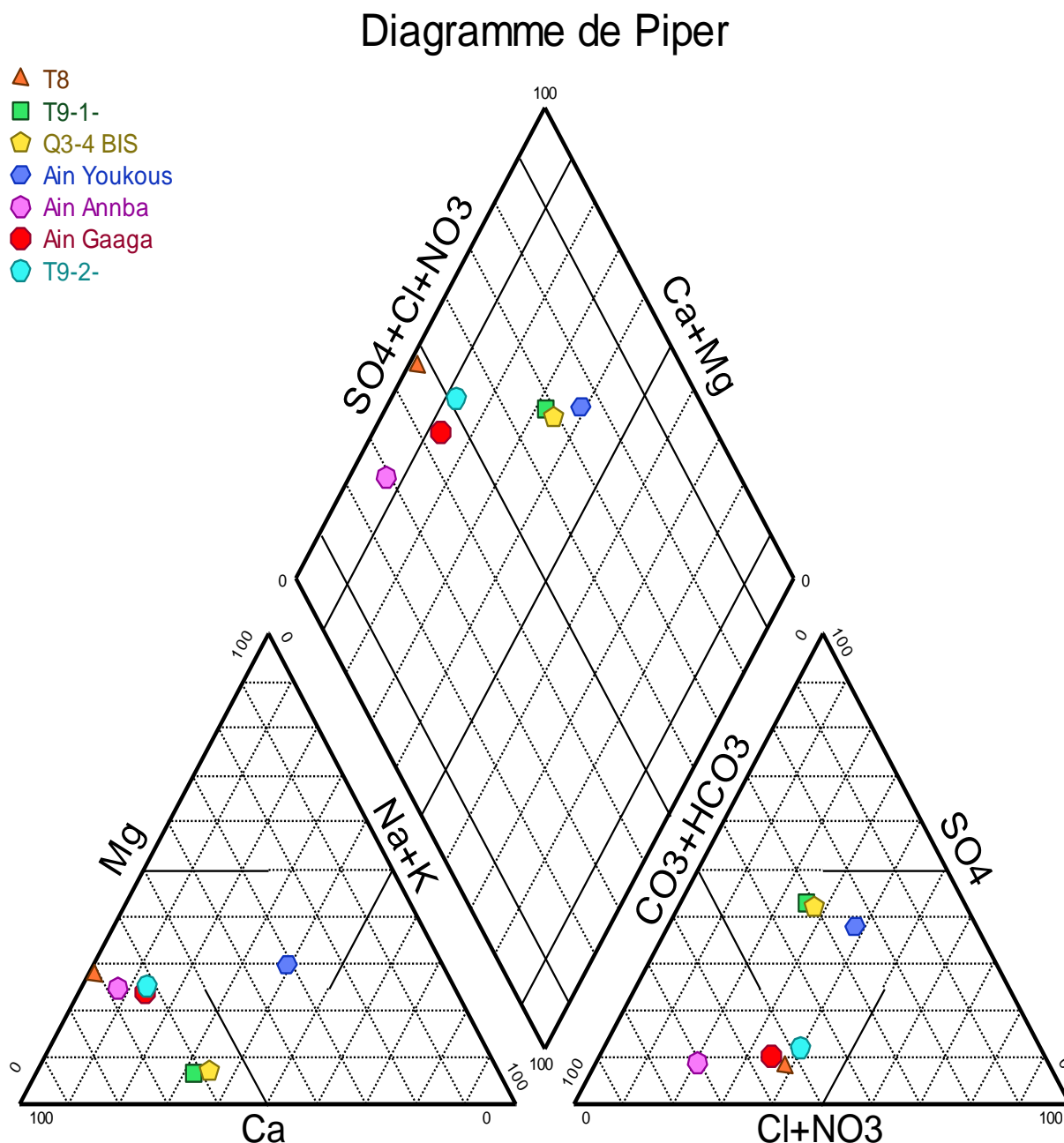
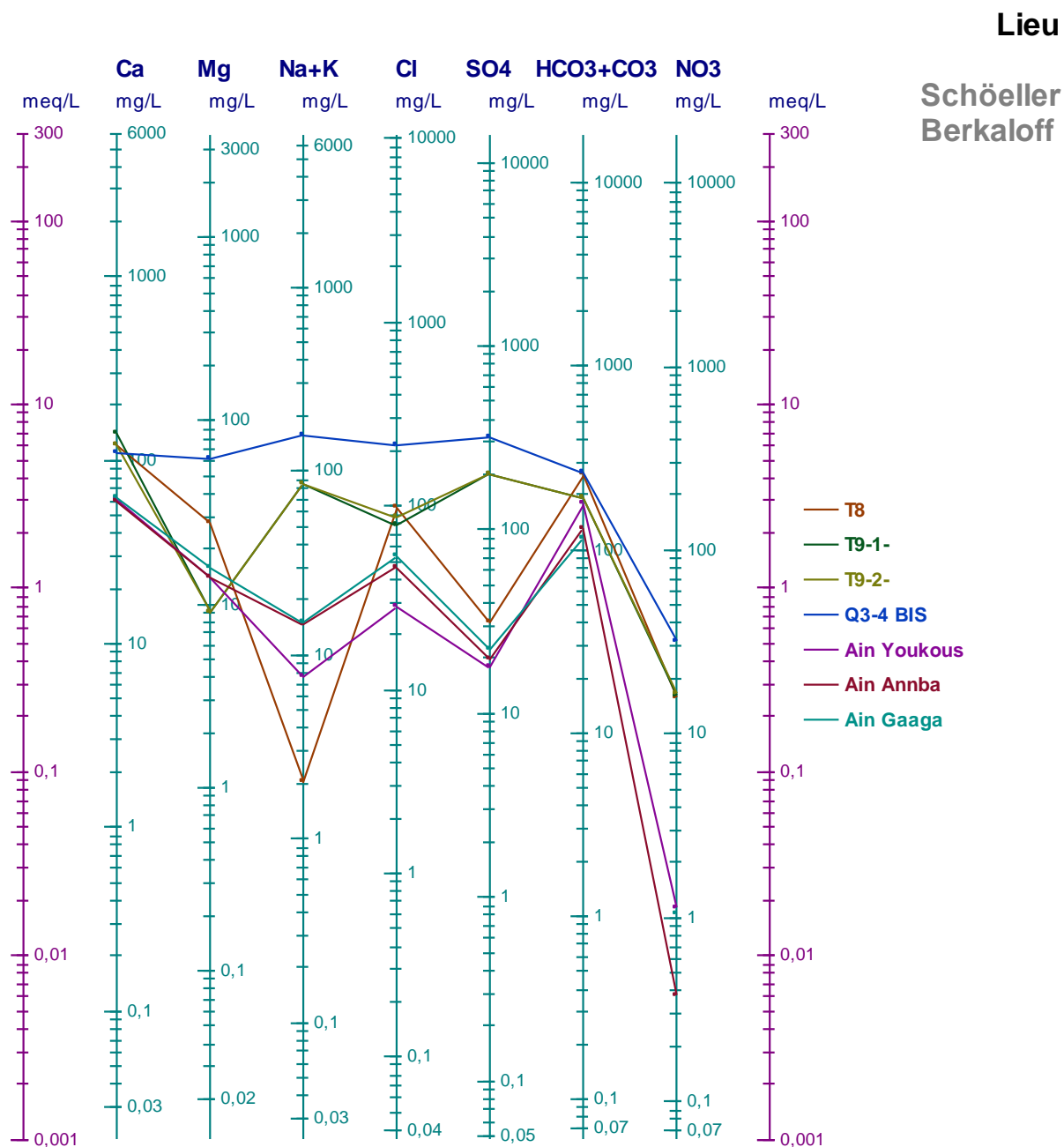


Figure 27: diagramme de piper pour les eaux souterraines de la nappe de Doukkane

Selon la distribution des points des concentrations des éléments chimiques dans le diagramme de Piper (fig.27) ; on observe qu'il y a deux facies dominants pour l'aquifère du Maestrichtien sont : bicarbonaté-calcique (le facies typique des roches carbonatées) et chloruré-calcique, dont les chlorures masquent les bicarbonates vu probablement le lessivage des marnes et des argiles du remplissage.

**B. Diagramme de Schoeller ou Berkaloff**

Ce type de représentation, établie par Schoeller et repris pas Berkaloff, Le diagramme de Schoeller permet entre autres de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine, en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmiques.



**Figure 28: diagramme de Schoeller pour les eaux souterraines de la nappe de Doukkane**

D'une manière générale, l'allure des courbes brisées confirme les faciès chimique suscités et l'appartenance à un seul groupe ce qui confirme la même origine de ces eaux.

#### 4. Etude de l'aptitude des eaux à l'irrigation

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour les sol, pour les plantes.

Pour cela, on utilise la méthode du S.A.R : ce paramètre comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ , par le  $\text{Na}^+$ , dans les argiles et les colloïdes. Il est défini par la relation de Richard (1954) :

$$S.A.R = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}}$$

Avec :

$\text{Na}^+$  : concentration de  $\text{Na}^+$  (méq/L)

$\text{Ca}^{++}$  : concentration de  $\text{Ca}^{++}$  (méq/L)

$\text{Mg}^{++}$  : concentration de  $\text{Mg}^{++}$  (méq/L)

#### -Diagramme de Wilcox

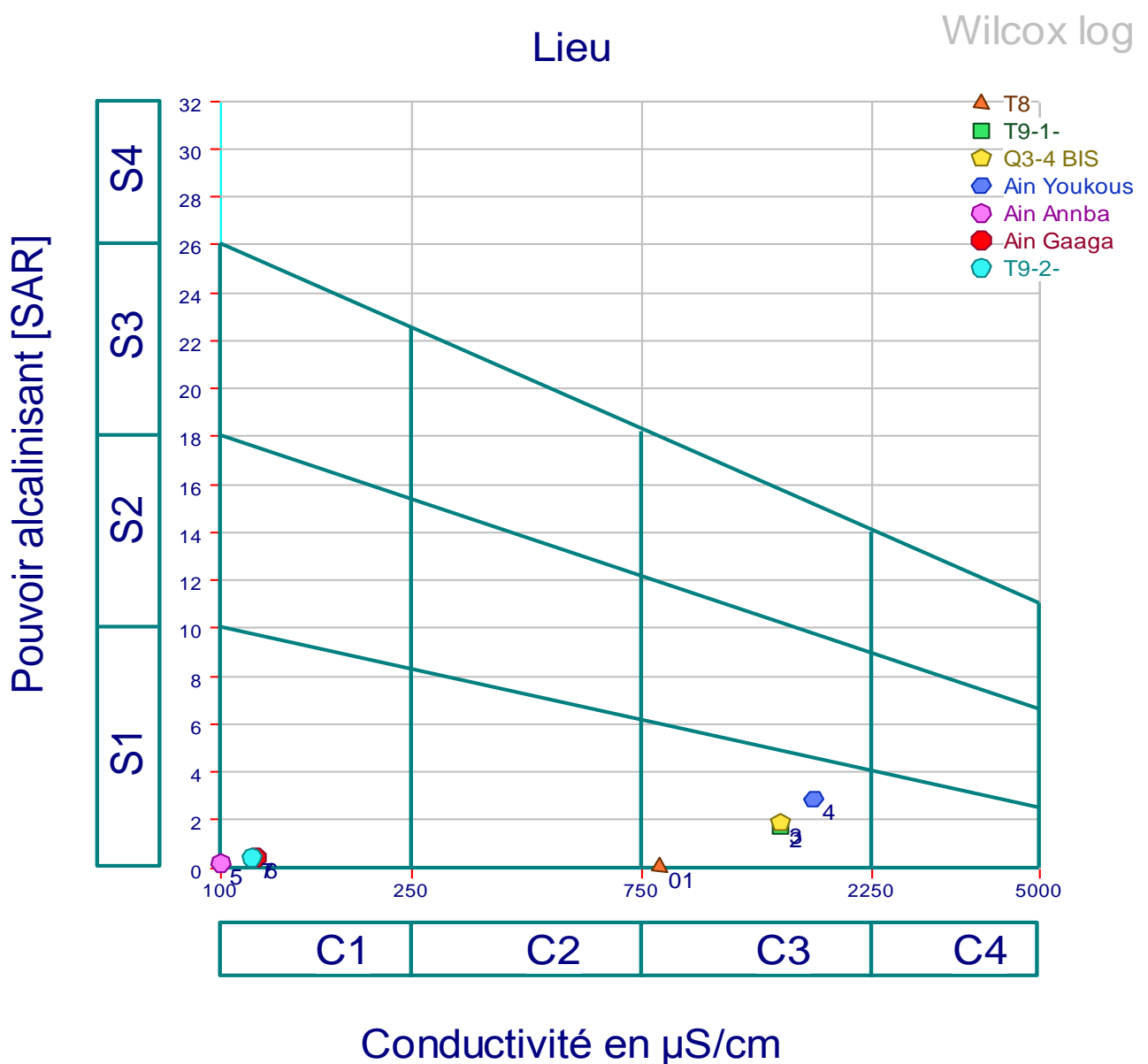
Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR) aussi appelé "pouvoir alcalisant" qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation.

Pour la classification des eaux d'irrigation on a utilisé le diagramme de Wilcox, ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines sur leur aptitude à l'irrigation.

Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

1. Excellente (C1S1) : l'eau utilisée sans danger et sans un control préalable.
2. Bonne (C2S1, C1S2, C2S2) : eau pouvant être utilisé pour l'irrigation sans control particulier.
3. Admissible (C3S1, C3S2, C3S3, C2S3, C1S3) et Médiocre (C4S1, C4S2, C1S4, C2S4) : eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux celles sur un sol ayant une bonne perméabilité et pratiquement sur même cas pour la deuxième classe mais d'une façon extrême.
4. Mauvaise (C3S4, C4S1, C4S4, C3S3) : eau ne convenant pas à l'irrigation.

D'après le Diagramme (fig.29) on montre que



**Figure 29: diagramme de Wilcox des eaux souterraines de la nappe de Doukkane**

D'après le diagramme de Wilcox (fig. 29) ; on note que les forages (T8, T9-1-, Q3-4BIS) et la source d'Ain Youkous ont la classe Admissible (C3S1) qu'ils sont caractérisés par une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux celles sur un sol ayant une bonne perméabilité. Et pour le forage (T9-2-) et les sources d'Ain Annba et Ain Gaaga ont la classe Excellente (C1S1), qu'ils sont caractérisés par une eau utilisée sans danger et sans un control préalable.

## **5. Conclusion**

La qualité des eaux souterraines de la nappe des calcaires fissurés de Dj Doukkane dépend de plusieurs paramètres physiques et chimiques. Leurs variations spatiales sont dues soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution des formations géologiques), soit à une contamination anthropique.

D'après les résultats des diagrammes de Piper et de Schoeller, il y a deux facies dominants pour l'aquifère du Maestrichtien sont : bicarbonaté-calcique (le facies typique des roches carbonatées) et chloruré-calcique, dont les chlorures masquent les bicarbonates vu probablement le lessivage des marnes et des argiles du remplissage.

Et d'après les résultats du diagramme de Wilcox pour étudier l'aptitude des eaux à l'irrigation ; on note que les forages (T8, T9-1-, Q3-4BIS) et la source d'Ain Youkous ont la classe Admissible (C3S1) qu'ils sont caractérisés par une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux celles sur un sol ayant une bonne perméabilité. Et pour le forage (T9-2-) et les sources d'Ain Annba et Ain Gaaga ont la classe Excellent (C1S1), qu'ils sont caractérisés par une eau utilisée sans danger et sans un control préalable.



# **Conclusion générale et Recommandations**

### Conclusion générale

Ce travail a pour objectif le renforcement de l'alimentation en eau potable de la région après une période de détresse importante, et après le rabattement considérable de la nappe de Tébessa-Morsott.

L'étude géologique a montré la présence de plusieurs formations de compositions minéralogiques différentes et de diverses propriétés litho-stratigraphiques (argile, sable, grès, gypse, marnes, cailloutis, calcaires). Les calcaires fissurés affleurent sur les bordures pourraient jouer un rôle important dans les apports latéraux en eau. Les formations meubles siègent au centre de la plaine et constituent les dépôts de remplissage du bassin d'effondrement.

Le climat de la région est semi-aride, la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 394.98 mm/an notant la densité des pluies orageuses pendant les mois de l'été.

Le calcul du bilan hydrique, par la méthode de Thornthwaite, a montré que la région est déficitaire, à cause de l'utilisation des moyennes (ETR de l'ordre de 359.96mm, et un déficit qui tourne autour de 813.78 mm).

Ce déficit influe également sur le renouvellement des réserves d'eau souterraines.

Les études géologiques, géophysiques et hydrogéologiques ont permis de définir deux aquifères ; l'aquifère des calcaires Maestrichtiens qui est très important aux bordures, et l'aquifère des calcaires du Turonien qui est susceptible d'être un bon réservoir qui n'est pas encore exploré.

L'étude hydrochimique permet de définir le facies dominant de l'aquifère du maestrichtien d'une part et de connaître des informations sur l'aptitude des eaux à l'irrigation : selon les résultats des diagrammes de Piper et Wilcox, on observe qu'il y a deux facies dominants pour l'aquifère du Maestrichtien sont : bicarbonaté-calcique (le facies typique des roches carbonatées) et chloruré-calcique, dont les chlorures masquent les bicarbonates vu probablement le lessivage des marnes et des argiles du remplissage.

Et d'autre part, de connaître des informations sur l'aptitude des eaux à l'irrigation par les résultats du diagramme de Schoeller : que les forages (T8, T9-1-, Q3-4BIS) et la source de Ain Youkous, ont la classe Admissible (C3S1), qu'ils sont caractérisés par une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux celles sur un sol ayant une bonne perméabilité. Et pour le forage T9-2- Et

les sources d'Ain Anba et Ain Gaaga ont la classe Excellent (C1S1), qu'ils sont caractérisés par une eau utilisée sans danger et sans un control préalable.

### Recommandations

Vue la sécheresse qui a touché la région pour les deux derniers décennies, et le rabattement important de la nappe de Tébessa- Morsott, nous a poussé a beaucoup réfléchir sur le ressort de cette localité et, proposé des solutions qui peuvent être utile dans l'avenir.

- Pousser les études et l'exploration des calcaires du Turonien de la région, comme il a été procédé chez nos voisins les Tunisien, et qui a donné des très bon résultats.
- Instauré une gestion intégrée de la ressource hydrique en se basant sur les nouvelles techniques.
- Utilisation des eaux de la station d'épuration de Tébessa dans l'irrigation et pourquoi pas l'alimentation artificielle de la nappe.
- Lutter contre tous type de pollution de cette ressource et pénalisé les responsables de cette dernière.
-

**Bibliographie :**

**Algérienne des eaux :** analyses chimiques des forages.

**Bouteraa. M (2012).** Risque de contamination des eaux souterraines par les eaux usées urbaines en zone semi-aride. Exemple des rejets de la ville de Tébessa. Mémoire de magister. Département de la géologie de Tébessa.

**Duroy G. (1956) :** Carte géologique de Tébessa. Feuille 206

**DHW :** rapport des forages (T9, TUBIS, Q3-4BIS, T8).

**Chikha.BB et Debbar.H (2017), Etude hydrogéologique région de** application de la télédétection et SIG, département de la ....

**Ghalmi. S (2012).** Relation et fonctionnement des sources corniche calcaires issues de la de Djebel Bouziane-Gaaga. Mémoire de magistère. Région de Hammamet-Gaaga. Département de la géologie Tébessa. p (12-14)

**Gherieb. L (2007).** Impact des formations triasiques sur les eaux d'une plaine en zone semi-aride CAS DE LA PLAINE Bekkaria –Tébessa (extrême Est Algérien). Mémoire de magistère Université de Badji-Mokhtar –Annaba .p (13-14).

**Guefaïfia. O (2007).** Identification et caractéristiques d'un milieu Karstiques et sa contribution à l'alimentation ou du champ captant : Hammamet-Ain Chabro. Cas de la zone de Bouakkous-Hammamet. Région de Tébessa thèse de Doctorat Université de Badji-Mokhtar –Annaba. P36, p110.

**HAFID. F (2012).** Mise en évidence d'une alimentation du champ captant, Ain Chabro-Hammamet, par les formations calcaires de Youkous. Mémoire de Magistère, université de Tébessa.

**Hamad. O (Modélisation et intérêt hydrogéologique des réservoirs carbonaté Karstiques :** Contribution de SIG (2D/3D), des données géophysique et approche hydrochique et isotopique-cas du bassin transfrontalier (Tébessa -Kassrine/ Algérie-Tunisie). Doctorat LMD. Univrsit2 de Tébessa. (Annex).

**Kachi.S (2007).** Vulnérabilité de la nappe alluviale Tébessa-Morsott face aux polluants. Thèse de Doctorat d'état Université de Badji-Mokhtar –Annaba.p9,p19,p30.

**Lekkrine R. (2018).** Contribution à la reconnaissance de Karstiques calcaires l'aquifère du Maestrichtien de la région de Tébessa Nord Est Algérien. Thèse de Doctorat LMD. p (33-60), p61.

**Mimoun.S et Zoubéidi.B(2014)** Problème de vulnérabilité des eaux souterraines de la région Sud-Est Algérien. Mémoire de master université d'Eloued.p (38-42).

**MTPHC :** Carte structurale de positionnement des sondages électrique, compagnie générale de géophysique, profil géophysique (O) et (P).

**Rahal. O (2015).** Mise en évidence de l'origine de la salinité des eaux souterraines de la nappe de Meskiana Nord Est Algérien. Université de Tébessa .p58, p (60-64), p (91-94).

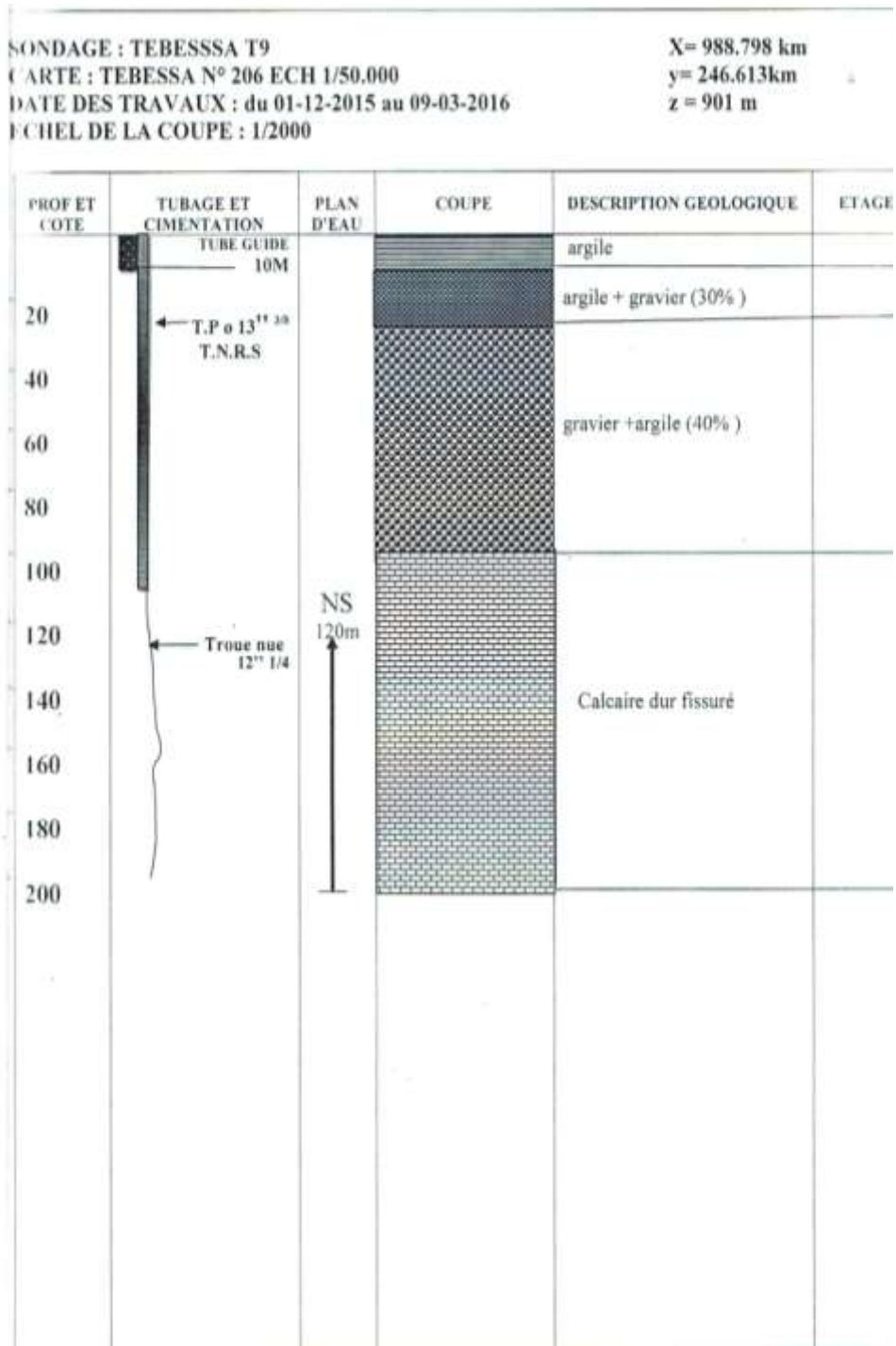
**Slatena.DA et Selatna.A(2016)** Etude de réalisation d'un forage Albien et interprétation par méthode diagraphie cas forage sidi khouiled. Mmoire de master, université KasdiMerbehOurgla.

**Zerreg.S** (2018). Impact de l'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la région semi-aride .Cas de la région de Tébessa. Université de Batna Mostafa Ben Boulaid.p73.

**Site web**

[www.agronomie.inf](http://www.agronomie.inf) »type-d'essai de pompage.

# **Annex**

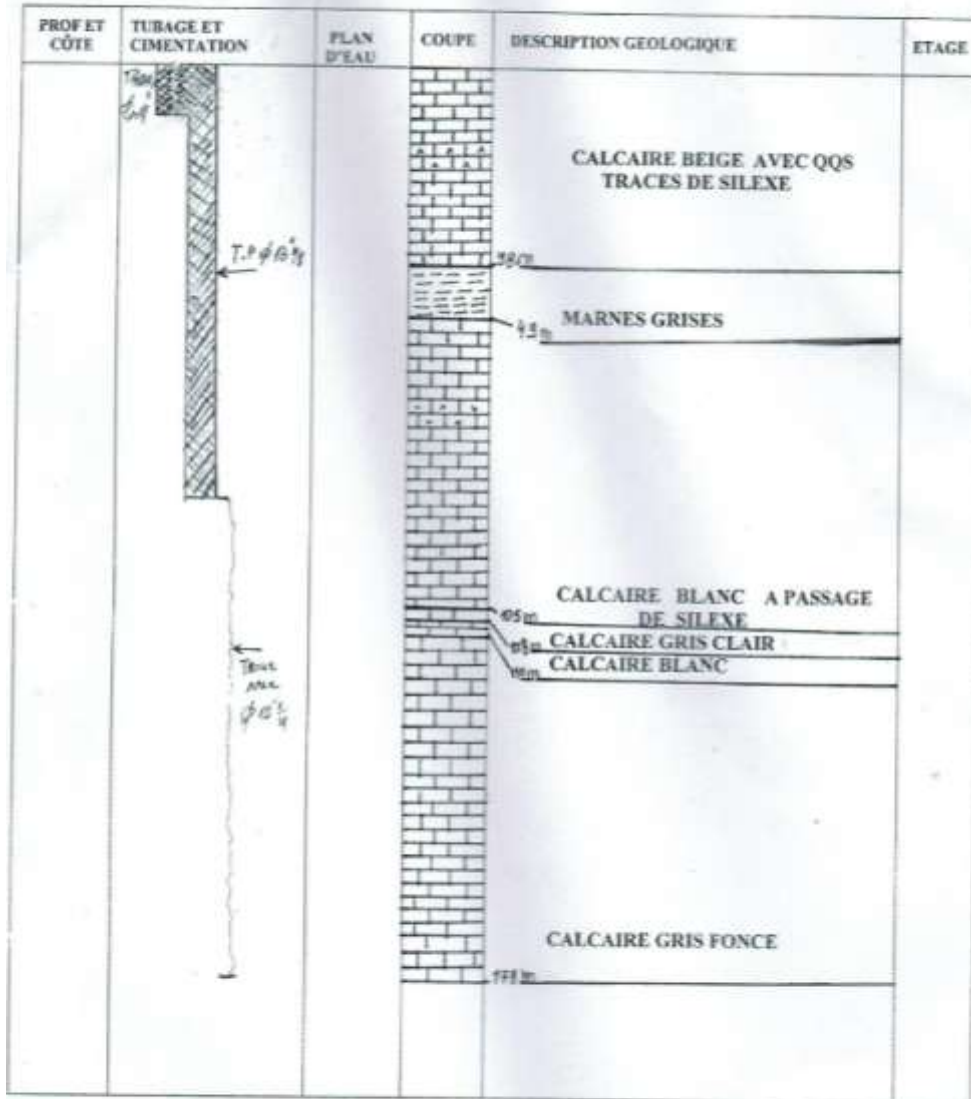


Mise à jour par : Kouidri Linda

le : 26-01-2018

SONDAGE : TEBESSA /TU.BIS  
 CARTE : TEBESSA N° 206 ECHELLE/1/5000  
 DATE DES TRAVAUX : du 10/10/2007AU 10/06/2008  
 ECHELLE DE LA COUPE:1/1000

X = 992.500 Km  
 Y = 246.250 Km  
 Z = 940 m



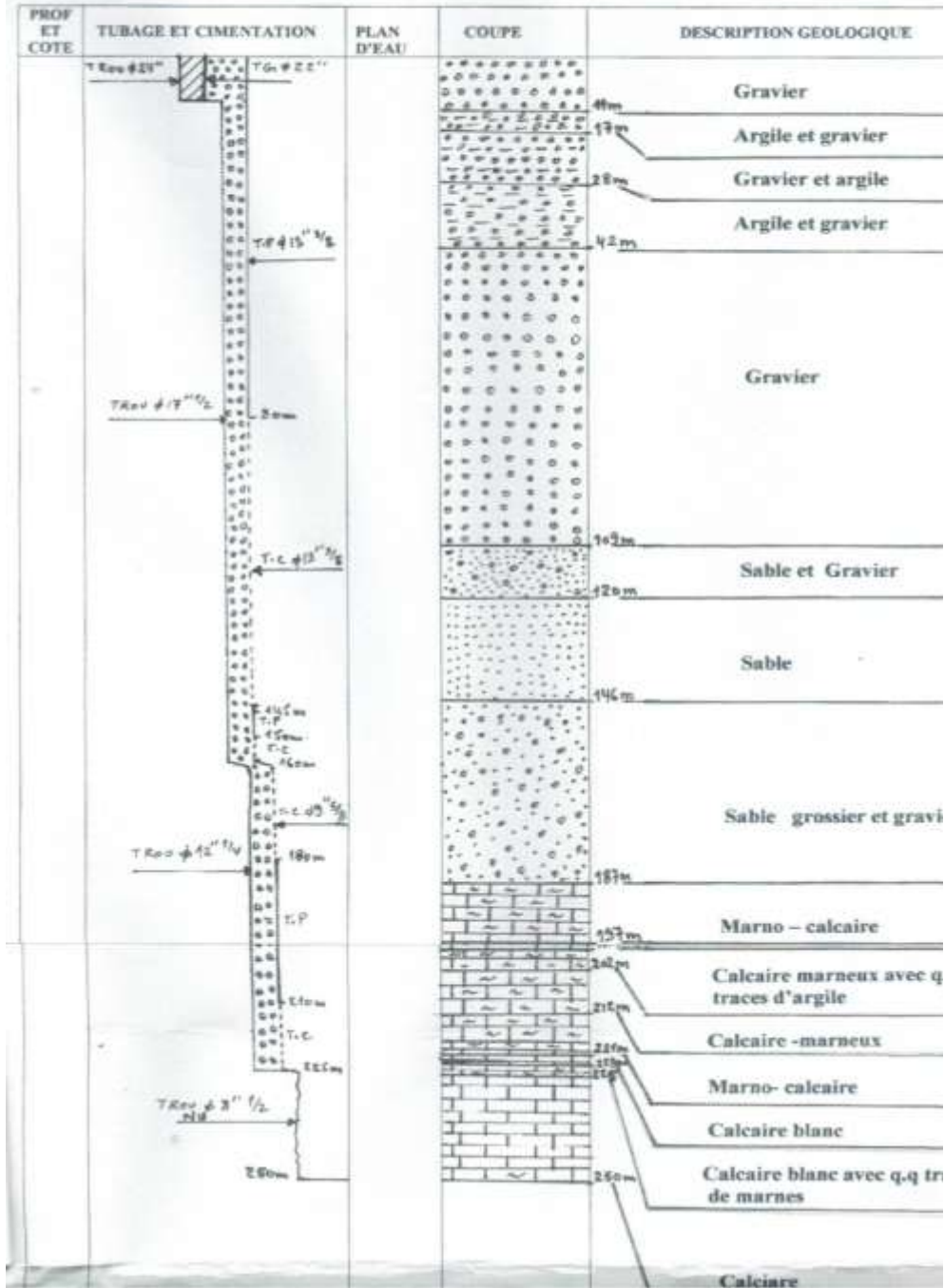
Mise à jour par : KOUIDRI L.

LE :22/04/2009



**SONDAGE : TEBESSA Q3-4 BIS**  
**CARTE : TEBESSA N° 206 Ech1/50.000**  
**DATE DES TRAVAUX : du 01/04/2004 au 25/06/2004**  
**ECHELLE DE LA COUPE : 1/1000**

X= 991.730 Km  
 Y= 248.035 Km  
 Z= 857.5 m





## ملخص

تنتهي منطقة الدراسة الى الاطلس الصحراوي حيث يتكون حوض تبسة مرسط من صخور كلسية على الاطراف صخور فتاتية في الوسط، متوزعة بشكل منتظم، مكونة بذلك خزانا مائيا ذو طبقات مائية متراكمة، اين تجري المياه في مسار متدرج وفي اتجاه من الشرق الى الشمال الغربي وتتغذى بنسبة ضئيلة من كمية الامطار.

نظرا للاستغلال الكثيف للآبار العميقة الموجودة في المائدة المائية تبسة مرسط، لتزويد سكان المنطقة بالمياه الصالحة للشرب ومع فترة طويلة من الجفاف ظهر انخفاض عام على مستوى المائدة المائية، جفاف الآبار منخفضة العمق وكذلك نضوب المنابع وهذا ما انعكس على نوعية وكمية المياه الجوفية.

حتى لا تصبح هذه الموارد المائية عائقا امام النمو الاقتصادي بالمنطقة لا بد من التسيير العقلاني ومنع الاستهلاك العشوائي.

**كلمات مفتاحية:** صخور كلسية، صخور فتاتية، خزانا مائيا، المائدة المائية، جفاف الآبار.

# Abstract

The Saharan Atlas. In the basin of Tebessa-Morsott, formations of limestone are borders and sedimentary rock sit on the Center, spread evenly in the plain, and are stacked water aquifer system. A flow compartmentalizes groundwater is done according to a Southeast direction to the Northwest. Infiltration let percolate as a small percentage of precipitation.

Because of the intensive exploitation of drilling of the tablecloth Tebessa-Morsott to provide drinking water to the population of the region and the long period of drought experienced by the region, there has been a general drawdown of the piezometric level of the tablecloth, a drying out of the shallow wells and a drying up of the sources.

This thus passed on to the quality and quantity of the waters of the tablecloth. To avoid this resource becomes a factor limiting the growing...

**Keywords :** limestone, sedimentary rock, stacked water, groundwater, piezometric, shallow wells.

# Résumé

La zone d'étude appartient à l'Atlas saharien. Dans le bassin de Tebessa-Morsott, les formations de calcaires constituent les bordures et les formations meubles d'origine continentale siègent au centre et se répartissent uniformément dans la plaine et constituent un système aquifère à nappe empilée. Un écoulement des eaux souterraines se fait suivant une direction Est vers le Nord-Ouest. L'infiltration ne laisse percoler qu'un faible pourcentage des précipitations.

En raison de l'exploitation intensive des forages de la nappe Tebessa-Morsott pour fournir de l'eau potable à la population de la région et la longue période de sécheresse qu'a connu la région, il s'est produit un rabattement général du niveau piézométrique de la nappe, un assèchement des puits de faible profondeur et un tarissement des sources. Ce qui répercuté ainsi sur la qualité et la quantité des eaux de la nappe.

Pour éviter que cette ressource ne devienne un facteur limitant du développement de la région de Tebessa, une gestion appropriée des ressources disponible, une planification des usages est nécessaire.

**Mots clés :** formations de calcaires, les formations meubles, système aquifère, la nappe, assèchement des puits.

# Dédicaces

A mon mari **ABDELKRIM**  
Pour sa compréhension et son encouragement ;

A la mémoire de mon défunt **Père**,  
Que Dieu tout puissant lui accorde grâce et miséricorde ;

A ma **Mère** bien-aimée, si Dieu le veut, seigneur, guéris-la  
Et donne sa couronne sur ma tête ;

A mes belles et belles **filles** ;

A mes **sœurs** et mes **frères** et leurs familles ;

A tous les miens et proches.

**RABIAA**

# Dédicaces

Je dédie ce travail ;

## **A ma très chère mère**

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

## **A mes très chers frères**

Qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

## **A mon très cher mari**

quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie, mon âme sœur et la lumière de mon chemin.

Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.

## **A ma chère famille, mes proches**

Et à ceux qui me donnent de l'amour et de l'encouragé durant ces années d'études.

## **A tous mes amies**

Qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès

A tous ceux que j'aime.

Merci

**\*Menal\***

# Remerciement

Avant tout je remercie le bon dieu qui nous avons aidés à l'élaboration de ce travail.

A l'issu de cette étude, je tiens à remercier tout particulièrement:

Notre directeur de mémoire, Monsieur BAALI Fathi, Professeur à l'université de Tébessa, que va toute nous respectueuse gratitude pour l'encadrement, soutien moral, sa gentillesse et ses conseils qu'il a toujours le long de ce travail. Il a su manifester une grande patience à notre égard et un vif intérêt pour ce travail.

Nous tiens aussi à remercier Monsieur MOUICI Ridha, Docteur à l'université de Tébessa, pour avoir accepté de suivre ce mémoire. Tous ses conseils, ses orientations et ses contacts ont été essentiels à la réussite de ce travail.

Nous tiens à remercier Mr. Professeur à l'université de Tébessa, pour avoir accepté d'honorer la présidence du jury.

Ma profonde gratitude s'adresse à tous les enseignants de département de science de la terre de l'Université de Tébessa.

Nous remercie, le personnel de la station météorologique de Tébessa, qui a mis à notre disposition les données climatiques de la région d'étude.

Notre remerciements vont également à tout le personnel des organismes au niveau de la wilaya de Tébessa, on particuliers l'A.D.E ,l'A.N.R.H et DHW.

Nous gardons pour la fin ceux qui nous avons les plus chers :notre famille, qui sont appris à donner le meilleure, pour leur soutien morale et matériel. Et puis à tous les amis qui n'ont tant apportés. Pour tous, alors tout simplement Merci.