

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

**Université d'EL-Oued**



**Faculté de Technologie**

**Département d'Hydraulique et Génie Civil**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique**  
**Option : *Conception et Diagnostic des systèmes d'AEP et d'assainissement***

**MEMOIRE**

**THEME:**  
**Evaluation des paramètres hydrogéochimiques  
des eaux souterraines dans une région aride,  
cas de la région d'El-Oued (Sud-Est Algérien)**

**Dirigé par :**  
Mme: ZAIR Nadjat

**Présenté par :**  
ALLAG Abdesalam  
NACER Maroua

**Promotion: Juin 2019**

# Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

✚ *A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais*

*cessé de prier pour moi.*

✚ *A mon très cher père (Rabi yarhmak w yaj3al mathwah al jana).*

✚ *Et a mes sœurs et mon frère, pour tout le soutien et les encouragements.*

✚ *A mes meilleurs amis.*

En fin, je remercie a tous ceux ou celles qui ont contribué de prés ou de lion à la réalisation de

ce modeste travail.

**NACER Maroua**

# Dédicace

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-nous de citer les noms comme un mémorandum pour ceux qui

ont une place particulière :

✚ *A Mon Chère Père.*

✚ *A Ma Chère Mère.*

✚ *A Mes Chères Frères et Sœurs.*

✚ *A Tous Mes Cousins sans exception*

✚ *A Toute Mes Familles*

✚ *A Tous Mes amis sans exception.*

✚ *Je vous offre ce travail à mon épouse de futur et sa famille*

**ALLAG Abdesalam**

# Remerciements

Au terme de ce travail, on remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la Santé et la patience qu'il nous donné durant tous ces années d'étude.

Nous tenons à remercier vivement aussi notre encadreur madame **ZAIR NADJET** pour son aide, ses précieux conseils et son soutien tout au long de notre formation, et aussi plus particulièrement pour sa patience, ses encouragements et sa direction vigilante de notre travail de recherche.

D'exprime également mes remerciements les plus sincères à monsieur **Gomri Ali** pour toute son aide et ses précieux conseils.

Nous exprimons également notre gratitude aux enseignants du département d'hydraulique et génie civil.

Nous tenons à remercier également d'avance, les professeurs de jury, qui vont examiner cet humble travail afin de l'enrichir de leurs précieux conseils et corrections.

Nos remerciements aussi ADE d'EL OUED, notamment le directeur et les ingénieurs, et les personnels de ONA.

Notre profond remerciement pour nos familles pour leurs patiences et nos collègues pour leurs encouragements.

Un grand merci pour ceux et celles qui nous ont aidé de près ou de loin toute la durée de notre parcours éducatif.

**ملخص:**

منطقة وادي سوف هي وحدة للموارد المائية تقع في الجنوب الشرقي الجزائري حيث تخر بمخزون جوفي كبير يتمثل في: طبقة المتداخل القاري (CT) وطبقة المركب النهائي (CI).

أكثر المياه المخصصة لتغذية السكان تستخرج من طبقة المتداخل القاري الأولى (CT).

تمثل الطبيعة الكيميائية لهذه الطبقة مشاكل عديدة منها التركيز المعدني الكبير بالإضافة إلى التركيز المرتفع لعدة عناصر و الذي تجاوز الحد المسموح به من طرف المنظمة العالمية لصحة (OMS).

إن الهدف من هذا العمل هو تحديد العناصر الهيدروجيولوجية لمياه هذه الطبقة.

و من خلال النتائج المحصل عليها وبعد تطرقنا لعدة خطوات للمعالجة (رسم بياني - أداة إحصائية) نستنتج أن تركيز المعدنية مرتفعة سببها الرئيسي جيولوجي، أي أنها متعلقة بتركيب الطبقات. يبقى في الأخير أن المشكل الأساسي لمياه طبقة المتداخل القاري الأولى (CT). لمدينة وادي سوف يقع في نوعية، وهذا ما يستلزم وضع قوانين من أجل تحسين استغلاله وتحسين تركيبته النوعية وبحيث تضمن هذه القوانين معايير مياه الشرب العالمية قبل وضعها للاستهلاك.

**كلمات المفتاحية:** المتداخل القاري ، المركب النهائي، الهيدروجيولوجية، التركيز المعدني ، التأثير النوعي.

**Résumé :**

La région d'Oued-Souf est une unité de ressource en eau située au sud-est algérien. Elle possède un réservoir très important présentant sous forme de deux nappes : la nappe du complexe Terminal (Pontien), la nappe du Contionetal Intercalaire (Albien).

Dont la quasi-totalité des eaux destinées à la l'alimentation de la population sont des eaux du complexe Terminal.

La qualité chimique de ces eaux (Pontien) pose un grand problème, tel que la salinité, la minéralisation forte et la concentration de certains éléments qui dépassent les normes recommandées par l'OMS.

L'objectif de cette étude est de déterminer les paramètres hydrogéologique de cette région.

Les résultats obtenus et traités par différentes méthodes, diagramme et outil statistique permettent de conclure que la minéralisation des eaux est d'origine géologique. Le problème essentiel des eaux du complexe Terminal de la vallée d'Oued-Souf est un problème de qualité,

## ***RESUME***

---

pour cela il faut exiger des critères rigoureux pour améliorer la qualité chimique des eaux et garantir sa potabilité selon les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs.

**Mots clés** : Complexe Terminal, Continental Intercalaire, hydrogéologique, Minéralisation, Qualité chimique.

**Sommaire**

	<b>Pages</b>
Introduction générale	<b>01-04</b>
<b>Chapitre I: Présentation de la région du souf</b>	
I.1 Situation géographique de la région du Souf	<b>06</b>
I.2 Les peuplement du Souf	<b>08</b>
I.3 Relief et topographie de la région du souf	<b>10</b>
I.4 Géologie de la région du Souf	<b>10</b>
I.4.1 Stratigraphie régionale	<b>11</b>
I.4.1.1 Formation de l'ère Secondaire	<b>11</b>
I.4.1.2. Formations de l'ère Tertiaire	<b>13</b>
I.4.1.3 Formations du Quaternaire	<b>14</b>
I.4.2 Géomorphologie	<b>15</b>
I.4.2.1 Tercha	<b>15</b>
I.4.2.2 Louss	<b>16</b>
I.4.2.3 Salsala ou Smida	<b>16</b>
I.4.2.4 Tefza	<b>16</b>
I.4.3 Interprétation des coupes	<b>16</b>
I.4.4 Tectonique	<b>19</b>
Conclusion	<b>20</b>
<b>Chapitre II: Hydroclimatologie</b>	
II.1 Introduction	<b>22</b>
II.2 climatologie	<b>22</b>
II.3 Données climatologiques pour la région d'El Oued	<b>23</b>
II.3.1 La température	<b>23</b>
II.3.2 Etude des precipitations	<b>24</b>
II.3.3 L' Humidité	<b>26</b>
II.3.4 L'Evaporation	<b>27</b>
II.3.5 Vitesse du vent	<b>27</b>
II.4 Synthèse climatique	<b>29</b>
II.4.1 Diagramme Ombrothermique de Gaussen	<b>29</b>
II.4.2 Indice d'aridité de DE MARTONE	<b>30</b>
II.5 Détermination des facteurs du bilan hydrique	<b>31</b>

II.5.1 L'évapotranspiration ( ET )	31
II.5.1.1 L'évapotranspiration réelle ( ETR )	31
II.5.1.2 L'évapotranspiration potentielle ( ETP )	32
II.6 Conclusion	34

**Chapitre III: Hydrogéologie**

III.1 Introduction	36
III.2 Cadre hydrogéologique	36
III.2.1 Nappe Phréatique	38
III.2.2 Nappe Complexe Terminal	39
III.2.2.1. L'exutoire du CT	41
III.2.2.2 L'exploitation de CT dans la région du Souf	41
III.2.3 Nappe du Continental Intercalaire	43
III.2.3.1 L'exutoire du CI	44
III.2.3.2 Piézométrie et direction des écoulements	45
III.3 Piézométrie	47
III.3.1 Interprétation de la carte piézométrique (2017)	48
III.4 Conclusion	49

**CHAPITRE IV Etude hydro-chimique**

IV.1. Introduction	51
IV.2. Méthodes et stratégie de travail	51
IV.2.1. Prélèvements	51
IV.2.2. Mesures in situ	51
IV.2.3. Analyse des éléments chimiques	51
IV.3. Paramètres physico-chimiques	45
IV.3.1. Paramètres physiques	52
IV.3.1.1. Température	52
IV.3.1.2. Potentiel d'hydrogène (PH)	53
IV.3.1.3. La conductivité électrique	54
IV.3.2. Paramètres chimiques	55
IV.3.2.1. Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	55
IV.3.2.2. Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	56
IV.3.2.3. Sodium (Na <sup>+</sup> )	57
IV.3.2.4. Potassium (K <sup>+</sup> )	58

## Sommaire

---

IV.3.2.5. Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	58
IV.3.2.6. Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	60
IV.3.2.7. Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	60
IV.3.2.8. Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	61
IV.4. Caractéristiques chimiques des eaux	63
IV.4.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques	63
IV.4.2. Formule caractéristique de STABLER	64
IV.4.3. Diagramme de PIPER	66
IV.4.4. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF	66
IV.5 Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants	71
IV.5.1 Le couple Ca <sup>2+</sup> -- (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	71
IV.5.2 Le couple Na <sup>+</sup> – Cl <sup>-</sup>	72
IV.5.3 L'échange de base	72
IV.5.4 Le couple Ca <sup>2+</sup> -- HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	73
IV.5.5. La relation Ca <sup>2+</sup> -- Mg <sup>2+</sup>	73
IV.6. Qualité chimique des eaux	74
IV.6.1. Potabilité des eaux (Norme et qualité)	74
IV.6.1.1. Selon l'O.M.S	74
IV.7. Conclusion	78
Conclusion générale	80-81
Références bibliographiques	
Annexes	

**Liste des figures**

	<b>Pages</b>
<b>Figure 1</b> carte de situation de la wilaya d'el-oued	<b>7</b>
<b>Figure 2</b> carte de situation des communes de la wilaya d'El Oued.	<b>8</b>
<b>Figure 3</b> Cartes géologiques du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).	<b>13</b>
<b>Figure 4</b> Log de forage Albien F3, Cité 19 Mars El Oued(D. R. E, 2019).	<b>15</b>
<b>Figure 5</b> Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).	<b>17</b>
<b>Figure 6</b> Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).	<b>18</b>
<b>Figure 7</b> Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989)	<b>19</b>
<b>Figure 8</b> Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C) Durant la période (1978-2017).	<b>23</b>
<b>Figure 9</b> Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) Durant la période (1978-2017).	<b>24</b>
<b>Figure 10</b> Variation interannuelle des précipitations (1978-2017)	<b>25</b>
<b>Figure 11</b> Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (1978-2015)	<b>26</b>
<b>Figure 12</b> Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne à la station de	<b>27</b>
<b>Figure 13</b> Histogramme de répartition des vitesses du vent (station El-Oued)	<b>28</b>
<b>Figure 14</b> Diagramme Ombrothermique de Gaussen du Souf (1978-2017	<b>29</b>
<b>Figure 15</b> .moyenne pluriannuelle des elements climatique	<b>33</b>
<b>Figure 16</b> Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) .	<b>37</b>
<b>Figure 17</b> Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006) Modifier.	<b>39</b>
<b>Figure 18</b> Piézométrie du Complexe Terminal (OSS, 2003).	<b>40</b>
<b>Figure 19</b> Coupe hydrogéologique de l'El-Oued	<b>42</b>
<b>Figure 20</b> Les zones de recharge de CI (OSS, 2015) Modifier.	<b>44</b>
<b>Figure 21</b> Carte géologie avec le sens d'écoulement des aquifères CT et CI (UNESCO, 1972).	<b>47</b>
<b>Figure 22</b> Carte piézométrique des eaux souterraines de la région d'El-Oued (2017).	<b>48</b>
<b>Figure 23</b> la carte de la répartition des points de prélèvements dans la région d'El-Oued.	<b>52</b>
<b>Figure 24</b> Carte de variation des teneurs de PH (mol/l)	<b>53</b>

<b>Figure 25</b> Carte de variation des teneurs de conductivité s/cm.	<b>55</b>
<b>Figure 26</b> Carte de variation des teneurs de $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l).	<b>56</b>
<b>Figure 27</b> Carte de variation des teneurs de $\text{Mg}^{2+}$ (mg/l).	<b>57</b>
<b>Figure 28</b> Carte de variation des teneurs de $\text{Na}^+$ (mg/l).	<b>59</b>
<b>Figure 29</b> Carte de variation des teneurs de $\text{K}^+$ (mg/l).	<b>59</b>
<b>Figure 30</b> Carte de variation des teneurs de $\text{Cl}^-$ (mg/l).	<b>60</b>
<b>Figure 31:</b> Carte de variation des teneurs de $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l	<b>62</b>
<b>Figure 32:</b> Carte de variation des teneurs de $\text{HCO}_3^-$ (mg/l).	<b>62</b>
<b>Figure 33:</b> Carte de variation des teneurs de $\text{NO}_3^-$ (mg/l).	<b>64</b>
<b>Figure 34:</b> Diagramme de STABLER.	<b>65</b>
<b>Figure 35:</b> Diagramme de PIPER, (F01 à F17).	<b>67</b>
<b>Figure 36</b> Diagramme de PIPER, (F18 à F33).	<b>67</b>
<b>Figure 37</b> Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (F01 à F14)	<b>68</b>
<b>Figure 38</b> Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (F15 à F24)	<b>69</b>
<b>Figure 39</b> Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (F25 à F33).	<b>70</b>
<b>Figure 40</b> Le couple $\text{Ca}^{+2}$ -( $\text{HCO}_3^-$ + $\text{SO}_4^{-2}$ ).	<b>71</b>
<b>Figure 41</b> Droite de régression entre ( $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ ).	<b>72</b>
<b>Figure 42</b> Echange de base 2017.	<b>72</b>
<b>Figure 43</b> Droite de régression entre ( $\text{Ca}^{2+} -- \text{HCO}_3^-$ ).	<b>73</b>
<b>Figure 44</b> Droite de régression entre ( $\text{Ca}^{2+} -- \text{Mg}^{2+}$ ).	<b>73</b>
<b>Figure 45</b> Concentration de calcium.	<b>75</b>
<b>Figure 46</b> Concentration de Magnésium.	<b>75</b>
<b>Figure 47</b> Concentration de Sodium.	<b>76</b>
<b>Figure 48</b> Concentration de Chlorure.	<b>76</b>
<b>Figure 49</b> Concentration de Sulfate.	<b>77</b>
<b>Figure 50</b> Concentration de Potassium.	<b>77</b>

**Liste des tableaux**

	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1</b> Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued.	<b>9</b>
<b>Tableau 2</b> températures moyennes mensuelles durant la période (1978-2017).	<b>23</b>
<b>Tableau 3</b> précipitations moyennes mensuelles (mm) durant la périodes (1978-2017).	<b>24</b>
<b>Tableau 4</b> Précipitations moyennes annuelles (1978-2017).	<b>25</b>
<b>Tableau 5</b> Humidité relative moyenne mensuelle (1978-2015	<b>26</b>
<b>Tableau 6</b> Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en % (1986-2009).	<b>27</b>
<b>Tableau 7</b> Moyenne mensuelle des vitesses des vents (1993- 2015)	<b>28</b>
<b>Tableau 8</b> Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	<b>29</b>
<b>Tableau 9</b> Type de climat selon la classification par De Martonne.	<b>30</b>
<b>Tableau 10</b> C.W.Thornthwaite. Bilan hydrique 1978 -2017	<b>32</b>
<b>Tableau 11</b> Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.	<b>46</b>
<b>Tableau 12</b> Classification des eaux en fonction de la conductivité	<b>54</b>
<b>Tableau 13</b> Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER	<b>64</b>
<b>Tableau 14</b> Classification des eaux selon le diagramme de PIPER.	<b>66</b>
<b>Tableau 15</b> Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER-BERKALOFF.	<b>66</b>
<b>Tableau 16</b> Normes de potabilité de l'O.M.S	<b>74</b>

**Liste des abréviations**

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**ONM** : Office National Météorologique.

**CT** : Complexe Terminal.

**CI** : Continental Intercalaire.

**SASS** : Système Aquifère du Sahara Septentrionale.

**PH** : Potentiel d'Hydrogène.

**DRH** : Direction des Ressources Hydrique.

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

**AEP** : Alimentation en Eau Potable.

**CE** : Conductivité Electrique.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

# INTRODUCTION GENERALE

## ***INTRODUCTION GENERALE***

---

L'Hydrogéologie est la science de l'eau souterraine à caractère pluridisciplinaire.

Ses objectifs sont l'acquisition de données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, le captage et la planification de l'exploitation de l'eau souterraine.

Ce travail est une approche pour comprendre l'hydrogéologie et l'hydrochimie de la zone d'étude, la priorité est aux applications et expérimentations sur le terrain. Seules les connaissances théoriques indispensables à la pratique de la prospection, de l'exploitation et de la potabilité de l'eau souterraine.

L'hydrogéologie est une discipline des sciences de la terre orientée vers les applications. Elle a pour objectifs, l'étude du rôle des matériaux constituant le sous sol et des structures hydrogéologiques avec application des lois physiques et chimiques, dans l'origine, la distribution, la nature et les caractéristiques de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines. Elle applique les connaissances acquises sur la prospection, le captage, l'exploitation, la gestion, et la protection des ressources en eau des aquifères profonds.

L'hydrogéologie, dont la base fondamentale est la géologie, qui utilisant les méthodes et moyens de la prospection géophysique, des techniques de captage, de la géochimie des roches et des eaux, de l'hydrodynamique souterraine.

L'hydrodynamique souterraine est l'ensemble des aspects quantitatifs de l'hydrogéologie, c'est la partie de l'hydraulique relative à l'écoulement de l'eau souterraine, aux lois qui le régissent et à leurs applications.

L'hydrochimie est la connaissance des caractéristiques physiques et chimiques ou physicochimiques, des processus de leur acquisition et de leur évolution, ainsi que des lois qui régissent les échanges entre l'eau, le sol, et le sous-sol, ou interaction Eau/Roche.

La région d'El Oued fait partie d'un des plus grands déserts du monde, elle recèle d'énormes réserves d'eaux souterraines. Ces eaux se trouvent sous forme de nappes aquifères contenant dans des horizons géologiques de différentes profondeurs et épaisseurs. Dans le grand Sahara algérien, deux célèbres réservoirs rencontrés; de bas en haut nous avons, le Continental Intercalaire dit (CI) et le Complexe Terminal dit (CT). Ces deux systèmes aquifères renferment plusieurs nappes d'eaux superposées l'une sur l'autre.

Le problème qui se pose est le manque d'informations sur la nappe du continental intercalaire pour cela, les méthodes d'approche utilisées sont multiples et complémentaires: un travail de bureau consiste à traiter des données bibliographiques et des données techniques des rapports de fin des forages, nous terminerons par un travail de terrain pour faire la campagne piézométrique de la nappe du complexe terminal et en prenant des échantillons des eaux pour faire les analyses hydrochimique.

A travers cette mémoire, une discussion descriptive sur l'influence des conditions: climatiques, géologique, hydrogéologiques, l'hydrodynamique et les aspects quantitatif, l'alimentation des aquifères, la circulation de l'eau. Finalement, une aperçue sur l'hydrochimie des aquifères, est son évolution géologique et chimique.

Cette mémoire s'organise en cinq chapitres :

- **Le premier chapitre:** est la présentation générale de la zone d'étude, la situation géographique de la wilaya, les populations et leur répartition administrative, la nature topographique de terrain, les reliefs.
- **Le deuxième chapitre** a été consacré à la climatologie de la région, qui contient l'étude des différents paramètres climatologique telle que la précipitation, la température, l'humidité, les vents, l'insolation l'indice d'aridité, malgré le manque de données détaillées en absence des stations fonctionnelles. Plusieurs calculs abordés, pour l'établissement d'un bilan négatif qui ne permet pas une recharge satisfaisante des aquifères spécialement ceux à nappe libre, la calcule de coefficient de ruissellement, l'estimation de l'infiltration.
- **Le troisième chapitre:** Contient deux parties la 1ère traite l'hydrogéologie de la région en présentant la succession des différents horizons aquifères. La 2ème partie contient l'analyse hydrodynamique de la nappe du Complexe Terminal., basée sur l'étude de la circulation de l'eau, de son origine, son évolution dans le temps et dans l'espace.
- **Le quatrième chapitre:** est consacré à l'hydrochimie qui permettant de connaître:
  - L'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la région.
  - L'origine des éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K, Cl, F...).
  - Les caractéristiques physico-chimiques (PH, DHT, conductivité,.....).
  - La classification des eaux des différentes aquifères.

## ***INTRODUCTION GENERALE***

---

- La répartition des faciès et des éléments indicateurs de pollution, de salinisation, et leurs origines à savoir les chlorures, les sulfates, les nitrates et nitrites, le zinc.....etc.

Ce chapitre a permis aussi la détermination des apports vers la nappe, et a révélé la dégradation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

# Chapitre I

## Présentation de la région du Souf

## I.1. Localisation géographique de la région du Souf :

La zone d'étude est située dans la wilaya d'El Oued, l'une des principales oasis du Sahara septentrional Algérien. Elle est située au Sud-est de l'Algérie à une distance de 650km de la capitale, au Nord-est du Sahara septentrional.

Elle occupe une superficie de 44586,8 km<sup>2</sup>, et est limitée par les wilayas de Khenchela et Tébessa au Nord, au Nord-est par la wilaya de Biskra, au Sud et Sud-est par la wilaya de Ouargla et à l'Est par la frontière Tunisienne (Fig1).

Traditionnellement Oasis de Soufi, situées au niveau du croisement des deux trajets de caravanes commerciaux ; le premier chemin qui arrive de la région du Zab de Biskra passe par El Bir (puits) Djedid jusqu'aux Oasis de Ghadames au Sud-est. Les limites des Oasis du souf sont l'Erg oriental jusqu'aux abords du Chott Melghir, ou s'étire une masse de palmeraies limitée à l'Est par la frontière Tunisienne et à l'Ouest par l'immense Oasis de L'Oued-Righ (Fig 2). Les limites de cette Oasis atteignent la frontière libyenne au sud.

La région d'étude s'étend sur 18communes (El Oued, Bayadha ,Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, HassiKhelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Oglâ, Nakhla, Ourmes, Trifaoui), une superficie d'environ de 11200 Km<sup>2</sup>, limitée par les coordonnées géographiques suivantes :

Les longitudes 06°20' et 07°50' Est.

Les latitudes 32°50' et 34°30' Nord.

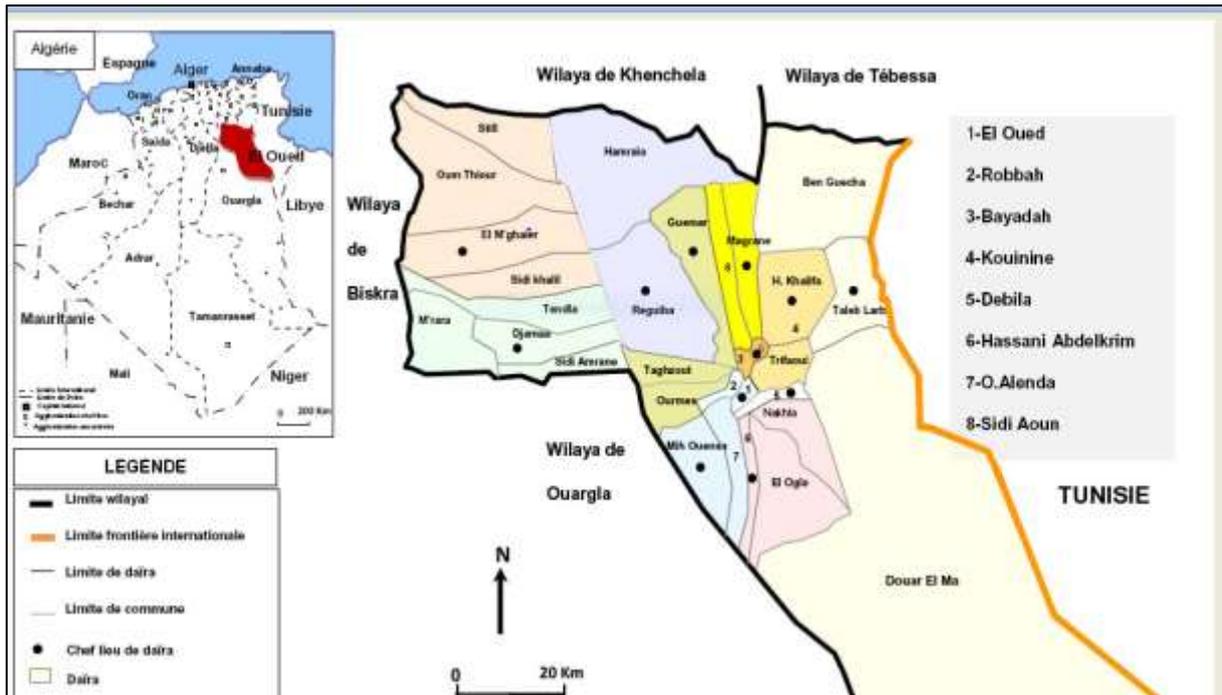


Figure 01 : Situation géographique de la wilaya d’El Oued.

Les limites de la Wilaya sont :

- \* A l’Est par la république Tunisienne.
- \* Au Nord-est par la Wilaya de Tébessa
- \* Au Nord par la Wilaya de Khenchla et Biskra.
- \* Au Nord-Ouest par la wilaya de Biskra.
- \* A l’Ouest par la Wilaya de Djelfa.
- \* Au Sud- Ouest et sud par la Wilaya de Ouargla.

El’ Oued c’est la région du bas Sahara, il est un petit morceau d’un immense territoire, géomorphologique qui constitue le grand Erg oriental, vaste étendue de sable 200000 km<sup>2</sup> constituée par les alluvions des oueds qui au cours de Quaternaire ont désagrégé les reliefs situés plus au sud (massif central saharien) et ont épandu leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s’ouvrait en direction des chotts, c’est matériaux sont remodelés inlassablement sur place par les vents sahariens, en dunes de types variés.

Les contraintes de l'erg sont grandes: pas d'eaux superficielles, pas de sources, difficultés de circulation.

Pour le saharien, l'erg est le territoire le moins attractif, dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide.

Les Soufis ne se sont pas implantés de localiser n'importe où dans le Grand Erg, ils ont choisi le centre Nord dans le secteur qui combine un couvert végétale dense et une nappe phréatique proche et abondante: les eaux souterraines s'y sont progressivement concentrées.

Plus au Sud, les dunes se dénudent et deviennent vives, la nappe est faible et profonde.

Plus au nord, les terrains se salent à proximité des grands Chotts Melrhir et Merouane.

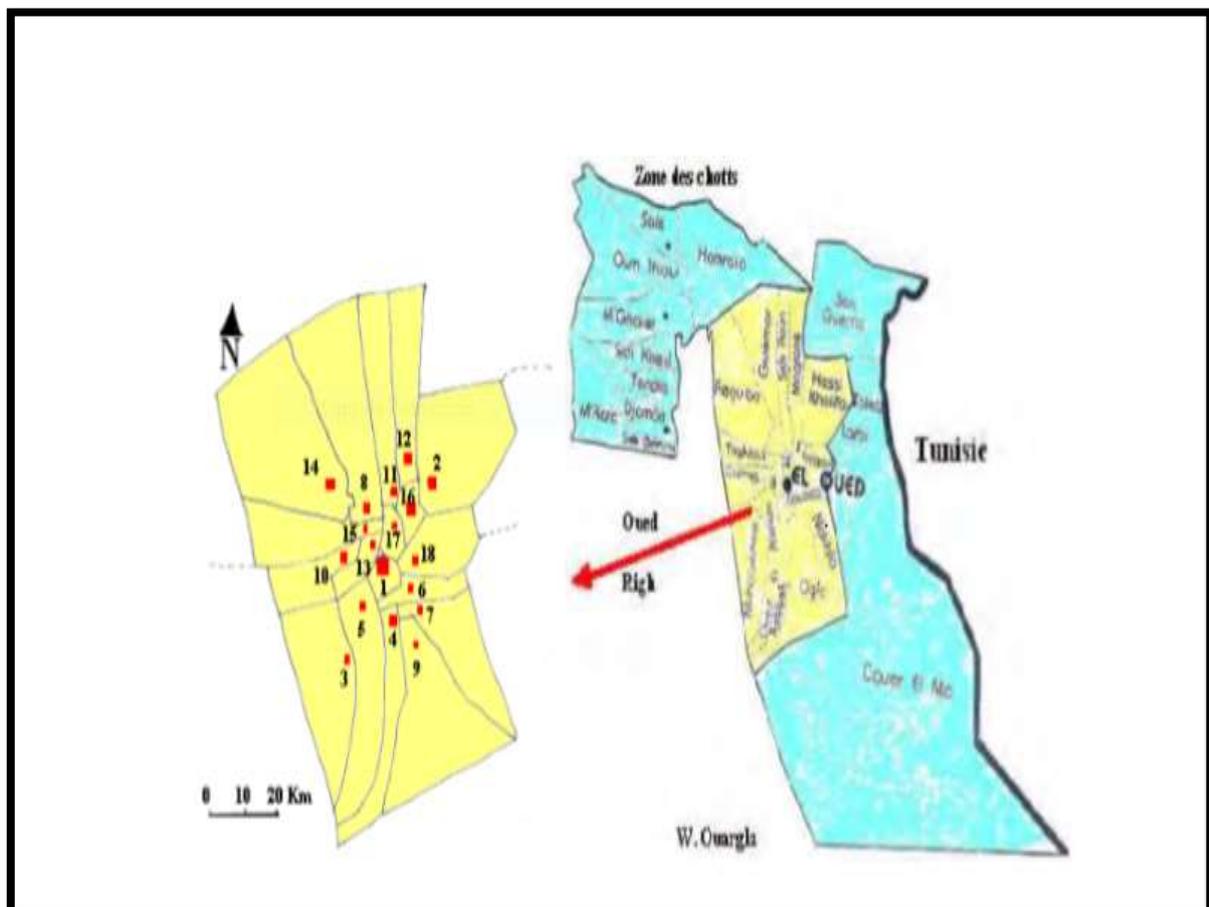


Figure 02 : carte de situation des communes de la wilaya d'El Oued.

## I.2. Les peuplement du Souf :

Comme tout le Sahara, le Souf a été habité de temps immémorial. Il est certain que les cantonnements de populations se sont déplacés d'ici et là à travers les âges ; La région du Souf comprend 18 communes qui représentent une population totale de 566,245 habitants, répartie sur une superficie de 11251,51 Km<sup>2</sup>.

Montre la répartition des habitants de la région du Souf, ou nous remarquons que la commune la plus peuplée est celle d'El-Oued (Chef-lieu) 163,555 habitant avec une densité 2076,889 hab/Km<sup>2</sup>, suivie par la commune de Reguiba de 50,460 habitants 485,60 hab/Km<sup>2</sup>, par contre la commune d'El-Ogla (la plus faible densité de population 5,46 hab/km<sup>2</sup>).

Tab. I. 1: Répartition de la superficie et nombre d'habitant et la densité apparente par commune de la Wilaya d'El-Oued .

### Commentaire du tableau : (d'après 2013)

N°	Commune	Population (hab)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Densité (hab/Km <sup>2</sup> )	N°	Commune	Population (hab)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Densité (hab/Km <sup>2</sup> )
1	El Oued	155525	77.2	2014	16	Bayada	37320	138.8	268
2	Kouinine	11900	116	102	17	Oued el Alenda	7480	712	10
3	Réguiba	47630	1965.6	24	18	MihOuansa	19380	1111.2	17
4	Guemar	46470	1264.4	36	19	Hamraia	6060	2444	2
5	Taghzout	15865	539.2	29	20	TalebLarbi	10510	1110	9
6	Ouermes	6450	443.8	14	21	Ben Guecha	4205	2646	1
7	Débila	28675	78	367	22	Douar El Maa	7210	17813.6	0
8	Hassani Abdelkrim	26775	58	461	23	El Meghaier	56380	1532	36
9	HassiKhalifa	36450	1112	32	24	Sidi Khalil	7225	840	8
10	Trifaoui	9605	474	20	25	Still	6065	904.8	6
11	Magrane	27625	618	44	26	OumTouyour	11930	2116	5.64
12	SidiAoun	13745	480	28	27	Djamaa	59865	780	76
13	Robbah	25290	499.2	50	28	SidiAmrane	23750	552	43
14	Nakhla	14950	700	21	29	Mrara	9480	1132	8
15	El Ogla	7085	1352	5	30	Tendla	9940	978	10
						<b>Total</b>	<b>750 840</b>	<b>44 586.8</b>	<b>16</b>

## **I.2. Relief et topographie de la région du souf :**

Dans certaines régions de l'Erg Oriental, on trouve des reliefs spectaculaires et bien différenciés. Le relief du Souf est presque tout entier compris entre deux lignes Orientées Est-Ouest ; la première au Nord est la courbe des 30m, et la seconde au Sud, celle des 100m. Une troisième ligne, relie les points de 70 m, est parallèle à ces deux lignes situées entre elles.

La courbe de niveau des 50 m passe par Réguiba, Magrane et Trifaoui. Celle des 60 m relie Guemmar à Z'goum et la courbe de 100 m, Oued-Zitene, Amiche et El-Ogla.

Notre région est sablonneuse ; à une altitude moyenne de 80 m, possède des dunes qui dépassent parfois cent mètres 100 m de hauteur ; le plus « haut sommet » du souf est une de 127 m située à 2 Km au sud d'Amiche, accuse une diminution notable du sud au Nord pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir qui occupe le fond de l'immense bassin du bas Sahara .

Une telle variation d'altitude ne pas un relief au sens typique du terme. Si en faisant obstruction des « gour » mamelons du Chott proprement dit, il s'agit plutôt d'une topographie quasi-monotone. Cette quasi –monotone n'empêche pas la constatation de formes géographiques. En effet, en montant, on a devant soi une REMLA (dépôt de sable fin sur une dune aplatie) et en descendant, c'est un Oued qui se découvre.

## **I.3. Géologie de la région du Souf :**

### **I.3.1. Introduction :**

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

La région d'étude est exactement dans la partie Nord de la plate forme saharienne caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti dunes. Car le sous-sol de la région étant sableux et assurant l'infiltration et circulation souterraines des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo gréseuses du Continental Intercalaire, et des accumulations sableuses Flavio-lacustres de tertiaire continental.

Sur l'ensemble de la région d'EL-Oued, les formations Mio-pliocènes sont recouvertes par

une considérable épaisseur de dépôts Quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand erg oriental.

### **I.3.2. Stratigraphie régionale :**

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) et les coupes de sondages établies à partir des forages, les

profondeurs des étages varient d'une région à l'autre.

Sur la base des logs de forage de l'Albien faite par l'D.RE, (2019) sur la région de Oued-Souf, nous citons les principales strates repérées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers le plus récente (Fig.5: Log de forage F3 de l'Albien):

#### **I.3.2.1. Formation de l'ère Secondaire :**

##### **➤ Le Barrémien :**

Cet étage est capté par tous les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire dolomitique, on rencontre également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 mètres.

##### **➤ L'Aptien :**

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas les 30 mètres.

##### **➤ L'Albien :**

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et par des calcaires avec passages de silex et d'argile.

La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition des faciès argilo carbonatés. D'après les coupes de

sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 mètres; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 mètres.

➤ **Le Vraconien :**

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté.

Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire.

Dans la zone d'étude, l'épaisseur de cet étage varie entre 250 et 300 mètres. En raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

➤ **Le Cénomaniens :**

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

➤ **Le Turonien :**

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 650 mètres.

➤ **Le Sénonien :**

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès : l'un correspond

au Sénonien lagunaire situé à la base et l'autre au Sénonien carbonaté au sommet.

➤ **Sénonienlagunaire :**

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles où ces derniers sont aisément différenciés de ceux du Turonien.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

➤ **Le Sénoniencarbonaté :**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations marno argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés. Son épaisseur dépasse parfois les 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et l'Eocène, qui présentent des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

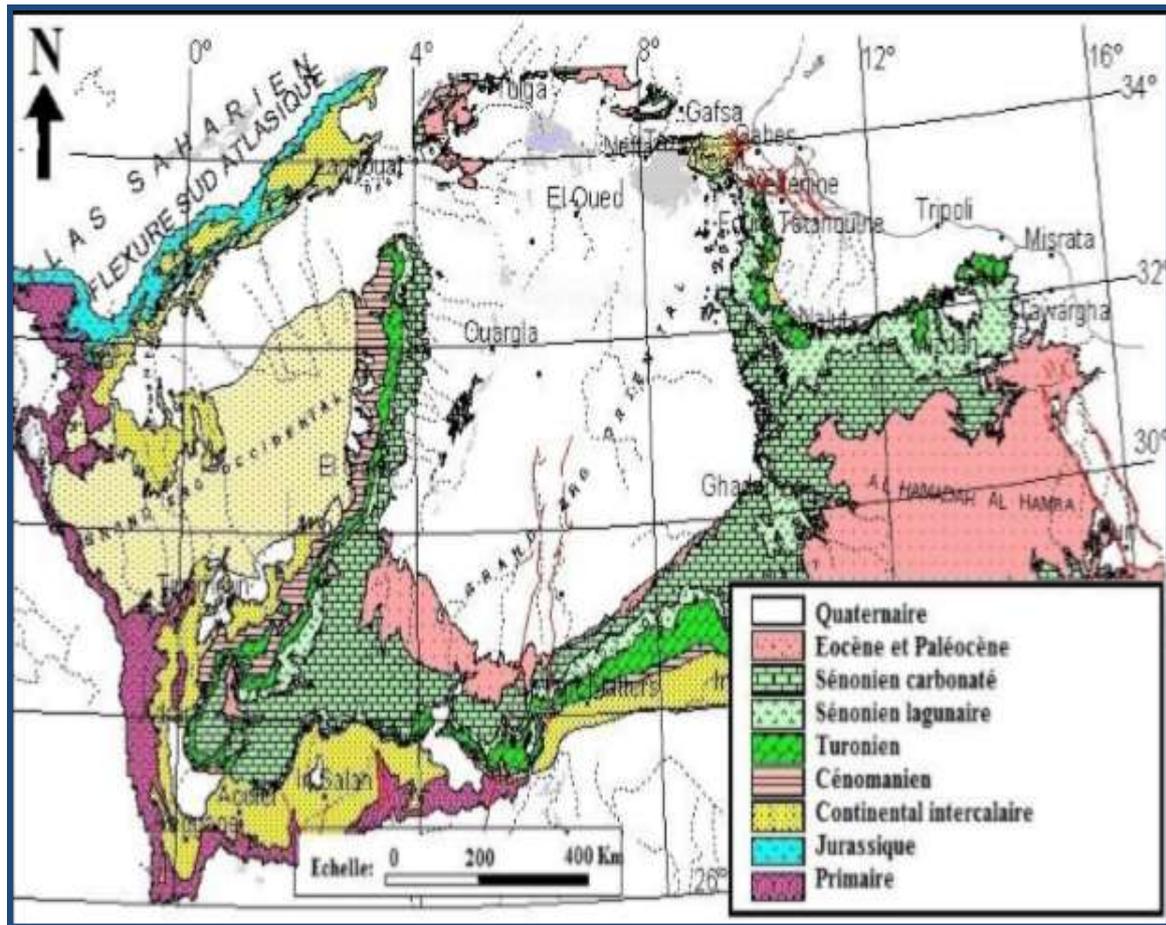


Fig.4: cartes géologiques du Grand Erg Oriental, (Baba Sy.M, 2005).

### I.3.2.2. Formations de l'ère Tertiaire :

#### ➤ L'Eocène:

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et des graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaire.

L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

#### ➤ Le Miopliocène :

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément Complexe Terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des

intercalations gypseuses et des passées de grès.

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, Bel et Demargne séparent cet horizon en 4 niveaux:

➤ **Niveau argileux :**

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

➤ **Niveaugrèsosableux :**

C'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique, son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles.

C'est à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminale.

➤ **Niveauargileux :**

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Miopliocène.

➤ **Niveausableux :**

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal, du point de vue hydrogéologique, ces niveaux sableux présentent un grand intérêt car ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du Complexe Terminal.

### **I.3.2.3. Formations du Quaternaire :**

Elles se présentent sous forme des dunes de sable dont le dépôt se poursuit sans doute encorde nos jours. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions et couvrent la plus grande extension au niveau du bas Sahara, ils sont formés d'un matériel alluvial et éolien d'où on trouve la formation des alluvions sableuses et argileuses.

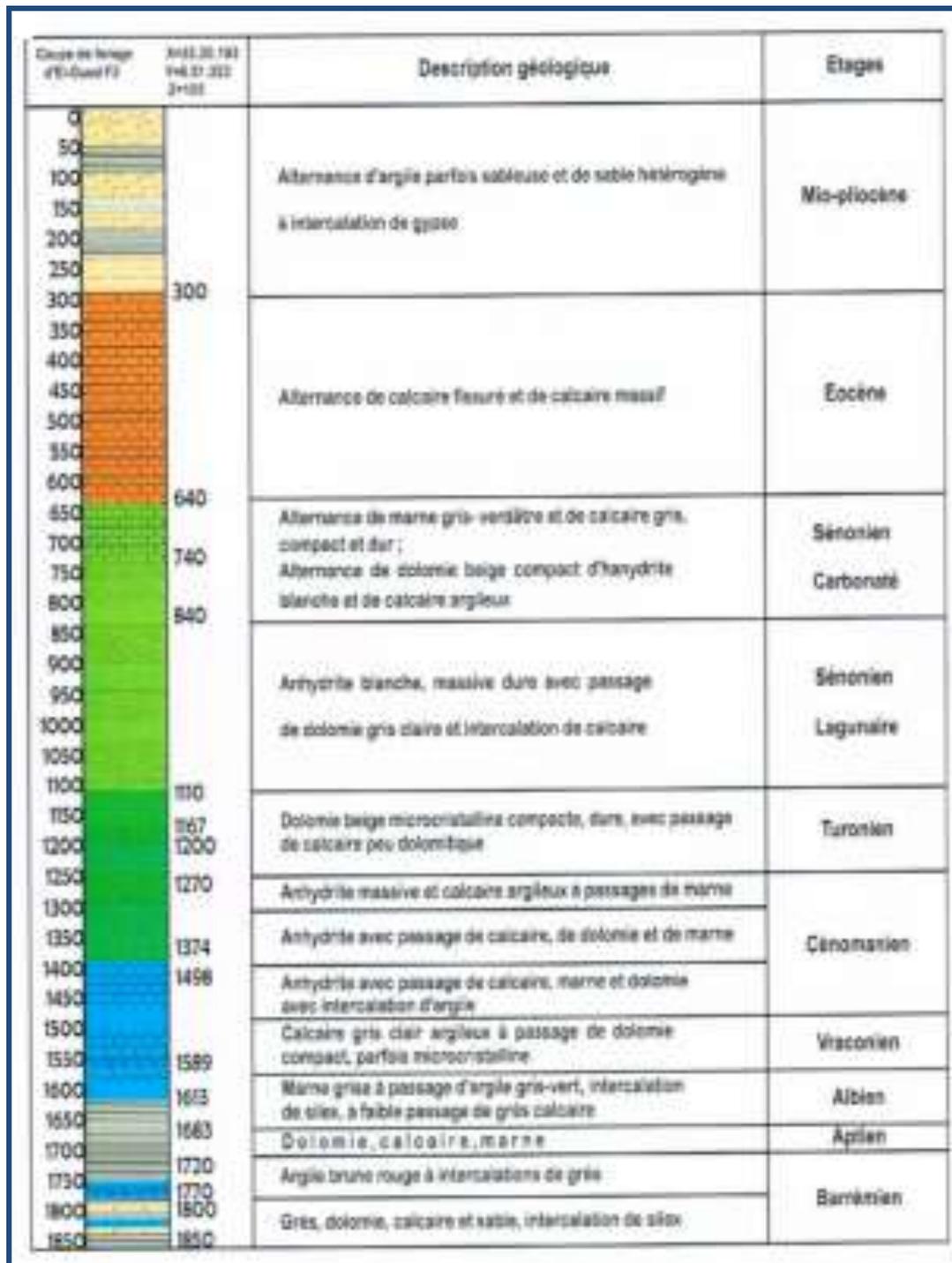


Fig.5 :Log de forage Albien F3, Cité 19 Mars El Oued(D. R. E, 2019).

**I.3.2.4. L'objectif de l'étude stratigraphie régionale:**

L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques hydrogéologiques et la qualité

des eaux dans la région d'El-Oued.

Dans la région d'El-Oued, il existe trois systèmes aquifères ; le premier profond étendu, dit le Continentale Intercalaire (CI), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge Albien, le deuxième est multicouche, peu profond et moins étendu que le premier dit le Complexe Terminal (CT), constitué de deux ensembles différents (marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien-Eocène CT3 et continentale constitué par des sables, graviers et des grès d'âge Mio-Pliocène caractérise la 1ère et la 2ème nappe du Complexe Terminal) et un aquifère superficiel qui surmonte ces deux ensembles dit nappe phréatique contenue dans les sables fins à moyens d'âge Quaternaire à récent.

En plus de connaître la profondeur et la composition de chaque couche.

### **I.3.3. Géomorphologie :**

El 'Oued et jusqu'à El-Ogla 24 Km plus loin, on remarque l'absence totale de « Tefza » (pierre à plâtre calcaire), tandis que sur un autre axe allant de El-Oued à Ghamra (en passant par Tiksebt, Kouinine et Gemer) la « Tefza » y occupe tout le terrain.

Ainsi deux bandes de terrains sédimentaires, de formations différentes, renfermant des roches dissemblables dont dépend de la qualité de la nappe aquifère, prolongent de part et d'autres sur les principaux axes du Souf.

Une coupe dans le sol, nous permet de distinguer :

#### **I.3.3.1. Tercha :**

Formé de fins cristaux qui lui donnent un aspect de grès ; se rencontre en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer.

#### **I.3.3.2. Louss :**

Le Louss est fait de cristaux de gypse en fer de lames imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures de réseaux mélangés au sable, de bancs isolés ou de colonnes qui semblent être constituées autour d'anciennes racines gypseuses.

#### **I.3.3.3. Salsala ou Smida :**

Se trouve en plaques continues ou en bancs extrêmement durs, il est composé de cristaux en fer comme le Louss, mais c'est plus fins et plus serrés.

#### **I.3.3.4. Tefza :**

C'est un grès blanc assez dur, et constitue la pierre à chauffer qui donnera le plâtre. (Tercha, Louss, Salsala, Smida et Tefza sont les appellations locales, utilisés pour les différentes couches géologiques).

#### **I.3.4. Interprétation des coupes :**

L'établissement des coupes a pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique, l'épaisseur approximatif de la nappe et l'épaisseur utile des couche.

##### **Coupe N° 1:**

Cette coupe orientée Nord – Sud, faite sous la base de coupes de forages, on remarque que l'épaisseur de formation miopliocène (constituée par des argiles sableuses, de sable et de calcaire) diminue du Nord vers le Sud. Au niveau du H11.104, on remarque l'absence des formations quaternaires correspondant aux formations sableuses ; ce manque ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud(voir H12.32 et H12.23).

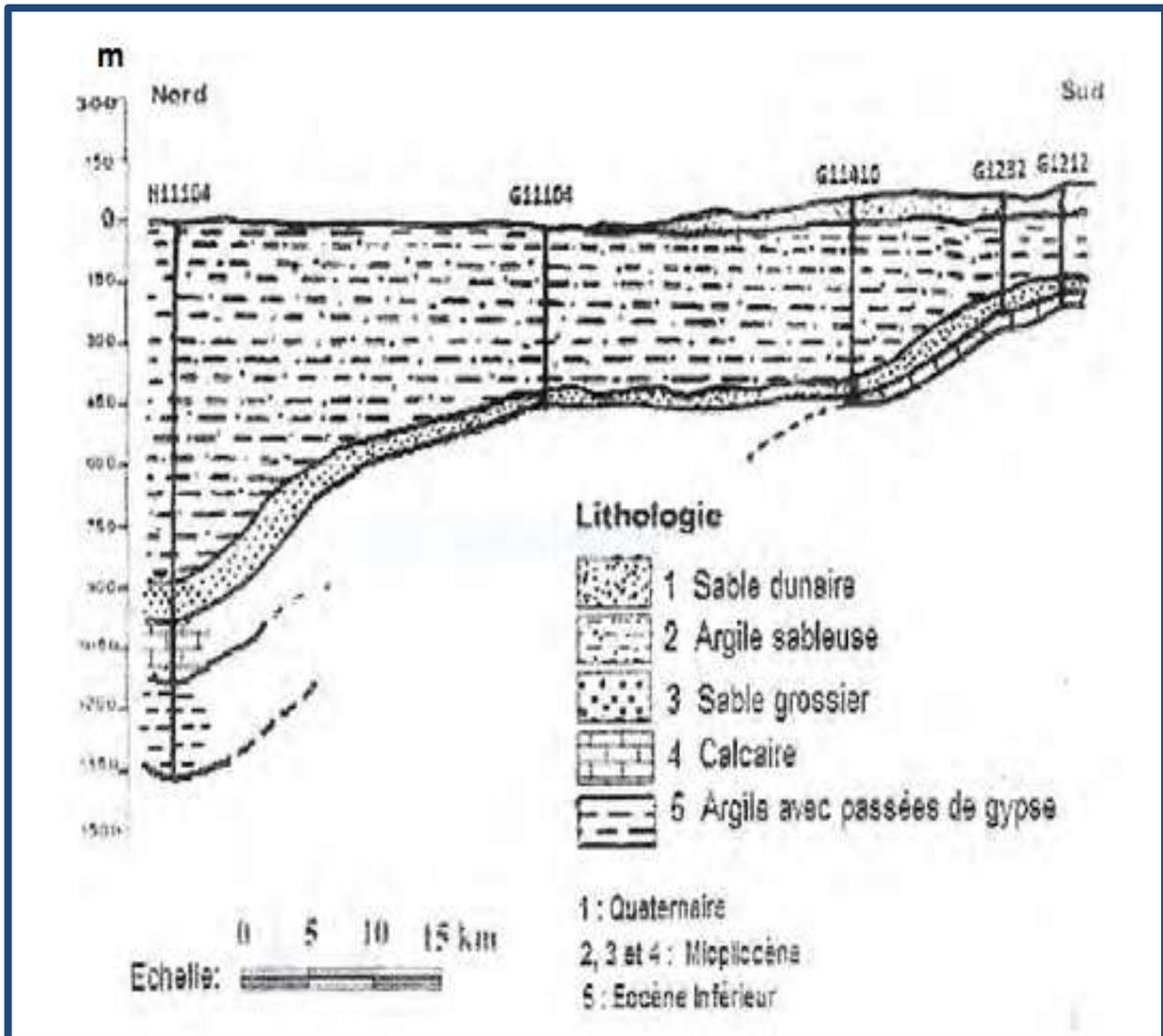


Fig. 6: Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).

Extraite à partir des logs lithologiques des forages

### Coupe N° 2:

La coupe N° 2 orientée NE-SW, en allant de la région dite Merzaga vers Ormes, on remarque au niveau du forage (H<sup>52</sup><sub>12</sub>), l'absence du Quaternaire, ceci ne peut être expliqué que par l'effet d'une érosion éolienne.

Les formations mi pliocènes sont caractérisées par une épaisseur considérable (plus de 200 m). Cette dernière devient régulière sur tout le reste de la région, au contraire de celle de Quaternaire qui est constituée par des sables qui changent d'une région à l'autre (par exemple, au niveau du forage H<sup>540</sup><sub>12</sub> l'épaisseur présente presque la moitié de celle de H<sup>84</sup><sub>12</sub> (Fig7).

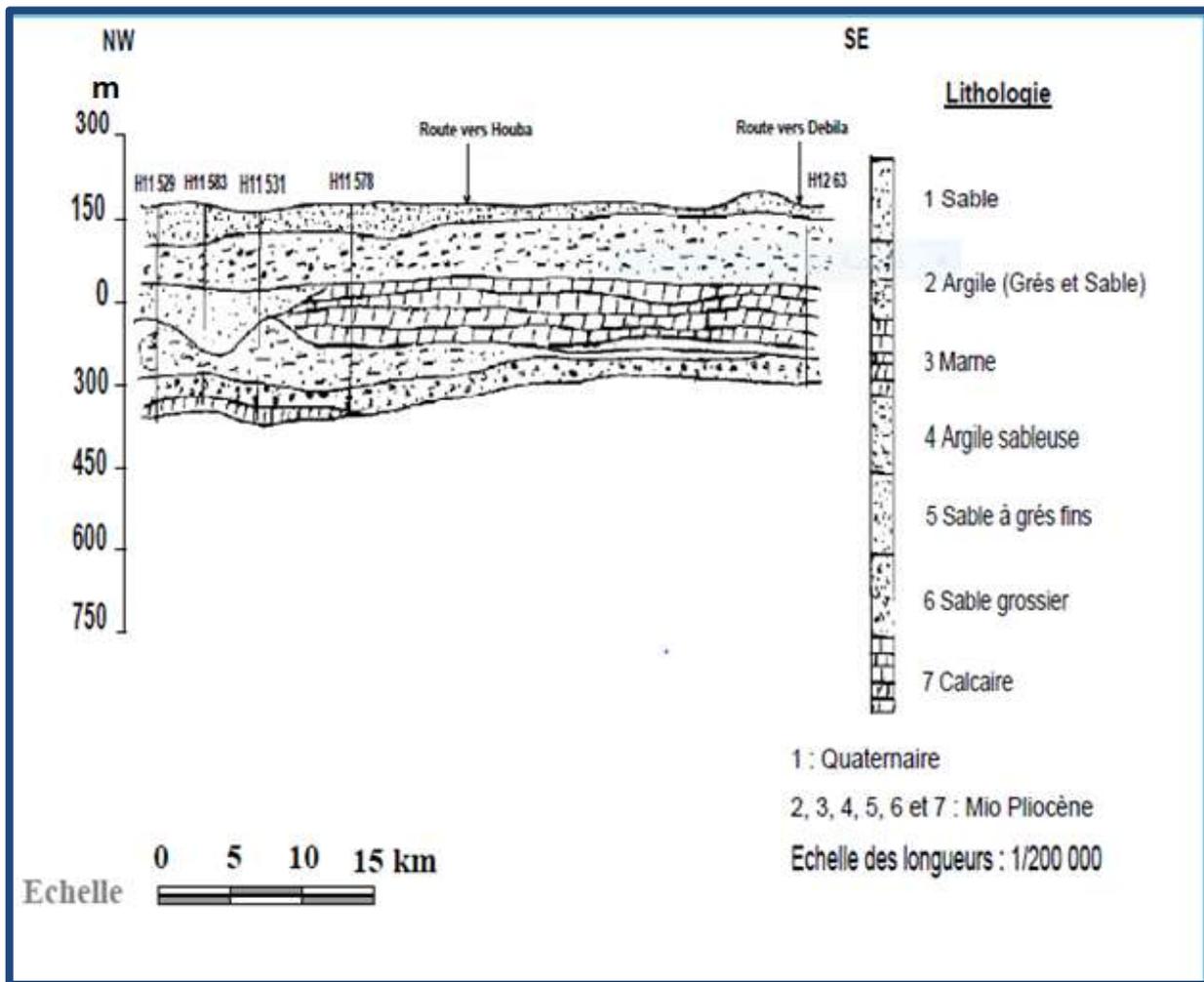


Fig.7: Coupe géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).

Extraite a partir des logs lithologiques des forages

### Coupe N° 3:

La coupe N° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud-est (Fig.8).

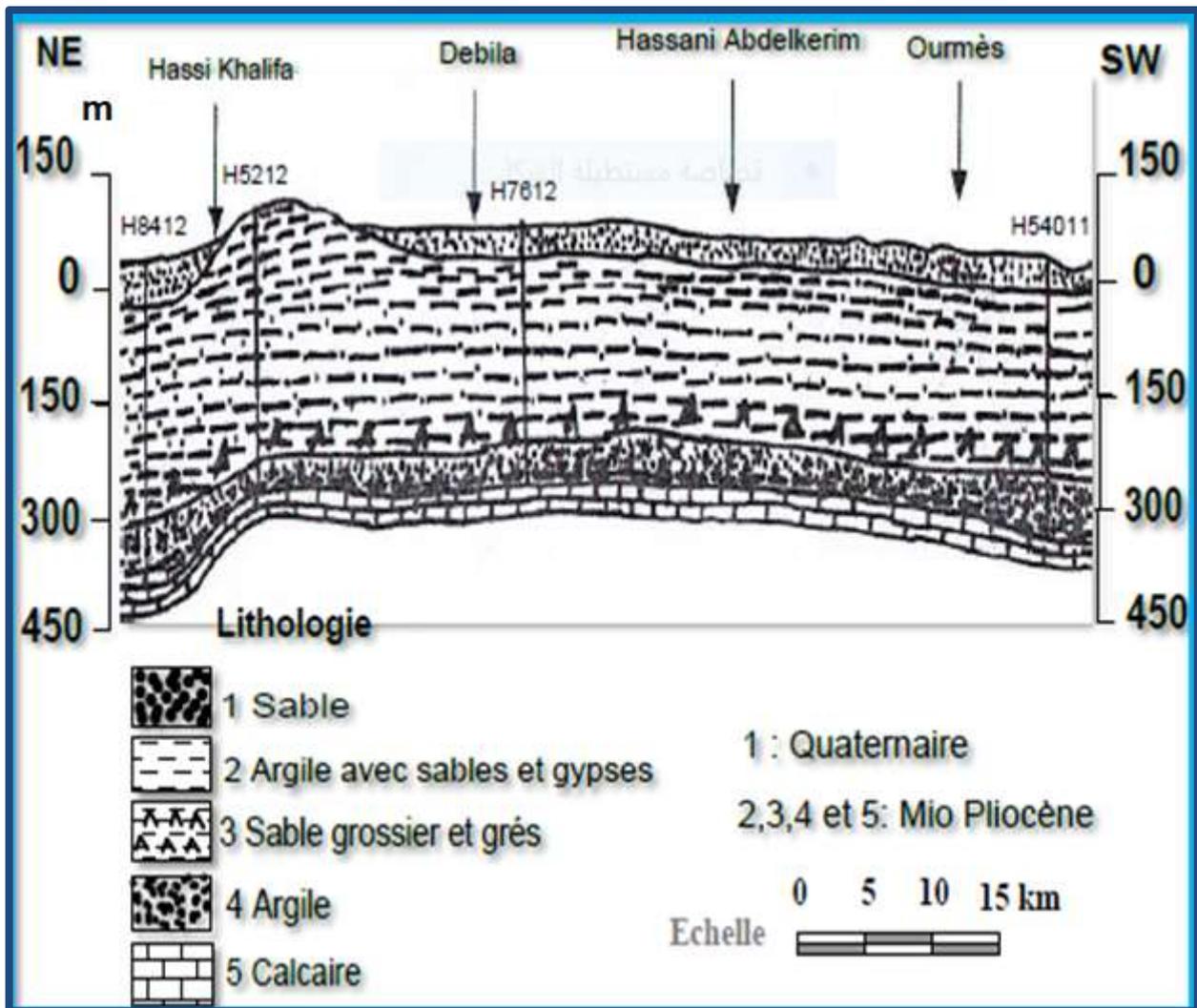


Fig.8: Coupe géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989)

Extraite a partir des logs lithologiques des forages:

### I.3.5.Tectonique :

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 km<sup>2</sup>. Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous- tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacé forme un vaste synclinal dont le fond a un très grand rayon de courbure. Les courbes sédimentaires semblent s'épaissir

du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique du Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des nouvelles dépression correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire.

Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

L'aquifère Quaternaire du Souf présente une épaisseur moyenne de 40 mètres.

Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-est de la région d'étude. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plateforme créacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

**Conclusion:**

A partir de cette étude, nous constatons que la région a une particularité spécifique de point de vue géologique, ainsi que les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace.

Ces conditions ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

La stratigraphie de la région est caractérisée par des séries sédimentaires allant de Crétacé inférieur jusqu'aux dépôts de Quaternaire.

Les formations du Quaternaire récentes forment l'aquifère détritique de la nappe phréatique, il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées particulièrement.

# Chapitre II: Hydro-climatologie

## **I. Introduction :**

Le climat de la région est continental excessif et qui se caractérise par une grande sécheresse due à la rareté des pluies, une température généralement élevée, avec un grand écart journalier n régime du vent irrégulier.

Ces paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

Pour cette étude, les séries des données, qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station pluviométrique d'El Oued.

La station climatique (O.N.M ) est situé à l'aéroport dans la commune de guemar à environ 20 Km Nord de ville d'El oued

### **I.1. climatologie :**

Plus que d'autre facteurs, le climat est le plus déterminant des ressources en eau.

L'étude des caractéristiques climatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, l'étude climatologique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydrologique de surface d'une région donnée. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évaporation et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat de la région. Ainsi, l'étude des possibilités de la maîtrise des ressources en eau dans les bassins est extrêmement liée a ces phénomènes qui régissent les écoulements. Pour cela, il est très utile de faire l'approche hydro climatiques.

## I.2. Données climatologiques pour la région d'El Oued:

### I.2.1. La température :

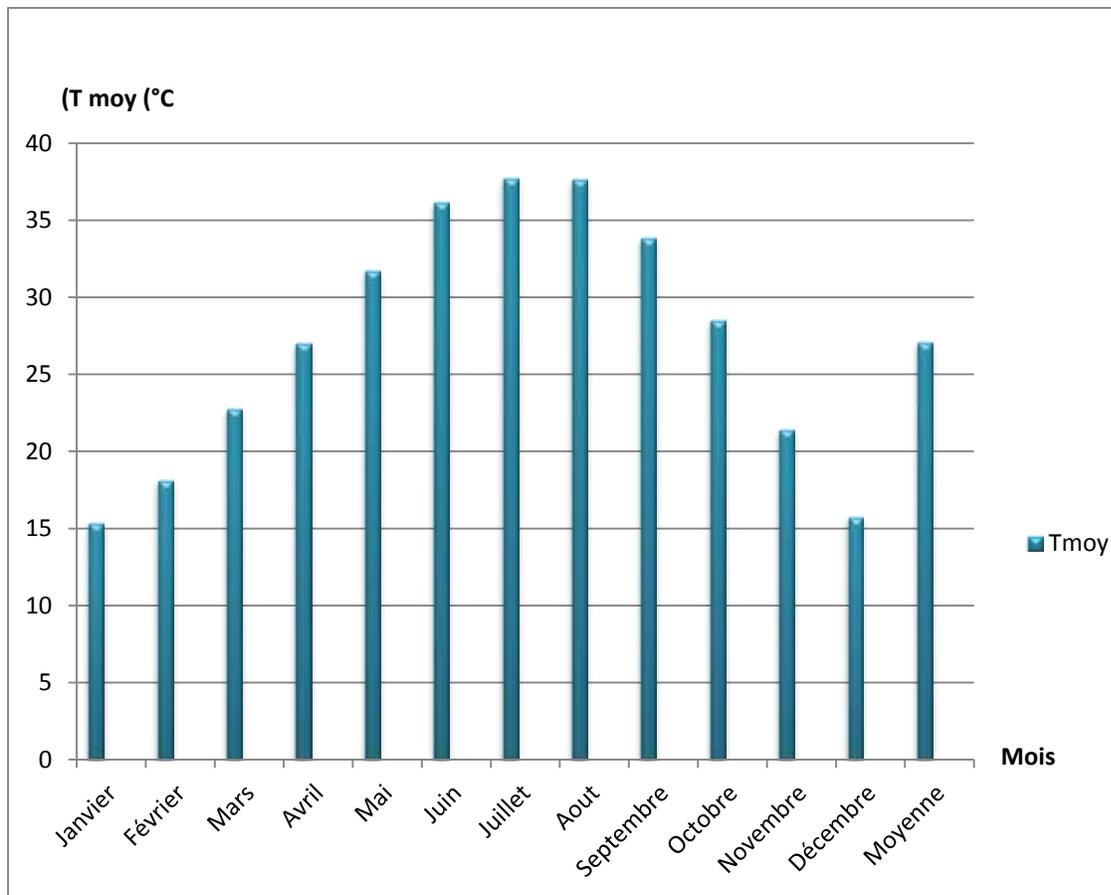
La variation de la température agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station d'El oued (O.N.M) période de (1978-2017). pour évaluer la variation des températures moyennes mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette station.

- **La température moyenne mensuelle :**

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de température moyennes mensuelles observées dans cette période (1978-2017).

**Tab.2: températures moyennes mensuelles durant la période (1978-2017).**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Tmoy
T (°C)	15,31	18,08	22,76	27,02	31,76	36,16	37,77	37,67	33,85	28,53	21,38	15,76	27,06



**Fig.9 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (T°C) Durant la période (1978-2017).**

D'après les données climatiques de la station d'El oued (O.N.M), la région est caractérisé par un climat chaud et sec, on constate dans cette période, la température dcroit du mois de juillet (maximum : 37,77 °C) jusqu'au mois de janvier (minimum : 15,31 °C).

Les mois le plus chaud est Aout et Juillet.

### **I.2.2. étude des précipitations :**

- **La précipitation moyenne mensuelle :**

Le tableau ci-dessous donne les précipitations moyennes mensuelles observées durant la période (1978-2017).

**Tab.3: précipitations moyennes mensuelles (mm) durant la période (1978-2017).**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	P moy
<b>P (mm)</b>	14,67	5,29	7,99	7,43	4,44	1,36	0,26	1,84	5,72	6,75	7,24	6,21	<b>96,18</b>

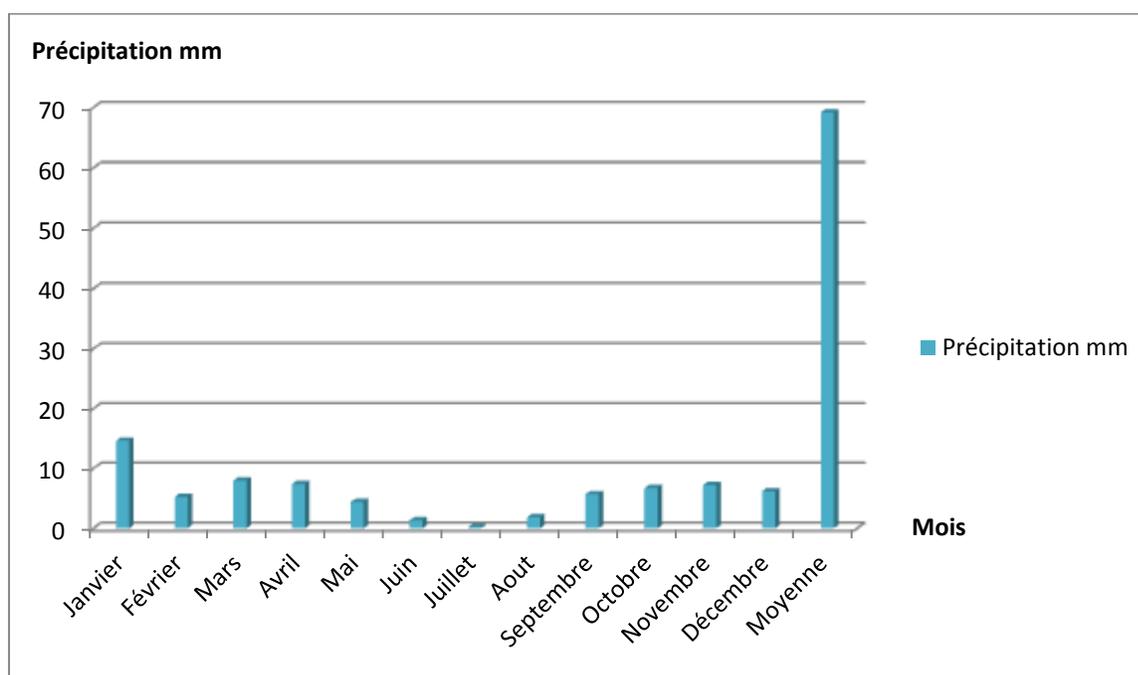


Fig.10 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm) Durant la période (1978-2017).

Tab.4: Précipitations moyennes annuelles (1978-2017).

Année	P(mm)								
1978	73,8	1986	90,2	1994	48,3	2002	32	2010	49
1979	86	1987	40	1995	60,1	2003	97,9	2011	29
1980	106	1988	77,9	1996	105,4	2004	133,5	2012	22

1981	29,9	1989	18,5	1997	72,2	2005	35,7	2013	64
1982	88,4	1990	209	1998	79,1	2006	121,3	2014	18
1983	15,9	1991	47,6	1999	124,3	2007	56,3	2015	13
1984	45	1992	64	2000	37,3	2008	31,4	2016	103,2
1985	40,6	1993	46,5	2001	52	2009	233,7	2017	100,1
<b>P moy (1978-2017)</b>								71,75 mm	

Pour la série d'observation allant de 1978 à 2017, la lame d'eau maximale enregistrée est de l'ordre de 14,67 mm, au mois de Janvier, la minimal enregistrée est de l'ordre 0,26 et 1,36 mm pendant le mois de Juillet et juin.

- **Précipitation moyenne interannuelle :**

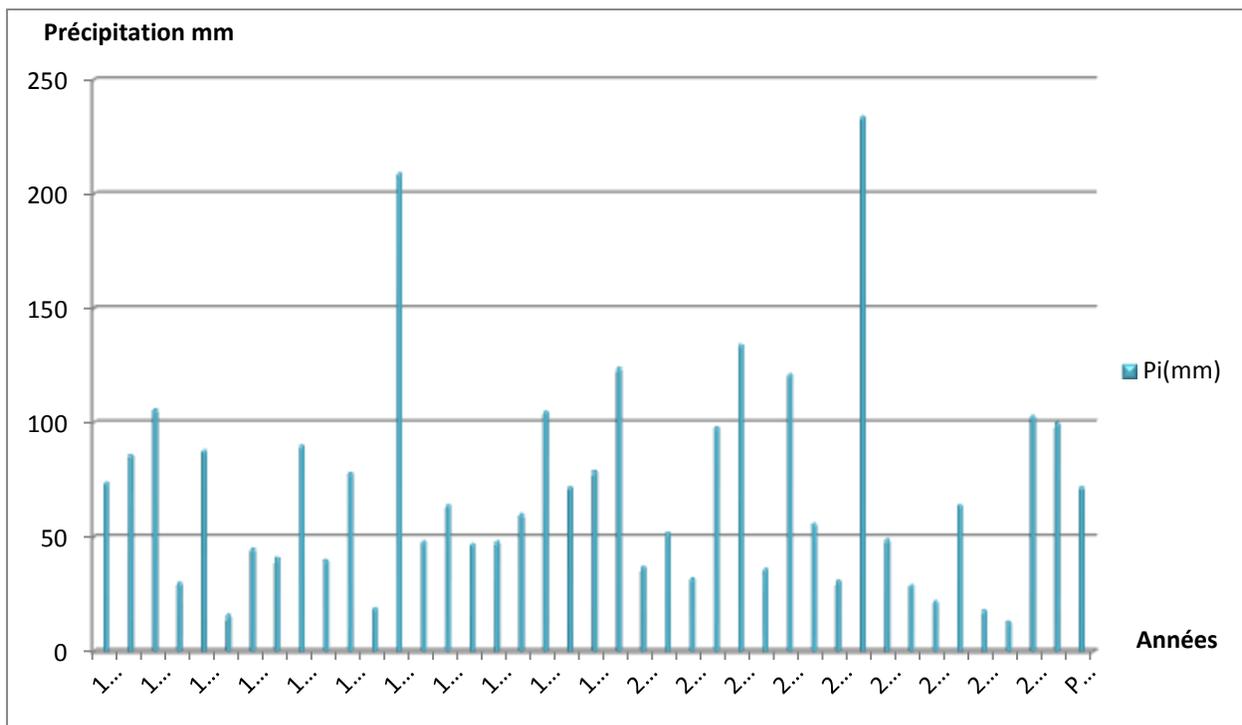


Fig.11 : Variation interannuelle des précipitations (1978-2017).

### I.2.3. L' Humidité :

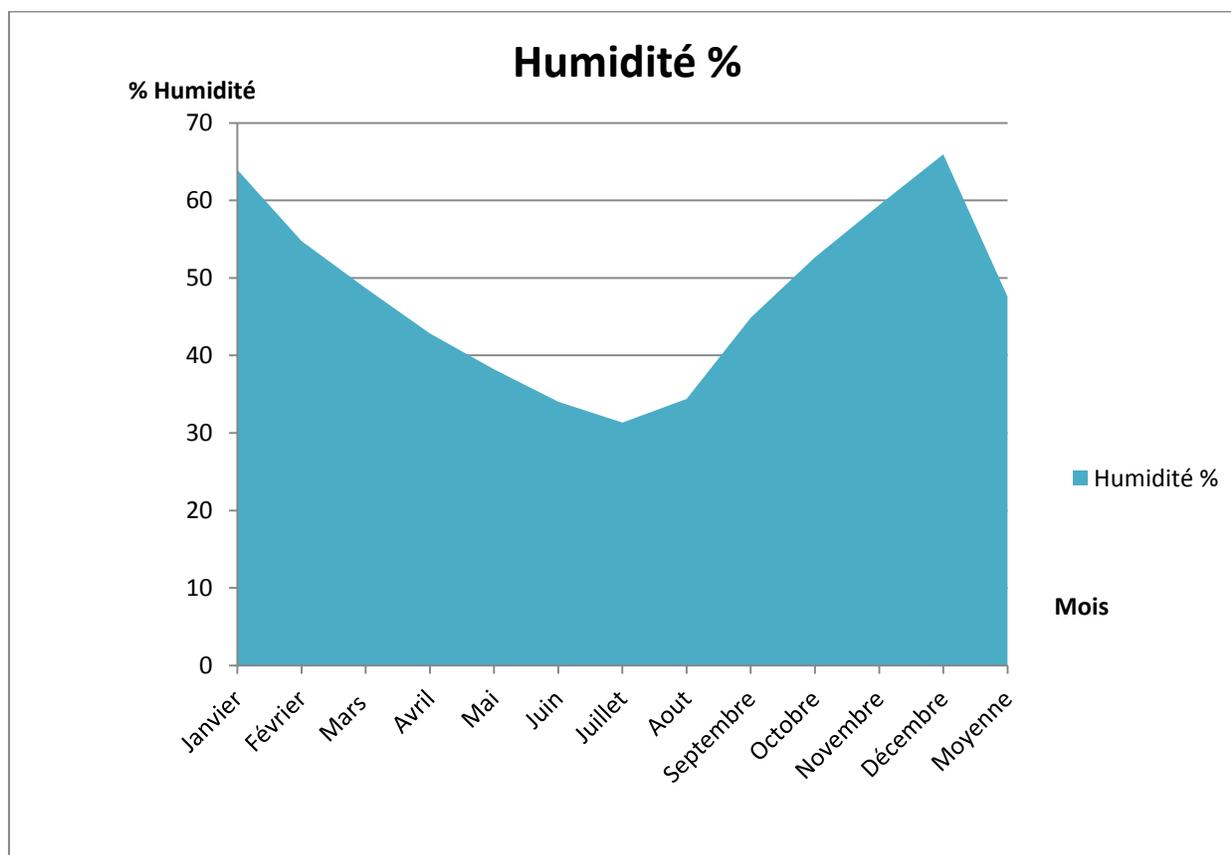
Les valeurs d'humidité enregistrées à la station de Guemar. Ces valeurs observées dans la station – située au ras du sol à l'entrée de l'aéroport doivent être moins importantes que les humidités régnantes à l'intérieur de l'oasis ou du ghout.

Tab.5: Humidité relative moyenne mensuelle (1978-2015).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	moy
Humidité(%)	63,95	54,76	48,68	42,84	38,21	34,03	31,34	34,39	44,87	59,39	52,66	65,95	47,59

L'humidité de l'air est faible. La moyenne annuelle est de 47,59 % (Tab 5).

Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.



**Fig. 12 : Variation mensuelles de l'humidité relative moyenne (1978-2015).**

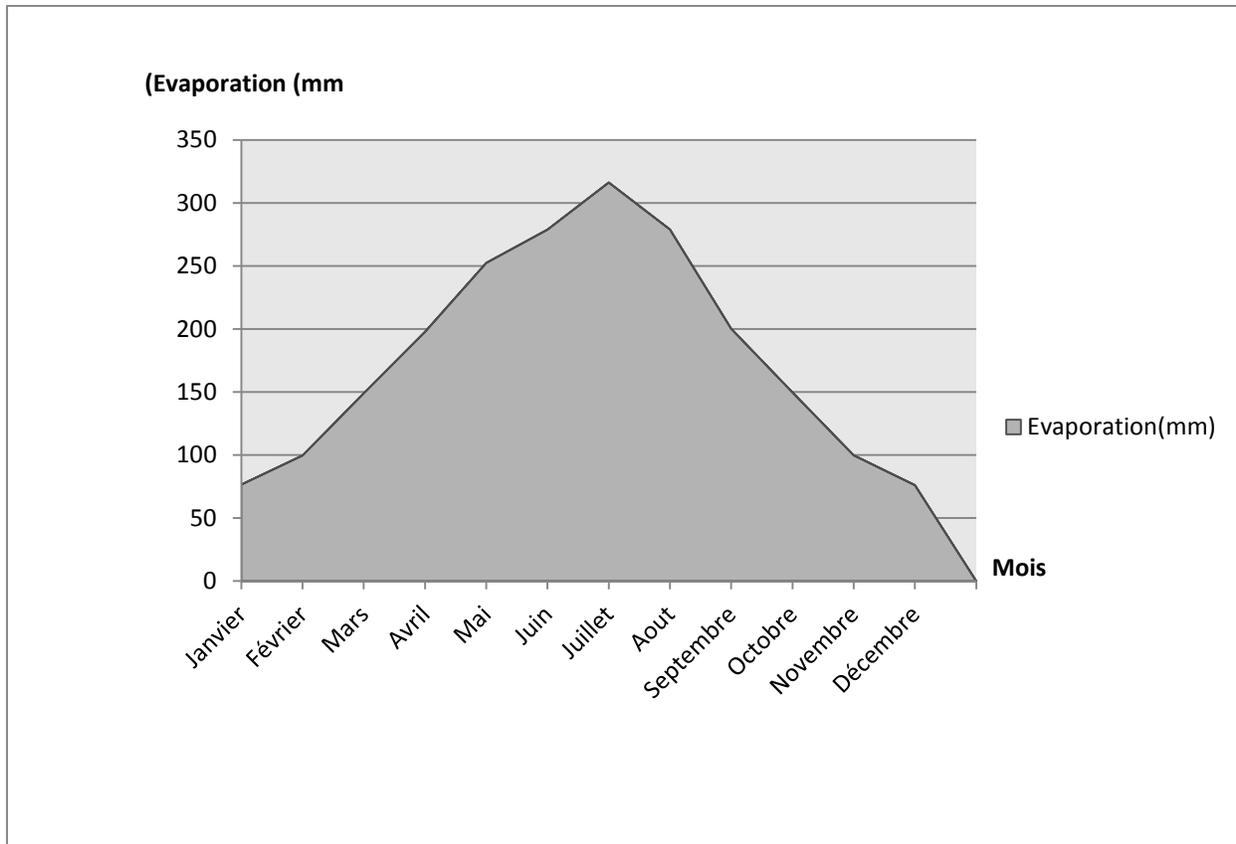
En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 31,34 % au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds ; alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 65,95 % au mois de Décembre (Fig 12).

#### **I.2.4. L'Evaporation :**

C'est une étape essentielle pour le mécanisme du cycle de l'eau. Elle augmente proportionnellement avec la durée d'insolation, la température et la surface des eaux exposées à l'atmosphère.

**Tab.6: Evaporation moyenne mensuelle à Oued Souf en % (1986-2009).**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	moy
EVAP(mm )	76,4 7	99,5 5	148,6 8	197,6 8	252,3 7	278,7 6	316,1 3	278,8 8	200,0 8	99,6 8	149,6 4	76,0 0	<b>181,1 6</b>



**Fig.13 : Variation mensuelle de l'Evaporation moyenne à la station de Guemar.**

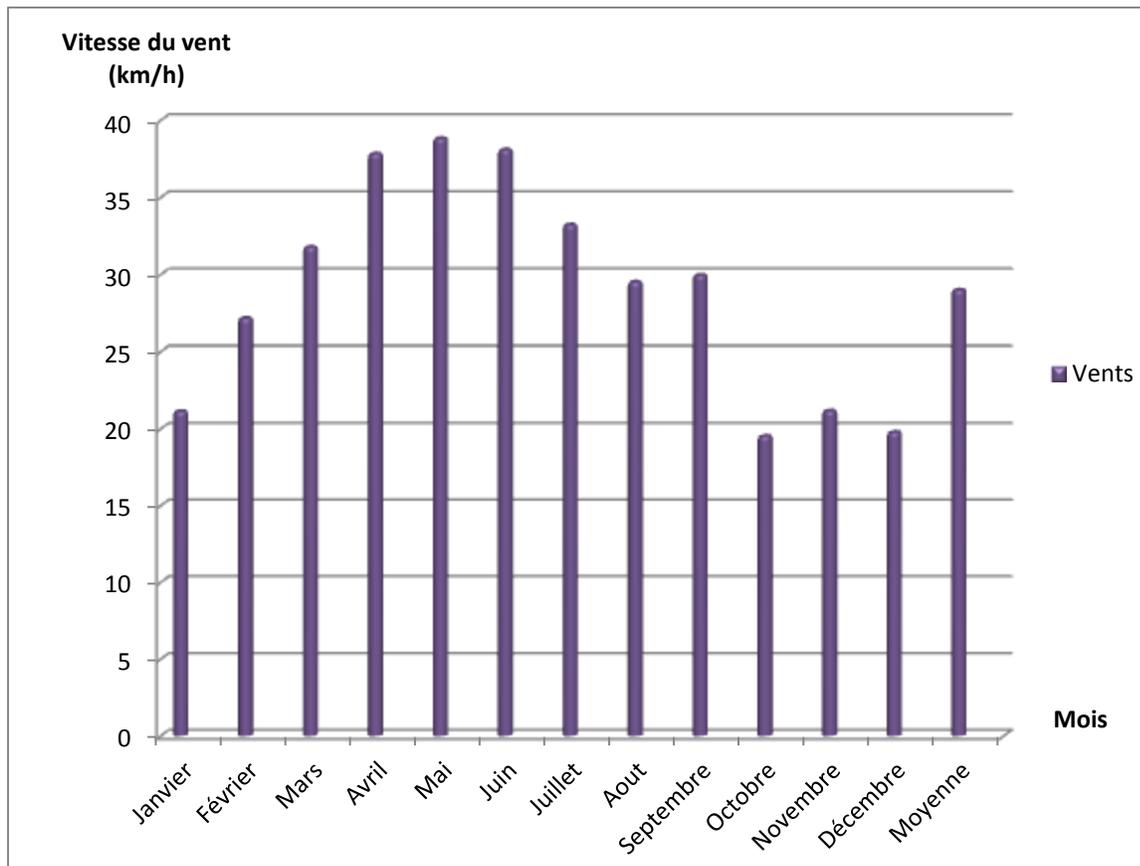
Le maximum est atteint au mois de juillet avec une moyenne de 316,13 mm (Fig13). Le minimum est enregistré durant le mois de décembre 76mm.

**I.2.5. Vitesse du vent :**

Les vents ont une conséquence importante sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et a un degré moindre sur les températures. Les vents sont relativement fréquents au printemps et en été, et durant la période des températures maximales arrivent des siroccos sud-est.

**Tab.7: Moyenne mensuelle des vitesses des vents (1993- 2015)**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	moy
Vents(km/h)	21,13	27,17	31,78	37,83	38,83	38,09	33,22	29,52	29,96	19,52	21,17	19,78	29



**Fig.14: Histogramme de répartition des vitesses du vent (station El-Oued)**

Il est un dernier phénomène qui joue son rôle dans certains aspects de la vie au souf : c'est le vent, selon le (Tab 7), nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant d'Avril jusqu'en Septembre, avec un maximum de 38,83 Km/h durant le mois de Mai (Fig 14).

### **I.3. Synthèse climatique:**

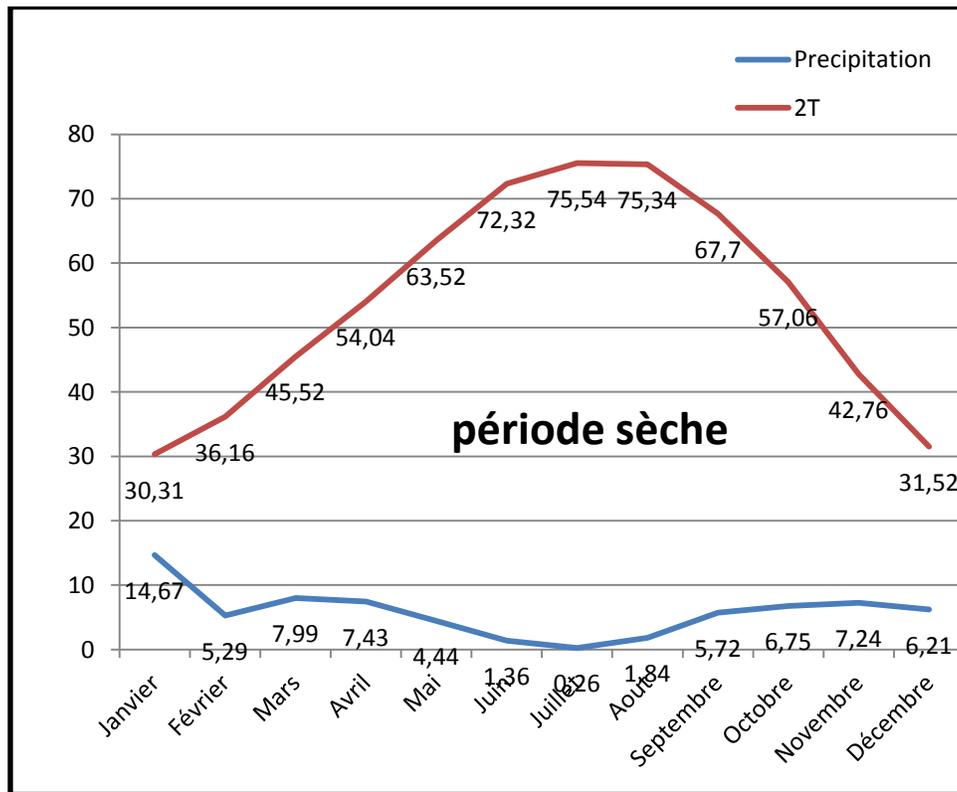
Une caractérisation globale du climat peut être réalisée par l'emploi d'indices ou de diagrammes climatiques. Pour caractériser le climat du Souf, nous utiliserons les indices DE DEMARTONE et d'Emberger, ainsi que le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et l'indice d'aridité DE MARTONNE.

#### **I.3.1. Diagramme Ombrothermique de GausSEN:**

Le diagramme Ombrothermique de Gausson (fig15 ) de la région du Souf montre que la durée de la saison sèche est de 12 mois (sécheresse permanente).

**Tableau 8: Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
2T°C	30,31	36,16	45,52	54,04	63,52	72,32	75,54	75,34	67,7	57,06	42,76	31,52
P(mm)	14,67	5,29	7,99	7,43	4,44	1,36	0,26	1,84	5,75	6,75	7,24	6,21



**Fig.15: Diagramme Ombrothermique de Gausson du Souf (1978-2017).**

A la suite de DE MARTONE 1927, de nombreux indices climatiques sont proposés. Les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température.

C'est le cas du quotient pluvio-thermique d'Emberger et de l'indice xérothermique de Bagnouls et GAUSSEN 1953 qui sont les plus utilisés.

### I.3.2. Indice d'aridité de DE MARTONE:

On peut aussi ajouter l'Indice d'aridité Annuelle de DE MARTONNE, qui permet de calculer le degré d'aridité annuelle d'une station quelconque. DE MARTONNE utilise, pour une station donnée, la moyenne annuelle des températures et le total annuel des pluies. Cet indice est calculé à l'aide de la

Valeur de	Type de Climat
$I < 5$	Saharien (Hyperaride)
$5 < I < 10$	Désertique (Aride)
$10 < I < 20$	Steppique(Semi-aride)
$20 < I < 30$	Semi-Humide
$30 < I < 40$	Tempéré(Humide)

**Tab.9: Type de climat selon classification par DE Martonne**

formule suivante:

$$I_{DM} = P / 10 + T$$

$I_{DM}$  : Indice d'aridité.

$P$  : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

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

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par de abaque, formule De MARTONE, nous pouvons tirer le type de climat de notre région d'étude.

On a  $T = 27,06 \text{ C}^\circ$

$P = 71,75 \text{ mm}$  Donc  $I = 1,94$ . On a climat hyper aride.

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité (Tab 9) fixées par DE MARTONNE on peut classer notre région.

## II. Détermination des facteurs du bilan hydrique:

La lame d'eau moyenne annuelle tombée, représente la somme des écoulements, infiltration et évapotranspiration réelle. Elle est donnée par la relation suivante :

$$P = ETR + I + R$$

Avec :

P : La lame d'eau moyenne annuelle (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm)

R : Ruissellement moyen annuel (mm)

I : Infiltration moyenne annuelle (mm)

### II.1. L'évapotranspiration ( ET ):

C'est la quantité d'eau restituée à l'atmosphère par l'action conjuguée de l'évaporation et de la transpiration. Elle est exprimée par la hauteur de la lame d'eau évapotranspirée pendant une période déterminée.

Méthodes de mesure et d'évaluation:

Les mesures directes de ce paramètre (cases lysimétriques, méthode du vapor transfer) étant très rares, des formules empiriques sont utilisées pour calculer ce terme du bilan hydrologique.

On a deux types d'évapotranspiration:

### II.2. L'évapotranspiration réelle ( ETR ):

C'est la quantité d'eau effective évaporée et transpirée, elle correspond au déficit d'écoulement. Ce paramètre est estimé par :

La formule de Turc :  $ETR = f(P, T)$  établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants, représentant tous les climats du Globe.

Elle permet de calculer l'évapotranspiration moyenne annuelle réelle en fonction de la température et de la lame d'eau précipitée. Elle est calculée par la formule suivante :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

$$a = 0,49239 + (1792 \cdot 10^{-5}) \cdot I - (771 \cdot 10^{-7}) \cdot I^2 + (675 \cdot 10^{-9}) \cdot I^3$$

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm)

P = hauteur de la lame d'eau moyenne annuelle précipitée (mm)

L = pouvoir évaporant de l'atmosphère, donné par la relation :  $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$

( G. Castany )

T = température moyenne annuelle de l'atmosphère (°C).

### II.3. L'évapotranspiration potentielle ( ETP ):

C'est l'évaporation des eaux, du sol, des surfaces libres et permanentes, ainsi que l'évapotranspiration des plantes et des êtres vivants, pouvant être restitués à l'atmosphère.

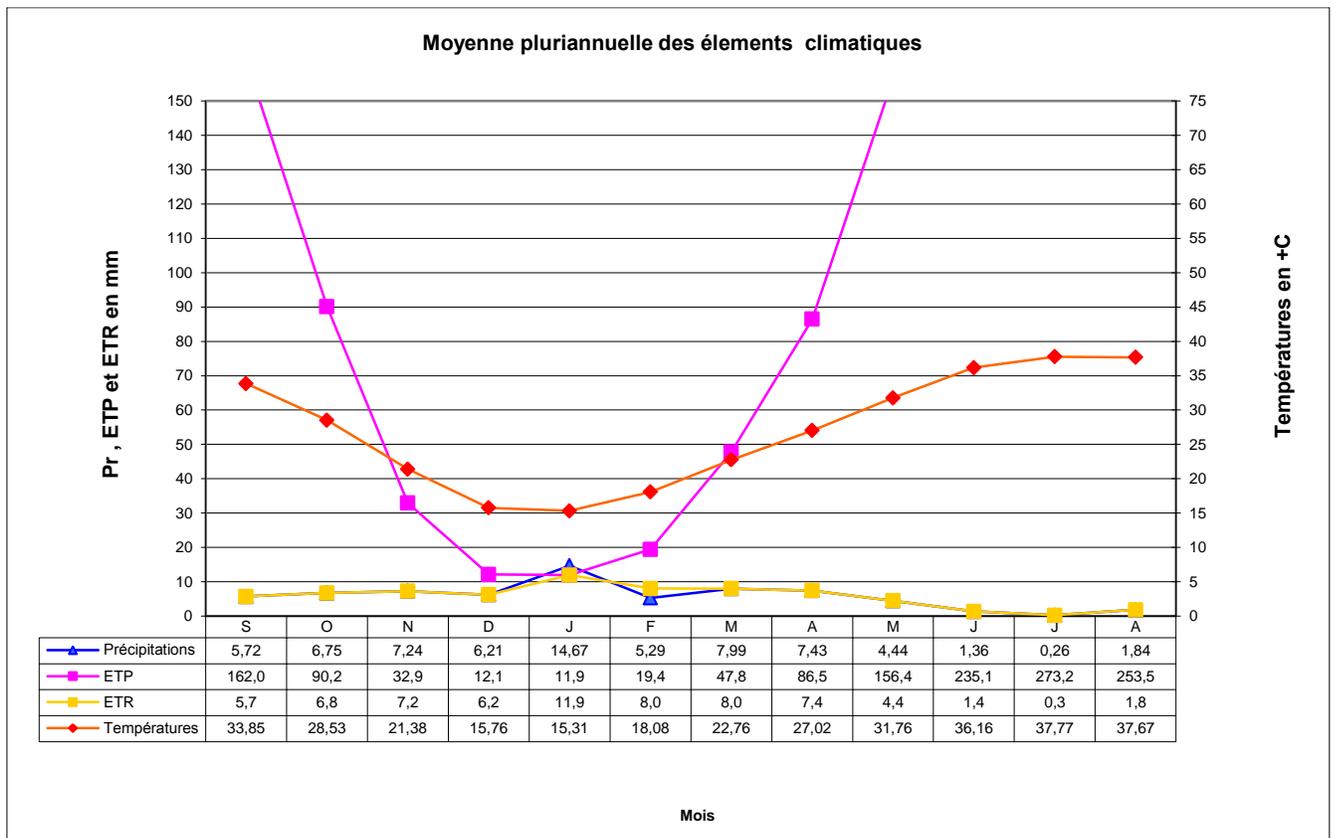
Elle est calculée en utilisant : la méthode de C. W. Thornthwaite:

$$ETP \text{ mm} = 16 (10 \cdot t / I)^a \quad \text{ou} \quad I = \text{ou}, \quad i = (t / 5)^{1,514} \quad \text{et} \quad a = 0.016 \cdot I + 0.5$$

**Tab.10: Bilan hydrique (C.W.Thornthwaite) (1978-2017).**

	<b>Tp</b>	<b>IT</b>	<b>CL</b>	<b>ETPC</b>	<b>Pr</b>	<b>BH</b>	<b>CH</b>	<b>VR</b>	<b>RU</b>	<b>ETPR</b>	<b>Def</b>	<b>Exc</b>
<b>S</b>	33.9	18.1	1.03	162.0	5.72	-156.3	-1.0	0.0	0.0	5.7	156.3	0.0
<b>O</b>	28.5	14.0	0.97	90.2	6.75	-83.4	-0.9	0.0	0.0	6.8	83.4	0.0
<b>N</b>	21.4	9.0	0.86	32.9	7.24	-25.7	-0.8	0.0	0.0	7.2	25.7	0.0
<b>D</b>	15.8	5.7	0.81	12.1	6.21	-5.9	-0.5	0.0	0.0	6.2	5.9	0.0
<b>J</b>	15.3	5.4	0.87	11.9	14.67	2.8	0.2	2.8	2.8	11.9	0.0	0.0
<b>F</b>	18.1	7.0	0.85	19.4	5.29	-14.1	-0.7	-	0.0	8.0	11.4	0.0

<b>M</b>	22.8	9.9	1.03	47.8	7.99	-39.8	-0.8	0.0	0.0	8.0	39.8	0.0
<b>A</b>	27	12.9	1.10	86.5	7.43	-79.1	-0.9	0.0	0.0	7.4	79.1	0.0
<b>M</b>	31.8	16.4	1.21	156.4	4.44	-152.0	-1.0	0.0	0.0	4.4	152.0	0.0
<b>J</b>	36.2	20.0	1.22	235.1	1.36	-233.7	-1.0	0.0	0.0	1.4	233.7	0.0
<b>J</b>	37.8	21.4	1.24	273.2	0.26	-273.0	-1.0	0.0	0.0	0.3	273.0	0.0
<b>A</b>	37.7	21.3	1.16	253.5	1.84	-251.7	-1.0	0.0	0.0	1.8	251.7	0.0
<b>Annuel</b>	<b>27.2</b>				<b>69.2</b>					<b>69.2</b>		<b>0.0</b>



Au terme de ce bilan hydrique pour la station de Guemar selon Thorntwaite, nous pouvons dire que :

- ❖ Au cours de l'année, la pluviométrie annuelle. dépasse un fois l'évapotranspiration potentielle.
- ❖ l'ETPR atteint le maximum au mois de Janvier (11,9 mm) et son minimum au mois de Juillet (0.3mm).
- ❖ La constitution de la RU et VR est null.
- ❖ La sécheresse constitue une partie prédominante de l'année hydrologique. Elle dure 11 mois de l'année.
- ❖ Il y a un déficit agricole durant toute l'année d'où la nécessité d'irriguer. Le bilan hydrique a montré que notre région d'étude est marquée par un précipitation très faible.

### **III. Conclusion:**

La pluviométrie est faible à cause du caractère d'aridité qui règne sur tout le Sahara Algérien, mais du nord vers le sud le gradient pluviométrique est décroissant.

Caractérisé par un climat hyper aride de température moyenne annuelle 27,06°C avec une altitude moyenne de 80m, et de précipitation annuelle 71,75 mm, pour l'humidité une moyenne de 47,59 %, les vents a une vitesse moyenne de 29 km/h.

Le mois le plus humide est Décembre caractérisé par une forte humidité (moyenne de 65,95%) et d'un faible rayonnement solaire et le mois le plus sec est juillet caractérisé par une faible humidité (moyenne de 31,34 %), et pour l'évaporation :la moyenne annuelle est de 67,02mm.

On peut conclure que la région de souf est caractérisée par un climat hyper aride de type saharien avec fortes températures et faibles précipitations. Cette région présente un hiver froid et un été chaud.

# Chapitre III: Hydro-géologie

## **I. Introduction:**

L'étude hydrogéologique nous a permis l'identification des différents aquifères, leur géométrie, l'évolution du niveau piézométrique, le sens d'écoulement des eaux.

Cela nous conduit à la réalisation:

- Des cartes de substratum de l'aquifère.
- Des coupes hydrogéologiques générales, régionales et locales.
- La carte piézométrique avec sens des écoulements des eaux.

Le système aquifère du Sahara septentrional occupe une superficie de plus d'un million de Km<sup>2</sup> dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord: environ 700.000 Km<sup>2</sup> en Algérie, 80,000 Km<sup>2</sup> en Tunisie et 250.000 Km<sup>2</sup> en Libye.

Ce sont des dépôt continentaux dans lesquels on distingue en réalité deux aquifères que l'on va appeler, de bas en haut, le CI, et le CT.

## **II. Cadre hydrogéologique :**

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780'000 km<sup>2</sup>.

Ce bassin, vaste zone d'épandage, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique.

La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux.

Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au Nord-est du bassin.

Celui-ci comporte, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède.

Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres.

Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique certain.

Allant du Crétacé au Quaternaire, elle constitue une alternance de grès, sables, sables argileux et d'argiles, de calcaires, dolomies et de marnes, ainsi que d'évaporites.

Cette série comporte trois grands ensembles perméables auxquels correspondent trois grands systèmes aquifère phréatique.

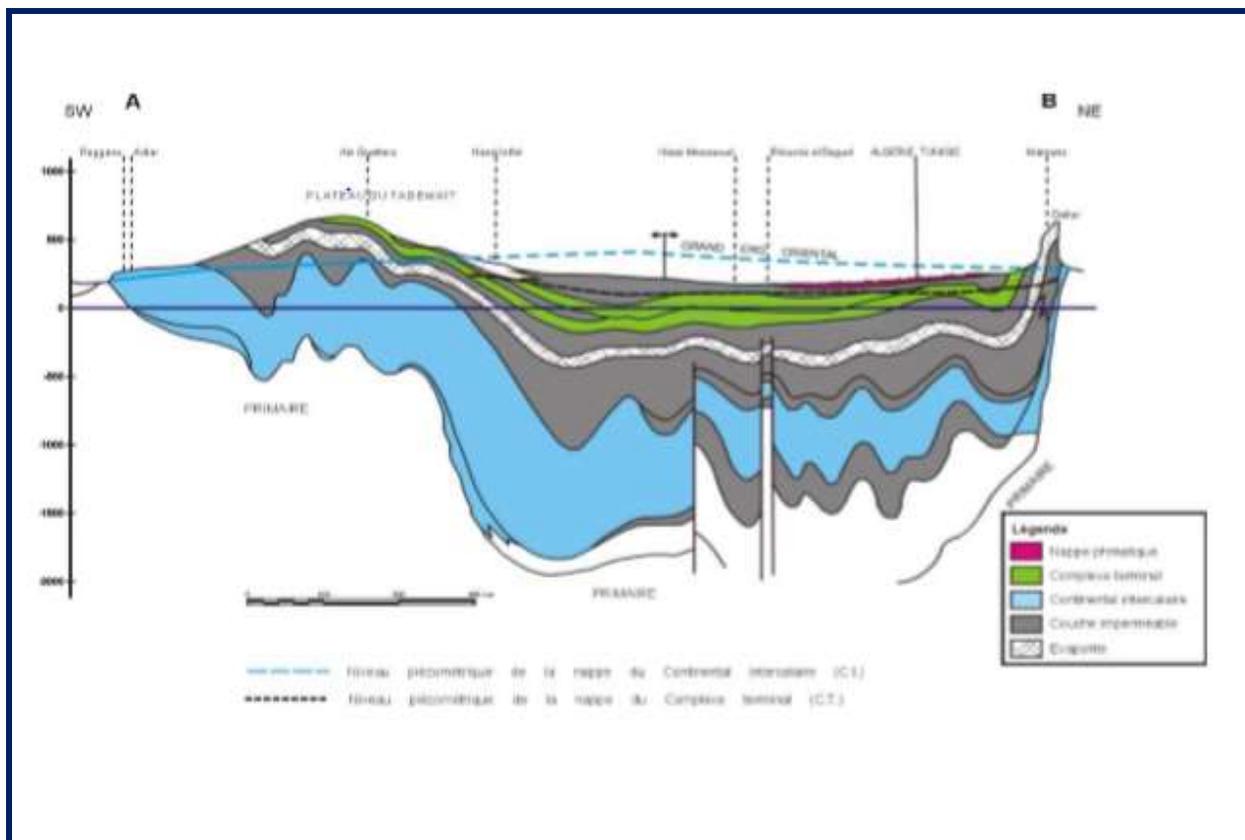


Fig.15: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972) .

## II.1. Nappe Phréatique :

PLINE dans son histoire naturelle ancienne 1855, la signalait déjà : à 12 journées de marche de la grande syrte vers l'occident, se trouvent des puits qui appartiennent aux Ammanientes, peuples qui trouvent sans peine des sources à une profondeur de 2 coudées.

Cette nappe abondante est de plus en plus profonde vers le sud. Elle est à 7 ou 8 m à Guemmar, à 14 ou 15 à El Oued et peut se trouver à 20 m de profondeur dans les villages au sud d'El Oued.

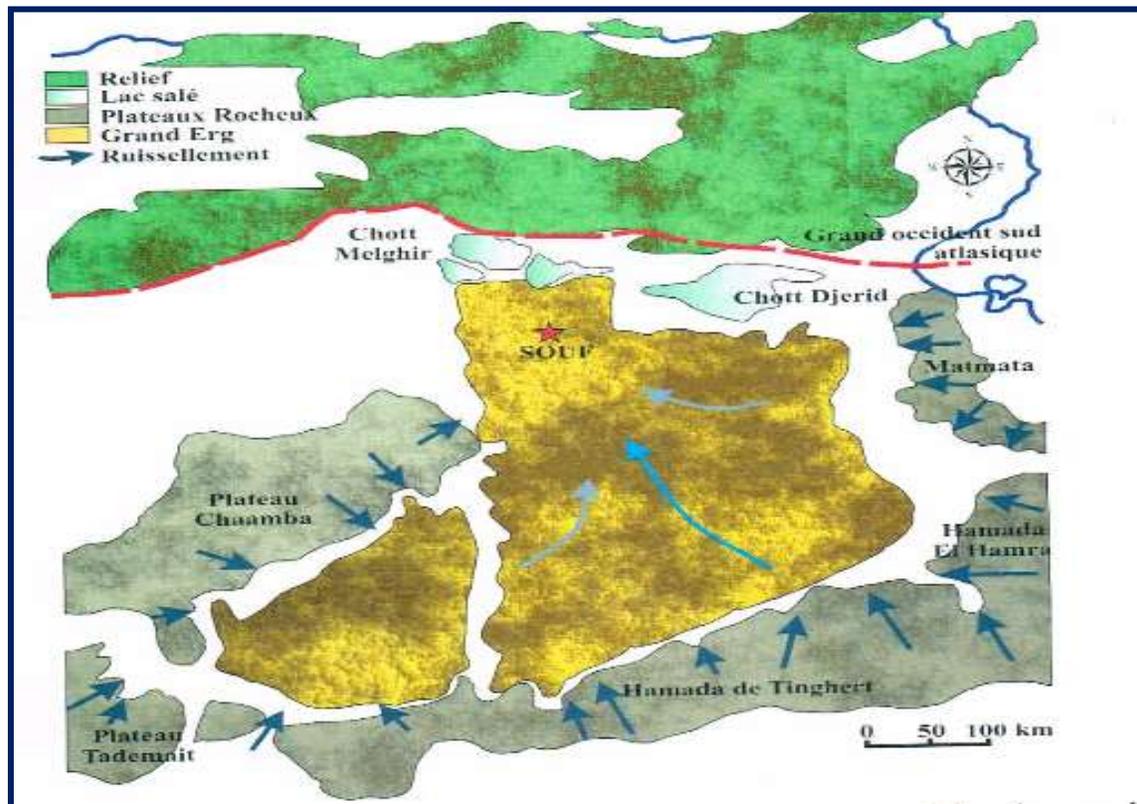
L'eau de la nappe phréatique est partout dans le souf. Elle repose sur le plancher argilo-gypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau et celle du sol, ne dépasse pas une distance moyenne verticale de plus de 40 m de sable non aquifère.

D'après Dubief 1947, l'alimentation de cette nappe, assurée uniquement par l'infiltration des eaux, est à écarter car la pluviométrie, typiquement saharienne, même si elle se montrait parfois

généreuse, ne suffirait jamais à expliquer à elle seule l'existence d'une pareille accumulation d'eau dans le sous-sol.

L'épaisseur de la nappe phréatique contenue dans les sables dunaires quaternaires (zone saturée), est de l'ordre de quelques m (par Exp: 25 m à El Oued).

Les études de leïèvre 1969, de Nesson 1978 et de Guendouz et al. 1992 montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique suit celui de la nappe du complexe Terminal, c'est-à-dire du sud vers le Nord.



**Fig.16: Zone d'alimentation de la nappe phréatique et le sens d'écoulement de la nappe (Cote Marc, 2006) Modifier.**

## **II.2. Nappe Complexe Terminal:**

Selon la définition de Kilian C 1931, le terme CT désignait les formations continentales, sableuses et argileuses du Miopliocène. Mais d'après BEL et DEMARGNE 1966: "La nappe du CT contenue dans les sables du Miopliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du CT, par opposition au CI".

C'est avec le projet étude des ressources en eau du Sahara septentrionale que l'on verra apparaître la notion du CT, appellation publiée pour la première fois par BEL et Cuche 1969: ce terme de nappe CT qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre sénonien, Eocène et Miopliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts ou l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Miopliocène sur la bordure du bassin.

Les terrains constitutifs du CT s'étendent sur une superficie d'environ 350.000 Km<sup>2</sup> en Algérie et en Tunisie, couvrent essentiellement la majeure partie du bassin oriental et l'ensemble du Sahara septentrional, depuis la Saoura à l'Ouest jusqu'au graben de Hun jusqu'au flanc Nord des plateaux de Tademaït et du Tinhert Algérie, de Gargaf Nord du Fezzan en Libye.

Son extension longitudinale est donc moins égale à celle du CI 1600 Km, tandis que sa hauteur dans sens Nord-Sud est plus réduite 600 Km.

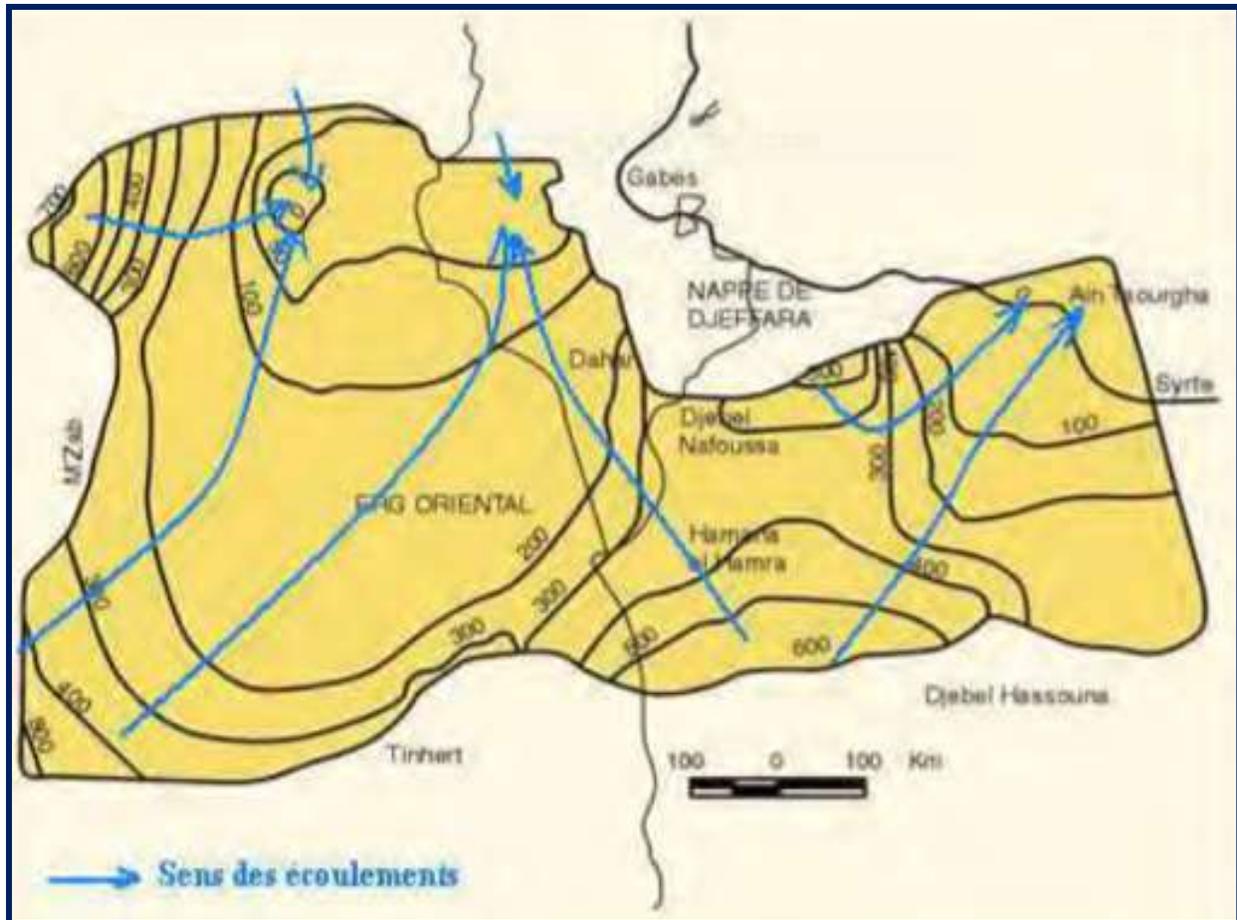


Fig.17: Piézométrie du Complexe Terminal (OSS, 2003).

### II.2.1. L'exutoire du CT:

Dans le bassin Occidental, l'écoulement se produit dans des zones d'affleurement du piedmont vers le Sud (limite Sud du Grand Erg et zone d'affleurement du CI).

A l'extrême Ouest, une partie de cet écoulement est interceptée vers le sillon de la Saoura. Et à partir de la dorsale du M'Zab, l'ensemble de l'écoulement converge vers la zone des chotts c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental.

Dans le Sud tunisien et en Libye cette direction d'écoulement vers le Nord-Ouest puis vers le Nord se poursuit, avec un fort gradient en Libye par suite de la réduction de transmissivité du réservoir.

### **II.2.2. L'exploitation de CT dans la région du Souf:**

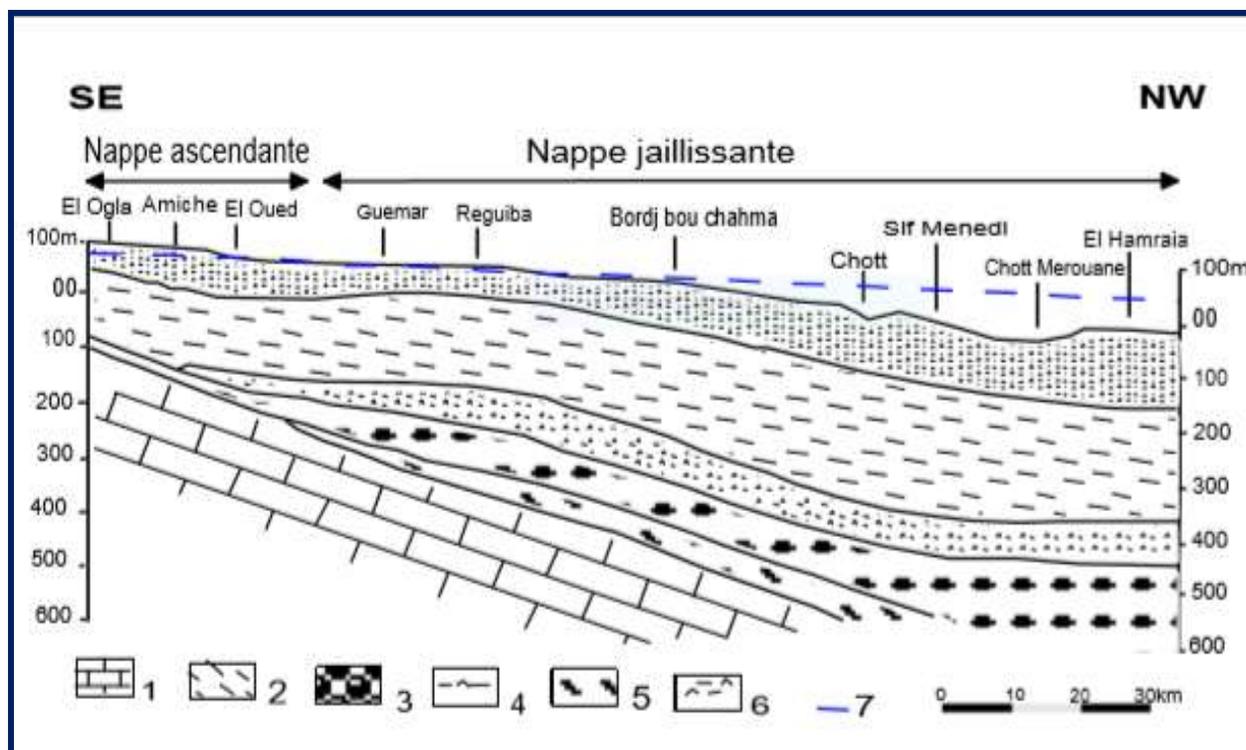
Le premier forage semi-profond artésien de prospection fut exécuté en 1953 à Sif El Menadi (90 Km N.O d'El oued); foré à 435 m de profondeur, il a débité quelques 4 m<sup>3</sup> par minute et permit la première plantation de palmiers irrigués.

Dans la région du souf, l'eau jaillit depuis le printemps 1956 d'un forage exécuté à El-Oued, à près de 300 m de profondeur; le débit est assez faible 3,3 litres/seconde) et la pression au sol assez réduite +2,4 m.

D'après l'inventaire des forages de la DRH El Oued, il existe actuellement dans la région du souf 153 forages du CT ; ou dans la région du Souf 124 forages destinés à l'Alimentation en eau potable.

Pour le secteur agricole il y a dans la région du Souf des grands investissements. Qui besoin d'un grand volume d'eau pour l'irrigation; pour cela la Direction des Ressources Hydriques d'El Oued a attribué 29 forages pour l'irrigation.

D'après la DRH d'El Oued le débit exploité dans la Wilaya d'El Oued à partir des deux aquifères du CT atteint environ 18 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Mais pour les communes de notre région d'étude le débit exploité ne dépasse pas 4,5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.



1- calcaire de l'Eocène inférieur marin et de l'Eocène moyen évaporitique. 2- Argiles sableuses et marnes de la base du continental terminal. 3- Sable grossiers à graviers du Pontien inférieur. 4- Argiles et gypse dominants. 5- Argiles et sable dominants. 6- Argile sable et gypse (les trois derniers étages appartiennent au Mio-Pliocène supérieur). 7- Niveau hydrostatique de la nappe du Pontien inférieur.

**Fig.18: Coupe hydrogéologique de l'El-Oued**

### **a-Nappes des sables :**

Au sein de ces niveaux sableux, vient s'engendrer deux nappes captives, dont la première correspond à la formation supérieure du Complexe Terminal appelée communément réservoir du « Sub-Souf ». Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal mène progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud aurésienne, dans la région d'étude elle se trouve à 280 mètres de profondeur.

Il faut mentionner également l'existence d'une deuxième nappe de sables d'âge Pontien. Au dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires en contact avec les marnes de l'Eocène inférieurs et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en

continuité avec la nappe du Pontien du Sud Tunisien , la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ l'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-ouest vers le Nord-est, autrement dit vers la zone des chotts (Melghir et Merouane). Dans la zone à fortes exploitations telle que la ville d'El-Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Laarbi et Douar El Maa, la nappe est exploitée à ce jour artisanalement. C'est le cas de la nappe Pontienne.

### **b- Les nappes de calcaires :**

Le Complexe Terminal possède une litho-stratigraphie plus complexe ; les forages captant cette nappe nous montrent l'existence de deux niveaux servant de repère pour la classification des eaux souterraines ; du Sud au Nord, nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux. Il correspond au niveau inférieur. Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux, est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble, ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses avec des passées d'argile rouge.

### **II.3. Nappe du Continental Intercalaire:**

La nappe du CI directement surmontée par les argiles et carbonates du Cénomaniens, s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, sur plus de 600,000 Km<sup>2</sup>.

Cet aquifère est contenu dans les formations continentales des horizons sablo-gréseuses et argilo-sableuses du crétacé inférieur (Barrémien et Albien).

Les formations du CI s'étendent jusqu'en bordure de la plate forme, en une auréole continue d'El Goléa (Algérie) jusqu'à la limite Sud de la Hamra (Libye).

Au Nord-Ouest du bassin, le CI affleure tout au long de l'Atlas saharien et au Nord-est au pied de la falaise du Dahar et du Jebel Nefusa.

Plus Sud, le CI repose directement sur les formations marines du paléozoïque, lequel forme en affleurement une ceinture continue allant de la frontière marocaine, à la limite Nord- Ouest du bassin, jusqu'à la ville de Hun (Sud-est de Libye).

Les premiers jaillissements de l'eau obtenus en genèse de l'Albien.

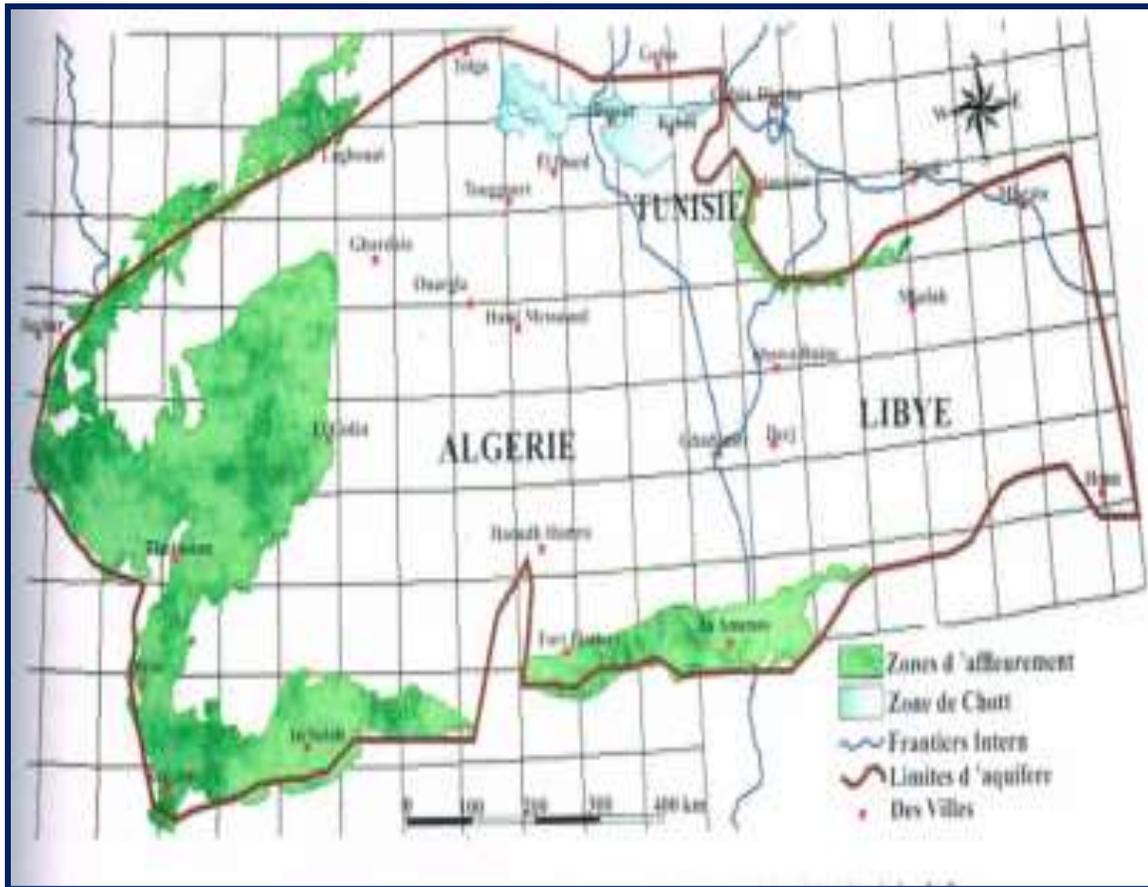


Fig.19: Les zones de recharge de CI (OSS, 2015) Modifier.

### II.3.1: L'exutoire du CI:

L'exutoire naturel principal de l'aquifère est situé en Tunisie. Il consiste en des remontées verticales par failles dans la zone du Chott Fedjaj et à un écoulement vers la nappe de la Geffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Oued Hamma et de Medenine.

Les bordures occidentales et méridionales du Tademait constituent aussi une zone d'exutoire naturelle importante, probablement jalonnée anciennement par des sources, dont les foggaras ont pris la relève.

L'eau non captée s'évapore dans un chapelet de sebkhas qui occupent le fond des dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt au Sud.

Sur le reste du domaine, mis à part la zone de communication possible avec le CT sur le Grand Erg Occidental. Le toit de la formation, constitué d'une épaisse couche d'argile et d'anhydrite, est parfaitement imperméable et isole complètement les deux réservoirs.

L'exploitation du CI s'est d'abord effectuée, depuis de longs siècles des exutoires artificiels, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït dès le X<sup>e</sup> siècle.

Aujourd'hui il existe, dans l'ensemble de la région du Souf, quatre forages du CI; trois en production AEP et le nouveau forage du 19 Mars réalisé pour alimenter la station de traitement d'osmose inverse à réaliser.

Ils sont totalement destinés pour couvrir les besoins domestiques.

La demande en eau industrielle est cependant très faible.

### **II.3.2: Piézométrie et direction des écoulements:**

Les travaux de Cornet(1964), ERESS (1972), Pallas(1978), Idroteneo(1982), Geomat (1994) et OSS (2003a et b), ont participé à l'élaboration de la carte piézométrique du CI.

Le niveau piézométrique de cette nappe est généralement supérieur à celui de la nappe du complexe intercalaire.

Les circulations d'eau souterraine du CI dans le Grand Erg Oriental convergent vers un seul exutoire : la région du Golfe de Gabès en Tunisie.

La direction majeure d'écoulement, W-E, vient de l'Atlas Saharien et de la dorsale du M'Zab.

Une autre direction vient du Sud et du Sud-est.

**Tab.10: Récapitulatif des systèmes aquifères d'El-Oued.**

Nature hydrogéologique		Nature Lithologique	Etage		Ere
Nappe phréatique		sables	Quaternaire		
Niveau imperméable		Argiles			
1 nappe des sables	Complexe Terminal	sables	poliocène		Tertiaire
Semi-perméable		Argile gypseuses			
2 nappe des sables		Sables grossiers, graviers	Pontien	Miocène	
Niveau imperméable		Argiles lagunaires, marnes	Moyen	Eocène	
Nappe des calcaire		Calcaire fissuré	Inférieur	crétacé	
	Sénonien carbonaté		Secondaire		
Semi-perméable	Evaporation, argiles	Sénonien lagunaire			
Niveau imperméable	Argile, marne	Cénomaniien			
Nappe de CI		Sables et Grés	Albien		

Commentaire du tableau : (d'après 2013)

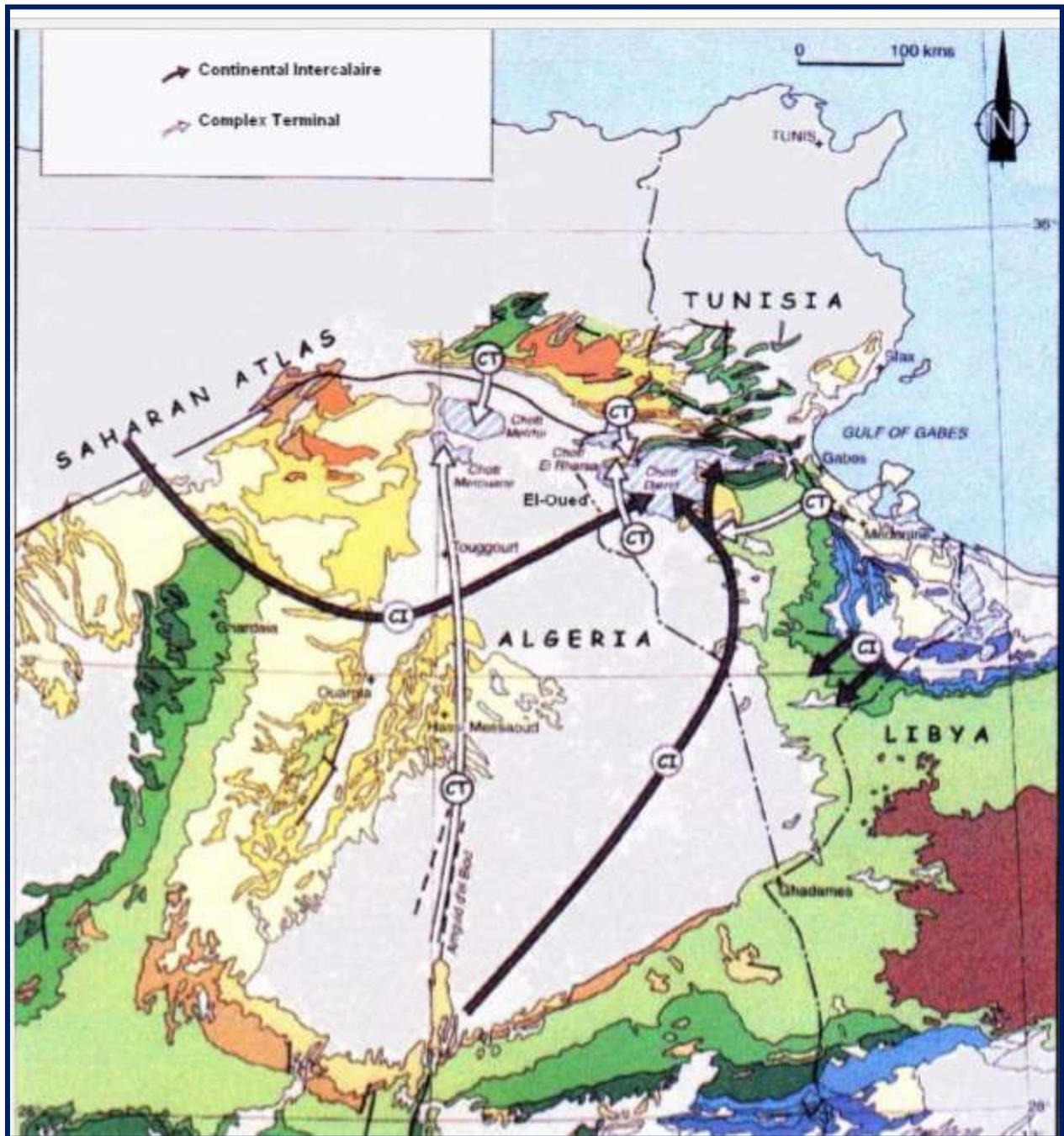


Fig.20: Carte géologique avec le sens d'écoulement des aquifères CT et CI  
(UNESCO, 1972).

## **V. Piézométrie:**

La carte piézométrique a pour but de représenter la configuration de l'aquifère et de schématiser la fonction conduite du réservoir de l'aquifère, elle traduit la morphologie de la surface d'eau de la nappe à une époque déterminée. Une campagne piézométrique faite pendant les basses eaux a permis de suivre l'évolution de la piézométrie de la nappe.

### **V.1. Interprétation de la carte piézométrique (2017):**

La carte piézométrique dressée pendant la période des basses eaux (2017) a permis de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines, l'alimentation de la nappe.

Dans la partie -est - l'allure des courbes présentent un espacement faible c'est – à-dire une faible perméabilité et un forte gradient hydraulique.

Dans la partie - Ouest - la forme des isopièzes présente des courbes espacées qui se traduisent par un écoulement faible, une bonne perméabilité et faible gradient hydraulique.

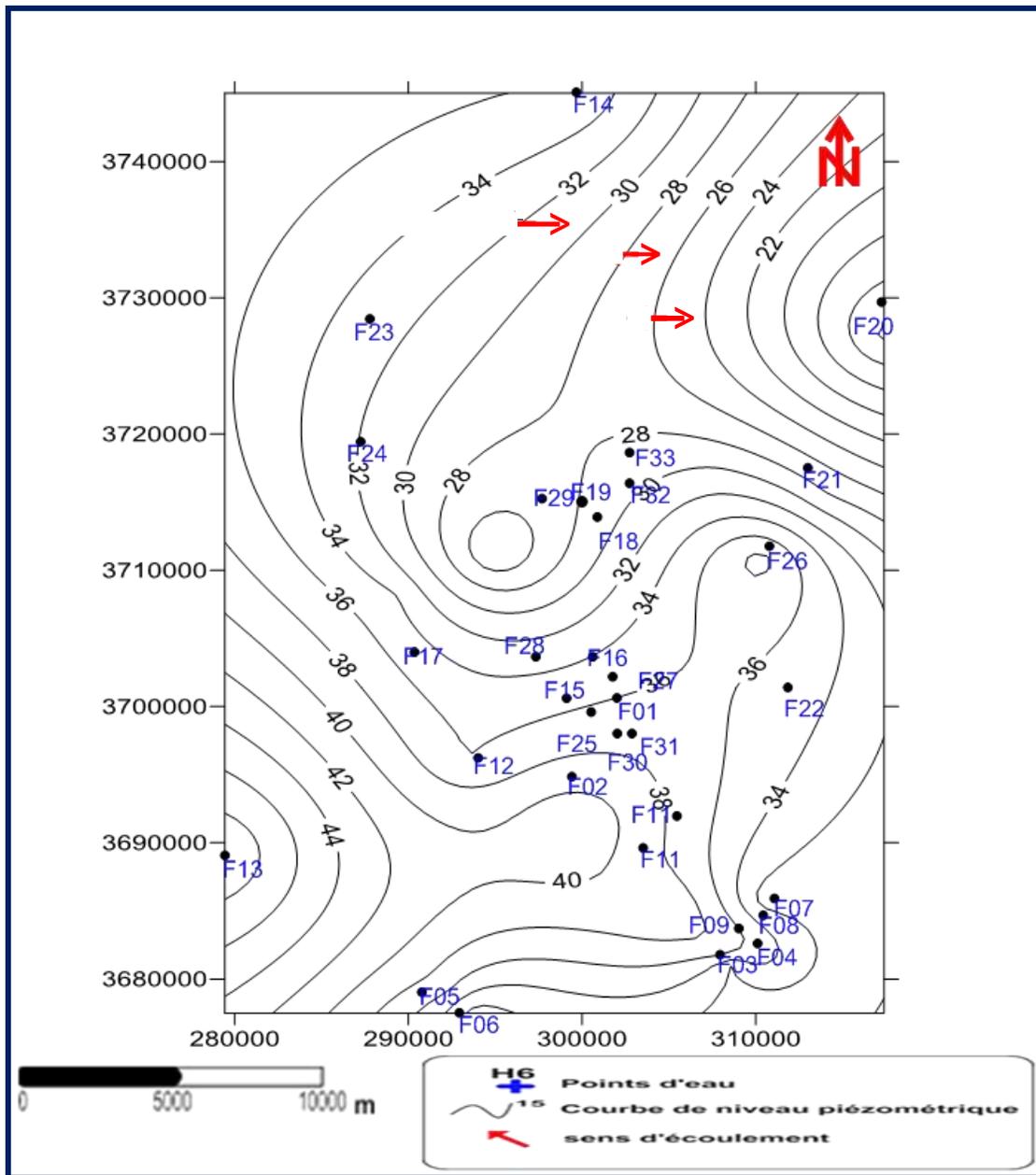


Fig. 21: Carte piézométrique des eaux souterraines (nappe CT) de la région d'El-Oued (2017).

Tab.11: Analyses Physico-chimiques des eaux souterraines de la région d'El oued.

Région	Nappe	Forage	C ms/ cm	pH	TH° F	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO mg/l	Cl mg/l	SO mg/l	F mg/l
El Oued	Phréatique	REGUIBA	3,3 5	7,64	450	816	590	80	11	34	700	1018	2,56
		ZGOUB	13, 46	7,48	533	1430	421	1125	59	178	4998	3170	5,21
	Pontien	CHOTT	52	7,32	100	128	166	600	32	122	685	680	1,72
		KOUININE	3,7 0	7,51	113	190	157	540	30	113	693	870	1,65
	Albien	DW102	2,3 9	7,21	83	165	100	228	34	134	374	790	0,36
		H- KHELIFA	2,9 3	8,30	94	66	186	425	27	49	381	1820	0,80

Analyse (Bouchahm et Achour, 2008)

## **VI. Conclusion :**

Les nappes d'eau souterraines de la région du Souf sont contenues dans des formations aquifères de nature différente.

Généralement trois ensembles géologiques qui contiennent les ressources en eau souterraine : un vaste bassin sédimentaire constitué de couches d'épaisseur et de caractéristiques hydrogéologiques variables sont: **1-** La nappe phréatique **2-** Complexe Terminal **3-** Continental Intercalaire.

Les eaux des forages de la nappe CI, sont utilisées totalement pour l'alimentation on eaux potable.

Et pour les forages du CT, il y a 153 forages; les 29 forages d'irrigation distingués pour les grands périmètres.

D'après MNT qui présente la surface piézométrique du CT; on remarque une perte l'artésiennité dans tout le Nord du Souf.

L'analyse de la carte piézométrique de la nappe du complexe terminal montre que dans la partie -est - l'allure des courbes présentent un espacement faible c'est – à-dire une faible perméabilité et un forte gradient hydraulique.

Dans la partie - Ouest - la forme des isopièzes présente des courbes espacées qui se traduisent par un écoulement faible, une bonne perméabilité et faible gradient hydraulique.

# Chapitre IV: Hydro-chimique

## IV.1 Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux souterraines de l'aquifère de Miopliocène de la vallée d'Oued Souf, son évolution dans le temps et dans l'espace.

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau que nous avons prélevés au niveau de la nappe **CT** du Souf où nous avons sélectionné 33 forages d'eau.

## IV.2 Méthodes et stratégie de travail :

### IV.2.1 Prélèvements :

Ont été prélevés les échantillons à l'aide de l'ADE (Algérienne Des Eaux) et les mesures des paramètres physico-chimique ont été effectuées sur 33 échantillons (forages).

### IV.2.2 Mesures in situ : T°C par Thermomètre – PH et Conductivité électrique par PH mètre .

Quatre paramètres T°C, pH, la conductivité électrique et le niveau piézométrique ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi paramètres.

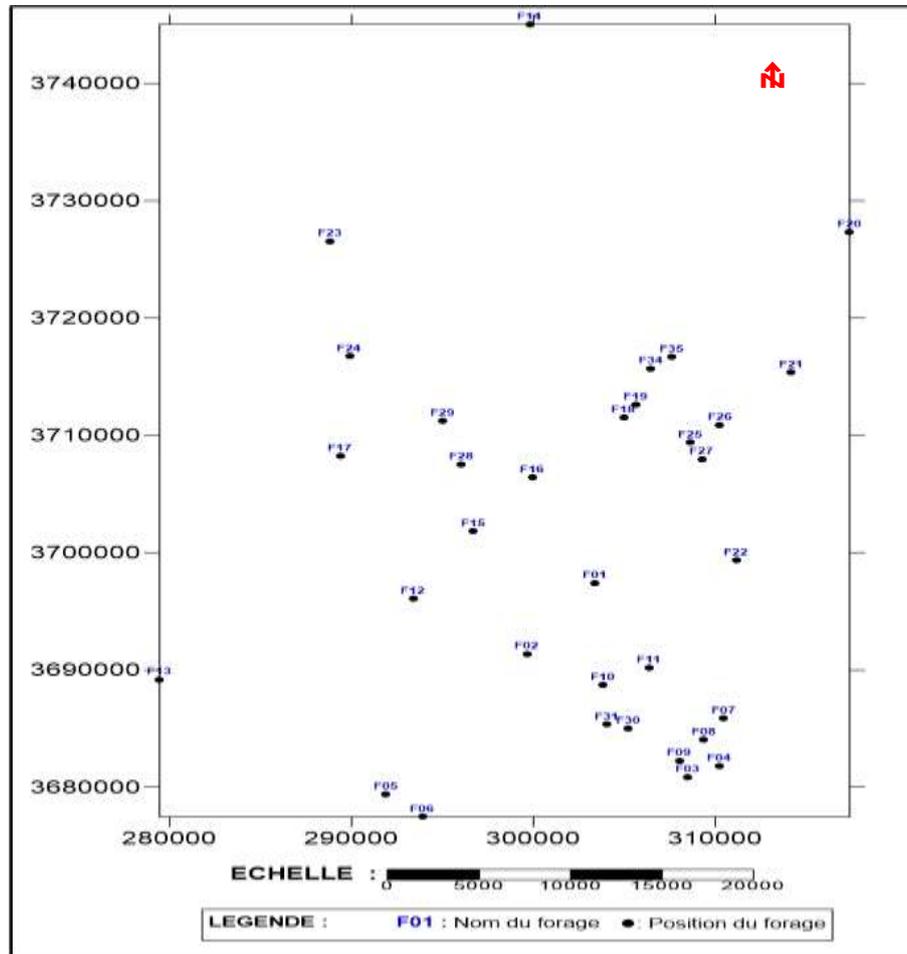
### IV.2.3 Analyse des éléments chimiques :

Une analyse des éléments chimiques fondamentaux ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ) a été effectuée ainsi que le cycle de l'azote  $\text{NO}_3^-$  (Annexe A).

Trois méthodes d'analyse ont été utilisées :

- ✓ Dosage titrimétrique ( $\text{HCO}_3^-$ ) ;

- ✓ Dosage colorimétriques ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ;
- ✓ Dosage par spectrométrie d'adsorption atomique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ).



**Figure N°23:** la carte de la répartition des points de prélèvements dans la région d'El-Oued (Décembre 2017).

### IV.3 Paramètres physico-chimiques :

#### IV.3.1 Paramètres physiques :

##### IV.3.1.1 Température :

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH. La connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines. Dans cette étude, les températures des eaux souterraines observées varient de 17°C à 33°C. Elles semblent ainsi

indiquer l'influence de la température de l'air ambiant sur les eaux souterraines, traduisant une circulation peu profonde.

#### **IV.3.1.2 Potentiel d'hydrogène (PH) :**

La concentration des ions ( $H^+$ ) est exprimée par le logarithme décimal de l'inverse de cette concentration :  $pH = - \text{Log} [H^+]$ .

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

- $[H^+] < [OH^-] \longrightarrow pH > 7$  : l'eau est basique ;
- $[H^+] > [OH^-] \longrightarrow pH < 7$  : l'eau est acide ;
- $[H^+] = [OH^-] \longrightarrow pH = 7$  : l'eau est neutre ;

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau prélevé, La teneur minimale de PH est enregistrée au forage F12 avec  $PH = 7.01$ , et la teneur maximale est enregistrée au forage F21 avec  $PH = 8.10$ , ce qui reflète un caractère basique des eaux de la région.

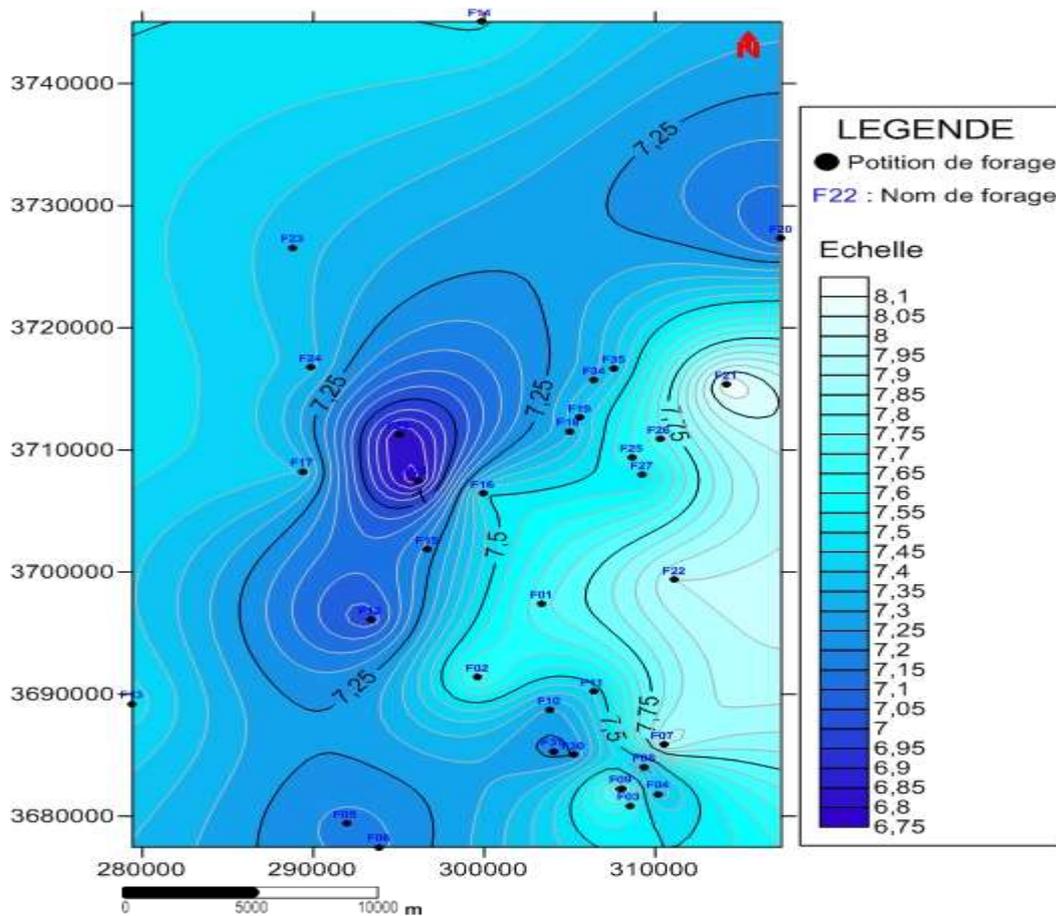


Figure N°24 : Carte de variation des teneurs de PH (mol/l).

**V.3.1.3 La conductivité électrique :**

La conductivité électrique d’une eau caractérise sa faculté à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Elle correspond à la conductance d’une colonne d’eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface, séparées l’une de l’autre de 1 cm. Elle est exprimée en µS/cm. Généralement les valeurs sont ramenées à 25°C.

La conductivité, ou son inverse la résistivité, permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. On sait qu’une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante. Le tableau (12) montre que la majorité des eaux de la nappe du complexe terminal de la vallée d’Oued-Souf ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevée.

Tableau N°12: Classification des eaux en fonction de la conductivité.

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) à 25°C	Degré de minéralisation	% des points d'eau
450>	Très faible	0
750-450	Faible	0
1500-750	Moyen	0
2300-1500	Moyennement élevé	0
3000-2300	Elevé	0
3000<	Très élevé	100

La carte (Figure N°25) montre que la teneur minimale de la conductivité électrique est enregistrée au forage F10 avec 3070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et la teneur maximale est enregistrée au forage F21 avec 7190  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle montre que la conductivité augmente dans le sens d'écoulement des eaux.

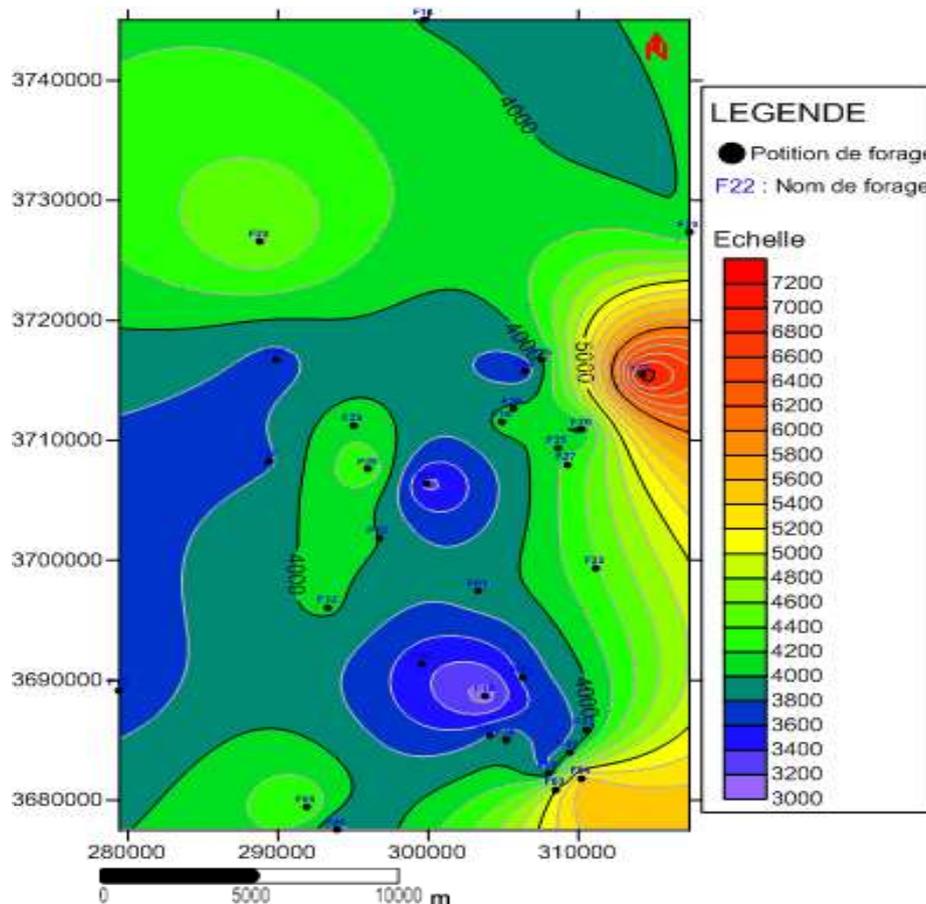


Figure N°25: Carte de variation des teneurs de conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

IV.3.2 Paramètres chimiques :

Lors de son transit, l'eau acquit une composition chimique liée à la nature lithologique du terrain traversé. L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

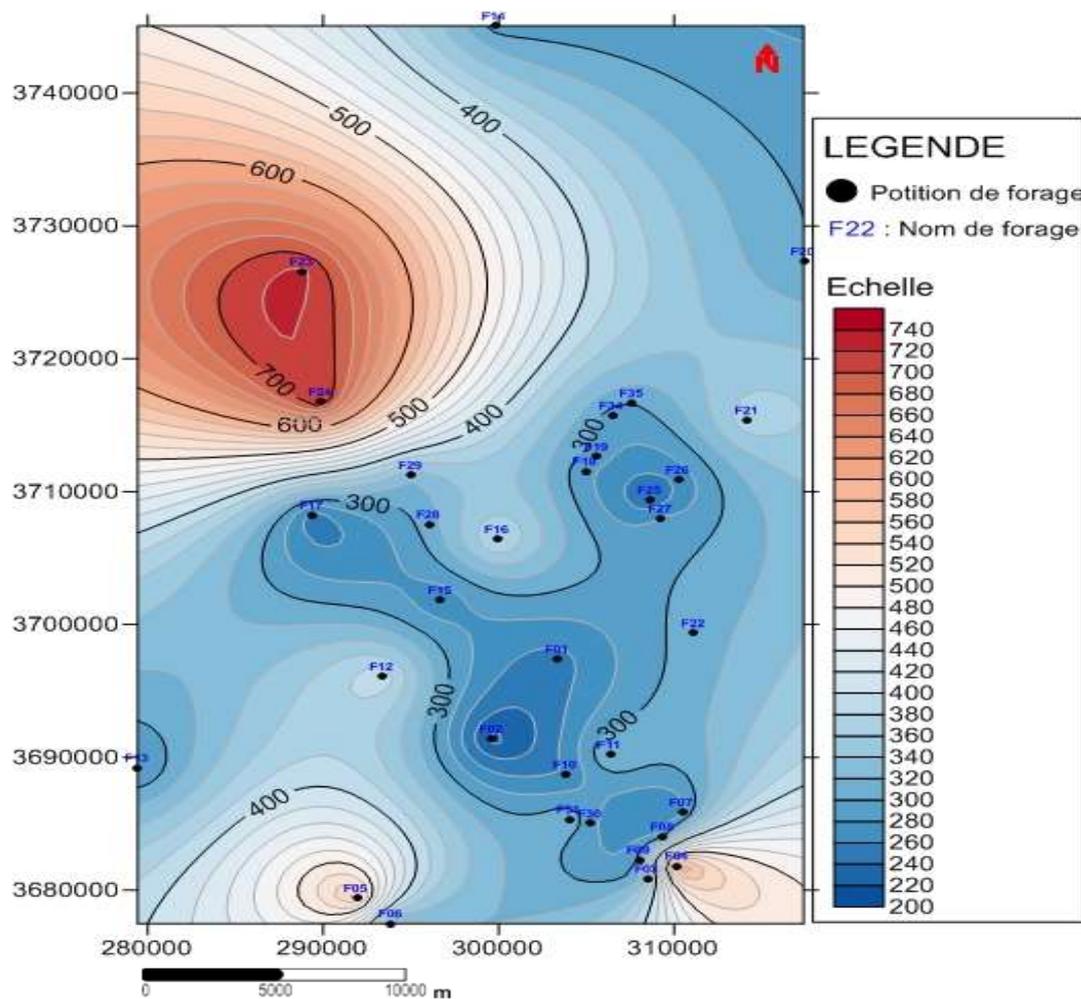
**IV.3.2.1 Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :**

Le calcium est l'un des principaux cations associés à la dureté de l'eau potable. C'est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

Le calcium peut provenir de deux origines naturelles différentes qui sont :

La dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypsifères (Ca SO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O).

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du calcium est enregistrée au forage F02 avec 212.42 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F23 avec 725.44 mg/l (Figure N°26).

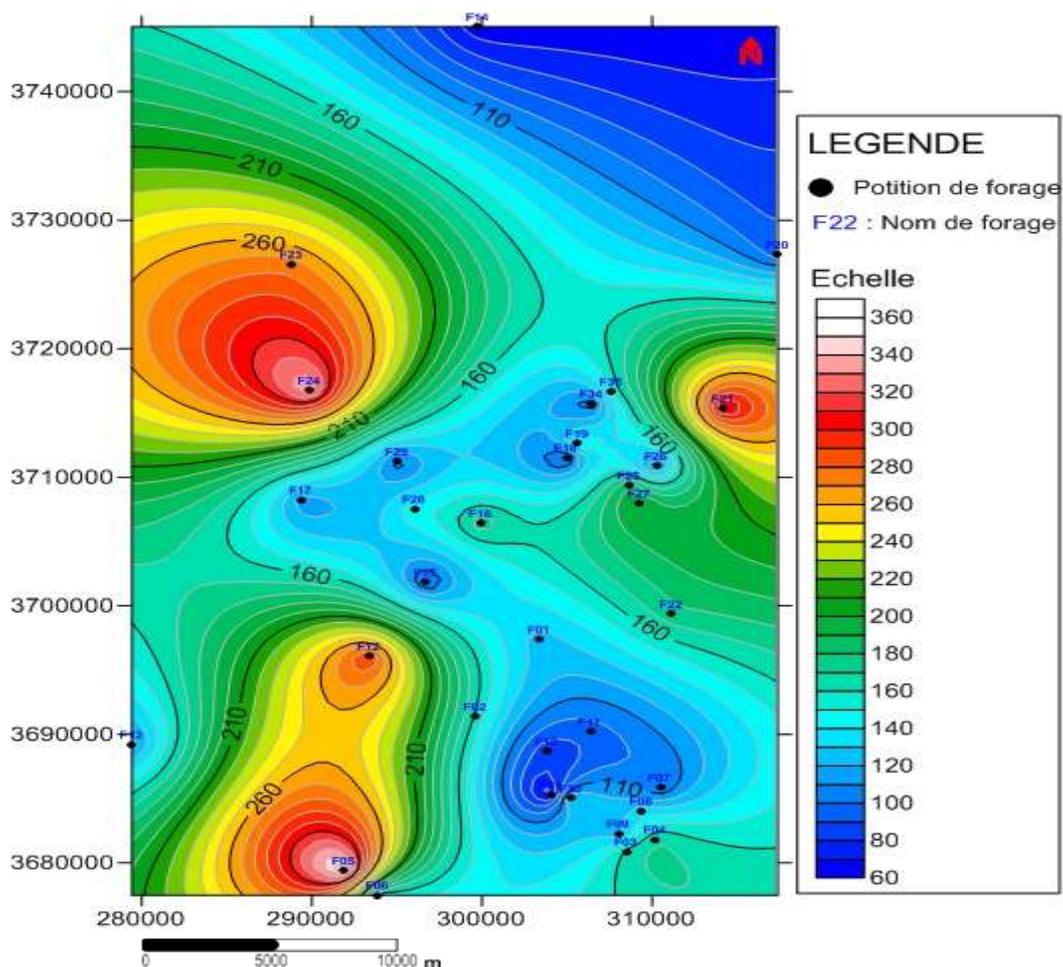


**Figure N°26:** Carte de variation des teneurs de  $\text{Ca}^{2+}$  (mg/l).

#### IV.3.2.2 Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ):

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. Il constitue 2,5 pour cent de la croûte terrestre et forme généralement des minéraux comme la giobertite (magnésite), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante. Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du magnésium est enregistrée au forage F14 avec 63.14 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F05 avec 360.70 mg/l (Figure N°27).



**Figure N°27:** Carte de variation des teneurs de  $\text{Mg}^{2+}$  (mg/l).

#### IV.3.2.3 Sodium ( $\text{Na}^+$ ):

Le sodium est un métal mou, blanc argenté et fortement réactif qui, dans la nature, ne se rencontre qu'à l'état combiné. Ce métal alcalin se présente fréquemment sous forme ionisée. On observe que, dans les milieux biologiques et même dans les solides tels que le chlorure de sodium, le métal garde l'état ionisé. À cause de la forte solubilité de ses minéraux, le sodium se retrouve partout dans le milieu aquatique. Ses concentrations varient considérablement selon les paramètres hydrologiques et géologiques régionaux et locaux, la saison et le mode d'utilisation du sel.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du sodium est enregistrée au forage F24 avec 95.63 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F21 avec 993.80 mg/l (Figure N°28).

#### **IV.3.2.4 Potassium ( $K^+$ ):**

Le potassium est le deuxième élément le plus léger, le plus réactif, le plus électropositif des métaux. C'est un solide mou qui est facilement coupé à l'aide d'un couteau. Les surfaces fraîchement coupées ont un aspect métallique. Il s'oxyde rapidement dans l'air et doit donc être conservé dans l'huile. Comme les autres métaux alcalins, il se décompose au contact de l'eau avec formation d'hydrogène. Lorsqu'il est plongé dans l'eau, il prend feu spontanément. Ses sels émettent une couleur violette lorsqu'ils sont exposés à une flamme.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale de potassium est enregistrée au forage F21 avec 20.89 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F12 avec 56.40 mg/l (Figure N°29).

#### **IV.3.2.5 Chlorure ( $Cl^-$ ):**

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ( $Na^+$ ) et de potassium ( $K^+$ ); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau prélevés, la teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F17 avec 296.59 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F21 avec 1307.40 mg/l (Figure N°30).

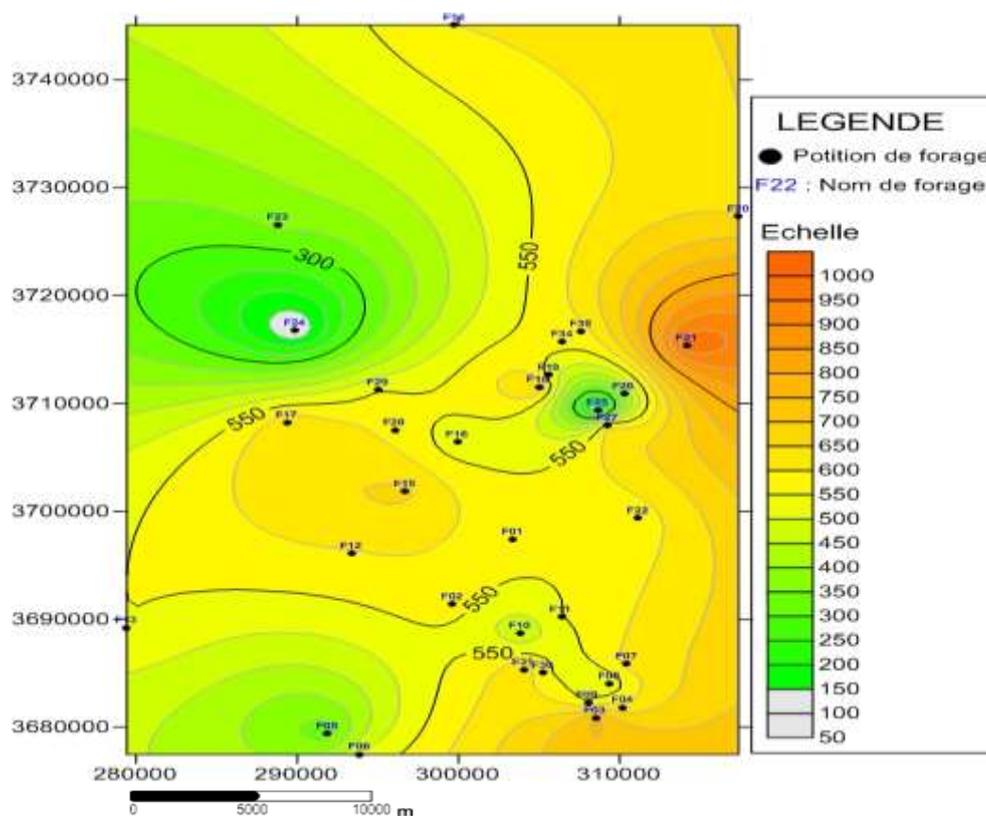


Figure N°28: Carte de variation des teneurs de Na<sup>+</sup> (mg/l).

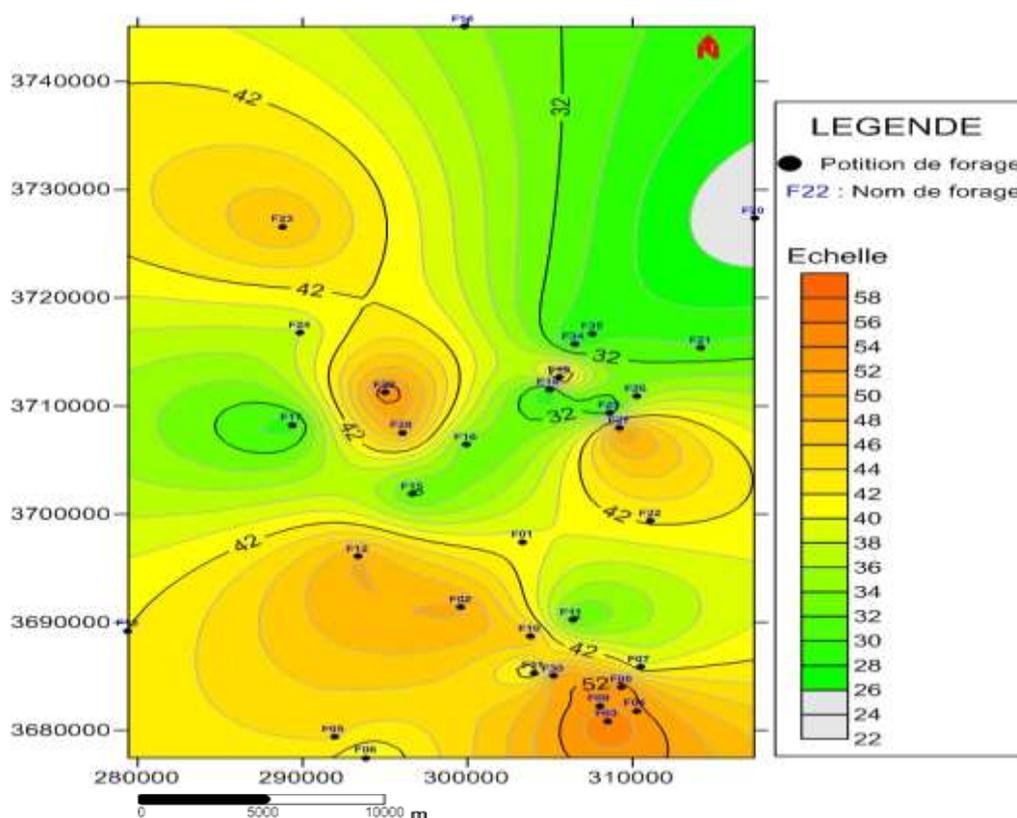


Figure N°29: Carte de variation des teneurs de K<sup>+</sup> (mg/l).

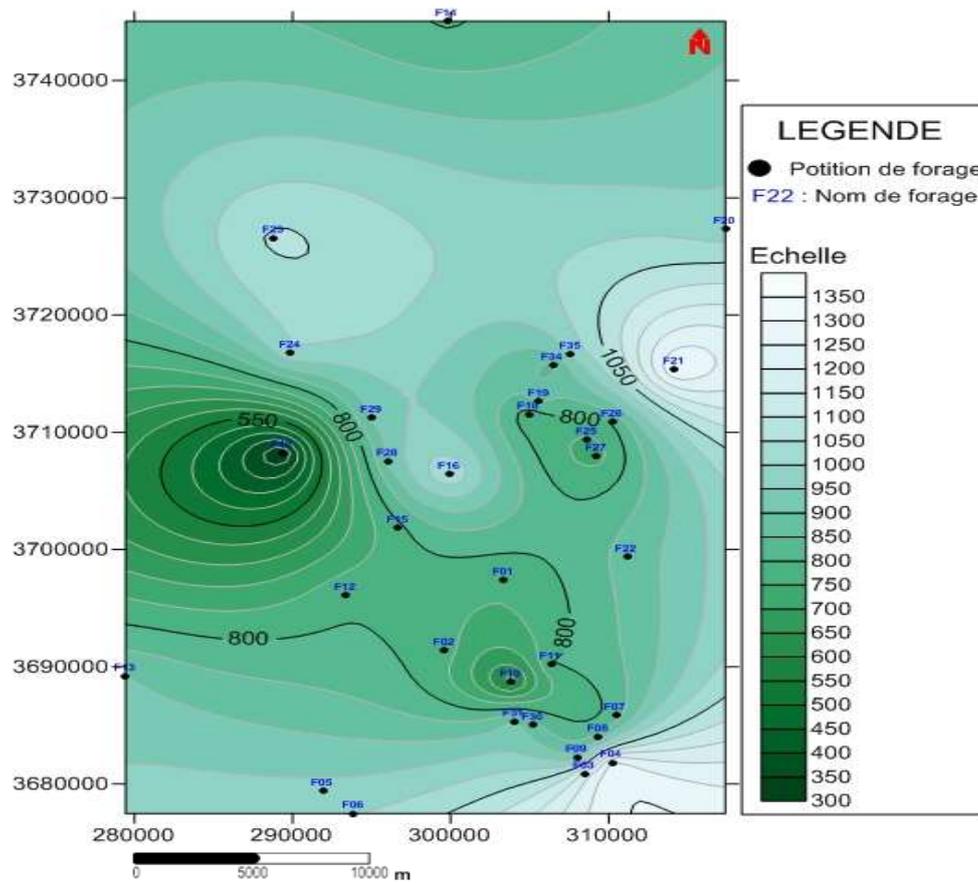


Figure N°30: Carte de variation des teneurs de Cl<sup>-</sup> (mg/l).

#### IV.3.2.6 Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>):

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates, en proportion très variables. Leurs présences résultent de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites).

De plus l'oxydation de H<sub>2</sub>S et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère entraîne lors de précipitation l'acidification des lacs et des rivières ainsi qu'une augmentation de la teneur en sulfates.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F06 avec 187.87 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F15 avec 1770 mg/l (Figure N°31).

#### IV.3.2.7 Bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>):

Les bicarbonates, ou hydrogénocarbonate, est un ion poly atomique dont la formule chimique est HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. "Bicarbonate porte ce nom de par le caractère double de ses propriétés,

il est à la fois acide et base appartenant à deux couples acido-basiques différents, on appelle cela une espèce ampholyte. À ne pas confondre avec les ions carbonates qui portent deux charges négatives. Il s'agit de la forme intermédiaire entre la déprotonation de l'acide carbonique : ôter le premier proton (ion  $H^+$ ) de l'acide carbonique donne le bicarbonate ; ôter le second proton donnera la forme carbonate ionique.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F23 avec 50.02 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F22 avec 225.70 mg/l (Figure N°32).

#### **IV.3.2.8 Nitrate ( $NO_3^-$ ):**

Les nitrates résultent de l'oxydation de l'azote organique et sont donc présents à l'état naturel dans les sols et dans les eaux. L'augmentation du taux de nitrates dans les eaux superficielles et souterraines est due pour une large part à l'enrichissement des sols par des engrais chimiques ou organiques, ainsi qu'aux rejets d'eaux usées ou mal traitées dans les cours d'eau. Les nitrates en eux-mêmes ne présentent pas de danger particulier pour la santé, c'est leur transformation en nitrites dans l'estomac qui peut être toxique.

D'après les mesures qu'on a effectuées sur les échantillons d'eau teneur minimale du chlorure est enregistrée au forage F02 avec 0.94 mg/l, et la teneur maximale est enregistrée au forage F04 avec 64.30 mg/l (Figure N°33.).

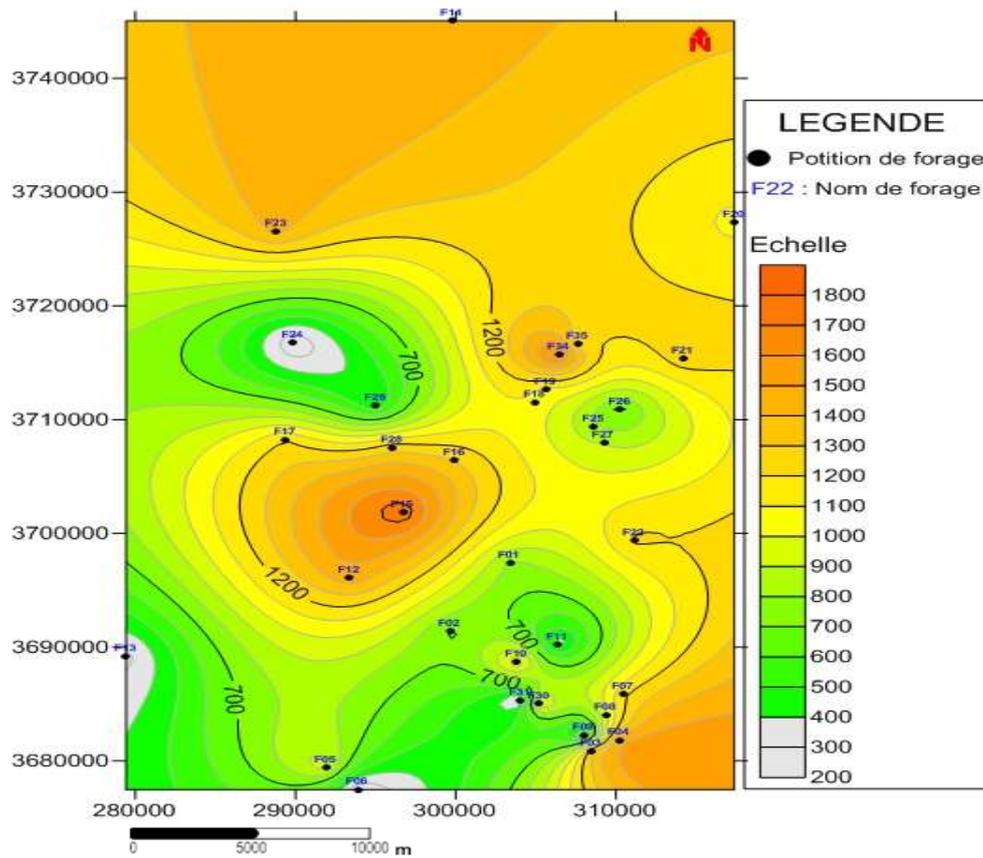


Figure N°31: Carte de variation des teneurs de  $\text{SO}_4^{2-}$  (mg/l).

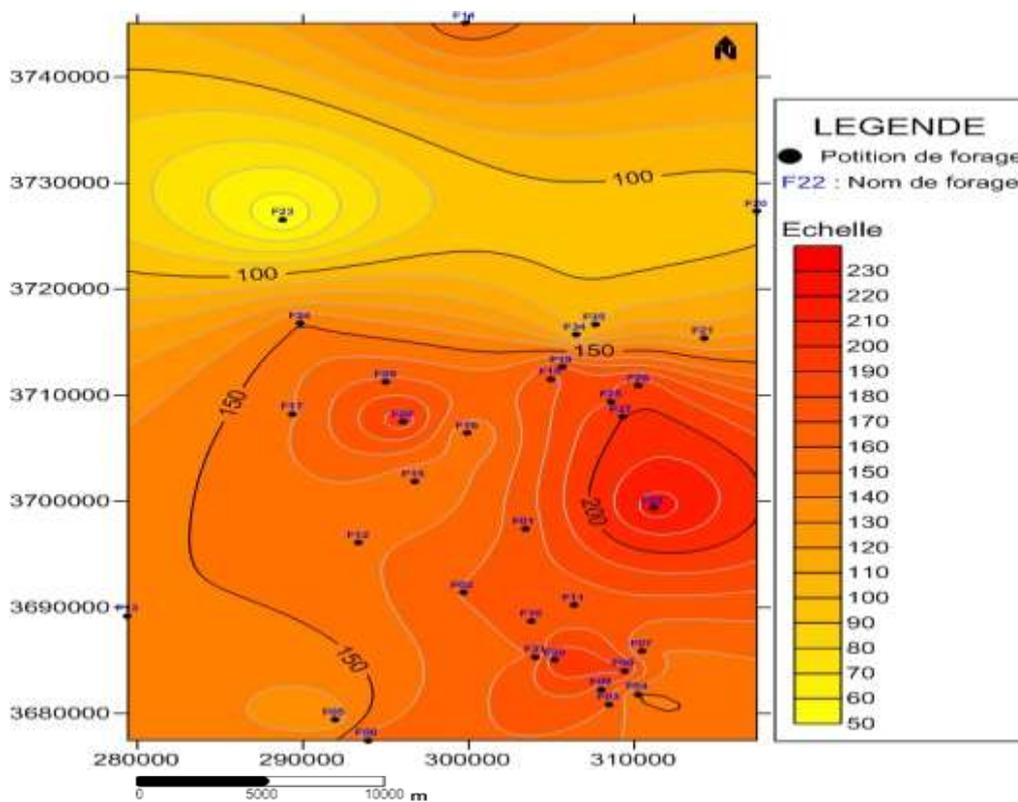


Figure N°32: Carte de variation des teneurs de  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l).

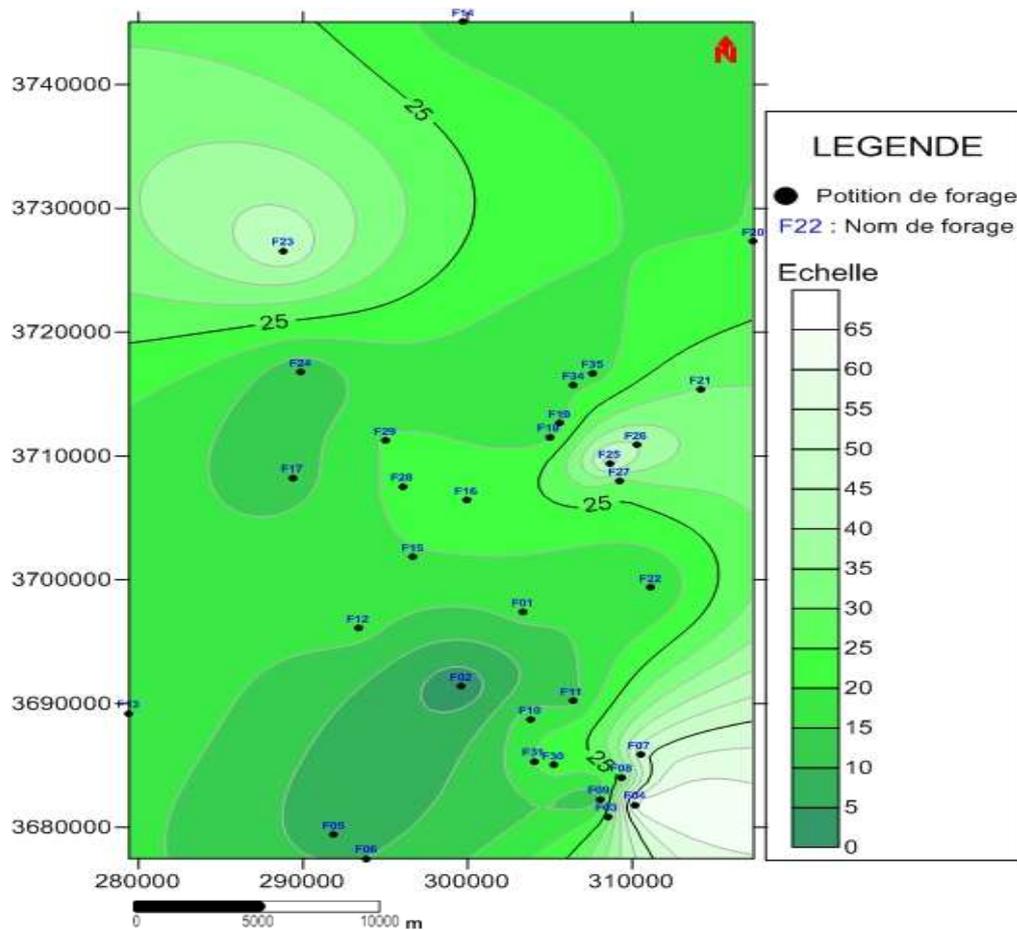


Figure N°33: Carte de variation des teneurs de  $\text{NO}_3^-$  (mg/l).

#### IV.4 Caractéristiques chimiques des eaux:

##### IV.4.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydro-chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux de la nappe complexe terminal, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de PIPER et STABLER à celui de SCHOELLER – BERKALOFF. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

**IV.4.2. Formule caractéristique de STABLER :**

La formule caractéristique selon STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. : La formule est la suivante

$$\%r = \left( \frac{100}{c} \right) \times r$$

Avec : **r** : est la quantité en réaction de l'ion considéré en (méq/l);

**c** : la concentration totale.

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant. Les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès qui figurent dans le tableau (13). L'examen de ce tableau montre que les eaux de la compagnie sont des eaux sulfatées ou chlorurées.

**Tableau N°13:** Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER.

Famille des eaux	Faciès chimique	% Pourcentage	
<b>Chlorurées</b>	Chloruré sodique	60	70
	Chloruré calcique	08	
	Chloruré magnésienne	02	
<b>Sulfatées</b>	eSulfaté sodiqu	30	30

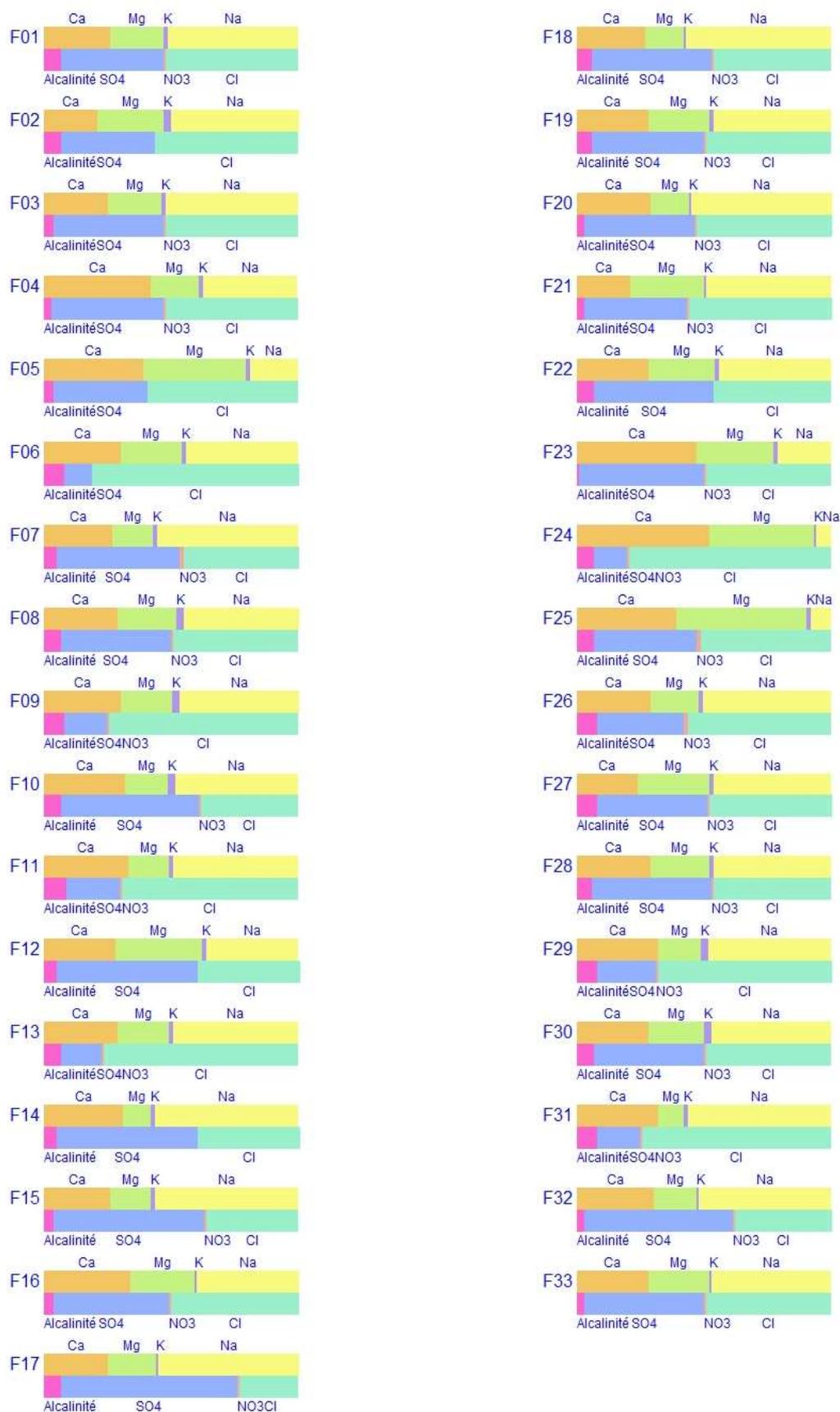


Figure N°34: Diagramme de STABLER.

#### IV.4.3 Diagramme de PIPER:

La présentation des analyses chimiques de la compagne sur ce type de diagramme (Figure 35 et 36) permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines.

Le tableau (14) montre que les eaux de la nappe du complexe terminal présente deux familles dominantes sont :

- ✓ Chlorurées sulfatées calciques et magnésiennes ;
- ✓ Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique ;

**Tableau N°14:** Classification des eaux selon le diagramme de PIPER.

Famille des eaux	% Pourcentage
<b>Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne</b>	10
<b>Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique</b>	90

Nous remarquons que la plus part des eaux analysées présentent un faciès chloruré sodique et sulfatée sodique en liaison avec la nature lithologique des terrains aquifères.

#### IV.4.4. Diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF:

Le diagramme a été établi par H. SCHOELLER en 1932, et révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau.

Les diagrammes logarithmiques (Figure N°37, 38 et 39) ont permis d'identifier les grandes familles chimiques suivantes : (tableau 15). A première vue, on remarque une dominance des chlorures ou des sulfates qui semble être liées à la géologie ou à la forte évaporation.

**Tableau N°15:** Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER-BERKALOFF.

Faciès chimique	Effectif	% Pourcentage		
<b>Famille des eaux chlorurées</b>	eChloruré sodique	23	63	<b>73</b>
	Chlorurée calcique	03	09	
	Chlorurée magnésienne	01	03	
<b>Famille des eaux sulfatées</b>	Sulfatée sodique	10	27	<b>27</b>

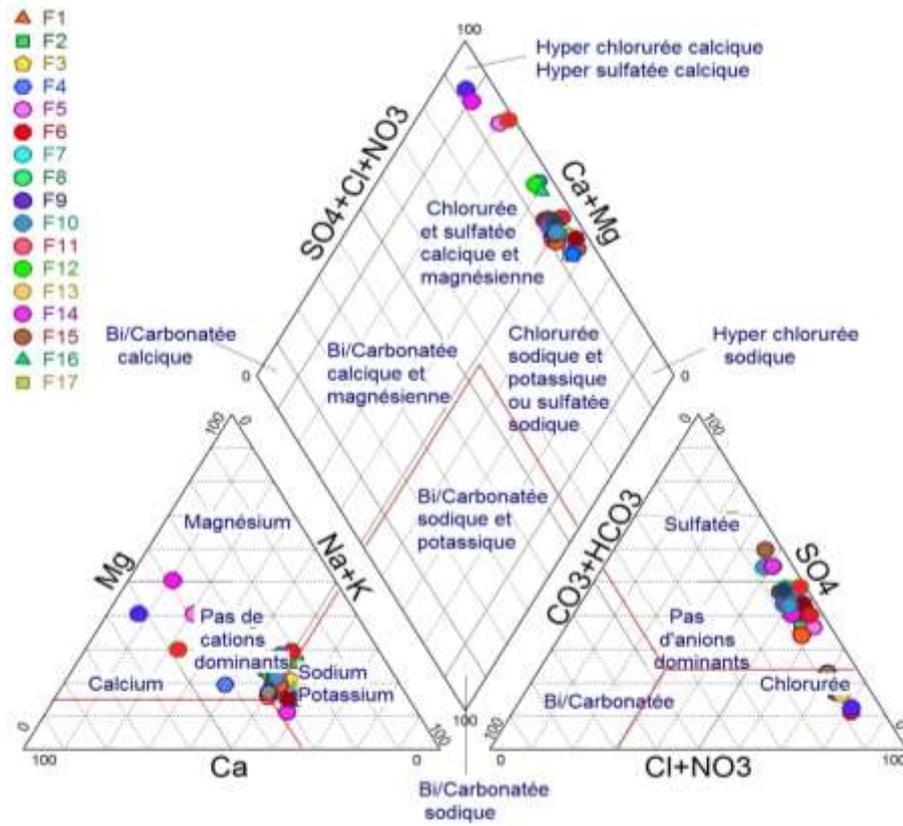


Figure N°35: Diagramme de PIPER, (F01 à F17).

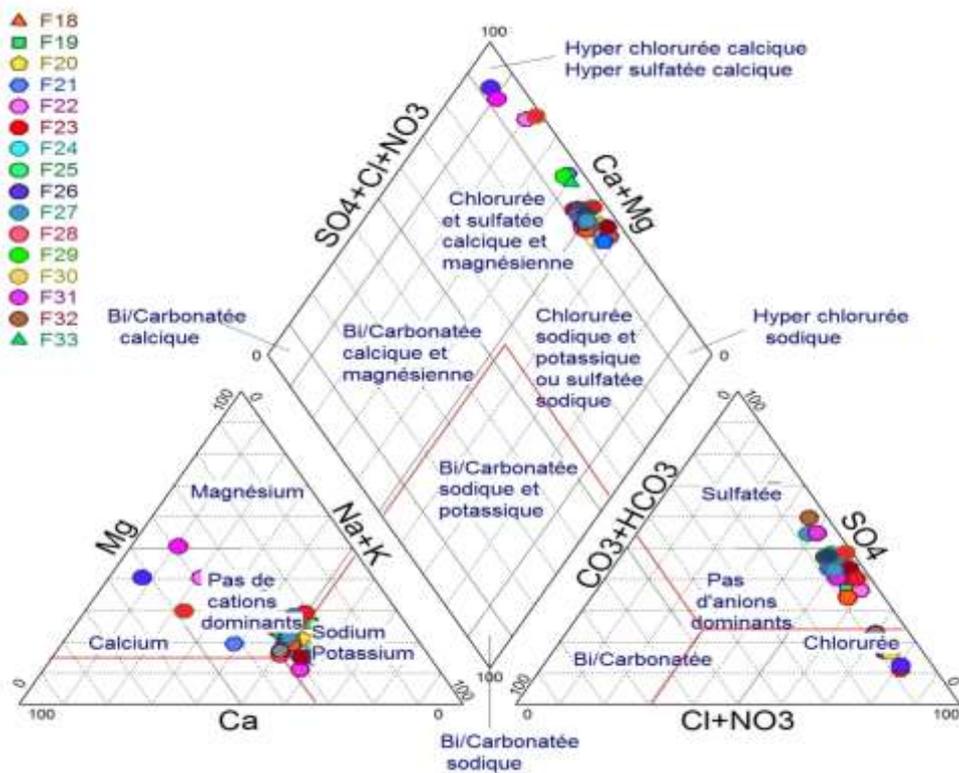


Figure N°36: Diagramme de PIPER, (F18 à F33).

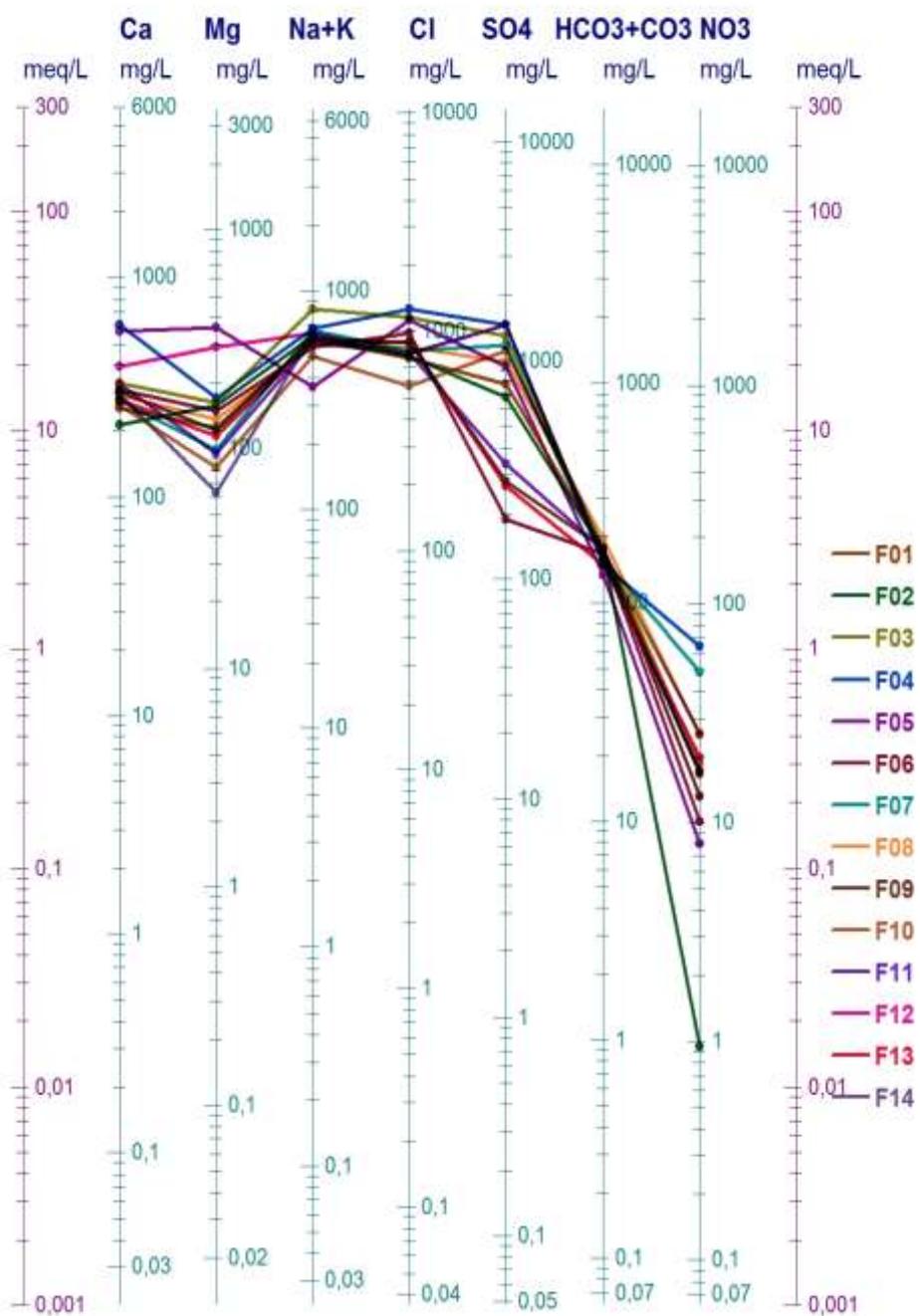


Figure N°37: Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (F01 à F14).

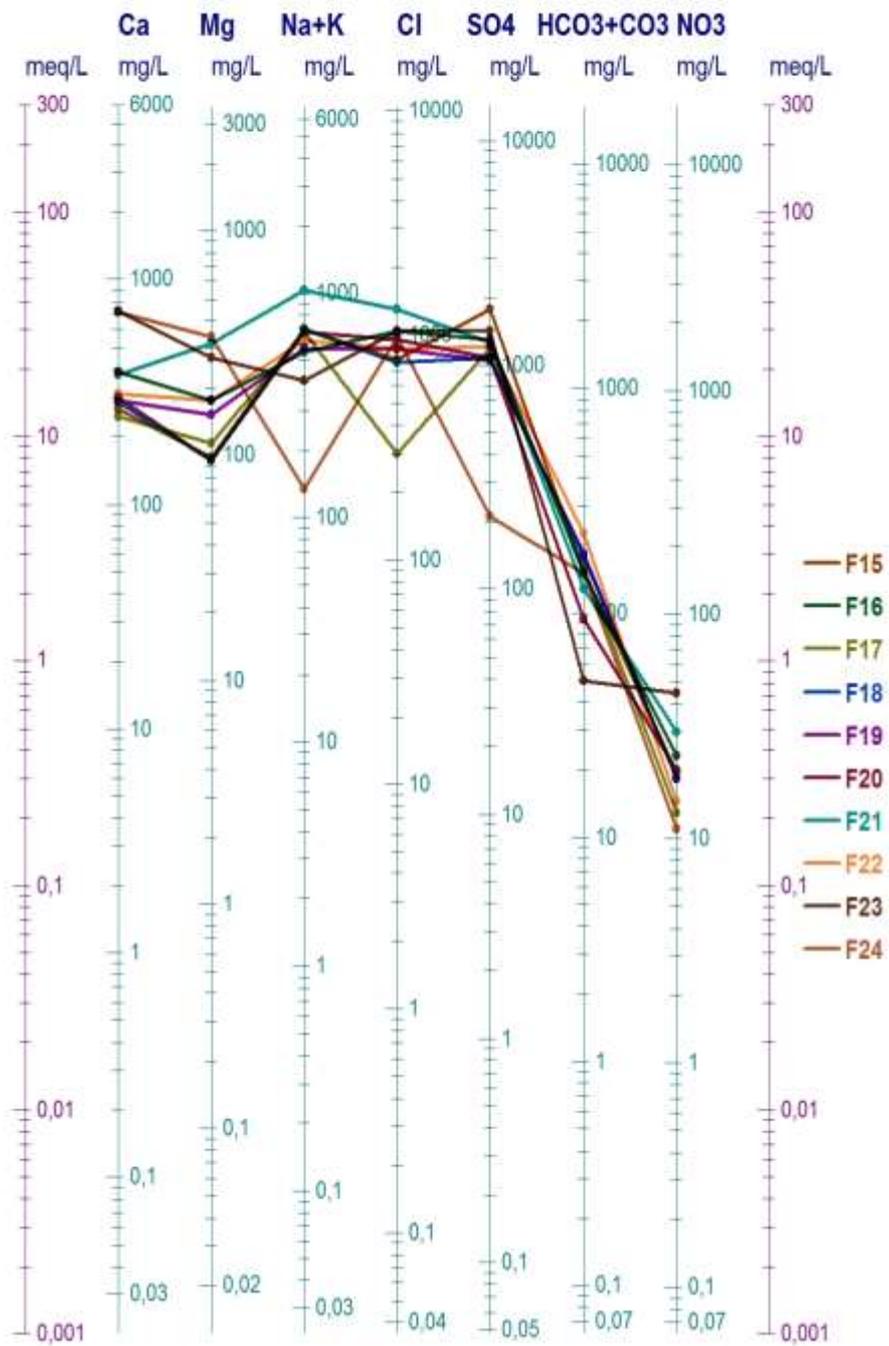


Figure N°38: Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (F15 à F24).

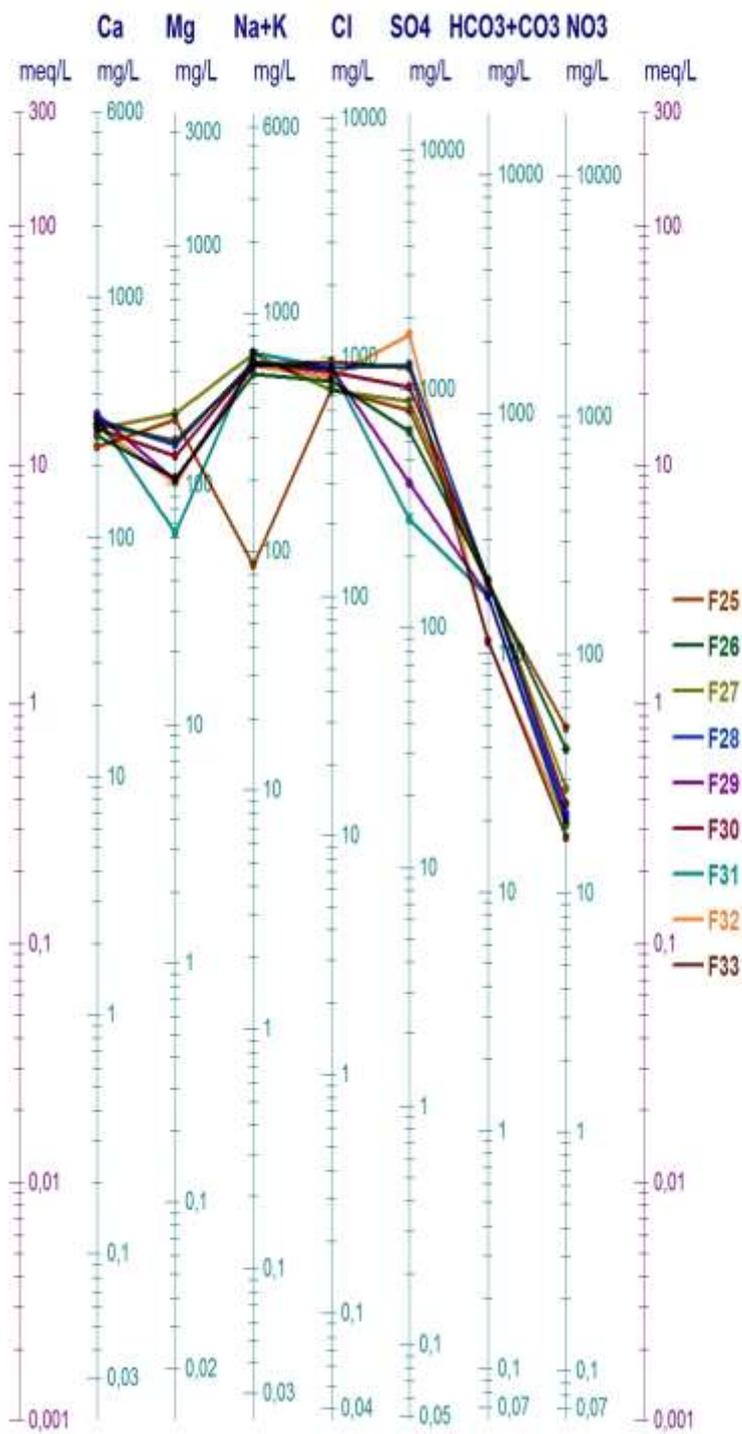


Figure N°39: Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF, (F25 à F33).

#### IV.5 Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants:

Le but d'une analyse de corrélation est de mesurer la relation statistique qui existe entre deux variables.

##### IV.5.1 Le couple $\text{Ca}^{+2}$ -- $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ :

Pour déterminer l'évolution de calcium en fonction des bicarbonates et sulfates, une représentation graphique des teneurs en  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction de  $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$  à été réalisée (Figure N°40). Cette dernière fait apparaître deux évolutions : un excès en  $\text{Ca}^{2+}$  indiquant l'origine évaporitique de  $\text{Ca}^{2+}$  par le gypse et d'autre part, on observe une évolution linéaire interprétée comme le résultats de la dissolution des formations carbonatés.

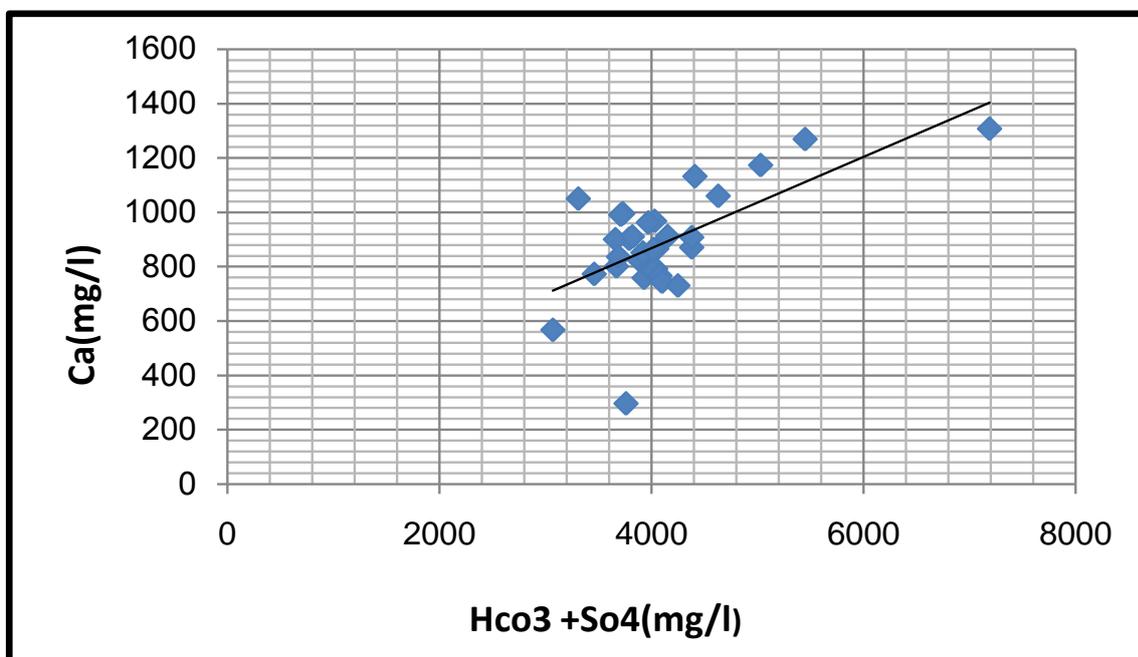


Figure N°40 : Le couple  $\text{Ca}^{+2}$  --  $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ .

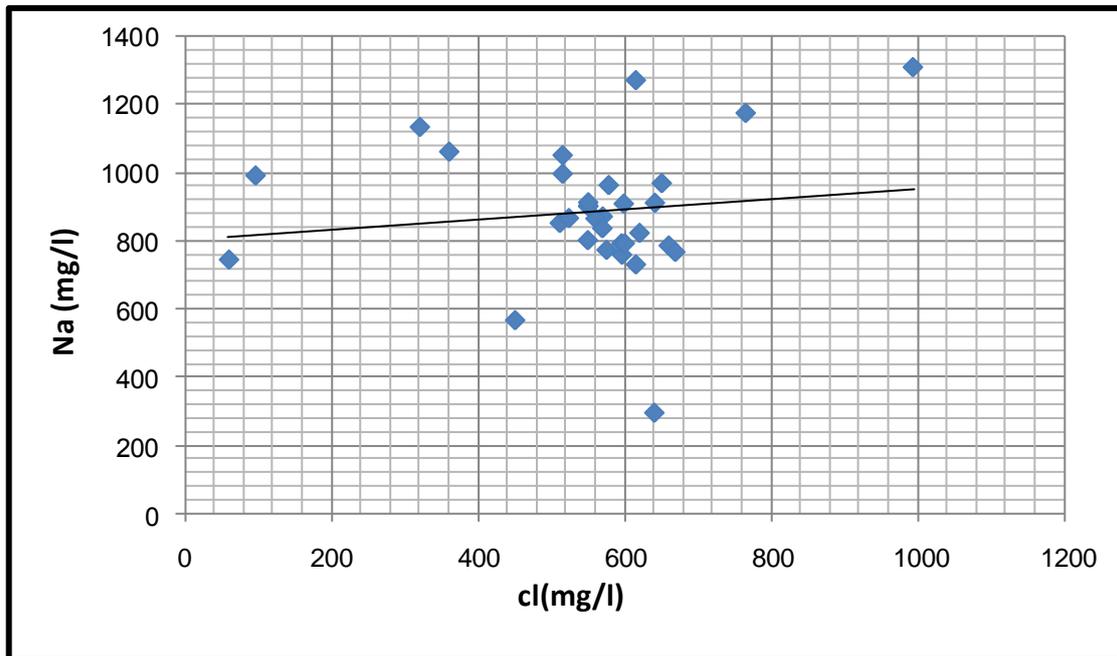
IV.5.2 Le couple  $\text{Na}^{+2} - \text{Cl}^{-}$ :

Figure N°41 : Droite de régression entre ( $\text{Na}^{+} - \text{Cl}^{-}$ ).

Le graphe montre un alignement des points, ce qui implique la même origine des deux éléments chimiques qui est probablement la dissolution de Halite. Cependant, quelques points présentent un excès de sodium, d'autres un excès des chlorures. Cette relation se confirme par l'existence du faciès chloruré sodique. (Figure N°41).

## IV.5.3 L'échange de base :

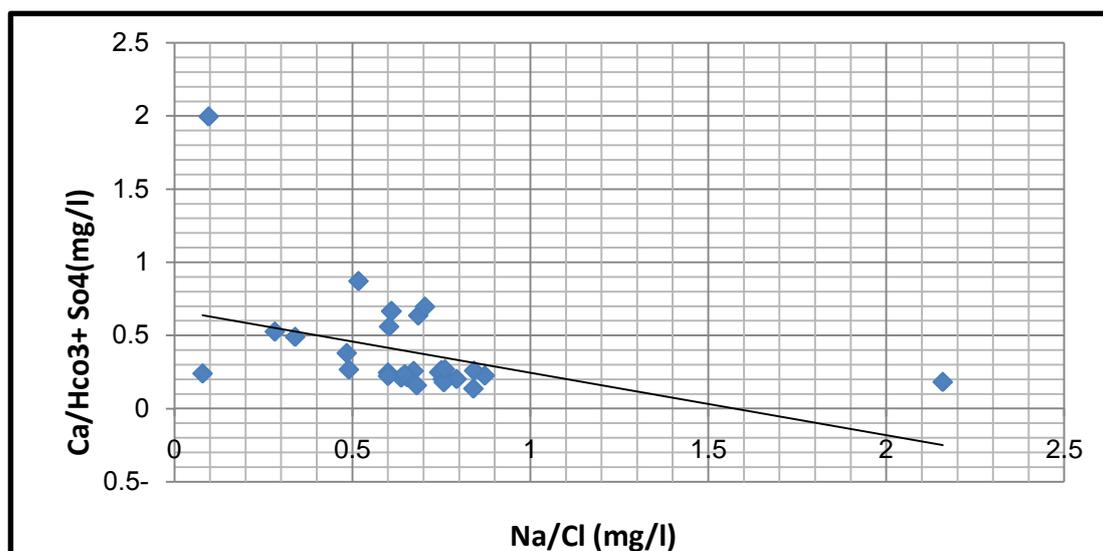
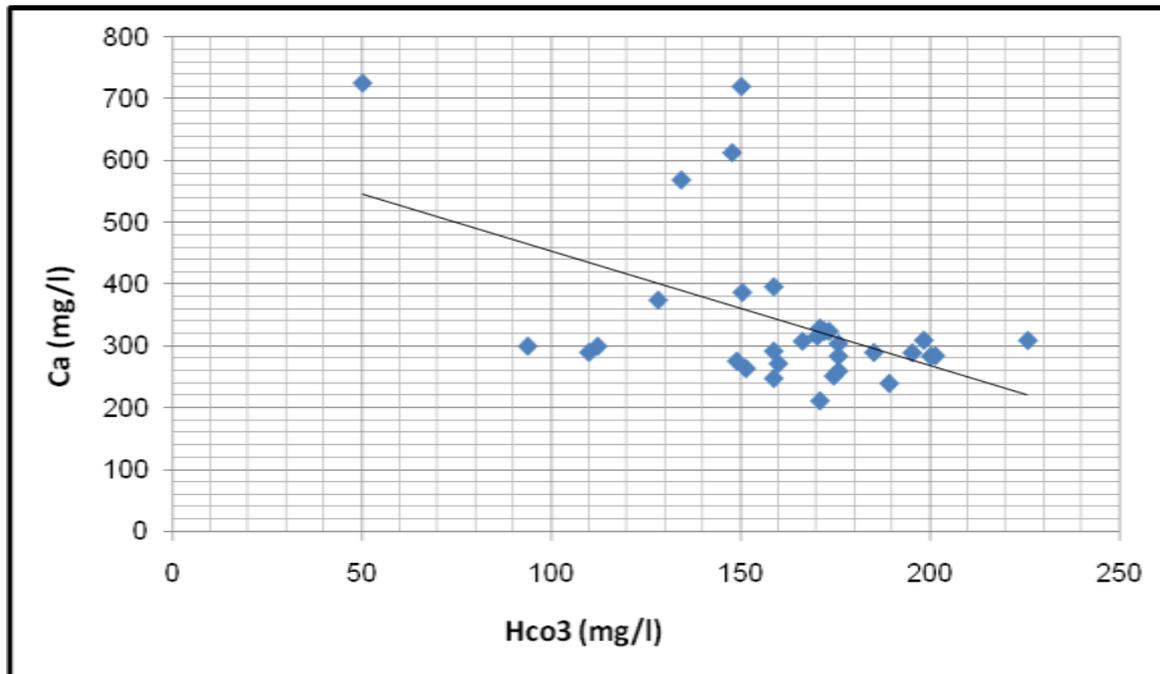
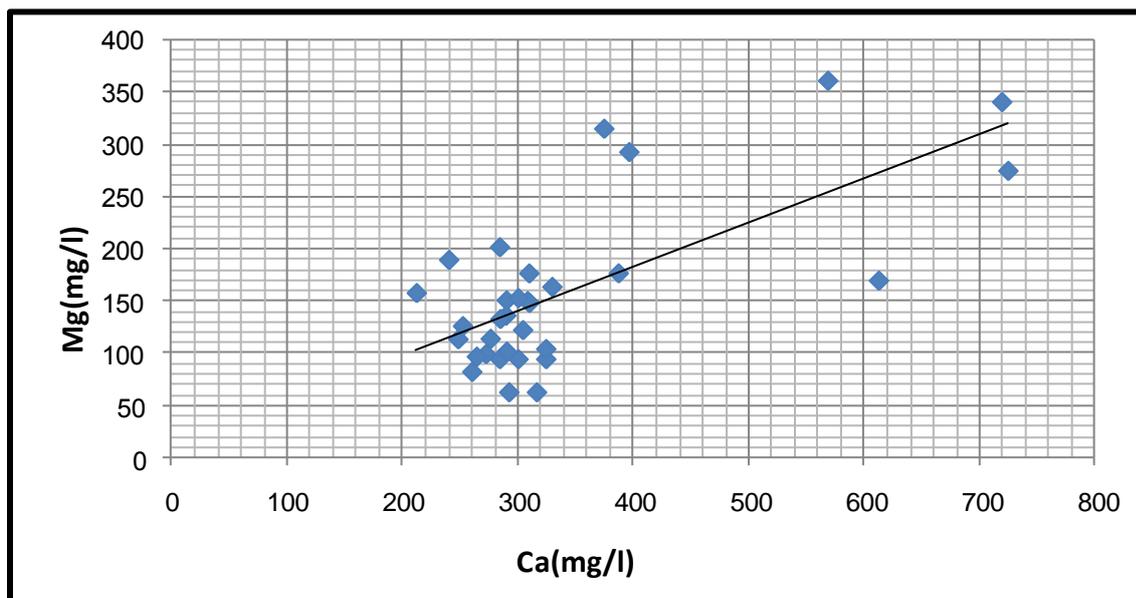


Figure N°42 : Echange de base 2017.

IV.5.4 Le couple  $\text{Ca}^{2+}$  --  $\text{HCO}_3^-$ :Figure N°43 : Droite de régression entre ( $\text{Ca}^{2+}$  --  $\text{HCO}_3^-$ ).IV.5.5. La relation  $\text{Ca}^{2+}$  --  $\text{Mg}^{2+}$ :

Suivant la figure 45 nous constatons qu'il y a une bonne corrélation entre les deux éléments ce qui nous permet de dire qu'ils ont la même origine (origine carbonaté) à l'exception de quelques points qui présentent des teneurs forte de calcium (Sud-Est de la plaine).

Figure N°44 : Droite de régression entre ( $\text{Ca}^{2+}$  --  $\text{Mg}^{2+}$ ).

#### IV.6. Qualité chimique des eaux :

La qualité chimique des eaux a été déterminée en utilisant d'une part des normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) et d'autre part à l'aide du degré hydrométrique D.H.T.

##### IV.6.1. Potabilité des eaux (Norme et qualité) :

###### IV.6.1.1. Selon l'O.M.S :

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales qui traduisent les limites de potabilité (Tableau 16). :On distingue

- ✓ Une concentration maximale acceptable à partir de la quelle une eau provoque une certaine réticence chez le consommateur ;
- ✓ Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse à la santé.

**Tableau N°16:** Normes de potabilité de l'O.M.S

Eléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)
<b>Calcium (mg/l)</b>	75	200
<b>Magnésium (mg/l)</b>	50	150
<b>Sodium (mg/l)</b>	20	150
<b>Potassium (mg/l)</b>	10	12
<b>Sulfates (mg/l)</b>	200	400
<b>Chlorures (mg/l)</b>	200	600

D'après les critères on constate que les eaux des forages captant les nappes du Complexe Terminal sont hors normes. L'eau potable de bonne qualité chimique reste un rêve pour la région d'Oued-Souf à cause des teneurs très élevées en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{K}^+$  aux normes maximales admissibles.

➤ Calcium:

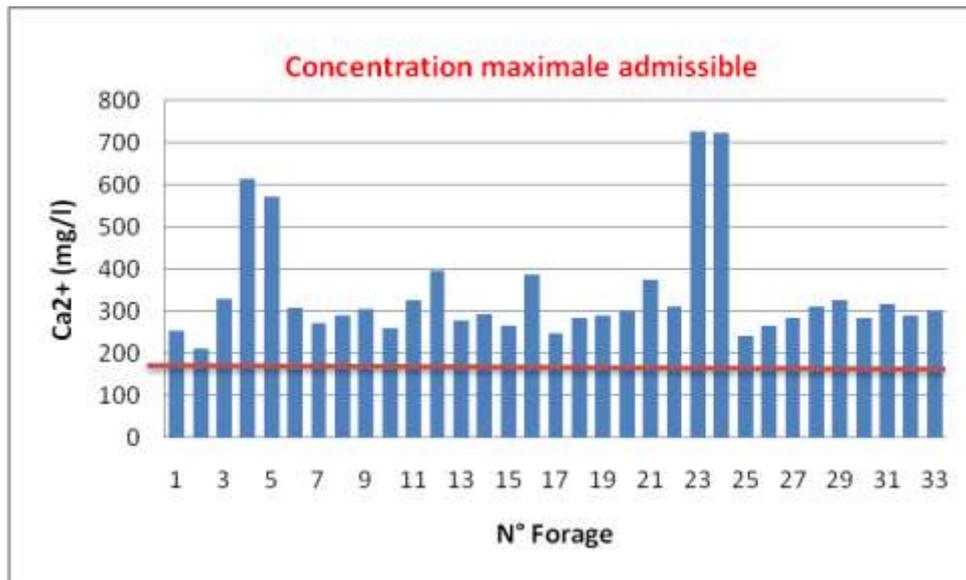


Figure N°45: Concentration de calcium.

On remarque : la concentration en calcium sont trop élevées dans F23(Folia 03) dépassent globalement 700 mg/l , par contre le F02(Hai 19 Mars) présentent valeur égale 200 mg/l.

➤ Magnésium:

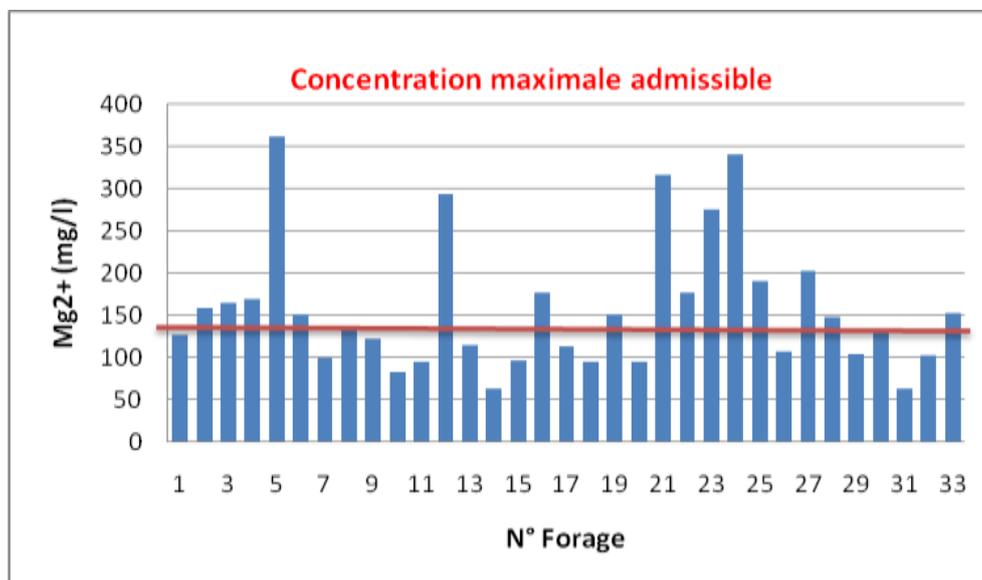


Figure N°46: Concentration de Magnésium.

On remarque que les nitrates sont élevés dépassent 350 mg/l dans le F05(Hai Ezzaouia Robbah) par rapport aux autres les forages, notez également que le forage N° 14 et 31 est inférieur à 100 mg/l.

➤ Sodium:

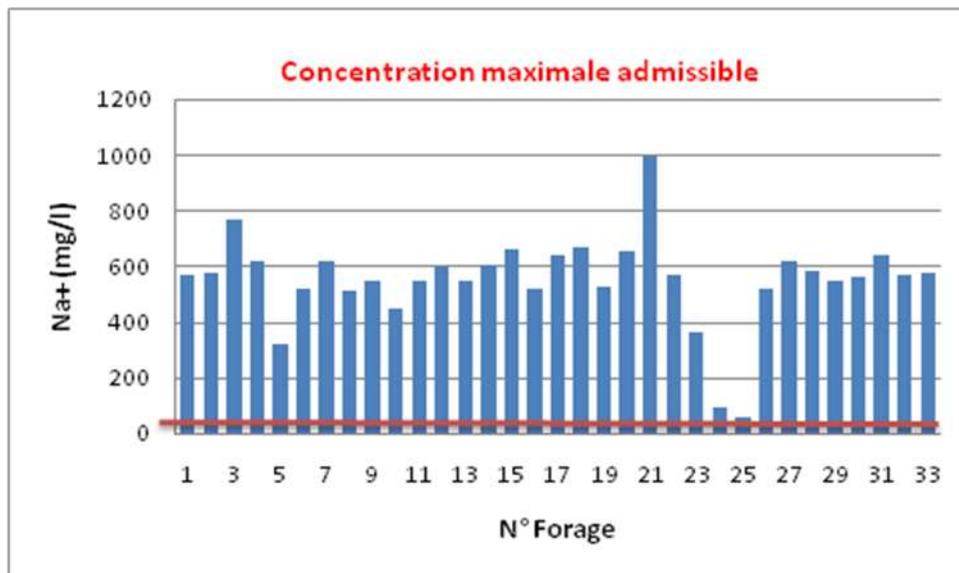


Figure N°47: Concentration de Sodium.

La concentration de Sodium très élevées dans le F21 (Hassi khalifa) égale 1000 mg/l, par contre le F25(Hai Naser Debila ) ainsi que le Sodium est faible inférieur à 200 mg/l.

➤ Chlorure :

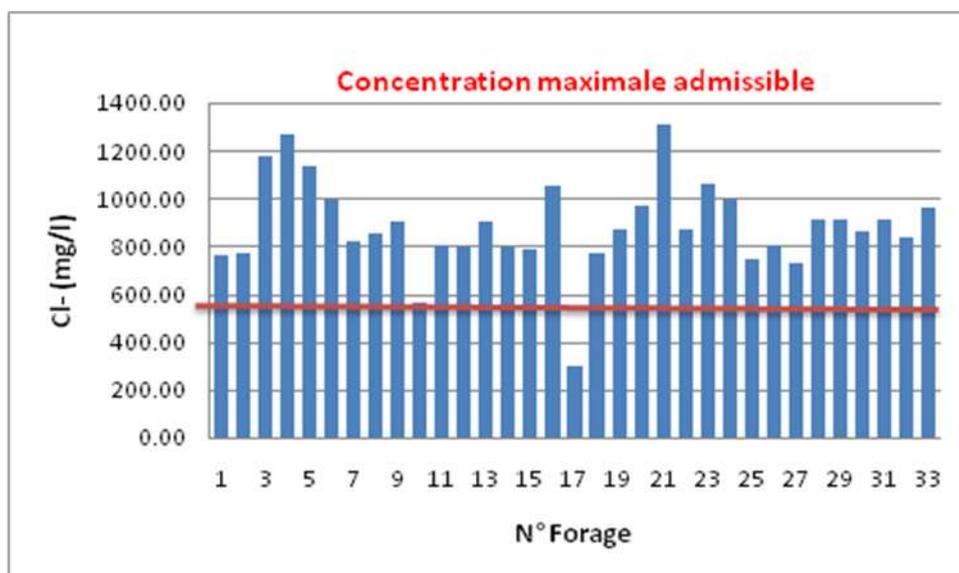


Figure N°48: Concentration de Chlorure.

La chlorure ont la concentration très élevées qui dépassent les normes L'OMS soit 1200,00 mg/l dans le F21(Hassi Khalifa 01), par contre le F17 (Baghouza teghzout) le chlorure inférieur à 400,00 mg/l.

➤ Sulfate:

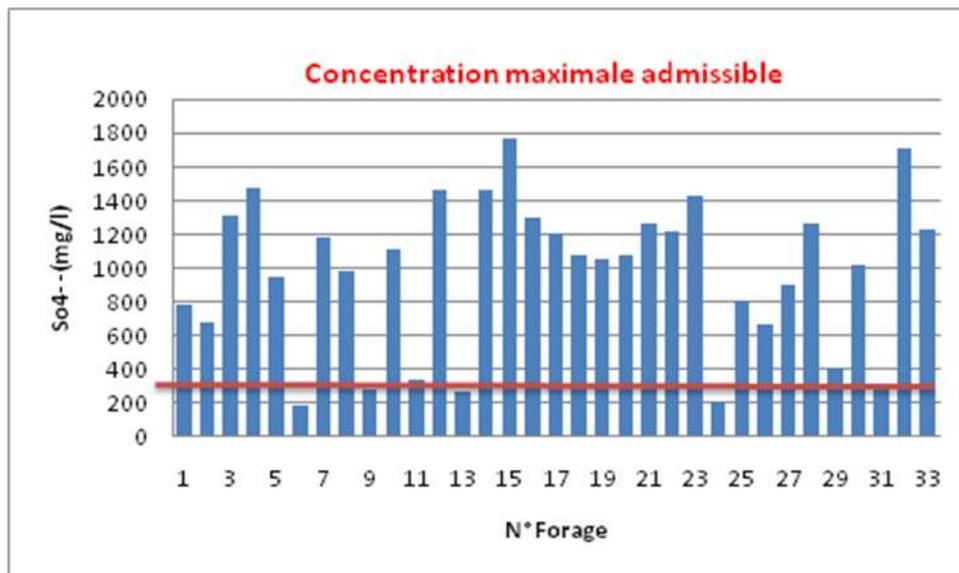


Figure N°49: Concentration de Sulfate.

La Sulfate sont trop élevée allant jusqu'au 1800 mg/l dans le F15( Kouinine03) , par contre le F06( Mouih el ghazala) la concentration dans cette forage inférieure 200mg/l.

➤ Potassium:

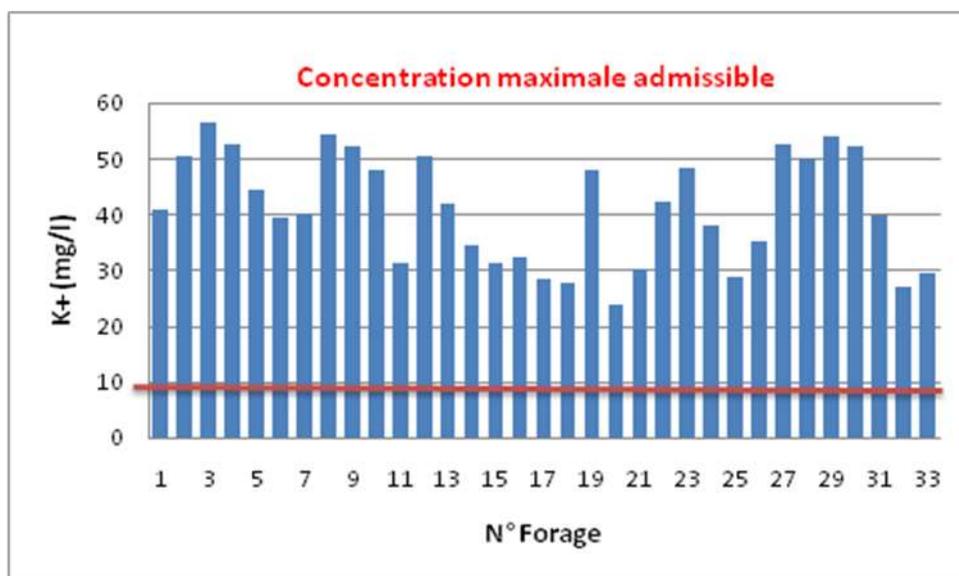


Figure N°50: Concentration de Potassium.

Dans le Forage N°03 (Mouih Ouensa F01) la concentration de potassium est très élevée sa valeur diminue 50 mg/l, le rapport de potassium de Forage N°20 (El Menchia H-K) est à l'opposé d'environ 20 mg/l.

**IV.7 Conclusion:**

L'interprétation des diagrammes de PIPER, SCHOELLER\_BERKALOFF et STABLER a montré que les eaux de la nappe du complexe terminal sont caractérisées par une dominance des faciès suivants :

- Chloruré sodique ;
- Chloruré calcique ;
- Chloruré magnésienne ;
- Sulfaté magnésien ;

La dominance de ces faciès est liée d'une part à la géologie locale de la région et d'autre part à la situation grave de quelques forages du Complexe Terminal qui présentent des perforations au niveau de tubages, ceux-ci favorisent la communication entre les nappes en particulier avec la nappe phréatique qui est trop minéralisée.

La cartographie hydrochimique déclare une augmentation graduelle de la minéralisation vers le nord qui est conformément avec le sens d'écoulement. Et désigne la commune de Hassi Khalifa comme une zone trop minéralisée.

Sur le plan de la qualité chimique et la potabilité, les eaux de la nappe du complexe terminal sont trop minéralisées et extrêmement dures, ceux qui exigent des préventions avant l'utilisation pour l'irrigation où il présente parfois des dangers d'alcalinisation de sol. La potabilité reste loin aux normes O.M.S, elle est classée au-delà du mauvais. Et à cause de cette eau désagréable, la population de la vallée d'Oued-Souf préfère d'acheter l'eau provenant de flotte de camions citerne des Wilaya voisines (Biskra, Tebessa).

On déduit que dans cette région il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, pour cela il faut exiger des rigoureux critères pour améliorer la qualité chimique de l'eau et garantir la potabilité de l'eau dans les normes internationales, avant de la mobiliser aux consommateurs particulièrement humains.

# CONCLUSION GENERALE

## **CONCLUSION GENERALE**

---

La vallée de Souf est une unité de ressource en eau située au Sud-Est algérien, occupe une superficie de 11738 km<sup>2</sup>, représente 18 communes administratives et englobe un nombre de population de 486170 habitants. Le relief d'El-oued est caractérisé par trois principales formes: une région sableuse, une forme de plateau rocheux, et une zone de dépression. Du point de vue topographique l'altitude diminue du Sud vers le Nord, et de l'Ouest vers l'Est pour atteindre des valeurs négatives au niveau des chotts.

Le climat de la région d'El-Oued est de type saharien, caractérisé par un été chaud, sec et un hiver doux, la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 28,4°C. Les précipitations moyennes interannuelles sont de l'ordre de 71.16 mm. Le bilan hydrique est déficitaire à cause des faibles précipitations et une forte évapotranspiration.

La géologie d'El-Oued est masquée par une épaisse couche de terrains quaternaires. la description a été effectuée grâce à l'interprétation des logs stratigraphiques des forages d'eau, elle est représentée par des terrains allant de Crétacé au Quaternaire. La lithologie des formations est détritique et évaporitique pour la Quaternaire, détritique, évaporitique et carbonatée pour le Tertiaire et le Crétacé supérieure.

Le système aquifère d'El-Oued est constitué de trois nappes : nappe libre (phréatique), et deux nappes captives (nappe de complexe terminal et nappe de continentale intercalaire), le réservoir de la nappe de complexe terminal est constituée de formations très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Mio-Pliocène. En effet, il est possible d'y distinguer trois corps aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables.. D'une manière générale La profondeur moyenne de cette nappe du CT varie entre 200 et 600 mètres. Quant à l'épaisseur utile de cette nappe, elle est de 50 mètres environ, avec une réserve estimée à  $200 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

L'examen de la carte piézométrique montre que le sens d'écoulement général des eaux de la nappe du complexe terminal est Sud-Ouest vers le Nord-Est. L'interprétation des essais de pompage par la méthode graphique nous permet de définir les différents paramètres hydrodynamiques.

## **CONCLUSION GENERALE**

---

L'hydrochimie a porté sur les aspects qualitatifs des eaux de la région. Dans notre travail, on s'est intéressé aux eaux de la nappe CT .On a commence par une étude de la qualité des eaux destinées à l'AEP, alors :

- ❖ L'eau de la nappe du complexe terminal montre qu'elle est non potable pour la consommation humaine, cette eau est sont très dure et trop minéralisé.
- ❖ La classification des eaux selon Piper montre la dominance de faciès Chlorurée sodique et Sulfatée sodique. Cette dominance de faciès est liée au contact eau roche selon la nature géologique de la région, puisque l'interaction entre l'eau et la roche provoque une dissolution.
- ❖ Par le biais de l'analyse en composante principale, nous avons pu démontrer que les eaux de la nappe CT, présentent la même composition chimique, elles restent influencées par la lithologie locale.

L'analyse de l'eau destinée à l'agriculture, montre que:

- ❖ Après réalisation des diagrammes de Richards et calcul du SAR, nous avons pu remarquer que les eaux de la nappe CT sont des eaux à qualité chimique très mauvaise pour l'irrigation.

En conclusion, quel que soit la destination prévue des eaux de la nappe du Complexe Terminal, ces eaux demandent à être traitée (station de traitement) avant usage pour l'AEP.

Concernant l'irrigation, ces eau sont très minéralisées, et peuvent causer une fort salinisation des terres agricole .L'utilisation de cette eau reste réserver uniquement pour quelques plantes résistant au sel tel que la luzerne, le blé, l'orge et les palmiers.

## Références bibliographiques

### Référence et bibliographique

- 1) **A.D.E** : (Algérienne Des Eaux Wilaya d'El-Oued). Rapports sur l'alimentation en eau potable (AEP).
- 2) **A.N.R.H** : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya d'Ouargla).
- 3) **A.N.R.H** : (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Touggourt).
- 4) **B.G-H.P.O. :2004** – vallée du souf, études d'assainissement des eaux résiduaire, pluviales et d'irrigation.
- 5) **D.H.W** (Direction d'hydraulique de la wilaya d'El-Oued).
- 6) **DROUCHE A BDELMALEK (2008)** : impact des eaux du rejet sur la qualité des eaux de la nappe libre d'Oued-souf .Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 7) **FNAZI BILAL (2008)** : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère Alluvionnaire de la plain de oued djendjen et modélisation de la nappe. Mémoire de magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 8) **KHACHANA Salim (2007)** : Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée de Oued-Souf ( Sud-est) Algérien. Mémoire de magister université Badji Mokhta Annaba.
- 9) **O.N.A** : Office nationale d'assainissement
- 10) **O.N.M** :(Office National Météorologique) Station de Guemar et de Touggourt, données climatiques.
- 11) **SADRATI N (2005)** : Hydrochimie est impact des agglomérations sur les eaux. Mémoire magister université Badji Mokhtar Annaba.
- 12) **ZINE Brahim (2009)** : La remonté des eaux souterraines en surface mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas de Oued Souf). Mémoire de magister université El Hadj Lakhdar Batna.

## *Références bibliographiques*

---

**13) MILOUDI Abd lmonem (2018):** Mécanisme et remèdes de la remontée des eaux dans la région d'El Oued Soufi-impact sur l'environnement de la région-

**14)BOULIFA Khaled(2012):** Synthèse hydrogéologique sur la région d'El Oued Sahara Nord oriental-Est Algérien. Mémoire de magister université Constantine 1.

**15) Amara Anis, 2013 :** Evaluation de la toxicité de pesticides sur quatre niveaux trophiques marins : microalgues, échinoderme, bivalves et poisson ; Thèse De Doctorat En Cotutelle Entre L'université De Tunis El-Manar Et L'université De Bretagne Occidentale.

**16) Abdel-Rahman, 1998.** Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette d'Ouargla. Rapport interne ANRH-Ouargla.

**17) MEHDA SMAIL(2014):** Evaluation du risque de la contamination physico-chimique et biologique des eaux souterraines par les polluants d'origine agricole dans la région d'El Oued. Mémoire de magister université KASDI MERBAH Ouargla.

**18) Merhi Maysaloun, 2008 :** Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin ; Thèse doctorat ; Université De Toulouse.

**19) Monsieur Alain Lambert:** président du conseil national d'évaluation des normes, Rapport public d'activité 2016.

**20) Monsieur Alain Lambert:** président du conseil national d'évaluation des normes, Rapport public d'activité 2017.

## Annexe

N° Forage	Nom de Forage	Coordonnées UTM					Parameters physiques			Parameters physico - chimiques							
		X	Y	Z	Prof (m)	Ns (m)	PH	Cduc (µS/cm)	TH	Ca++ (mg/l)	Mg++ (mg/l)	Na+ (mg/l)	K+ (mg/l)	Cl- (mg/l)	HCO3- (mg/l)	NO3- (mg/l)	So4- - (mg/l)
<b>Commune d'El-Oued</b>																	
F01	Chott	303377	3697414	68	280	37.5	7.69	3930	25.1	252.5	126.39	569.3	40.81	758.69	174.46	16.76	785.76
F02	Hai 19 Mars	299634	3691389	92	280	42	7.69	3460	24.1	212.42	157.98	575.2	50.34	772.88	170.8	0.94	683.211
<b>Commune de Mouih Ouensa</b>																	
F03	Mouih Ouensa F01	308480	3680887	91	242	31.75	7.61	5030	150	330	163.8	765.3	56.4	1173.40	170.8	25.70	1313.6
F04	Mouih Ouensa F02	310207	3681839	80	248	35.5	7.36	5450	264	613.22	169.8	615.2	52.64	1269.20	147.62	64.34	1467.9
<b>Commune de Oued El alenda</b>																	
F05	Oued El alenda F03	291902	3679409	89	219	37	7.18	4410	290	569.13	360.7	320.14	44.42	1132.50	134.2	7.98	947.5
F06	Mouih el Ghazala	293881	3677487	100	219	31	7.19	3730	139	308.61	150.3	515.2	39.58	995.66	166.2	10.08	187.87
<b>Commune de Nakhla</b>																	
F07	Khobna	310467	3685871	80	252.5	31	7.94	3890	109	272.54	99.65	620.3	40.16	822.50	159.82	48.69	1183.26
F08	Nakhla	309371	3684050	85	270		7.3	3920	128	290	136.4	511.3	54.2	851.60	195.2	25.00	981.13
F09	Ghenabzia	308015	3682283	90	240	38	7.8	3790	126	304.6	122.55	550.1	52.24	902.10	175.68	13.27	281.12
<b>Commune de Bayadha</b>																	
F10	Bayadha	303822	3688715	90	253	38.44	7.28	3070	99	260.52	82.64	450.21	47.76	567.24	175.68	18.42	1108.25
F11	Soualah	306361	3690205	125	260		7.45	3670	120	324.64	94.78	549.62	31.32	801.23	173.24	13.25	336.64
<b>Commune de Ourmes</b>																	
F12	Ourmes 04	293370	3696082	80	305	36	7.01	4040	132	396.76	292.58	595.6	50.24	791.98	158.6	17.14	1460.57
F13	El Hadhoudi	279432	3689208	94	297	50	7.48	3660	116	276.55	114.24	550.2	42.02	900.50	148.84	19.99	266.7
<b>Commune de Kouinine</b>																	
F14	Kouinine 02	299772	3745043	78	300	35.8	7.51	3990	135	292.58	63.19	600.1	34.5	791.98	158.6	17.14	1460.57
F15	Kouinine F03	296698	3701836	75	314	34.3	7.22	4010	106	264.52	97.22	660.2	31.1	785.67	151.28	19.50	1770
<b>Commune Taghzout</b>																	
F16	Taghzout 02	299933	3706412	78.5	345		7.5	3310	169	387.5	176.8	515.2	32.3	1050.00	150.3	23.50	1300
F17	Baghouza	289370	3708250	56	349	34	7.4	3760	109	248.49	113.8	640.5	28.55	296.59	158.6	13.00	1200
<b>Commune de Sidi Aoun</b>																	

## Annexe

F18	Souihla F02	304955	3711528	44	386		7.33	4080	110	284.56	94.78	669.14	27.56	766.74	175.68	18.42	1080
F19	Sidi Aoun	305623	3712623	54	350		7.42	4050	135	290.4	151	523.7	48.05	865.90	185.05	18.50	1054
<b>Commune de Hassi Khalifa</b>																	
F20	El Menchia	317387	3727339	30	711	13.55	7.1	4030	114	300.6	94.78	650.6	23.89	968.00	93.64	20.30	1072
F21	Hassi khalifa 01	314192	3715382	53	385	28.2	8.1	7190	223	375	314.88	993.8	30.2	1307.40	128.1	30.20	1266.24
<b>Commune de Trifaoui</b>																	
F22	Trifaoui	311144	3699355	81	299		7.95	4380	150	310	176.7	570	42.3	870.60	225.7	14.70	1216.5
<b>Commune de Reguiba</b>																	
F23	Fouliia 03	288817	3726570	29	404		7.37	4630	294	725.44	274.65	360.2	48.23	1060.20	50.02	44.35	1430.39
F24	Hobba 18 février	289865	3716746	46	376		7.37	3710	320	720.05	340.33	95.63	37.88	990.56	150.05	11.05	210.86
<b>Commune de Debila</b>																	
F25	Naser (Debila)	308629	3709389	62	350		7.62	4100	24.9	240.48	189.58	59.3	28.64	744.51	189.1	49.03	812.64
F26	Debila Gharbia	310260	3710898	63	362	38.7	7.68	3960	22.9	264.53	106.94			801.24	198.86	40.25	662.116
F27	Akfadou	309247	3707990	79	348		7.48	4250	24.3	284.57	201.73	615.3	52.62	730.33	200.08	27.29	895.742
<b>Commune de Guemmar</b>																	
F28	Guemmar 02	296043	3707551	60	353		6.76	4380	138	310.2	148.5	578.7	50	908.09	198.25	21.50	1267.5
F29	El-Houd	295011	3711241	54	363	23.96	6.8	4152	124	324.64	104.51	550.2	54.06	911.93	172.02	20.60	407.17
<b>Commune de Robbah</b>																	
F30	Robbah 1 bis parc	305222	3685019	93.00	253.00	39.70	7.25	4020.00	126.00	285.00	133.15	560.11	52.30	864.70	201.30	23.80	1015.00
F31	Hai Ezzaouia	304038	3685351	91.00	280.00		7.23	3820.00	105.00	316.63	63.19	641.30	39.66	910.56	170.08	19.36	284.31
<b>Commune d'El Magran</b>																	
F32	Magran Centre	306459	3715719	60.00	394.60		7.36	3690.00	114.00	290.58	102.08	569.50	26.84	836.15	109.80	19.25	1710.00
F33	El hamadine 01	307613	3716682	61.00	386.00	31.00	7.39	3970.00	138.00	300.60	153.12	578.20	29.62	962.37	112.12	17.30	1230.00